



# HACIA UNA EDIFICACIÓN RESILIENTE: PATRIMONIO, SOSTENIBILIDAD Y NUEVOS MATERIALES

Coordinadores:

Alicia Zaragoza Benzal  
Daniel Ferrández Vega  
Alberto Leal Matilla

*Dykinson, S.L.*



**HACIA UNA EDIFICACIÓN  
RESILIENTE:  
PATRIMONIO, SOSTENIBILIDAD Y NUEVOS  
MATERIALES**

**Editores**

Alicia Zaragoza Benzal  
Daniel Ferrández Vega  
Alberto Leal Matilla

*Dykinson, S.L.*

2024

Como citar esta obra:

Zaragoza-Benzal, A; Ferrández, D.; Leal-Matilla, A. (Editores).

Hacia Una Edificación Resiliente: Patrimonio, Sostenibilidad Y  
Nuevos Materiales. Dykinson. 2024

HACIA UNA EDIFICACION RESILIENTE: PATRIMONIO,  
SOSTENIBILIDAD Y NUEVOS MATERIALES

Fotografía de cubierta: Alicia Zaragoza Benzal

© de los textos: los autores

© de la presente edición: Dykinson S.L. Madrid - 2024

ISBN: 979-13-7006-628-4

NOTA EDITORIAL: Las opiniones y contenidos publicados en esta obra son de responsabilidad exclusiva de sus autores y no reflejan necesariamente la opinión de Dykinson S.L ni de los editores o coordinadores de la publicación; asimismo, los autores se responsabilizarán de obtener el permiso correspondiente para incluir material publicado en otro lugar.

# ÍNDICE

PRÓLOGO		8
CAPÍTULO 1.	CERAMIC STRUCTURAL SHAPES: TIMBREL AND GAUSSIAN VAULTS. TORROJA AND DIESTE: PONT DE SUERT CHURCH VERSUS ATLÁNTIDA	10
	ANA MARÍA MARÍN PALMA MÓNICA MORALES SEGURA MARÍA DEL MAR ALONSO LÓPEZ	
CAPÍTULO 2.	DETERMINACIÓN DE LA DIFERENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN DEL AGUA DE UNA PISCINA, EN FUNCIÓN DEL COLOR DEL REVESTIMIENTO DEL VASO	36
	JORGE A. ALIENDRE PÉREZ SANDRA MOYANO SANZ AMPARO VERDÚ VÁZQUEZ TOMÁS GIL LÓPEZ MERCEDES VALIENTE LÓPEZ	
CAPÍTULO 3.	INFLUENCIA DE LAS VARIABLES QUE RIGEN EL CONFINAMIENTO DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE CARBONO, A NIVEL PROBETA Y DE PIEZA	61
	SERGIO DAVID ALEJO BUENABAD MARÍA ISABEL PRIETO BARRIO ALFONSO COBO ESCAMILLA	
CAPÍTULO 4.	PERCEPCIÓN DE PROFESIONALES QUE ATIENDEN A MUJERES VÍCTIMAS DE VIOLENCIA SOBRE VIVIENDA	99
	MARÍA YOLANDA GONZÁLEZ ALONSO BEATRIZ GONZÁLEZ LOZANO	
CAPÍTULO 5.	ESTUDIO DE LA DURABILIDAD DE DIFERENTES MORTEROS DE CEMENTO REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES	117
	DANIEL FERRÁNDEZ VEGA ALICIA ZARAGOZA BENZAL ROCÍO PASTOR LAMBERTO CARLOS MORÓN FERNÁNDEZ	

CAPÍTULO 6.	STUDY OF THE IMPACT ON EMBEDDED AND OPERATIONAL CARBON IN RESIDENTIAL BUILDINGS OF PARTITIONING AND GLASS SYSTEMS WITH HIGH RECYCLED CONTENT AND LOW CARBON FOOTPRINT	134
	ENRIQUE GÓMEZ DE LA PEÑA MARILUZ JIMENO ROMERO	
CAPÍTULO 7.	ASSESSMENT OF THE STONE WALLS' THERMAL PROPERTIES IN CULTURAL HERITAGE BUILDINGS: THE ROYAL HOSPITAL OF GRANADA, SPAIN	145
	M <sup>a</sup> PAZ SÁEZ-PÉREZ JORGE A. DURÁN-SUÁREZ M <sup>a</sup> ÁNGELES VILLEGAS-BRONCANO JOAO CASTRO GOMES	
CAPÍTULO 8.	LA BARRACA: PARADIGMA DE CASA MINIMA, AUTOCONSTRUIDA, E INTEGRADA EN LA HUERTA DE MURCIA	175
	PEDRO PINA RUIZ TOMÁS GIL LÓPEZ	
CAPÍTULO 9.	COMPATIBILIDAD DE MORTEROS SOBRE MUROS DE TIERRA EN LA ARQUITECTURA TRADICIONAL	195
	FÉLIX JOVÉ-SANDOVAL EVA M. GARCÍA-BAÑOS M. MAR BARBERO BARRERA	
CAPÍTULO 10.	EDUCACIÓN, HABITABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO: UNA APROXIMACIÓN MULTIDISCIPLINAR DESDE LA COOPERACIÓN UNIVERSITARIA	217
	MARÍA DEL MAR BARBERO-BARRERA RAFAEL CÓRDOBA HERNÁNDEZ JUANA CANET ROSSELLÓ GREGORIO GARCÍA LÓPEZ DE LA OSA INMACULADA MARTÍNEZ PÉREZ DANIEL MORCILLO ÁLVAREZ LUIS PEREA MORENO RICARDO TENDERO CABALLERO	
CAPÍTULO 11.	PERCEPCIÓN DE LOS JÓVENES SOBRE EL AMBIENTE CONSTRUIDO HOSTIL AL CAMBIO CLIMÁTICO: UN ESTUDIO FOTOVOZ	238

	MIGUEL ÁNGEL NAVAS MARTÍN CLARA COUSO TERESA CUERDO VILCHES	
CAPÍTULO 12.	ASSESSMENT AND ANALYSIS OF VISUAL TECHNIQUES FOR DOCUMENTING AND SAFEGUARDING CULTURAL HERITAGE: PHOTOGRAMMETRY	256
	M <sup>a</sup> PAZ SÁEZ-PÉREZ DIANELYS CORDOVÉS DE LA TORRE	
CAPÍTULO 13.	ANÁLISIS PRELIMINAR DE VIVIENDAS A SER REHABILITADAS CON FONDOS PÚBLICOS EN LA CIUDAD DE MADRID	286
	SILVANA MALLOR HOYA FERNANDO MARTÍN-CONSUEGRA LUCAS ÁLVAREZ CARMEN ALONSO RUIZ-RIVAS BORJA FRUTOS IGNACIO OTEIZA FERNANDO DE FRUTOS	
CAPÍTULO 14.	STUDY ON THE IMPACT AND CAUSES OF FIRES IN PROMINENT HERITAGE BUILDINGS IN VALPARAÍSO, CHILE, IN THE 21ST CENTURY	323
	M <sup>a</sup> PAZ SÁEZ-PÉREZ DANICA JAVIERA MAZUELA OYARZO	



# CERAMIC STRUCTURAL SHAPES: TIMBREL AND GAUSSIAN VAULTS. TORROJA AND DIESTE: PONT DE SUERT CHURCH VERSUS ATLÁNTIDA

---

DRA. ANA MARÍA MARÍN PALMA  
*Universidad Politécnica de Madrid*

DRA. MÓNICA MORALES SEGURA  
*Universidad Politécnica de Madrid*

DRA. MARÍA DEL MAR ALONSO LÓPEZ  
*Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

## SUMMARY

The 20th century was the era of concrete. Structural engineers found in laminar structures made with this material the ideal means to express their talent, creating elegant and technically well-resolved structures.

But structural engineers that need to look for economy in their projects, such as Torroja or Dieste, since their country's native material was fired clay, they used this material to express their own way of designing and building.

An example of this is the churches of Pont de Suert and Atlántida Station, where two different solutions are shown to solve a common problem: carrying out expressive buildings, with the minimum amount of available resources and at a low cost.

## KEYWORDS

Torroja vault, Dieste vault, tile vault, gaussian vaults, funicular form, reinforced masonry.

## INTRODUCTION

As it is known, combination of steel with concrete to form a structural composite material exploded in the 19th century. At the beginning of the 20th century there was already a great theoretical and practical knowledge that allowed engineers and architects to design, calculate, and execute efficient, economical, and safe structures with this material.

The pastiness of the concrete allowed its adaptability to formworks or molds that accurately and continuously reproduced the novel shapes designed, this fact made the designer's aesthetic expression possible.

In this way, just as a painting, a sculpture, a photograph, or a melody could be identified with its author, a structural work of reinforced concrete was also recognized with its creator.

Thus, Robert Maillart (1872-1940) would be characterized because he combined technical correctness with visual surprise. Eduardo Torroja (1899-1961) would be distinguished by its gently curved, smooth, and ribbed surfaces; unlike the lattice and ribbed structures of Pier Luigi Nervi (1891-1979). Félix Candela (1910-1997) was recognized because of search for beauty through slenderness or, Heinz Isler (1926-2009) by lightness of structures adapted to the terrain that seemed to emerge from it.

But there were places or environments where shortage of resources, such as absence of steel and cement, made use of reinforced concrete economically unachievable, so these same structural artists used local materials, such as fired clay. Proposals were multiple, depending on whether, or not, there was a tradition in the territory of constructing structural ceramic sheets.

Requirement of these engineers and architects was not to replace reinforced concrete with another material, but to use ceramics when rationality and, by extension, the efficiency of the construction process demanded it, working with one or another material interchangeably, or combining them creating hybrid structures.

This work will focus on two buildings where different techniques were used to make ceramic structural sheets, this is the New Church of the Assumption in Pont de Suert (Lérida, Spain, 1955), by the Spanish engineer Eduardo Torroja and the Parish of Christ the Worker and Our Lady of Lourdes, in Estación Atlántida (Canelones, Uruguay, 1961), by the Uruguayan engineer Eladio Dieste (1917-2000).

## 1. EDUARDO TORROJA AND ELADIO DIESTE.

When Eduardo Torroja built the sheets of the Pont de Suert church' roofs, he was already an eminent designer, structural calculator, builder, researcher, teacher, and manager, who had made his main structures in reinforced and prestressed concrete. Also, his innovative works were

internationally known as the spherical shell of diameter 47.76 meters and 9 centimeters thick of Algeciras Market<sup>1</sup> (Cádiz, Spain, 1933), the cantilevered sheets shaped liked a hyper that covered, and still cover, the stands of the Zarzuela Race Track<sup>2</sup>, (Madrid, Spain, 1934) or the cylindrical sheet with two asymmetrical hemispheres of Recoletos Alai Cour<sup>3</sup> (Madrid, Spain, 1935).

Before these large works, Torroja had had experience with laminar structures built with ceramic brick, such as foundations of the Sancti Petri Bridge in San Fernando (Cádiz, 1926) (Figure 1).

This bridge was one of his first works, given that Eduardo finished his studies as a civil engineer in 1923<sup>4</sup> and began to practice his career with the engineer José Eugenio Ribera<sup>5</sup>, professor at the School of Civil Engineering and founder of the Civil Hydraulic Construction Company<sup>6</sup>, even though it is possible find innovative solutions<sup>7</sup>.

---

<sup>1</sup> Built together with the architect Manuel Sánchez Arcas. Declared as Asset of Cultural Interest by the Andalusian Cultural Government (Conserjería de Cultura de la Junta de Andalucía) in October 25, 2001 as the best example of architectural Modern Motion in the region (*Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*, 2024).

<sup>2</sup> Built by the architects Carlos Arniches y Martín Domínguez. Works were finished in 1941 because they were paralyzed during de Spanish Civil War. The building was declared in 1980 a Historic-Artist Monument and an Asset of Cultural Interest in 2009. Also, was Draw Award in 2021 by the international organization Documentation and Conservation of buildings, sites, and neighborhoods of the Modern Movement (Docomomo) in the award category Preserved (*Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*).

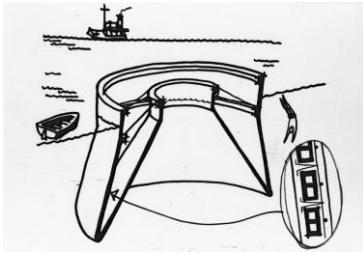
<sup>3</sup> Secundino Zuazo was the architect. It was considered the largest structure of its type built in Europe to date. It had a capacity for 2,300 spectators (*Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*).

<sup>4</sup> Eduardo Torroja entered Technical School of Civil Engineering in 1917, finished his studies in January 22, 1923 (Arredondo, 1977).

<sup>5</sup> José Eugenio Ribera Dutaste (1864-1936) was professor of Masonry and Concrete Bridges (*Puentes de fábrica y hormigón*) at Technical School of Civil Engineering.

<sup>6</sup> Was known as *Hidrocivil*. Founded by José Eugenio Ribera in 1899.

<sup>7</sup> From this first stage is also the Tempul Aqueduct (Cádiz (Spain) 1925-1927) where Torroja used prestressed concrete technique, whose development would have a notable influence (Arredondo (Arredondo, 1977).



a.



b.

Figure 1: Foundations of Sancti Petri Bridge in San Fernando (Cádiz, Spain, 1926).  
 a. Sketch of the solution shows shape and a small detail of how to build it; b. Construction of one of the foundation caissons. (Source: *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*)

Usually for bridges foundations, material chosen was reinforced concrete, but Torroja used a different hybrid system (Figure 1). This technique consisted of build a 7 cm thick sheet composed of a hollow brick *-rasilla<sup>8</sup>*-, covered by a reinforced concrete sheet with a thin steel reinforcement. Both sides were finished with a cement mortar render (Arredondo et al., 1977). The solution built combined with the projected shape, two concentric hyperboloids with a vertical axis (Figure 1), allowed to achieve an efficient and economical solution.

This way of building can be considered predecessor to the shell's roofs of churches of Pont de Suert Church (Torroja, 1962a) and Sancti Spirit Chapel, in the San Nicolás Valley (Torroja, 1962b), both in Lérida (Spain).

On the other hand, Eladio Dieste began his professional career as a professor at University of the Republic (Montevideo) in 1944, where he had recently finished his studies as a civil engineer. He simultaneously combined this job by building industrial warehouses, where he was looking for a better alternative to their roofs that included both shape and construction.

---

<sup>8</sup> It is an extruded terra-cotta bricks lightened with air cavities that measure roughly 28 cm long, 12.7 cm wide, and 2.55 cm thick. This name will be used throughout the entire text.

Generally, roofs of these warehouses were built in sawtooth with metal profiles, Dieste replaced this material with prefabricated concrete, given to the difficulty in supplying steel. But Dieste was also looking for an alternative in terms of shape in that would get a more competitive application. The idea was to project covers as reinforced concrete shells with moving molds, to shorten execution time and save on construction budget (Segundo & Coppetti, 1949).

Dieste also worked in the Highway Administration of the Uruguayan Ministry of Public Works -bridge projects-<sup>9</sup> and head of the technical section of the Architecture Office<sup>10</sup>, this office was part of the same ministry. In leadership these sections he analyzed and created structures of architectural projects, maintaining intense relationships with architects while trying to understand their points of view. This attitude helped him have a good reputation as a structural engineer who resolved architectural qualities. These years was when developed his relationship with the architect Antonio Bonet (1913-1989).

The assignment, that Bonet gave him in 1945, was calculation of vaults that were going to cover Berlingieri House in Punta Ballena (Department of Maldonado, Uruguay), the main material would be reinforced concrete. But after few meetings with the architect, he suggested to make roofs as shells built with ceramic brick. Bonet accepted the change, the reason for the suggestion was because they were cheaper.

Finally, the house was covered with lowered arch vaults. They were built/executed with a single layer/sheet of solid brick, sited flat, aligned in both directions, transversely and longitudinally, so that joints between bricks were continuous, they could be assembled, and the assembly was also continuous.

Since more than 90% of the resistant sheet were bricks, hardened and with known structural resistance, and mortar of the joints is a material to harden and acquire resistance quickly. Dieste realized that using both if vault were calculated and its supports, formwork molds could be removed in few hours. This implied significant economic savings by being able to reuse the same formwork many times and in the same workday. Furthermore, no qualified workers were needed, so all

---

<sup>9</sup> *Dirección de Viabilidad -proyectos puente- del Ministerio de Transportes y Obras Públicas*

<sup>10</sup> *Oficina Técnica de la Dirección de Arquitectura*

workers could carry out different types of work, achieving a continuous rate work.

In Berlingieri house these vaults were made for the first time, what years later Dieste would call reinforced ceramic, *cerámica armada*. This innovative system was a catenary guideline shell, built with ceramic pieces, where joints were assembled with mortar, additionally movement formwork systems were used.

After Berlingieri house he built several more works with this reinforced ceramic technology<sup>11</sup>.

In 1948 he started working at Viermond, S.A., a company specialized in unique foundations, Dieste focused his activity on designing and manufacturing machinery with means and resources existing in the country. Six years later, in 1954, he founded the company Dieste & Montañez, S.A.<sup>12</sup> with the purpose of building preferably with reinforced ceramics.

Dieste began this new stage, studying works executed in reinforced ceramics (Figure 2 b), allowing him to specify very quickly the technology that new system reinforced ceramic required.

Dieste created and used a collection of resistant forms based on nature laws, such as Gaussian vault. This type of vault is a resistant shape, which is made of a succession of catenary curves, these maintain same width, but height varies to longitudinal direction. So that they resist compression in both longitudinal and transverse directions. It is a shape that if designed to be executed in reinforced concrete, requires more steel and cement, auxiliary structures, specialized works, and longer

---

<sup>11</sup> For example Tacuarembó Club Assembly Room in Tacuarembó Department. In Historical Synthesis of Engineering in Uruguay (*Síntesis histórica de la Ingeniería en el Uruguay*), published in July 1949 (Segundo & Coppetti, 1949) an image in the construction phase of a shell that could be this work is provided.

Other shells built with similar technology were M.A.U.S.A. Cotton Mill (*Manufactura Algodonera Uruguay S.A.*) in Montevideo (1947), I.P.U.S.A. Paper Factory (*Industria Papelera Uruguay S.A.*) in Pando (Canelones Department (Uruguay), 1948), Talleres Gráficos Sur (no location, no date), and a service station in Colonia Department (Uruguay), where it is specifically indicated that it has used mobile formwork (Segundo & Coppetti, 1949).

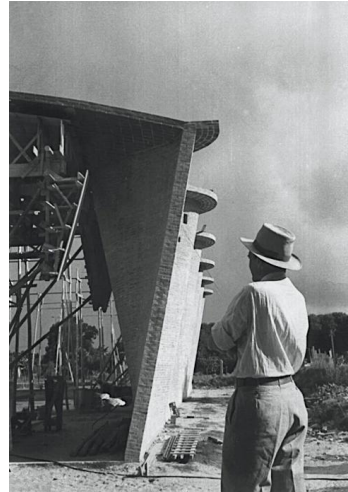
<sup>12</sup> Company was founded with his old classmate the engineer Eugenio Rolando Montañez (1916- ?).

construction times than other shell shapes. That is a non-competitive shell structure if material used is concrete.

Therefore, Gaussian vault became its preferred shape and developed the most, as analyzed in this study in Atlántida Church.



a.



b.

Figure 2: Two ways to approach design and calculation of ceramic resistant layers: testing scale reduced models, like Torroja, or measurement of deformations in full scale models, as Dieste did. a. Eduardo Torroja with models of the apse and the lobular panel of Pont de Suert Church; b. Eladio Dieste in front of Atlántida Church construction (Sources: a. *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*; (b) Dieste & Montañez File)

### 3. CHURCHES

In this section, the two churches are described in order to understand their overall layout.

#### 3.1. NEW CHURCH OF THE ASSUMPTION IN PONT DE SUERT, LÉRIDA, SPAIN, 1952 – 1955.

Pont de Suert Church (Figure 3) was built at request of National Hydroelectric Company of the Ribagorza river, better known by its acronym ENHER<sup>13</sup>. This company worked on building several dams in

---

<sup>13</sup> *Empresa Nacional Hidroléctrica del Ribagorza*. This company was promoted by the government to presenting projects to build several reservoirs and power plants to generate electricity, because basin of this river had not yet been exploited (Lérida City Council, 2024).

the Pyrenees, and Catalanian Pre-Pyrenees to take advantage of hydraulic resources of Noguera-Ribagorzana river.

Pont de Suert is a municipality that, due to its location, was expected to have a large increase in population. Thus, construction of new residential and services buildings on the outskirts was planned (Torroja, 1962a). Among necessary equipment, construction of a new church was planned (the name was New Asunción Church to differentiate from medieval church in the historic center)

The project was assigned around 1952 to the architect José Rodríguez Mijares (1910-1990), at that time Eduardo Torroja was president of ENHER.

The temple has a single nave with these general sizes: 32.95 m long and 13.56 m wide (Figure 4 a). The apse is clearly differentiated from the nave (Figures 4 a, 5a) as it is an independent volume. Apse plan is shaped like a pointed arch and is covered by a semicircular dome. While nave has a rectangular plan and is covered by pointed vaults that lean on niches that inside are little chapels (Figures 5 a, 5 b).

The entire façade uses the style of Roman-Gothic entrances, topped by a powerful cross (Figure 3a).



Figure 3: Pont de Suert Church. a. Outside general view; b. Inside general view, towards the altar. (Source: *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*)

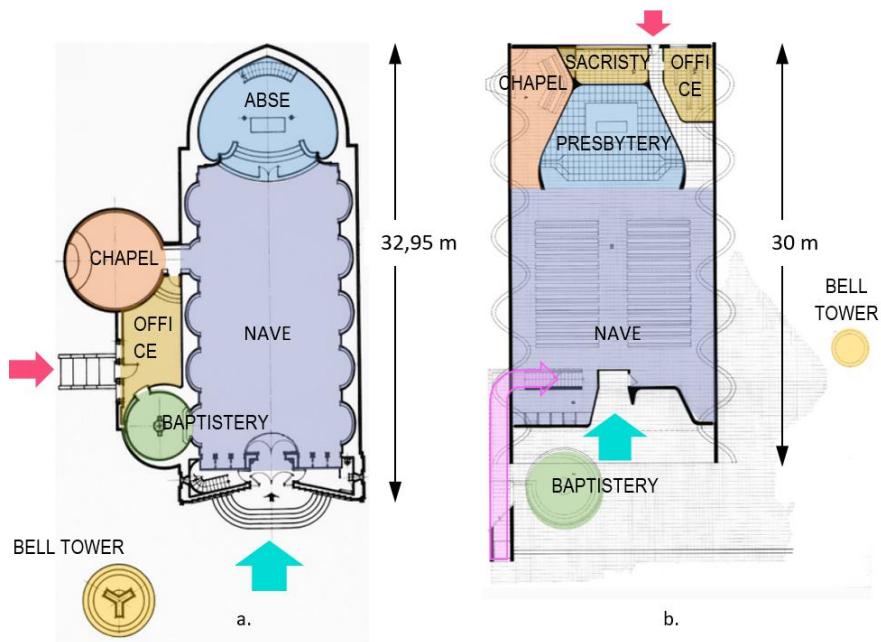


Figure 4: Ground plans. a. Pont de Suert Church; b. Atlántida Church (Source: a: *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*; b: Jiménez, 1996, p.152, uses identification and color own elaboration)

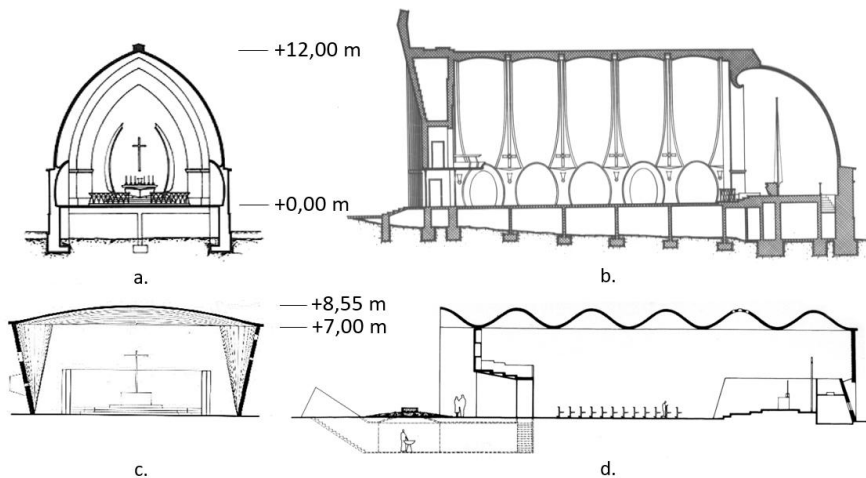


Figure 5: Pont de Suert Church: a. Cross section; b. Longitudinal section. Atlántida Church: c. Cross sección; d. Longitudinal sección. (Source: a y b: *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*; c y d: Jiménez, 1996, p. 152)

On the left side there are different volumes (Figures 3a, 4a): the baptistery at the beginning of the nave, which is cylinder-shaped and covered by a hemispherical dome. Second, *Santísimo Sacramento* Chapel, which is shaped like a pineapple. Both volumes are joined by a single-story element, which is used as a parish office, and has a separate access.

Vertical walls are made of ashlar masonry (Figures 8a, 10a, 10d) up to an approximate height of 12 m, they form the entire temple, baptistery, and parish office.

Technology used to cover vaulted spaces: apse, temple, baptistery, and *Santísimo Sacramento* Chapel, was a hybrid design solution. This solution related to using traditional construction systems such as *tabicadas*<sup>14</sup> vaults made with *rasilla*<sup>15</sup>. But they were covered on the outside with a layer of reinforced cement mortar. Ceramic pieces, in addition to their structural function, served as formwork for the concrete sheet. As seen in Figures 3, 4a, 5, 7 and 8, exterior volumes of the different parts of the church exactly are the same as the interior volume. There are no construction elements that mask them.

The isolated bell tower is to the left of the church. Figures 3a, 4a). The plant is Y-shaped, the sides are angles of 120°. It has a height of 16 m, and it is built with brick masonry.

To understand structural system used, it needs to be done from economic, social, and territorial context. To do this, the following circumstances must be considered:

### 3.1.1. Restrictions on use of iron in Spanish construction

On March 11, 1941, a Decree was published that included to restrict iron in Spain<sup>16</sup>, advising the replacement of metal structures with

---

<sup>14</sup> This adjective is due to the similarity that these vaults have in their execution with partitions built of brick, in Spanish called *tabiques*. This name will be maintained in Spanish throughout the entire text.

<sup>15</sup> As it is explained above it is an extruded terra-cotta bricks with air cavities that measure roughly 28 cm long, 12.7 cm wide, and 2.55 cm thick.

<sup>16</sup> It was in 1962 when limitations on use of laminated steel were repealed in construction, with the approval of the Standard of the Ministry of Housing (*Ministerio de la Vivienda*, M.V. 101/1962 *Acciones en la edificación*. D. 195/1963, January 17). In the preamble of this Standard, it is indicated that "The regularity and possibilities of the market for certain construction materials, especially iron, technical orientations and trends of building, and convenience of standardizing forecast of the projects to guarantee the interest and public safety, as well that of the interest

techniques based on “reinforced concrete with the minimum percentage of reinforcement and preferably on elements molded in the workshop or that require little formwork, or concrete deck, *tabicadas* vaults or wooden frames, depending on the materials available in the region in question” (Official State Gazette , 1941).

With this guide, construction with *tabicadas* vaults - which work under compression - was a solution that allowed not to use iron, given its lack of resources and quality and difficulty in its delivery<sup>17</sup>. Supporting this idea, the architect Luis Moya (1904-1990) published his book *Bóvedas tabicadas* (1947), where he called for building with this traditional system (Moya, 1947).

Even though *tabicadas* vaults were presented as ideal in the senses previously explained, due to the possibilities of their structural optimization, it was necessary that both building manager and workers had experience in their construction and were sufficiently qualified, also material used ceramic, and the plaster were of good quality.

Point out that after 1947 there was a change towards a more modern architecture, because of architects going abroad or participating in international conferences, but inertia of continuing to build with traditionalist architecture would continue to be maintained<sup>18</sup>.

### 3.1.2. Use of *tabicadas* vaults as a symbolic reference

Partitioned vault represented artisanal work - skill, trade -, the permanent and the eternal. But Torroja, by joining it with reinforced cement mortar, opened the way to technology. Tradition and modernity come together in the same construction system. Apart from symbolic, union of both techniques was a question of structural calculation, construction, and economics. Although the social-economic

---

parties, advises and justifies the corresponding regulation. As for corrugated Steel reinforcement for concrete, it was in 1961 when it began to be marketed in Spain (Azpilicueta, 2004).

<sup>17</sup> “...both politically and economically, construction with traditional methods was encouraged, procedures that became even more used in the period considered, since between 1947 and 1954 the Government froze prices of ceramic materials.”. (Azpilicueta, pp. 204-205)

<sup>18</sup> In the opinion of E. Azpilicueta, it was in the *I Feria del Campo* (Madrid, 1950) when the last official construction was carried out with a propaganda nature for this technique (Azpilicueta). For Miguel Fisac (1913-2006) obsolescence of the use of this technique came in 1954 (Azpilicueta).

circumstances of the country had been different, Torroja would have chosen this hybrid constructive solution.

### 3.1.3. Construction and territoriality

In 1926<sup>19</sup>, Torroja had already used a hybrid system for the foundation of the Sancti Petri Bridge, and this choice was because building in this way was more efficient and economical than others, so it was no stranger to carrying out to a similar solution.

Creation of *tabicadas* vaults with skilled masons, and with a direction that knew their execution, meant geometric control of the projected forms. Torroja was once again able to build his innovative double curvature in a very economy way. If these sheets had been designed with reinforced concrete, they would have required construction of expensive formwork and transportation of large quantities of cement and steel to a mountainous area that is difficult to access.

### 3.2. PARISH OF CHRIST THE WORKER AND OUR LADY OF LOURDES, IN ESTACIÓN ATLÁNTIDA. CANELONES DEPARTMENT. URUGUAY, 1958 - 1960.

Around 1952 Eladio Dieste was asked to build a simple vault to cover a space intended for what must had been a church (Dieste in Jiménez, 1996). He could not imagine that this commission would be the work that changed his life, and that he built one of the architectural religious landmarks of a secular country<sup>20</sup>.

Atlántida Station is located about 50 km from Montevideo, its name is due to the two nearby settlements in the area. One was developed by Atlántida Spa and a group of single-family houses, while the other was a settlement that arose around a small station on the railway line that linked Montevideo with Maldonado. The population in this area of the stop began to grow fast due to the demand for labor, both for service for the spa and for the construction of houses. Regularization for its urbanization began in 1913, becoming known as Atlántida Station<sup>21</sup> (Caraballo, 2017).

---

<sup>19</sup> See previous section number 2 of this paper, 2. Eduardo Torroja y Eladio Dieste.

<sup>20</sup> In 1918, Uruguay reformed its Constitution to definitively separate Church from Government, maintaining both society and government a tenacious secularism (Méndez, 2016).

<sup>21</sup> *Estación Atlántida*

In the Atlántida Station area, a small chapel was built, which was also used as a workers' social headquarters. At the end of 1949, the town of Atlántida - it had two areas, the spa, and the station - was given status of Parish, so a commission was created to manage the construction of a parish hall, to dedicate the old chapel only a temple. The project was assigned to Mario Bonaldi, a local builder. A year later the commission changed the idea and planned the construction of a new church. Suggestion was presented to the *Curia* at the beginning of 1952 (Mendez, 2016; Caraballo 2017) and it was accepted. Bonaldi did not want to continue with the new temple project and presented to the commission to Eladio Dieste as his successor.

For its architect, this church was an experimental building in several points of view. On a personal level because it was his first work in which he is architect, engineer, and builder. But, above all because this construction was his first church, there he explored and concretized his belief in the Catholic religion<sup>22</sup>.

Externally it is a box where side walls, facades and roof are a skin that shows us how the church has been built (Figures 4b, 5c, 5d, 6a, 6b). Internally, the space shows the entire interior of the box, since the slender undulating sheets can define a single volume, because the spaces necessary for the liturgy are open at the top, allowing a complete view of the space (Marín, 2021).

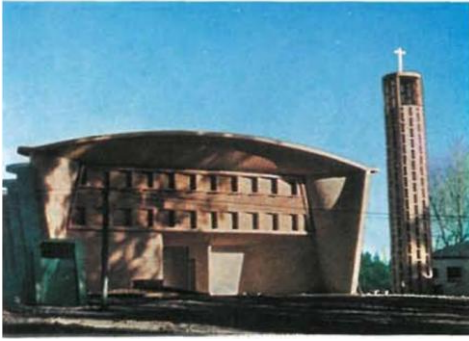
The roof is built of five and a half Gaussian vaults, this half vault acts as an atrium and to protect the main façade of the temple (Figure 4b, 5d, 6a).

The ground floor of the church is rectangular<sup>23</sup>, measuring 30 m long by 16 m wide (Figure 4b).

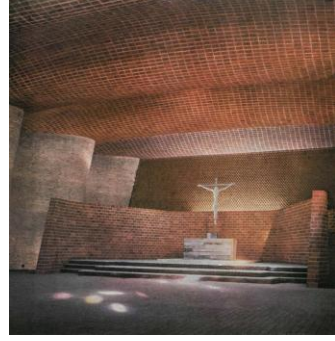
---

<sup>22</sup> Dieste had grown up in a secular environment, converting to Catholicism as an adult, since he received Baptism in 1944 (Caraballo, 2017).

<sup>23</sup> In the first sketches, drawn by Dieste for Atlántida Church, predominated parabolic profiles, curved walls and undulating roofs formed by vaults of different sizes, that reminiscent Pampulha Church by Oscar Niemeyer. The reason was because in the 50s of XX century Niemeyer Works had become an inevitable reference of modernity in Uruguay. San Francisco de Assis Church built for the architectural complex of Pampulha in Bello Horizonte (Brazil, 1942) was a paradigm of the integration of the plastic arts and their environment (Marín, 2021).



a.



b.

Figure 6: Atlántida Church<sup>24</sup>. a. Outside general view; b. Inside, presbytery view Interior. (Source: Dieste, 1961)

Presbytery is integrated into the church's nave (Figure 6b). To the left of presbytery there is a daily chapel dedicated to the Virgin of Lourdes, with access from the nave. Sacristy is located behind presbytery. In front of sacristy there is parish office. At the end of the nave, there are confessionals and exit to the baptistery (Figure 4b).

Baptistery is on the east side of the temple and buried underground, it is an isolated volume. Access is from outside through a staircase, whose entrance has shape as a triangular prism (Figures 4b, 5d, 6a).

Bell tower is a cylinder 3 m in diameter and 15 m high. It is built of fourteen pillars. These buttresses are connected transversely by crossbars that correspond to the interior steps of the bell tower; they are placed in a spiral.

#### 4. VAULTS *TABICADAS*, HYBRIDS AND GAUSSIANS.

This section provides a detailed explanation of the functioning and construction of the different vaults used by Torroja and Dieste, as well

---

<sup>24</sup> At the end of 1959, staff from the *Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento*, directed by engineer Eduardo Torroja- visited Atlántida Church, being so impressed by its construction that they asked him to write an article, although it was not finished, from *Informes de la Construcción* which was the journal that the Technical Institute published. Dieste delivered his paper almost a year and a half later in January 1961. Based on the article published by *Informes* important journals would also publish this church as *L'Architecture d'Aujourd'hui*, *The Architectural Review*, *Kokusai Kentiku* or *Progressive* (Marín, 2021).

as the formwork systems designed to optimize the construction of both churches.

#### 4.1 NEW CHURCH OF THE ASSUMPTION IN PONT DE SUERT, LÉRIDA, SPAIN, 1952–1955.

The basis of *tabicadas* vaults is quality of materials used and good qualified labor<sup>25</sup> (Moya, 2024; Fr. L, S Nicolas, 1639; Bassegoda, 1957).

Vaults could be built by a single layer of ceramic pieces, *rasillas*, which was called *sencillado*, or by several layers of same material placed on top of it, which were called *doblados*. *Rasillas*, as explained in previous sections, are small and light pieces so they can be held with one hand and placed safely and firmly.

First layer, the *sencillado*, remained in the air during its assembly, so final shape was as similar to the projected shape as worker's skill. This kind of work was possible because *rasillas*, placed flat, were joined with plaster that hardened quickly. As it is possibly imagining, *sencillado* served as formwork for the rest of the other layers that were placed on top of it, the *doblados*.

In the *doblados* ones, thicker bricks or the same *rasilla* used for the *sencillado* layer could be used. These pieces were moistened with water before joining them with cement or lime; it was essential that joints of the pieces between the different layers did not coincide with each other. They had to be moved one with another, and quick-setting mortar had to be placed between the different sheets of bricks (Truñó, 2004). Final thickness of all sheets was approximately 7 cm if vaults were three layers, and 10 or 11 cm if they were four layers (Figure 9b).

In large constructions, light steel triangulated structures, fixed or mobile, were used with the aim of defining singular lines, for example, meridians and parallels in spherical caps, or domes (Figures 10c, 10d).

---

<sup>25</sup> Regarding the importance of bricklayers, Ángel Truñó expresses himself in this way (Truñó, 2004, p. 193): “The bricklayer has acquired by tradition and by practice of the trade a series of ideas and knowledge, some correct, others erroneous, which, aiding his manual skill, allow him to build all types of vaults with great simplicity and safety. He has observed that effectiveness of the partitioning lies in the existence of a minimum of two thicknesses of *rasilla* or brick and only admits vaults of a single thickness (even reinforced with strips on the upper surface) when it comes to vaults without a resistant function”. This explanation of the figure of masonry worker is very interesting because of active contribution to the issue of stability in this kind of vaults. They were giving their opinion and even made structural decisions, being more than a brick worker.

How it is known, main lines were marked to facilitate the work of the master or official who executed the vaults.

In Pont de Suert Church there are four vaulted structures, basis of which are the *tabicadas* vaults.

#### 4.1.1. Vaults of the nave and apse

There are ten vaults, five located on the Epistle side (right side looking towards altar) and another five vaults, symmetrical to the previous ones, located on the Gospel side (left side) (Figure 5a, 5b, 8b). Vaulted laminated are lobes with increasing transverse curvature from the highest point to the points where they arise, where they are joined with ellipsoid-shaped half-vaults (Figure 5a, 5 b, 7b).

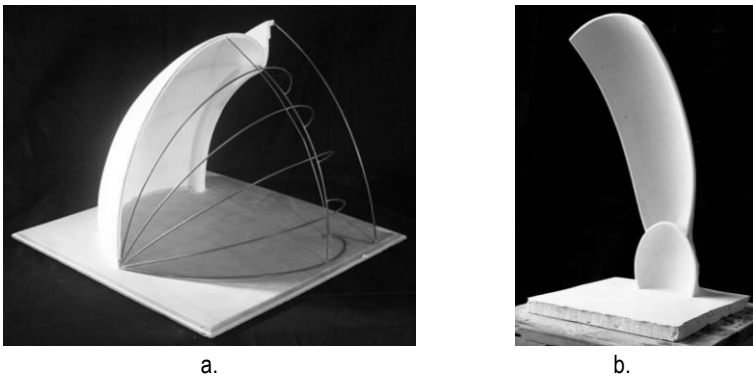


Figure 7: Pont de Suert Church. a. Apse vault model; b. Nave vault model. (Source: *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*)

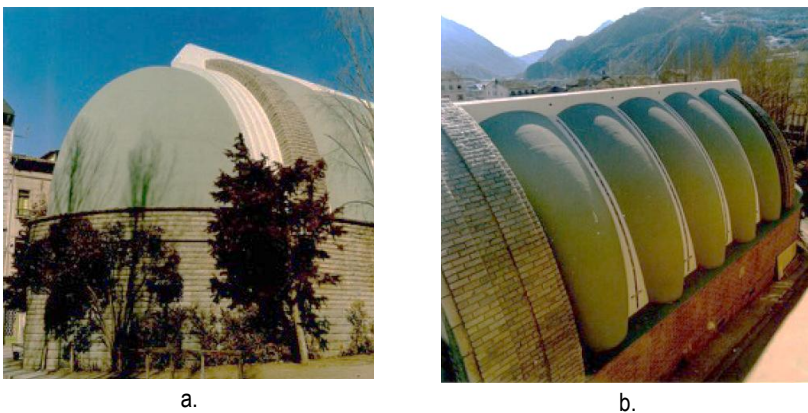


Figure 8: Pont de Suert Church. a. Outside apse view; b. Outside nave vaults view. (Source: *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*)

A longitudinal reinforced concrete beam was placed at the upper intersection of all lobes (Figure 8b, 8c). Its purpose was double: to harden and to increase the own weight of the crown, so that funicular of forces on the sheets approached the ogival guidelines of sheets.

But an accurate coincidence was not achieved, so local bending occurred, and therefore different stresses in the cross section.

Thus, if a strip limited by two nearby cross sections was considered, it was supporting flexural strength and required steel elements to resist any traction that could occur (Arredondo et al., 1977). This steel was placed as reinforcement within the layer of cement mortar with which it covered the entire surface of the lobes.

So that this sheet of cement mortar did not crack due to the material's own shrinkage and temperature differences, another reinforcement was placed independent of the main reinforcement (Figure 9). This independent reinforced was hexagonal wire mesh, commonly known as chicken wire.

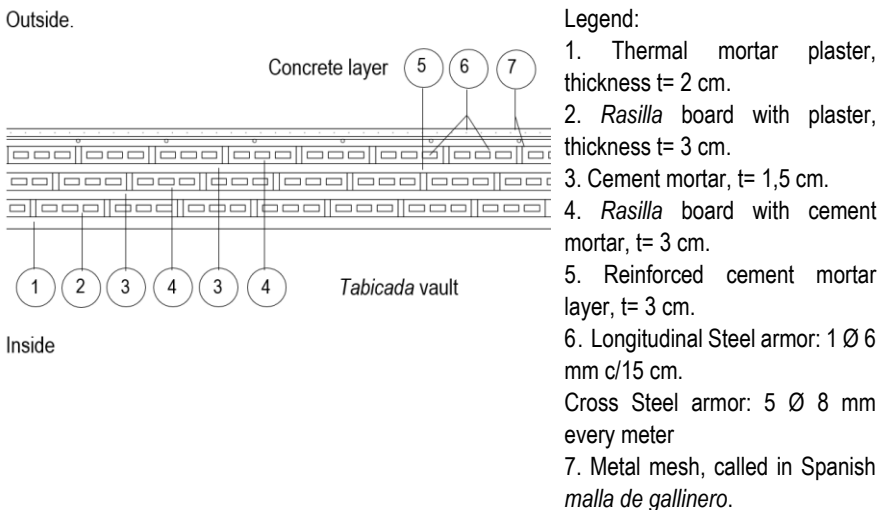


Figure 9: Lobes' cross section (Source: original work A.M. Marín)

In each lobe, the curvature of the cross section decreases from the beginning to the key, and therefore, the chord of the section varies inversely, that is, it increases as it approaches the top. This means that each two contiguous lobes there are curvilinear triangles, in which pressed glass tiles were placed to allow natural lighting of the interior

(Figure 3b). These segments serve to rigidify the edges of the laminar lobes and their stability to buckling (Arredondo et al., 1977).

Apse is designed a dome whose section is a logarithmic spiral whose pole is in the arch that builds entrance of the apse into the nave. Its plan recalls the cross section of the church (Figure 4a).

#### 4.1.2. *Santísimo* Chapel and Baptistry

The *Santísimo* Chapel is a dome that grows from the ground in the shape of an egg. It has a circular plan; its interior diameter is 6.95 m and it height is 7.31 m. It is piercing by holes, that are closed with glass tiles to let in natural light.

Baptistry is a cylinder with a circular base, its interior diameter is 4.80 m and is covered by two superimposed hemispherical caps. Exterior has openings around its base for the entry of natural light. On the inside it is open in the central part so that light enters through this central oculus. Construction solution used to create vaults of both rooms was the same hybrid solution as for vaults of the main nave (Figure 10).

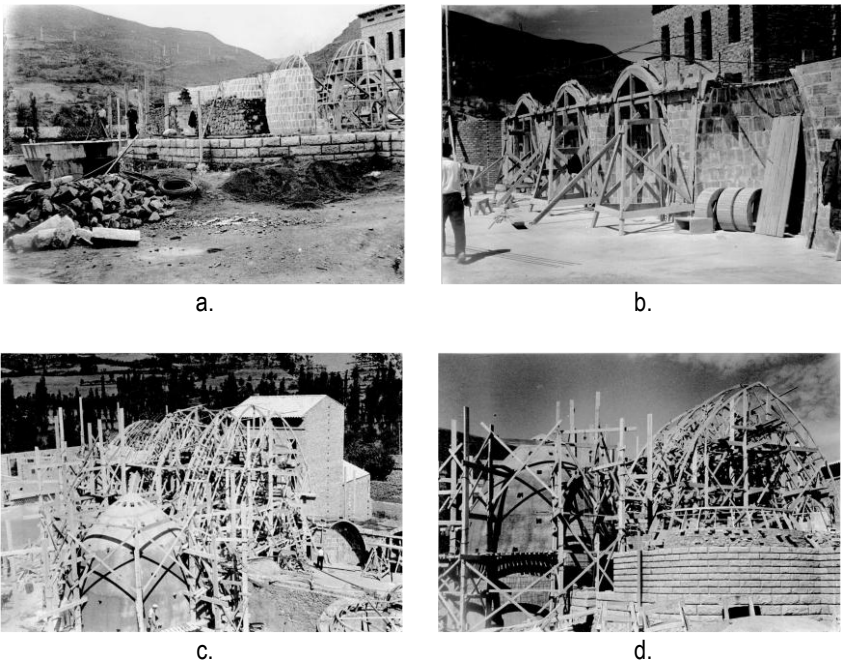


Figure 10: Pont de Suert Church. a y b. Lateral nave chapels construction, views from outside and inside respectively. c y d. Main nave construction. (Source: *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*)

## 4.2. GAUSSIAN VAULTS.

When you want to increase width of a shell, problem is not in the tensions due to its own weight, but in the inevitable flexural prission and risk of buckling. Solution to solve flexural and buckling issues is to increase the rigidity of the vault, this is achieved by making waves in the shell.

Gaussian vaults, as described in previous sections, are sheets of double curvature, in which cross section is a catenary and longitudinal section is obtained by moving that catenary along a line, keeping width of the catenary fixed, but catenary's height it varies.

Dieste projected his vaults together with the support elements - pillars or walls - and with a detailed work schedule. For this reason, before explaining vaults, it is necessary to describe where they start from, in this project specifically, from curved walls.

### 4.2.1. Supporting curved walls of the vaults

In the case of the Gaussian vaults of this church, side walls were made 7 m high and were designed as a succession of conoids with a straight guideline at ground level and wavy at the top (Figures 5c, 5d). Wave is formed by a parabola and two half-parabolas.

Thickness of the wall is 30 cm, formed by two half-foot brick walls and an intermediate 6 cm air chamber, walls are not joined together.

Exterior wall was plastered in its inside surface. In mortar of horizontal joints, between bricks, two Ø 3 mm steel bars were left inside mortar every three joints, to give it constructive unity.

Wall was attached to the top of the foundation piles and a mixed beam (bricks, concrete, and steel) was built on the top of the wall to absorb strengths of vault and act as an eaves.

### 4.2.2. Gaussian vaults of the church

In the project of the Atlántida Church, when using curved walls, width of the vaults varies, average width is 16 m, and maximum width being 18.80 m. Height changes from 7 cm to 147 cm, making wave valley almost horizontal (Figures 11 and 12). Due to this circumstance, tensioners that resist strengths of vaults were incorporated within thickness of the sheet (Figure 13), that is, they are hidden and cannot be seen.

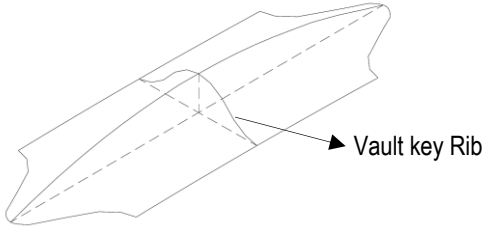
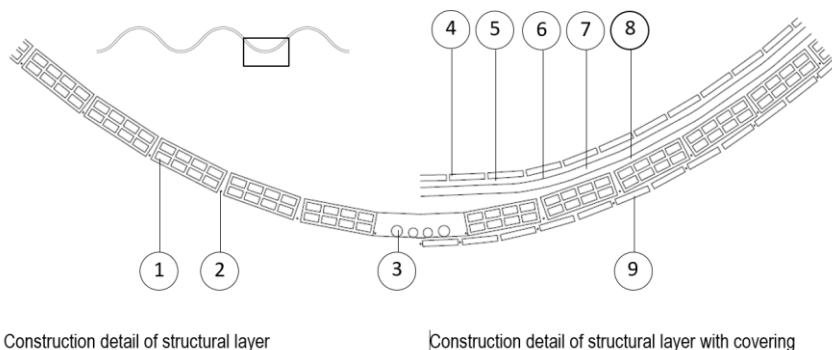


Figure 11: a. Gaussian vault (Source: own elaboration A.M. Marin)

Ribs	Heights (m)												
<b>0.00 key</b>	0.070	0.089	0.148	0.245	0.381	0.556	0.770	0.984	1.159	1.295	1.392	1.451	1.470
<b>1.00</b>	0.069	0.087	0.145	0.240	0.373	0.546	0.757	0.969	1.143	1.279	1.375	1.434	1.453
<b>2.00</b>	0.064	0.081	0.135	0.224	0.351	0.515	0.718	0.924	1.096	1.230	1.326	1.384	1.404
<b>3.00</b>	0.056	0.071	0.118	0.198	0.313	0.463	0.653	0.850	1.016	1.148	1.243	1.301	1.320
<b>4.00</b>	0.044	0.057	0.096	0.162	0.259	0.391	0.562	0.746	0.905	1.034	1.126	1.185	1.204
<b>5.00</b>	0.030	0.038	0.066	0.115	0.191	0.298	0.445	0.611	0.763	0.997	0.977	1.035	1.054
<b>6.00</b>	0.012	0.016	0.030	0.058	0.107	0.185	0.302	0.448	0.588	0.706	0.794	0.852	0.871
<b>6.60</b>	0.000	0.001	0.005	0.019	0.050	0.107	0.203	0.334	0.468	0.584	0.668	0.725	0.744
<i>Partial distances (m)</i>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
<i>Total distance (m)</i>													3.000
Ribs	Heights (m)												
<b>7.10</b>	-	-	-	-	0.000	0.037	0.115	0.233	0.360	0.473	0.555	0.612	0.631
<i>Partial distances (m)</i>	-	-	-	-	0.00	0.235	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
<i>Total distance (m)</i>													1.985
Ribs	Heights (m)												
<b>7.60</b>	-	-	-	-	-	0.000	0.019	0.123	0.243	0.353	0.433	0.489	0.509
<i>Partial distances (m)</i>	-	-	-	-	-	0.00	0.08	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
<i>Total distance (m)</i>													1.580
Ribs	Heights (m)												
<b>8.10</b>	-	-	-	-	-	-	0.00	0.007	0.119	0.226	0.303	0.359	0.378
<i>Partial distances (m)</i>	-	-	-	-	-	-	0.00	0.02	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
<i>Total distance (m)</i>													1.270
Ribs	Heights (m)												
<b>8.60</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	0.089	0.164	0.219	0.240
<i>Partial distances (m)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.22	0.25	0.25	0.25
<i>Total distance (m)</i>													0.970
Ribs	Heights (m)												
<b>9.10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.018	0.072	0.092
<i>Partial distances (m)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.075	0.25	0.25
<i>Total distance (m)</i>													0.575

Figure 12: Atlántida Church. Gaussian vault. Mold rib geometry (Source: own elaboration A.M. Marin)



1. Hollow ceramic piece, *ticholo*. Dimensions 25 x 25 x 8 cm.
2. Cross Steel reinforcement, 1  $\text{\O}$  3 mm c/25 cm, in each mortar joint.  
Longitudinal Steel reinforced, 1  $\text{\O}$  8 mm c/25 cm, in each mortar joint.  
Portland cement mortar joints.
3. Steel turnbuckles, 2  $\text{\O}$  38 + 2  $\text{\O}$  32
4. Solid ceramic piece, *tejuela*. Dimensions 12 x 25 x 2 cm.
5. Light mortar layer.
6. Asphalt layer with glass wool.
7. Mortar layer with expanded metal.
8. Lightened mortar layer.
9. Solid ceramic piece, *tejuela*. Dimensions 12 x 25 x 2 cm.  
Portland cement mortar joints, thick 1,5 cm.  
Reinforced in both directions, each 25 cm.

Figure 13: Atlántida Church. Construction detail, longitudinal section of the valley area of a gaussian vault. (Source: own elaboration A.M. Marín)

These tensioners were anchored to the eaves-beams. For construction of structural sheet, a hollow ceramic piece, called *ticholo*, measuring 25 cm x 25 cm and 8 cm thick, was used. Transverse reinforcement of 1  $\text{\O}$  3 mm or 6 mm was placed in transverse joints and  $\text{\O}$  8 mm in longitudinal ones.

Transverse reinforcement served to resist flexural strength. Longitudinal reinforcement was planned to give continuity to the sheet, since as vault was formed longitudinally by catenaries of different heights, its structural behavior varied from one to another, this causes stresses to which they are subjected and their deformations to vary, in specifically, shortenings.

Dieste finished vaults he built with a layer of cement mortar that he reinforced with an electro-welded grid. Reinforcement ensured that

mortar layer did not crack due to material contraction or temperature changes and behaved as an elastic unit in the face of concentrated loads. Its function was to provide a continuous finished and collaborate, together with the waterproofing - lime paint or synthetic rubber - in the finish of the vault.

Vaults of this church were not built as previously indicated, which was the general rule, but were finished with solid ceramic pieces, tiles, measuring 25 cm x 12 cm and 2 cm thick (Figure 13). Internally, so that inevitable cuts of the *ticholos* were not visible, intrados of the vaults were also covered with tiles, reinforcements were placed in the mortar joints (Figure 13).

#### 4.2.3. Mobile formwork

If a construction detail of the structural sheet is examined (Figure 13), predominant product is ceramic piece (the *ticholo*), representing approximately 94% of the total volume, remaining 6% is joint mortar.

As mortar for joints is a material that can harden in hours, when it hardened and even without having the final resistance, if the shell achieved sufficient rigidity, it could be demolded. This is possible because in transverse direction vaults worked supported by its weight, and in longitudinal by the reinforcements placed in this direction, that is, ceramic pieces are joined together by compression produced by gravity.

As critical load was proportional to elasticity modulus and inertia moment, although joints were not fully hardened, they worked as semi-joints. On the other hand, to achieve the necessary stability of the assembly to buckling, it was necessary to increase the moment of inertia and modulus of elasticity of the sheet, which were low; the wavy shape made this increase possible (Dieste & Montañez, 1985; Dieste, 1985).

Each Gaussian vault worked together with its support elements, so that during its execution each vault with its wall could be built independently and once finished all the vaults worked together.

This allowed a mold to be used that was moved when each of the vaults was finished.

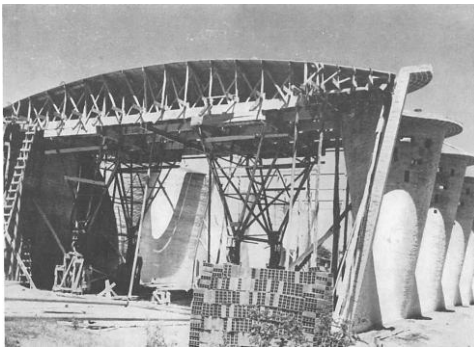
The time to remove the mold varied depending on its size and the available labor; in this church it was one day.

Formwork was a mechanism designed by Dieste, easy to assemble, disassemble and move by the same workers who built vaults. Width of mold corresponded to the width of the church, length to width of the vault (Figure 14a).

Mobile formwork of the Atlántida church was divided into two parts (Figure 14a):

- Lower part was a metal frame, with two three-dimensional towers<sup>26</sup>, these towers had a mechanism to go up or down the mold. Its lower part ended in wheels that moved on rails.
- Upper part was a wooden mold that had the precise shape of the vault, supported on a wooden frame, and this was supported on already explained metal frame.

When vault was being built, mold served as a work platform for all workers who worked on it. Once mold was gone down, it served as support for the workers to finish the surfaces of the intrados of the vault (Figure 10 b).



a.



b.

Figure 14: Atlántida Church. Construction. a. Mobile mold; b. Workers improving the finish of mortar joints on the inside surface of vaults (Source: Dieste, 1961).

Workers were local, unskilled; even if you wanted to, you couldn't have specialized personnel because both armed ceramics and construction procedures were new. As production increased, those most advanced workers, capable of having a global understanding of work to be carried out, remained as construction managers.

---

<sup>26</sup> Reusable for other works, which increased in complexity depending on the vault type

Apart from construction manager, there was no differentiation of works, each one could do any work, since they were not specialized, depending on their skills they did one or another.

Dieste made work methodical, making complicated things easy, such as: placing the formwork, kneading mortar, laying bricks, placing reinforcement, filling the joints, etc., always at the same rhythm. Workers were simply required to have discipline, organization, and a sense of duty; these qualities could be found amply in the Figure of this engineer who participated directly in hiring of each one of them and guided them during construction process.

## 5. CONCLUSIONS

*Tabicadas* vaults are a traditional construction system consolidated in Spain.

These vaulted surfaces are ideal for covering spaces due to their mechanical capacity, their ability to be improved, the ease of accurately reproducing the projected shapes, and the no need to use expensive formwork.

By combining them with other materials such as concrete, cement mortar or steel, it allowed architects and engineers, such as engineer Torroja, to develop innovative, slender, and expressive structures that covered large spaces in an economical and efficient way.

There were also territories where this vaulted solution was not part of their cultural heritage. In these regions, designers, and builders, such as the engineer Dieste, found innovative native alternatives to the technology of reinforced concrete and prestressed concrete, such as reinforced ceramics.

The solutions found by both engineers to cover their spaces are different, although they have components in common, such as the use of fired clay pieces, or an extensive knowledge of the technologies of reinforced and prestressed concrete, which they used in their territories.

A current review of the materials and techniques used in the ceramic structural slabs of the churches studied in this work (churches of Pont de Suert and Atlántida), and the growing current interest in the use of low-energy incorporated materials, lead us to reflect on the rationality of the procedures used and the advisability of continuing to study them and highlight them.

## REFERENCES

- ARREDONDO, F., BENITO, C., ECHEGARAY, G., NADAL, J., PÁEZ, A., DEL POZO, F. (1977). *La obra de Eduardo Torroja*, Instituto de España.
- AZPILICUETA, E. (2004). *La construcción de la arquitectura de postguerra en España (1939-1962)* [Doctoral thesis, Escuela Técnica Superior of Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid]. DOI: 10.20868/UPM.thesis.23197.
- BASSEGODA, B. (1957). *Bóvedas tabicadas*, 178. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Patronato “Juan de la Cierva” de investigación Técnica, Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento.
- CARABALLO, C. (Coord.). (2017). Iglesia de la Parroquia de Cristo Obrero y Nuestra Señora de Lourdes. Estación Atlántida, Uruguay. Ingeniero Eladio Dieste Saint Martin, Plan de Conservación y Manejo. Ministerio de Educación y Cultura, Comisión del Patrimonio Cultural de la Nación, Intendencia de Canelones, Uruguay. [https://www.getty.edu/foundation/pdfs/kim/comision\\_del\\_patrimonio\\_cultural\\_de\\_la\\_nacion\\_management\\_plan.pdf](https://www.getty.edu/foundation/pdfs/kim/comision_del_patrimonio_cultural_de_la_nacion_management_plan.pdf)
- DIESTE, E. (1961). Iglesia en Montevideo. Templo parroquial de Atlántida. *Informes de la Construcción*. 13 (127), 43-56. DOI: 10.3989/ic.1961.v13.i127
- DIESTE, E. MONTAÑEZ, (1985). *Bóvedas arco de directriz catenaria en cerámica armada*, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe ROSTLAC.
- DIESTE, E. (1985). *Pandeo de láminas de doble curvatura*, Ediciones de la Banda Oriental, S.R. L.
- FR. L. S NICOLAS. (1639). *Arte y Uso de Arquitectura*, Facsimile edition of the Spanish Society for the History of Building, Madrid. Retrieved February, 23, 2024 from [https://www.sedhc.es/biblioteca/tratado.php?ID\\_pubD=27](https://www.sedhc.es/biblioteca/tratado.php?ID_pubD=27)
- INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA, EDUARDO TORROJA: VIDA, OBRA Y LEGADO DE UN GENIO. OBRA CONSTRUIDA. (2024). <https://www.ietcc.csic.es/informacion-general/historia/eduardo-torroja-vida-obra-y-legado-de-un-genio/obra/obra-construida>.
- JIMÉNEZ, A. (1996). *Eladio Dieste 1943-1996*, Catalogue of the travelling exhibition organised by the Directorate General for Architecture and Housing of the Department of Public Works and Transport of the Andalusian Regional Government, Junta de Andalucía.

- LÉRIDA CITY COUNCIL. HYDROELECTRIC HERITAGE. Retrieved April, 28, 2024 from <https://patrimonihidroelectric.paeria.cat/es/patrimonio-hidroelectrico>
- MARÍN, A. (2021). *Eladio Dieste, forma y estructura. La creación de un nuevo material: la cerámica armada* [Doctoral thesis, Universidad de Alcalá]. Universidad de Alcalá. <http://hdl.handle.net/10017/50789>
- MÉNDEZ, M. (2016). *Divinas Piedras. Arquitectura y catolicismo en Uruguay 1950-1965*, Ediciones Universitarias Communication Unit of the Universidad de la República, Montevideo, Retrieved February, 24, 2024 from [https://www.academia.edu/35611675/Divinas\\_Piedras\\_Arquitectura\\_y\\_catolicismo\\_en\\_Uruguay\\_1950\\_1965\\_Mary\\_M%C3%A9ndez\\_.pdf](https://www.academia.edu/35611675/Divinas_Piedras_Arquitectura_y_catolicismo_en_Uruguay_1950_1965_Mary_M%C3%A9ndez_.pdf)
- MOYA, L. (1947). *Bóvedas tabicadas*. Dirección General de Arquitectura, Ministerio de la Gobernación. Retrieved March, 23, 2024 from <https://oa.upm.es/38027/>
- NUDELMAN, J. (2015). *Eladio Dieste (1917-2000)*, in: M. Arana, L. Garabelli, J.L. Livni, Interviews, Special edition, Book 2, Institute for the History of Architecture, Faculty of Architecture, Design and Urbanism, Universidad de la República, Montevideo, pp. 186-223.
- OFFICIAL STATE GAZETTE, *Boletín Oficial del Estado BOE*, No. 71 of 12 March 1941, pp. 1766-1767.
- SEGUNDO, EG., & COPPETTI, M. (Coords.). (1949). *Síntesis Histórica de la Ingeniería en el Uruguay*, 1st Pan-American Congress of Engineering. Rio de Janeiro, 14-24 July 1949, Association of Engineers of Uruguay.
- TORROJA, E. (1962a). Iglesia de Pont de Suert. *Informes de la Construcción*. 14 (137), 59-70. DOI: 10.3989/ic.1962.v14.i137.4933
- TORROJA, E. (1962b). Sancti Spirit. *Informes de la Construcción*. 14 (137), 71-74. DOI: 10.3989/ic.1962.v14.i137.4934
- TRUÑÓ, A. (2004). *Construcción de bóvedas tabicadas*. Instituto Juan de Herrera.

# DETERMINACIÓN DE LA DIFERENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN DEL AGUA DE UNA PISCINA, EN FUNCIÓN DEL COLOR DEL REVESTIMIENTO DEL VASO

---

JORGE A. ALIENDRE PÉREZ  
*Piscinas OYC S.L.*

SANDRA MOYANO SANZ  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

AMPARO VERDÚ VÁZQUEZ  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

TOMÁS GIL LÓPEZ  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

MERCEDES VALIENTE LÓPEZ  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

## RESUMEN

En este trabajo se analizan y comparan los resultados obtenidos en los ensayos realizados, referidos a la determinación de la diferencia de temperatura del agua en función del color del revestimiento del vaso de una piscina y la velocidad de evaporación de la misma. Para ello, se fabrican dos prototipos de piscinas, en tamaño reducido, donde la única diferencia entre ellos es el color del material que compone el acabado interior. Por lo tanto, en igualdad de condiciones y en espacio abierto, podemos cuantificar el incremento de temperatura del agua entre una piscina blanca y otra negra, según los datos obtenidos en la lectura del dispositivo. Igualmente, se comprueba la velocidad de pérdida de agua por evaporación provocada en cada uno de los casos y cómo se produce un equilibrio térmico entre el agua y el material porcelánico.

## PALABRAS CLAVE

*Temperatura del agua, Evaporación del agua, Piscinas sostenibles, Absorción de calor, Ensayo de colorimetría.*

## INTRODUCCIÓN

La temperatura del agua de una piscina es un factor clave para garantizar el rango de confort de la misma, aunque este dato es muy relativo porque depende de las condiciones ambientales y de la tolerancia térmica de cada persona. En el caso de los bebés, la temperatura del agua debe ser lo más parecida a la temperatura corporal, al igual que sucede con las personas de movilidad reducida. Según el Real Decreto 742/2013, de 27 de septiembre, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de las piscinas, la temperatura del agua ideal debe estar entre los 24°C y los 30°C.

En función del uso que se le vaya a dar a la piscina, se elige una temperatura u otra, en el concreto, nadar a temperaturas muy elevadas provoca deshidratación, cansancio excesivo y desequilibrio hídrico debido al aumento de la sudoración. En cambio, cuando el agua está muy fría, el cuerpo experimenta un proceso de termorregulación que puede desembocar en una hipotermia, como ocurre en las personas de mayor edad.

Por lo tanto, conseguir una temperatura adecuada del agua, no solo conlleva a una sensación de bienestar, sino que, además ofrece la posibilidad de alargar la temporada de baño durante un periodo de tiempo.

El origen de las piscinas surge de la necesidad de acercar las zonas de agua natural a aquellos lugares que carecen de ella y, por lo tanto, se busca una alternativa para bajar la temperatura corporal en los meses y zonas más calurosas. Por otro lado, existe la función deportiva originaria de la Antigua Roma, donde se creaban piscinas para el “natatio”, las cuales fueron evolucionando en lugares de ocio y disfrute de las clases altas de la sociedad. Actualmente, en nuestro país, existen más de 1,2 millones de piscinas, 1 por cada 37 habitantes, siendo Madrid el municipio que cuenta con el mayor número de ellas. Esto es debido a la distancia que le separa de la zona costera más próxima y a la densidad de población.

Hoy en día, es muy común la construcción de piscinas personalizadas de uso privativo en viviendas unifamiliares, por lo tanto, se trata de un mercado en continuo crecimiento, ya que el cliente, cada vez, es más exigente. Pero sin duda, uno de los mayores avances en el diseño de las piscinas actuales es la variedad de equipamientos dis-

ponibles, los materiales innovadores empleados y, por supuesto, la alternativa a los colores tradicionales.



Figura 1: Piscina con acabado interior color negro. Fuente: Piscinas OYC

En concreto, la piscina de color negro es la novedad estética por excelencia, la cual cumple la función de integrarse perfectamente en el medio paisajístico durante todo el año, alcanzando un efecto natural, al tiempo que aporta elegancia y sofisticación al entorno, y considerándose el color más sufrido. Cabe destacar que, una de las ventajas más notorias de las piscinas negras es el incremento de la temperatura del agua debido al principio científico de refracción, donde explica por qué los colores claros reflejan la luz, mientras que los oscuros la absorben. Asimismo, y atendiendo al mismo principio, las piscinas de color blanco se utilizan en zonas más calurosas, donde la temperatura del agua es más estable, además por el efecto de dispersión de Rayleigh, el agua siempre tenderá a ser azul.

A parte del color elegido para el revestimiento del vaso, existen multitud de factores que determinan la temperatura del agua de una piscina, como es la ubicación, la orientación, la franja horaria, el viento, la temperatura ambiente, el uso, la afluencia, la geometría, las proyecciones de sombra de los elementos colindantes, el material con el que esté fabricada y su transmitancia térmica con el terreno, etc.



Figura 2: Piscina con acabado interior color blanco. Fuente: Piscinas OYC

En este caso, se realiza un estudio para cuantificar el porcentaje de absorción de calor de una piscina según los colores elegidos para el interior del vaso, la velocidad de evaporación de agua y qué otros factores influyen directamente.

## 1. OBJETIVOS

Este estudio trata de realizar los ensayos pertinentes para determinar la diferencia de la temperatura del agua y la velocidad de evaporación, en función del color del revestimiento del vaso de una piscina, y poder cuantificar ambos parámetros, en igualdad de condiciones externas. En estas pruebas se ha tenido en cuenta la dimensión de las probetas, las condiciones climatológicas, el tipo de agua a ensayar y, por supuesto, el color del material empleado.

El objetivo de esta investigación es dar a conocer el comportamiento del agua si se escoge un color oscuro como acabado interior y qué otras ventajas están asociadas. En función de los resultados obtenidos, se podría estudiar la posibilidad de, manteniendo los colores, sustituir los materiales elegidos por otros similares empleados a tal uso y verificar si existe una diferencia de temperaturas significativa.



Figura 3: Prototipos a ensayar. Fuente: Autor

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Este estudio trata de comparar el comportamiento del agua en una piscina en función del color del material del revestimiento interior.



Figura 4: Detalle de fabricación de las muestras. Fuente: Autor

Se van a realizar dos ensayos; uno que determina la diferencia de temperatura que alcanza el agua, en idénticas condiciones, y el se-

gundo que compara la velocidad de evaporación. Para ello, se han fabricado dos muestras de dimensiones 60x30x16 cm, con material porcelánico fabricado por ALMACENES POVEDA S.L., serie OYC, unido mediante pletinas de aluminio angulares 30\*30\*1 mm, dobladas en las esquinas y sellado con adhesivo elástico, resistente al agua, en las juntas. El color blanco corresponde al modelo LUNA-ADZ y el negro pertenece al modelo PLOMO-ADZ y cuyas características técnicas se muestran a continuación:

Classificazione secondo i requisiti previsti dalle norme CEN/ISO gruppo BIa UNI EN 14411/ISO 13006 (Appendice G)

Caratteristica Tecnica	Norma	Valore prescritto	Valore ottenuto
Lunghezza e larghezza	ISO 10545.2	± 0,6 % (± 2 mm)	Conforme
Spessore		± 5 % (± 0.5 mm)	
Rettilineità spigoli		± 0,5 % (± 1.5 mm)	
Ortogonalità		± 0,5 % (± 2 mm)	
Pianarità		± 0,5 % (± 2 mm)	
Assorbimento d'acqua	ISO 10545.3	≤ 0,5 %	Conforme
Resistenza a flessione	ISO 10545.4	≥ 35 N/mm <sup>2</sup>	Conforme
Dilatazione termica lineare tra 20° e 100° C	ISO 10545.8	Metodo di prova disponibile	≈ 7x10 <sup>-4</sup> C <sup>-1</sup>
Resistenza agli sbalzi termici	ISO 10545.9	Nessuna alterazione	Conforme
Resistenza al gelo	ISO 10545.12	Nessuna alterazione	Conforme
Resistencia all'attacco chimico	ISO 10545.13	Secondo i dati del costruttore	Resistente
Resistenza alle macchie	ISO 10545.14	≥ Classe 3	Conforme
Scivolosità	DIN 51130 DIN 51097		R11 A+B+C

Figura 5: Características técnicas gres porcelánico. Fuente: Almacenes Poveda S.L

En la figura 5 se puede observar que, la absorción de agua del material es inferior al 0,5% y, por lo tanto, cumple con lo establecido en la norma ISO 10545.3 para este tipo de material y considerándose un dato despreciable para la realización del ensayo.

El lugar escogido para la elaboración de estos ensayos es el término municipal de Griñón (Madrid) donde los veranos son cortos, cálidos y en su mayoría despejados; en cambio, los inviernos son fríos y seminublados.

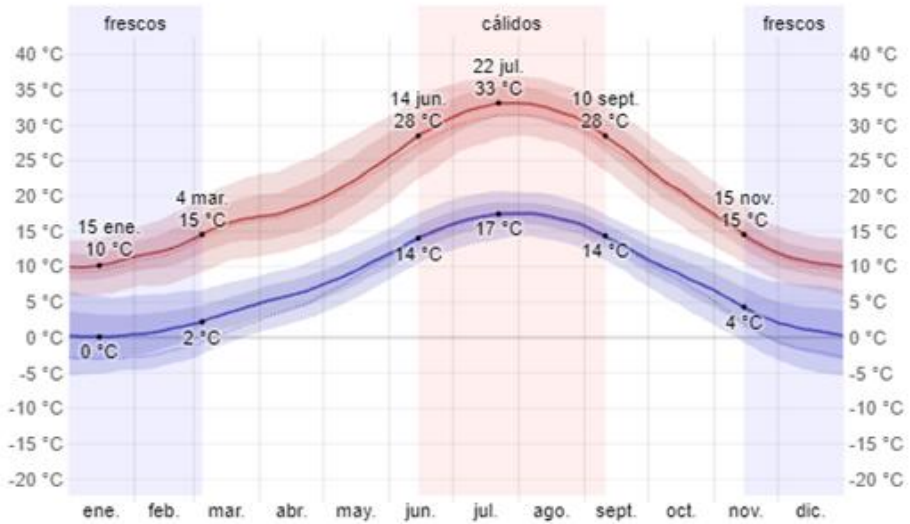


Figura 6: Temperatura máxima y mínima promedio Griñón. Fuente: Warther Spark

La temporada más calurosa dura 2,9 meses, de mediados de junio a mediados de septiembre, y la temperatura máxima, de media, diaria es más de 28 °C. El mes donde se registran las temperaturas más altas del año, en Griñón, es julio, con una temperatura máxima de 33 °C y mínima de 17 °C.

La temporada más fresca dura 3,7 meses, de mediados de noviembre a principios de marzo, donde la temperatura máxima promedio diaria es inferior a 15 °C. El mes donde se registran las temperaturas más bajas del año, en Griñón, es enero, con una temperatura mínima promedio de 0 °C y máxima de 10 °C.

Por lo tanto, la temperatura durante todo el año varía de 0 °C a 33 °C.

Para la realización de estos ensayos se eligen los últimos días del verano, en concreto, la segunda y la última semana del mes de septiembre, y la primera semana de octubre.

## 2.1. ENSAYO DE EVAPORACIÓN DE AGUA

En primer lugar, se realiza el ensayo cuantitativo de pérdida de agua por evaporación. Para ello, se comprueba que los prototipos están bien sellados y que no presentan fugas de agua por las uniones. A continuación, se llenan las piscinas con agua potable, a temperatura

ambiente, comprobando que se introduce la misma cantidad en cada una de ellas, en total 21168 cm<sup>3</sup> o 21,17 litros. Esto se hace mediante la colocación de una regla milimétrica, por el interior del vaso, comprobando el volumen de agua existente y, posteriormente, la pérdida de agua por evaporación en cada piscina. Las muestras se encuentran en terreno firme y horizontal, en espacio abierto, libre de sombras y sin añadir ningún tipo de desinfectante al agua.



Figura 7: Inicio del ensayo de evaporación de agua. Fuente: Autor

Existen multitud de parámetros que influyen en la velocidad de evaporación del agua, entre ellos, la temperatura del aire, la del agua, la radiación solar, la humedad del aire y la velocidad del viento.

Según la escala de la temperatura, el agua pasa de estado líquido a estado gaseoso cuando alcanza los 100°C, datos que nunca se van dar en la lámina de agua de una piscina, a pesar de ello, el agua se evapora igual. Esto se debe a que existen pequeñas moléculas de agua en la superficie capaces de generar la energía cinética suficiente para convertirse en vapor.

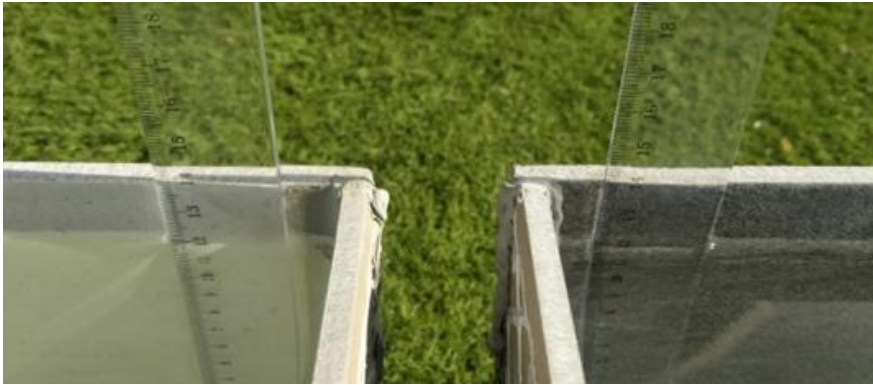


Figura 8: Colocación de reglas milimétricas. Fuente: Autor

Existen varias maneras de evitar esta evaporación en las piscinas, una de ellas es mediante la colocación de cubiertas de doble burbuja, que evitan la pérdida de agua superficial, a la vez que aumentan la temperatura del agua. También, mediante el vertido de alcohol estearílico, a modo de capa protectora líquida, creando una película mono molecular en la superficie del agua, evitando la evaporación y la pérdida de calor a la atmósfera.



Figura 9: Registro de en la piscina luna el día 05/09/23. Fuente: Autor

En las fotografías adjuntas se muestra la preparación del ensayo, colocando las reglas milimétricas y llenando las piscinas hasta el

valor indicado, como se ha comentado anteriormente. Seguidamente, se puede observar la diferencia de pérdida de agua existente dependiendo del color del revestimiento, en el día indicado.

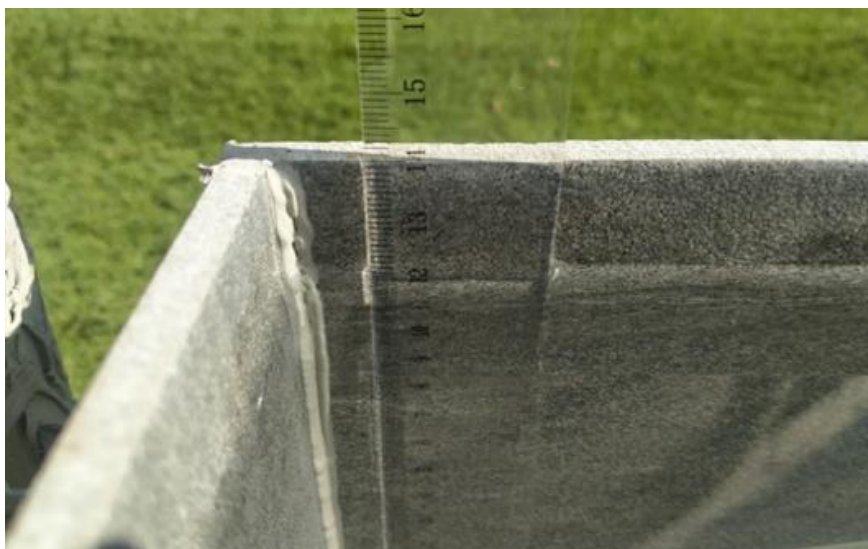


Figura 10: Registro de en la piscina plomo el día 05/09/23. Fuente: Autor

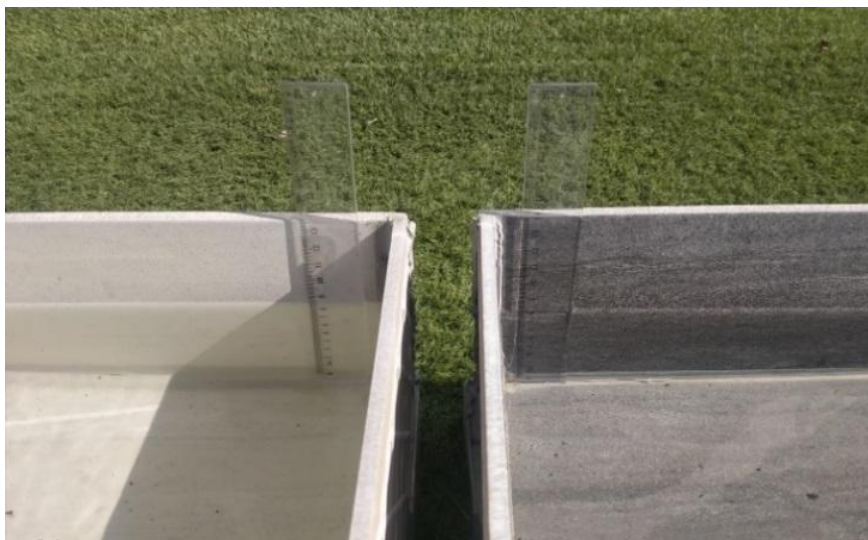


Figura 11: Diferencia de altura de lámina de agua día 11/09/23. Fuente: Autor

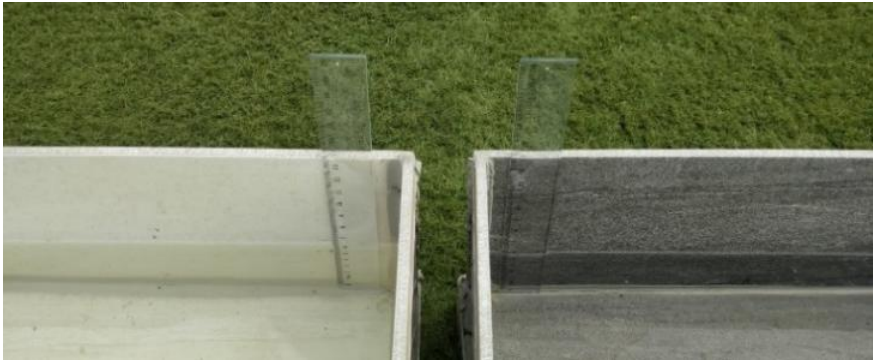


Figura 12: Diferencia de altura de lámina de agua día 14/09/23. Fuente: Autor

Para cuantificar la pérdida de agua en cada una de las muestras, se registran los valores obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Resultados del ensayo de evaporación de agua

TOMA DE DATOS					
Prototipo	Fecha	TA (°C)	Medición (cm)	Valor Relat.	Valor Absol.
P. Luna	05/09/2023	27-18	12,00	0,00	0,00
P. Plomo			12,00		
P. Luna	06/09/2023	29-19	11,70	0,20	0,30
P. Plomo			11,50		0,50
P. Luna	07/09/2023	29-18	11,00	0,20	1,00
P. Plomo			10,80		1,20
P. Luna	08/09/2023	30-18	10,40	0,20	1,60
P. Plomo			10,20		1,80
P. Luna	09/09/2023	28-18	9,40	0,20	2,60
P. Plomo			9,20		2,80
P. Luna	10/09/2023	29-18	9,00	0,20	3,00
P. Plomo			8,80		3,20
P. Luna	11/09/2023	26-16	8,60	0,30	3,40
P. Plomo			8,30		3,70
P. Luna	12/09/2023	27-16	7,80	0,30	4,20
P. Plomo			7,50		4,50
P. Luna	13/09/2023	28-17	7,20	0,30	4,80
P. Plomo			6,90		5,10
P. Luna	14/09/2023	29-18	6,30	0,40	5,70
P. Plomo			5,90		6,10

Fuente: (Autor)

Se toma como referencia los datos obtenidos en la piscina color luna, y se determina la diferencia de medición respecto a los datos registrados en la piscina color plomo.

Así mismo, se calcula la pérdida de agua de cada una de las probetas respecto al origen.

## 2.2. ENSAYO DE TEMPERATURA DEL AGUA

Para comenzar el ensayo, y como se hizo anteriormente, se llenan las probetas con agua potable a temperatura ambiente, volviendo a comprobar que se introduce la misma cantidad en cada una de ellas, en total 21168 cm<sup>3</sup> o 21,17 litros, mediante la colocación de una regla milimétrica en el interior del vaso, hasta alcanzar los 12 cm de altura en ambos recipientes.

Seguidamente, se toman los datos de temperatura del agua con un termómetro infrarrojo láser, modelo ETEKCITY, siguiendo las indicaciones del fabricante y guardando las distancias de medición oportunas.

Este termómetro es capaz de medir la temperatura superficial sin contacto, mediante el escáner infrarrojo, con un rango de la medición de la temperatura que supera el punto de ebullición.

La distancia recomendada entre el termómetro y la superficie de medición es 36 cm, lo que crea un área de medición puntual que tiene un diámetro de 3 cm.

Al igual que en el ensayo anterior, las muestras se encuentran en terreno firme y horizontal, en espacio abierto, libre de sombras y sin añadir ningún tipo de desinfectante al agua.

En las figuras 13 y 14, se muestran las características del instrumento a utilizar para realizar el ensayo y las distancias óptimas para realizar una medición correcta de la temperatura del agua.



Figura 13: Características termómetro láser. Fuente: Etekcity

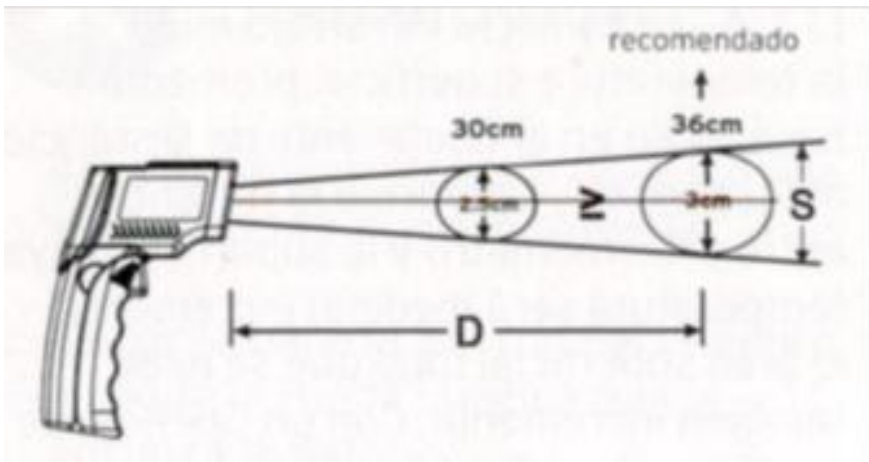


Figura 14: Coeficiente de distancia al punto. Fuente: Etekcity

La temperatura del agua se mide, en ambas probetas, durante 5 días, en intervalos de 1 hora y en el transcurso de la mañana o a primera hora de la tarde.

De esta forma, se puede observar la diferencia existente entre cada una de ellas, cuando la única diferencia es el color del revestimiento interior del vaso.



Figura 15: Medición de temperatura del agua día 27/09/23. Fuente: Autor

Se mide la temperatura superficial del agua en ambas probetas para verificar la diferencia de temperatura existente entre la probeta color plomo y la probeta color luna, existiendo una variación de la velocidad de absorción de energía calórica del líquido distinta en cada una de ellas.

Los datos obtenidos se registran en las siguientes tablas y se calcula la diferencia de temperatura de cada una de ellas, dentro de la franja horaria estipulada.

Tabla 2. Resultados del ensayo de temperatura del agua (27/09/23) - TA1 28/13

Prototipo	Hora	Medición (°C)	Diferencia (°C)
P. Luna	9:00	16,70	0,30
P. Plomo		17,00	
P. Luna	10:00	18,30	0,50
P. Plomo		18,80	
P. Luna	11:00	20,70	0,50
P. Plomo		21,20	
P. Luna	12:00	23,30	0,60
P. Plomo		23,90	
P. Luna	13:00	26,00	0,80
P. Plomo		26,80	
P. Luna	14:00	28,00	0,90
P. Plomo		28,90	
P. Luna	15:00	29,10	1,10
P. Plomo		30,20	

Fuente: (Autor)

Tabla 3. Resultados del ensayo de temperatura del agua (28/09/23) - TA 29/15

<sup>1</sup> Temperatura ambiente, máxima y mínima en C°.

<b>Prototipo</b>	<b>Hora</b>	<b>Medición (°C)</b>	<b>Diferencia (°C)</b>
P. Luna	9:00	16,20	0,20
P. Plomo		16,40	
P. Luna	10:00	17,10	0,40
P. Plomo		17,50	
P. Luna	11:00	20,80	0,50
P. Plomo		21,30	
P. Luna	12:00	23,40	0,60
P. Plomo		24,00	
P. Luna	13:00	26,60	0,80
P. Plomo		27,40	
P. Luna	14:00	29,60	1,00
P. Plomo		30,60	
P. Luna	15:00	30,90	1,30
P. Plomo		32,20	

Fuente: (Autor)

Tabla 4. Resultados del ensayo de temperatura del agua (02/10/23) - TA 31/14

<b>Prototipo</b>	<b>Hora</b>	<b>Medición (°C)</b>	<b>Diferencia (°C)</b>
P. Luna	9:00	15,00	0,20
P. Plomo		15,20	
P. Luna	10:00	16,60	0,40
P. Plomo		17,00	
P. Luna	11:00	18,80	0,50
P. Plomo		19,30	
P. Luna	12:00	21,70	0,50
P. Plomo		22,20	
P. Luna	13:00	24,20	0,60
P. Plomo		24,80	
P. Luna	14:00	28,40	1,00
P. Plomo		29,40	
P. Luna	15:00	30,90	1,30
P. Plomo		32,20	

Fuente: (Autor)

Tabla 5. Resultados del ensayo de temperatura del agua (03/10/23) - TA 31/15

<b>Prototipo</b>	<b>Hora</b>	<b>Medición (°C)</b>	<b>Diferencia (°C)</b>
P. Luna	9:00	14,80	0,20
P. Plomo		15,00	
P. Luna	10:00	16,50	0,30
P. Plomo		16,80	
P. Luna	11:00	17,50	0,40
P. Plomo		17,90	
P. Luna	12:00	24,80	0,70
P. Plomo		25,50	
P. Luna	13:00	27,10	0,90
P. Plomo		28,00	
P. Luna	14:00	29,80	1,00
P. Plomo		30,80	
P. Luna	15:00	31,40	1,30
P. Plomo		32,70	

Fuente: (Autor)

Tabla 6. Resultados del ensayo de temperatura del agua (04/10/23) - TA 28/17

<b>Prototipo</b>	<b>Hora</b>	<b>Medición (°C)</b>	<b>Diferencia (°C)</b>
P. Luna	9:00	14,80	0,20
P. Plomo		15,00	
P. Luna	10:00	17,40	0,40
P. Plomo		17,80	
P. Luna	11:00	20,30	0,50
P. Plomo		20,80	
P. Luna	12:00	22,10	0,50
P. Plomo		22,60	
P. Luna	13:00	26,50	0,80
P. Plomo		27,30	
P. Luna	14:00	28,20	1,00
P. Plomo		29,20	
P. Luna	15:00	30,20	1,10
P. Plomo		31,30	

Fuente: (Autor)

Se toma como referencia los datos obtenidos en la piscina modelo luna, y se determina la diferencia de medición respecto a los datos registrados en la piscina color plomo.

Así mismo, se calcula la diferencia de temperatura del agua, de cada una de las probetas, en función del incremento de la temperatura ambiente.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. ELABORACIÓN DE GRÁFICAS Y TABLAS DEL ENSAYO DE EVAPORACIÓN DE AGUA

En la tabla 7 se muestra la diferencia de altura en la lámina de agua diaria y, por lo tanto, la pérdida de agua por evaporación de ambas piscinas, volumétrica y porcentualmente.

Como se observa en la tabla, la pérdida de agua existente es constante, en igualdad de condiciones, entre ambas muestras los primeros días del ensayo.

A medida que se va evaporando el agua, la superficie porcelánica en contacto con la radiación solar es superior y, por ende, la absorción de calor es mayor.

Esto provoca que se trasmita más calor por conducción a la lámina de agua y, ésta, se evapore con mayor rapidez.

Tabla 7. Resultados del ensayo de evaporación de agua – Análisis comparativo

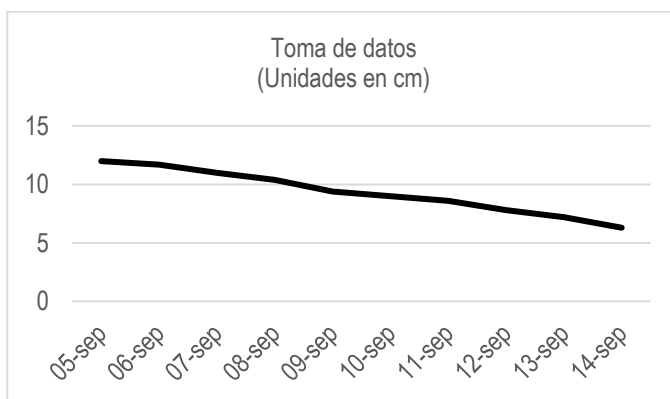
DISCUSIÓN DE DATOS					
Prototipo	Fecha	Valor Ab.	Diferencia		Decremento (%)
			(cm)	(l)	
P. Luna	05/09/2023	0,00	0,00	0,00	0,00
P. Plomo					
P. Luna	06/09/2023	0,30	0,20	0,3528	1,65
P. Plomo		0,50			
P. Luna	07/09/2023	1,00	0,20	0,3528	1,65
P. Plomo		1,20			
P. Luna	08/09/2023	1,60	0,20	0,3528	1,65
P. Plomo		1,80			
P. Luna	09/09/2023	2,60	0,20	0,3528	1,65
P. Plomo		2,80			
P. Luna	10/09/2023	3,00	0,20	0,3528	1,65
P. Plomo		3,20			

P. Luna	11/09/2023	3,40	0,30	0,5292	2,50
P. Plomo		3,70			
P. Luna	12/09/2023	4,20	0,30	0,5292	2,50
P. Plomo		4,50			
P. Luna	13/09/2023	4,80	0,30	0,5292	2,50
P. Plomo		5,10			
P. Luna	14/09/2023	5,70	0,40	0,7056	3,33
P. Plomo		6,10			

Fuente: (Autor)

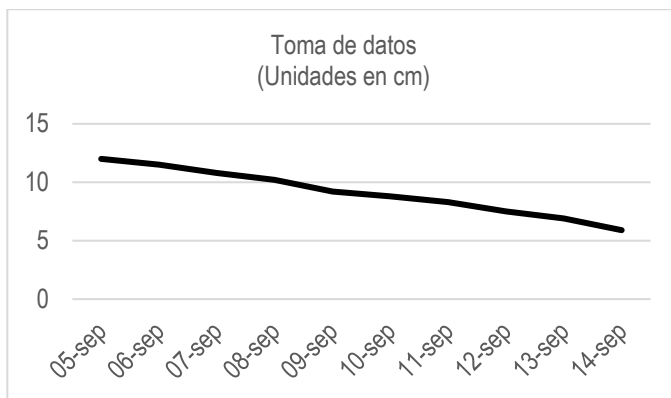
A continuación, se muestran las gráficas del ensayo de evaporación de agua para cada una de las muestras. En la gráfica 1 se observa la pérdida de agua en la muestra de color luna dónde se observa una línea descendiente constante atribuible a las condiciones climatológicas del mes de septiembre.

Gráfica 1. Resultados del ensayo de evaporación de agua – Piscina luna

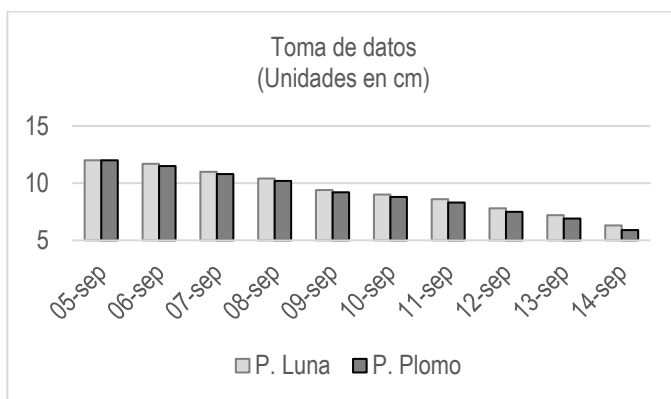


Asimismo, en la gráfica 2 se recogen los datos obtenidos para la piscina de color plomo, cuya línea, prácticamente paralela a la anterior, representa la pérdida de agua producida por la luz solar durante los días anteriormente descritos. Por último, en las gráficas 3 y 4, se comparan los resultados de ambas probetas y se analiza la diferencia existente entre ellas. Como se observa, los valores registrados en la piscina color plomo son inferiores y, por lo tanto, la pérdida de agua es mayor.

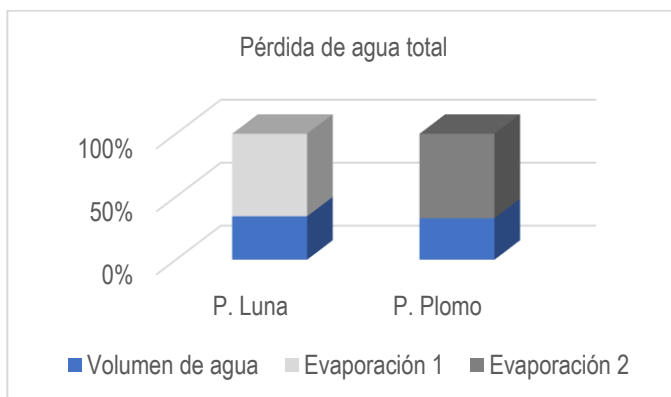
Gráfica 2. Resultados del ensayo de evaporación de agua – Piscina plomo



Gráfica 3. Resultados del ensayo de evaporación de agua – Análisis comparativo



Gráfica 4. Resultados del ensayo de evaporación de agua – Discusión de datos



### 3.2. ELABORACIÓN DE GRÁFICAS Y TABLAS DEL ENSAYO DE TEMPERATURA DE AGUA

A continuación, se elabora una tabla resumen donde se observa la velocidad de calentamiento del agua, dentro de la franja horaria destinada al estudio, cada uno de los días que dura el ensayo.

Tabla 8. Resultados del ensayo de temperatura del agua – Análisis comparativo

Prototipo	Fecha	Incremento (°C)	Dif. (°C)	Duración (H)	Velocidad (°C/H)
P. Luna	27/09/2023	12,40	0,80	7	1,77
P. Plomo		13,20			1,89
P. Luna	28/09/2023	14,70	1,10	7	2,10
P. Plomo		15,80			2,26
P. Luna	02/10/2023	15,90	1,10	7	2,27
P. Plomo		17,00			2,43
P. Luna	03/10/2023	16,60	1,10	7	2,37
P. Plomo		17,70			2,53
P. Luna	04/10/2023	15,40	0,90	7	2,20
P. Plomo		16,30			2,33

Fuente: (Autor)

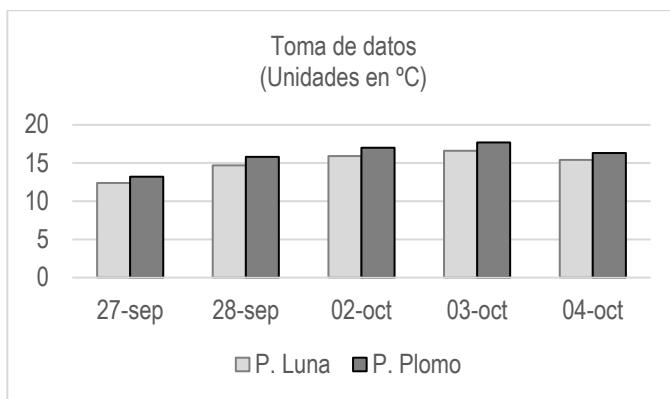
Con estos valores, en la tabla 9 se calcula la media de temperatura que alcanzan las probetas durante los días que se realiza el ensayo, así como, la velocidad de incremento de temperatura por hora, en cada una de ellas, y el valor porcentual que se incrementa en la piscina color plomo, respecto de la piscina color luna.

Tabla 9. Resultados del ensayo de temperatura del agua – Discusión de datos

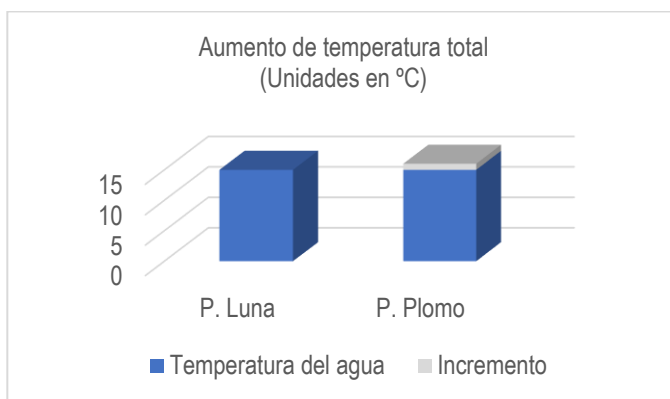
Prototipo	Incremento Medio (°C)	Duración (H)	Velocidad Media (°C/H)	Incremento (%)
P. Luna	15,00	7	2,14	6,25
P. Plomo	16,00		2,28	

Fuente: (Autor)

Gráfica 5. Resultados del ensayo de temperatura de agua – Análisis comparativo



Gráfica 6. Resultados del ensayo de temperatura del agua –Discusión de datos



Por último, en las gráficas 5 y 6 se observan los incrementos de temperatura del agua que experimentan las muestras y la diferencia que existe en función del color interior de las mismas.

#### 4. CONCLUSIONES

Una vez desarrollado el trabajo de investigación, se tiene información suficiente sobre las características principales de las piscinas fabricadas y cómo se puede aumentar la temperatura del agua desde el proceso de diseño, así como valorar la pérdida de evaporación de la misma observando su comportamiento en los ensayos realizados. Por lo anteriormente descrito se concluye que, en el desarrollo del presente estudio, se han alcanzado los objetivos propuestos.

Una vez elegidos los diseños y fabricadas las probetas, se deben someter a ensayo para estudiar el comportamiento del agua de una

piscina frente a los agentes externos, principalmente su exposición a los rayos solares, y qué características térmicas se obtienen en función del color del revestimiento interior.

Analizados los resultados obtenidos, se puede retroceder cíclicamente, al inicio de una futura investigación, y modificar las premisas iniciales de diseño y fabricación, intuyendo el resultado final.

En cuanto a la fase de experimentación, es necesario que las dos muestras tengan las mismas dimensiones para que los datos obtenidos puedan ser comparables entre sí, ya que éstos no se consideran proporcionales.

En el ensayo de evaporación de agua se observa que, desde el inicio, se produce una mayor pérdida de agua por evaporación en la piscina de color plomo respecto a la piscina de color luna.

Esta diferencia se mantiene constante durante los primeros días del ensayo y, en condiciones ambientales invariables, a medida que las muestras presentan menos volumen de agua, esta diferencia se incrementa. Esto es debido a que la superficie del material porcelánico en contacto con el ambiente es mayor y, por lo tanto, se absorbe más cantidad de calor en función del color elegido, transmitiéndolo por conducción al líquido que está en contacto con él.

En cuanto al ensayo de temperatura del agua se observa que, la velocidad de absorción de energía calorífica del agua en la piscina color plomo es mayor que en la piscina color luna y que cuanto más temperatura ambiental existe, mayor es la diferencia entre ambos líquidos.

Según las leyes de conservación de energía lumínica, los colores oscuros absorben más energía luminosa que los colores claros y, por ende, más calor. Por lo tanto, los colores solo absorben el calor de la luz, y no de otras fuentes térmicas.

En consecuencia, al realizarse los ensayos en espacio abierto, se ha podido comprobar que la muestra fabricada con material porcelánico de color plomo absorbe más cantidad de luz, lo que se transforma en más calor. De esta manera, se puede concluir que las piscinas oscuras alcanzan una temperatura superior del agua, a la vez que experimentan una velocidad de evaporación superior que las piscinas de color claro, cuantificando dicha afirmación con este estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- POOLNATURAL. ¿CUÁL ES LA TEMPERATURA IDEAL PARA UNA PISCINA?  
[HTTPS://WWW.POOLNATURAL.COM/2019/11/20/CUAL-ES-LA-TEMPERATURA-IDEAL-PARA-UNA-PISCINA/](https://www.poolnatural.com/2019/11/20/cual-es-la-temperatura-ideal-para-una-piscina/)  
(CONSULTA17/08/2023).
- ESPAÑA. REAL DECRETO 742/2013, DE 27 DE SEPTIEMBRE, POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS TÉCNICO-SANITARIOS DE LAS PISCINAS. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, 11 DE OCTUBRE DE 2013, NÚM. 244, PP. 83123-83135.
- MASCHERONI, G., & PEZZAGLIA, C. (2017). CONSEJOS Y PROYECTOS DEL ARQUITECTO PARA LAS PISCINAS. PARKSTONE INTERNATIONAL. ISBN: 9788431524357.
- JIMÉNEZ, S. A., CARRILLO, V. M. & ALVARADO, M. A. (2015). SISTEMAS DE CALEFACCIÓN DE PISCINAS: UNA REVISIÓN DE LOS MODELOS APLICADOS. [HTTP://HDL.HANDLE.NET/11371/4001](http://hdl.handle.net/11371/4001) (CONSULTA 14/08/2023).
- PABLO GOZALO, V. (2003). ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA INSTALACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS FLOTANTES EN PISCINAS. TESIS DOCTORAL. E.T.S.I. TELECOMUNICACIÓN. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- BERROCAL COLLADO, J. J. (2023). CREACIÓN DE UN NUEVO MÓDULO DE MANTENIMIENTO DE PISCINAS EN EL CFGM DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y AUTOMÁTICAS. TRABAJO FIN DE MÁTER. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.
- VÁZQUEZ, A. (2023). PISCINOSOFÍA: TRATADO ACUÁTICO Y DESORDENADO SOBRE PISCINAS REALES E IMAGINADAS. LIBROS DEL KO. ISBN 978-84-19119-32-2.
- HOCKNEY, D. (1981). PAPER POOLS. HARRY N ABRAMS INC; NEW ED EDICIÓN. ISBN-10: 0500271909.
- EL CONFIDENCIAL. HISTORIA DE LAS PISCINAS EN ESPAÑA: ASÍ CAMBIARON LA ARQUITECTURA DE LAS CIUDADES.  
[HTTPS://WWW.ELCONFIDENCIAL.COM/ALMA-CORAZON-VIDA/2022-07-14/CAMBIARON-PISCINAS-ARQUITECTURA-CIUDADES\\_3456976/](https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2022-07-14/cambiaron-piscinas-arquitectura-ciudades_3456976/) (CONSULTA04/09/2023).
- LÓPEZ, J.D. (2021). LA ESPAÑA DE LAS PISCINAS. ARPA EDITORES. ISBN: 978-84-17623-95-1.

- ROMERO GARCÍA, R. (2023). CONTROL AUTOMÁTICO DE UNA PISCINA DOMÉSTICA. TRABAJO FIN DE MÁSTER INÉDITO. UNIVERSIDAD DE SEVILLA, SEVILLA.
- SCHLEIFER, S. (2006). JARDINES & PISCINAS. TASCHEN BENEDIKT. ISBN: 9783822827901.
- MCNAMARA, M., MURPHY, A., DOWLER, F. Y FOLEY, R. (2020). BLUE SPACES AS RESOURCES FOR HEALTH AND WELLBEING: SURVEY COMPARISONS OF INDOOR AND OUTDOOR SETTINGS FROM IRELAND. REVISTA DE ESTUDIOS ANDALUCES, 39, 8-22.
- BRITO, J. C. ESTUDO SOBRE PISCINA SOLAR. (2006). TESIS DOCTORAL. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA. BRASIL.
- CABALLERO, B. T. (2012). LA PISCINA. CARIBE: REVISTA DE CULTURA Y LITERATURA, 15(1), 147.
- RESTREPO CATAÑO, D. M. (2017). EL PROCESO CORRECTO PARA REHABILITAR PISCINAS. TRABAJO FIN DE CARRERA. INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO. FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y APLICADA. TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIÓN DE ACABADOS ARQUITECTÓNICOS. MEDELLIN. COLOMBIA.
- MARTÍNEZ GARCÍA, J.A., MARTÍNEZ CARO, L. (2008). DETERMINACIÓN DE LA MÁXIMA VARIANZA PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR DE IMPRECISIÓN SOBRE LA ESCALA DE MEDIDA, Y EXTENSIÓN A DIFERENTES TIPOS DE MUESTREO. PSICOTHEMA, VOL. 20 (2): 311-316.
- ROMERO, M., & PÉREZ, J. M. (2015). RELATION BETWEEN THE MICROSTRUCTURE AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF PORCELAIN STONEWARE. A REVIEW. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, 65(320), E065.  
[HTTPS://DOI.ORG/10.3989/MC.2015.05915](https://doi.org/10.3989/MC.2015.05915).
- WEATHER SPARK. EL CLIMA Y EL TIEMPO PROMEDIO EN TODO EL AÑO EN GRIÑÓN. [HTTPS://ES.WEATHERSPARK.COM/Y/36869/CLIMA-PROMEDIO-EN-GRI%C3%B1-%C3%B3N-ESPA%C3%B1A-DURANTE-TODO-EL-A%C3%B1o](https://es.weatherspark.com/y/36869/CLIMA-PROMEDIO-EN-GRI%C3%B1-%C3%B3N-ESPA%C3%B1A-DURANTE-TODO-EL-A%C3%B1o) (CONSULTA 04/09/2023).
- IAGUA. SPAIN SMART WATER SUMMIT 2023. MADRID MARRIOTT AUDITORIUM HOTEL & CENTER. [HTTPS://WWW.IAGUA.ES/SPAIN-SMART-WATER-SUMMIT-2023](https://www.iagua.es/spain-smart-water-summit-2023). (CONSULTA 25/08/2023).
- DROBNIC, F. (2009). IMPACTO SOBRE LA SALUD DE LOS COMPUESTOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA EN LAS PISCINAS.

ESTADO DE LA CUESTIÓN. APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT, 44(161), 42-47.

SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, J. J. (2011). ESTUDIO DE LA IMPLANTACIÓN DE PISCINAS ECOLÓGICAS EN LAS PISCINAS MUNICIPALES DE CATALUÑA. TRABAJO FIN DE CARRERA. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.

IAGUA. MÉTODOS PARA EVITAR QUE EL AGUA SE EVAPORE.

[HTTPS://WWW.IAGUA.ES/BLOGS/LUIS-MARTIN-MARTINEZ/METODOS-EVITAR-QUE-AGUA-SE-EVAPORE#:~:TEXT=MEDIOS%20QU%C3%ADMICOS%2C%20EL%20ALCOHOL%20ESTEAR%C3%ADLICO&TEXT=HABITUALMENTE%20VIENE%20EN%20FORMA%20DE,BARRERA%20QUE%20DIFICULTA%20LA%20EVAPORACI%C3%B3N](https://www.iagua.es/blogs/luís-martín-martínez/metodos-evitar-que-agua-se-evapore#:~:text=MEDIOS%20QU%C3%ADMICOS%2C%20EL%20ALCOHOL%20ESTEAR%C3%ADLICO&text=HABITUALMENTE%20VIENE%20EN%20FORMA%20DE,BARRERA%20QUE%20DIFICULTA%20LA%20EVAPORACI%C3%B3N) (CONSULTA 25/08/2023).

LAWRIE & GREEN, A. (1966). CUBIERTA MÓVIL PARA PISCINA, EN PENSILVANIA. INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN, 18(179), 73-78. [HTTPS://DOI.ORG/10.3989/IC.1966.V18.I179.4254](https://doi.org/10.3989/ic.1966.v18.i179.4254).

RODRIGO-CARDA, J., FOHRER, M.. (2007). ACS Y CLIMATIZACIÓN DE VIVIENDA Y PISCINA CON ENERGÍA SOLAR. DYNA, 82(3). 50-52.

## INFLUENCIA DE LAS VARIABLES QUE RIGEN EL CONFINAMIENTO DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE CARBONO, A NIVEL PROBETA Y DE PIEZA

---

ING. SERGIO DAVID ALEJO BUENABAD  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

DRA. MARÍA ISABEL PRIETO BARRIO  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

DR. ALFONSO COBO ESCAMILLA  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

### RESUMEN

Consecuente al envejecimiento de las edificaciones en Europa y la creciente necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la rehabilitación de estructuras se ha ganado relevancia en la industria de la construcción. Los agentes que motivan la intervención estructural incluyen problemas patológicos, errores de diseño, baja calidad de materiales, deficiencias en durabilidad, mantenimiento inadecuado y remodelaciones, así como acciones naturales. En este contexto, los polímeros reforzados con fibra han emergido como una solución efectiva desde finales de los años 80 para reforzar elementos estructurales de las edificaciones.

Este estudio analiza el uso de polímeros reforzados con fibra, o por sus siglas en inglés FRP, en la rehabilitación de edificios existentes, considerando cuatro tipos de refuerzos de FRP en distintas configuraciones estructurales. Se analizaron 360 combinaciones de elementos con diferentes secciones transversales y cantidades de acero de refuerzo, siguiendo las recomendaciones del ACI 440. Los resultados muestran que la geometría de los elementos influye significativamente en el rendimiento del refuerzo, especialmente en elementos con una buena composición estructural inicial, donde el refuerzo con FRP ofrece una efectividad limitada.

Asimismo, se observó que las propiedades mecánicas de las fibras de FRP impactan en la curva tensión-deformación del refuerzo, lo cual afecta la capacidad de carga adicional proporcionada por el FRP en relación con la capacidad resistente inicial del elemento de hormigón. Esto permite una evaluación más precisa sobre

cuándo y cómo es adecuado utilizar FRP en la rehabilitación de estructuras sometidas a compresión.

## PALABRAS CLAVE

*Estructuras, Hormigón, FRP, Rehabilitación.*

## 1 INTRODUCCIÓN

Durante el desarrollo de la industria de la construcción, diversos métodos de refuerzo se han empleado para recuperar o mejorar las capacidades de las estructuras, este desarrollo ha llevado a la utilización de diferentes técnicas de aumento de resistencia como: recrecido con hormigón armado, adosado de perfiles metálicos, colocación de armadura exterior mediante encolado (Del Río, 2008; Rua. 1977).

En un contexto europeo en donde la tendencia de la industria de la construcción apunta hacia los trabajos de rehabilitación y revalorización del parque de viviendas existente, como se observa en la figura 1, de acuerdo con los datos del resumen del Instituto de Tecnología de Cataluña sobre el informe Euroconstruct 2023 (ITeC, 2023), la situación en Europa aun no muestra datos de recuperación previos a la pandemia, con excepción de la obra civil, los sectores pertenecientes a la edificación continúan con una previsión a la baja hasta finales de este año 2023, el aspecto que más destaca es la previsión de aumento de las obras de rehabilitación.

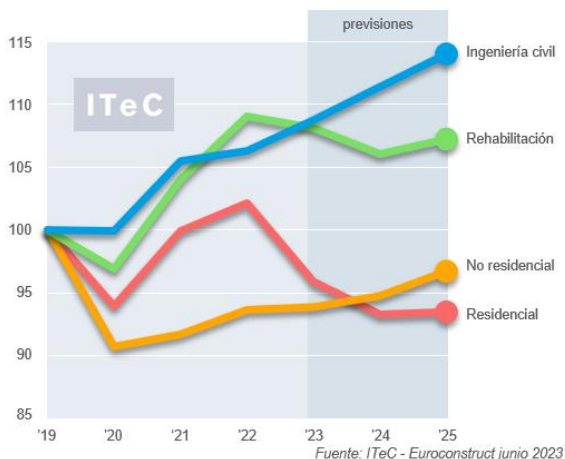


Figura 1 Situación y previsiones de la construcción en Europa [3].

En España el panorama no es muy diferente, sin embargo, las previsiones en todos los sectores son de crecimiento aunque en diferentes intensidades, siendo concordante con los datos de la unión europea, el sector de la rehabilitación es de los que más crecimiento tienen y

proyectan al futuro 2023 (ITeC, 2023), como observamos en la figura 2.

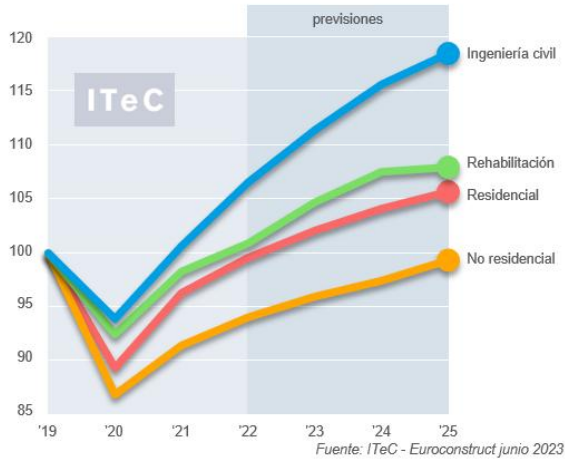


Figura 2 Situación y previsiones de la construcción en España. [3]

Al ser identificadas estas tendencias en el sector de la construcción, resulta prudente comenzar a analizar el subsector de la rehabilitación, identificar las principales causas por las que este sector tiene un crecimiento y previsiones positivas para toda la UE y en especial para España.

Uno de los principales motivos por el que la rehabilitación tiene y prevé un alza en sus proyecciones es debido al impulso del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (ONU, 2015) y de la que Europa es parte.

Con la creciente conciencia medioambiental que se está produciendo en todo el mundo, muchas industrias, como el sector de la construcción, están marcando sus propias medidas para reducir el impacto medioambiental que provocan sus actividades. En particular, aunque el sector de la construcción evoluciona muy lentamente en comparación con otros sectores industriales, se ha desarrollado una importante conciencia sobre el grave impacto ambiental que genera, en términos de consumo de recursos como la energía o las materias primas, así como la gran cantidad de emisiones y los residuos que produce (Spisakova y M. Kozlovska, 2020). En el caso concreto de los residuos de construcción y demolición (RCD), hay que tener en cuenta

que esta actividad ha generado una gran cantidad de residuos en Europa, de los cuales solo se recicla el 50%, lejos de las exigencias de la Comunidad Europea para 2023 (A.U., 2020; Schneegans et al., 2021).

Bajo este contexto, la utilización de compuestos de polímeros armados con fibras o FRP como refuerzo de estructuras en servicio cada vez es más común debido a las siguientes ventajas: elevada resistencia, peso ligero, facilidad en manipulación, transporte e instalación (Del Rio, 2008; Naser et al., 2019; Chawla, 2012; De la Rosa et al., 2016). El compuesto es la mezcla de una matriz polimérica y un determinado tipo de fibra.

Las fibras se fabrican principalmente de: vidrio, aramida, basalto, naftalato de polietileno, tereftalato de polietileno y carbono (Del Rio, 2008; Naser et al., 2019; Chawla, 2012; De la Rosa et al., 2016). Mientras que las matrices poliméricas se clasifican en dos grupos: termoestables, por ejemplo los vinilésteres, epoxis y poliésteres; y termoplásticas, por ejemplo el polietileno, cloruro de polivinilo, polipropileno y el poliuretano (Naser et al., 2019; Chawla, 2012). Algunas de estos tipos de fibras se observan en la figura 4.

En el análisis de los usos de materiales FRP realizado por Parra et al. (2012) recoge una síntesis de las aplicaciones de estos compuestos en la industria de la construcción, esta información se presenta sintetizada en la figura

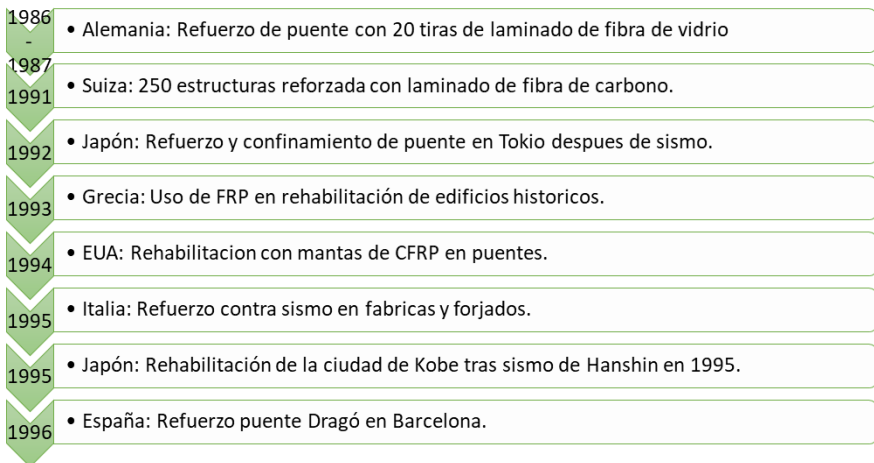


Figura 3 Evolución de las aplicaciones de materiales FRP (Parra et al., 2012).

Tal como muestra la figura 3, el primer uso de esta tecnología en España como un sistema de refuerzo fue llevada a cabo en el puente del Dragó en Barcelona en 1996. Como consecuencia del impacto de un vehículo en la viga de borde, la totalidad de la armadura longitudinal del centro del vano resultó seccionada. Por razones de seguridad estructural y de adecuado comportamiento en servicio, el puente tuvo que ser reforzado con urgencia. Debido a los mayores plazos de ejecución y medios auxiliares requeridos en opciones estudiadas, se seleccionó la aplicación del refuerzo con materiales compuestos como la más adecuada para la reparación de la estructura (Gil, 2014).



Figura 4 Diferentes tipos de materiales FRP. [12]

### 1.1 TIPOS DE SISTEMAS DE REFUERZO FRP

El refuerzo a base de materiales compuestos consiste en la colocación externa del material de refuerzo sobre la superficie del elemento de hormigón que deseamos reforzar. Los materiales compuestos tienen altas prestaciones mecánicas, siendo la principal de estas propiedades la resistencia a tracción (Chawla, 2012; Brizuela, 2021; De la Rosa et al., 2021). Por el tipo de aplicación en los elementos a reforzar, los materiales FRP actúan confinando por el exterior al elemento, realizando el mismo trabajo que realiza la armadura interna existente (Díaz-Comas et al., 2018; De la Rosa et al., 2013).

Existen dos métodos primarios usados para fijar materiales compuestos FRP a las estructuras de hormigón como confinamiento, el primero de ellos se mediante el empleo de tiras rígidas de FRP prefabricadas industrialmente y el segunda se trata de realizar in situ la

aplicación de láminas flexibles de fibra con polímeros líquidos (Bank, 2006).

- Refuerzo con tiras rígidas

Mediante este método se utilizan los materiales compuestos en forma de tiras laminadas, las cuales son laminados de fibras unidireccionales o multidireccionales embebidos en una matriz polimérica, que ayuda a mantener la posición de las fibras y su orientación, estos laminados toman la forma de una platabanda de dimensiones controladas. Debido a su fabricación industrial, permite un contenido de fibras constante y dispuesto correctamente en la matriz, aumentando su calidad. Su principal característica es que se coloca en refuerzos lineales, adheridos al elemento mediante resinas epoxi (Gil, 2014; Baquer, 2021).

- Refuerzo con láminas flexibles

Los materiales compuestos en el formato de láminas flexibles se componen de agrupaciones de fibras entrelazados en una, dos o más direcciones formando un tejido de fibras. Existen tejidos en una sola dirección, llamados unidireccionales los cuales se apoyan en un hilo auxiliar para que las fibras no se separen durante su colocación en obra, el otro tipo son los de tipo bidireccional o multidireccional, los cuales están tejidos entre sí en direcciones diferentes. Para su instalación en el elemento, el tejido de fibras se coloca sobre la superficie del elemento a reforzar y se mantiene fijo mediante resinas fluidas, impregnando la totalidad del tejido, formando el material compuesto (Gil, 2014; Baquer, 2021).



Figura 5 Materiales compuestos en vigas, Izquierda en tiras y derecha en forma de textil.

Aunque en el mercado existen otros formatos de presentación de las fibras como en barras y mechas, las barras se utilizan como refuerzo embebido en elementos lineales, en el caso de las mechas están se utilizan principalmente como un elemento que garantiza la transmisión de esfuerzos desde la estructura al refuerzo en espacios de difícil acceso o cuando se interrumpe la envoltura del elemento a reforzar (Baquer, 2021), en la figura 5 observamos la posición típica del refuerzo en una viga.

Este tipo de refuerzo es particularmente eficaz para aumentar la resistencia a flexión en vigas, losas y muros, siendo instalados en el sentido longitudinal de los elementos a reforzar, acompañando a los elementos sometidos a tensión, como se indica la figura 6.



Figura 6 Instalación de refuerzo de CFRP (Carbonveneta, s.f.).

Así mismo, también se logra aumentar de la capacidad a cortante al colocar el compuesto de forma transversal al elemento, en una posición similar a los estribos internos de acero, como se muestra en la figura 7 (Pérez, 2014; Monaldo et al., 2019).



Figura 7 Instalación de refuerzo de CFRP (Carbonveneta, s.f.).

La rehabilitación de estructuras envejecidas, dañadas o que requieren cumplir nuevas exigencias estructurales necesitan de métodos confiables de mejora de sus capacidades frente a las acciones a las que son sometidas.

Estas mejoras a las estructuras deben ser cuidadosamente estudiadas y revisadas, puesto que al intervenir una estructura con ciertos años de existencia, esta puede experimentar diversos efectos, por ejemplo: una alteración de las rigideces, la coexistencia de diferentes materiales nuevos y antiguos con diferentes estados de tensión y deformación, además de la consideración de los posibles cambios de distribución de cargas durante y después de las operaciones de refuerzo, entre otros (Del Río, 2008).

Uno de los métodos menos invasivos de refuerzo para estructuras sujetas a compresión, es el uso de materiales a base de fibras de carbono o CFRP, los cuales explotan el principio de refuerzo por confinamiento (De la Rosa et al., 2016; Villalón et al., 2014).

Sin embargo, los especialistas se enfrentan a un panorama con poca regulación normativa y dependiente de guías elaboradas por asociaciones técnicas para implementar esta tecnología, por lo que este trabajo busca analizar las diferentes estrategias analíticas para un cálculo confiable del refuerzo basado en CFRP (Aire, et al., 2010).

Por lo tanto, se plantean los siguientes objetivos:

- Comprobar el incremento de resistencia de acuerdo con las características del pilar de hormigón armado en función de distintas variables.
- Comparación de resultados experimentales contra resultados de modelos físicos.
- Conocer la efectividad de los refuerzos de FRP en elementos sometidos a tensión de compresión.

## 2. CÁLCULO ANALÍTICO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN CONFINADOS CON FRP.

La aplicación de revestimientos de FRP ha demostrado su eficacia en el aumento de resistencia y la capacidad de deformación de elementos de hormigón armado sometidos a compresión. El principio fundamental que rige a esta técnica de refuerzo mediante confinamiento con FRP se basa en el caso de una columna sometida a carga axial, la expansión lateral de la columna por el efecto del aplastamiento se mitiga mediante una “camisa” externa de FRP, que ejerce presión de confinamiento sobre el núcleo de hormigón que se expande. A diferencia de las utilizadas en acero, los FRP presentan características elásticas lineales, lo que permite que la presión de confinamiento aumente hasta alcanzar el punto de fallo, atribuido principalmente al fallo por tracción en las fibras del encamisado. Las características de tensión-deformación axial del hormigón confinado con FRP suelen seguir una respuesta ascendente aproximadamente bilineal cuando se aplica una cantidad adecuada de refuerzo (Gutiérrez et al., 2021). Haciendo que la curva de tensión – deformación del elemento se prolongue en el sentido de resistencia y deformación sin llegar a la rotura, efecto que se observa en la figura 8.

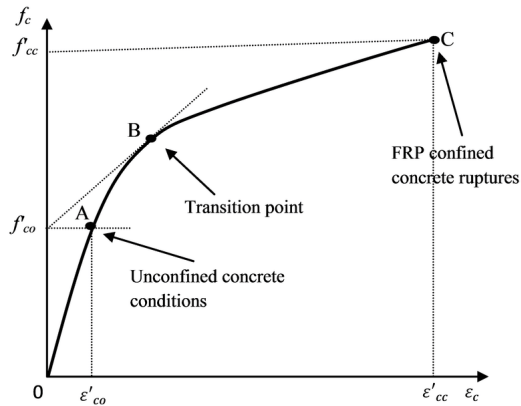


Figura 8 Esquema del comportamiento tensión – deformación en columnas confinadas y sin confinar (Gutiérrez et al., 2021).

Diversos estudios experimentales se han llevado a cabo para conocer el comportamiento del hormigón confinado con FRP, la mayoría de ellos en probetas circulares, sin embargo, aunque en menor cantidad también se han llevado a cabo estudios en especímenes no circulares, en donde el confinamiento es menos eficiente (Cao et al, 2021). La menor eficiencia se debe a que la acción de confinamiento se concentra en las esquinas en lugar del perímetro completo. La figura 9, muestra la distribución típica de tensiones mediante modelos de análisis de elementos finitos realizados por Gutiérrez et al (2021).

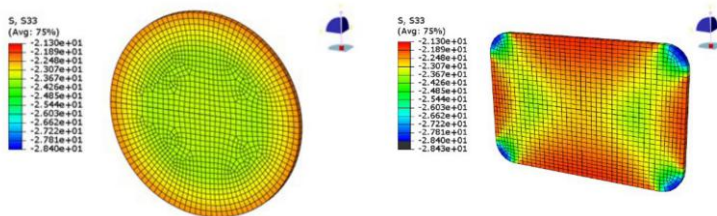


Figura 9 Distribución de las tensiones de confinamiento en un modelo MEF en sección circular y rectangular (Gutiérrez et al., 2021).

Naturalmente estos estudios conllevan a cuestionarse el comportamiento de diversos tipos de fibras existentes en el mercado bajo distintos escenarios de actuación, por lo que resulta necesario definir las reglas matemáticas con las que se analizaran los casos.

## 2.1. CÁLCULO DE REACCIONES

Las bases para el desarrollo de los análisis de comportamiento y resistencia final que se obtendrán a partir de diferentes configuraciones de tipos de fibra FRP, número de capas de refuerzo y distintas composiciones de geometría, tienen su origen en las recomendaciones de diseño del Instituto Americano del Hormigón, específicamente del boletín ACI 440 (2017).

El confinamiento con FRP proporciona confinamiento pasivo al elemento sometido a compresión, permaneciendo sin tensión hasta que se produce en el elemento confinado la dilatación por la tensión de compresión, es por esto por lo que el contacto íntimo entre la cubierta de FRP y el elemento de hormigón es crítico.

Dependiendo del nivel de confinamiento, la curva uniaxial tensión - deformación de un elemento a compresión confinado puede ser descrita por alguna de la curva de la figura 10, donde  $f'_c$  y  $f'_{cc}$  representan el máximo valor de resistencia del hormigón confinado y sin confinar. En donde de acuerdo con los modelos de adoptados por ACI 440 (2017) la tensión del elemento reforzado continúa creciendo junto con la deformación, manteniendo el estado elástico a alta tensión.

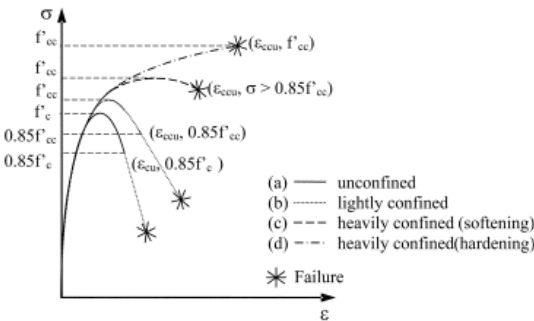


Figura 10 Esquema del comportamiento tensión – deformación en columnas confinadas y sin confinar (ACI 440, 2017).

### 2.1.1. Bases de calculo

Las ecuaciones que construyen los gráficos como los de la figura 18, establecidos en el boletín ACI 440 (2017) están basados en el modelo

de Lang and Teng (2003) (ACI 440, 2017) de determinación de valores para graficas de tensión – deformación, según las ecuaciones 1, 2, 3, 4:

$$(1) \quad f_c = \begin{cases} E_c \varepsilon_c - \frac{(E_c - E_2)^2}{4f'_c} & 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon'_t \\ f'_c + E_2 \varepsilon_c & \varepsilon'_t \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c,max} \end{cases}$$

$$(2) \quad \varepsilon_{c,max} \leq \varepsilon_{ccu} \leq 0,01$$

$$(3) \quad E_2 = \frac{f'_{cc} - f'_c}{\varepsilon_{ccu}}$$

$$(4) \quad \varepsilon'_t = \frac{2f'_c}{E_c - E_2}$$

En donde:

- $\varepsilon_c$ : es la deformación a compresión máxima del hormigón.
- $\varepsilon'_t$ : es la deformación de transición entre hormigón y compuesto FRP.
- $\varepsilon_{ccu}$ : es la deformación última del elemento reforzado con FRP.

La deformación ultima  $\varepsilon_{ccu}$  se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$(5) \quad \varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left( 1,50 + 12 \cdot \kappa_b \cdot \frac{f_l}{f'_c} \left( \frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0,45} \right)$$

Los valores de  $f'_{cc}$  represente la máxima resistencia a compresión del hormigón una vez confinado, para calcularlos se utiliza la ecuación:

$$(6) \quad f'_{cc} = f'_c + \psi_f \cdot 3,3 \cdot k_a \cdot f_l$$

En donde:

- $f'_{cc}$ : Resistencia máxima a compresión del hormigón confinado.
- $f'_c$ : Resistencia máxima a compresión del hormigón sin confinar.
- $f_l$ : Presión máxima de confinamiento debido al FRP.
- $\psi_f$ : factor de reducción de valor 0,95, dado por ACI 318.
- $k_a, k_b$ : factor de reducción de forma:

Para la aplicación de los factores de forma  $k_a$  y  $k_b$ , que dependen de la forma de la sección efectivamente confinada y la relación de aspecto se formulan a continuación:

$$(7) \quad k_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h}\right)^2$$

$$(8) \quad k_b = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{h}{b}\right)^{0,5}$$

El cociente  $\frac{A_e}{A_c}$  corresponde a la generalmente aceptada aproximación del área efectivamente confinada, compuesta por 4 parábolas en secciones no circulares propuesta por Lam and Teng (2003) (ACI 440, 2017) y recogida por el ACI 440 (2017). La forma de las parábolas y el área resultante efectivamente confinada es función de las dimensiones del elemento, el radio de curvatura de las esquinas y módulo de acero de refuerzo longitudinal. La expresión que lo determina es:

$$(9) \quad \frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \frac{\left[\left(\frac{b}{h}\right)(h-2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)(b-2r_c)^2\right]}{3A_g}}{1 - \rho_g} \rho_g$$

En donde:

- b: ancho del elemento.
- h: largo del elemento.
- $r_c$ : radio de curvatura de la parábola equivalente de las esquinas, con valor de 20mm.
- $A_g$ : Área geométrica del elemento.
- $A_s$ : Área del acero de refuerzo.
- $\rho_g$ : Coeficiente de acero de refuerzo longitudinal.

$$(10) \quad \rho_g = \frac{A_s}{A_g}$$

El valor máximo de presión de confinamiento debido al FRP se calcula como:

$$(11) \quad f_l = \frac{2E_f \cdot n \cdot t_f \cdot \varepsilon_{fl}}{D}$$

$$(12) \quad \varepsilon_{fl} = 0,55 \cdot \varepsilon_{fu}$$

$$(13) \quad D = \sqrt{b^2 + h^2}$$

En donde:

- $\varepsilon_{fu}$ : Valor de deformación de rotura del FRP.
- $n$ : número de capas de refuerzo.
- $t_f$ : espesor de cada capa de refuerzo.
- $\varepsilon_{fl}$ : Valor de deformación efectiva al fallo.

Conocidos estos valores se puede calcular la tensión de compresión axial resultante en el elemento reforzado, recordemos que el funcionamiento del refuerzo por FRP comienza a ser efectivo cuando el elemento comprimido se comienza a dilatar y en la zona confinada además de que el acero de refuerzo en si comienza a contribuir en la tensión del elemento, el ACI 440 (2017) establece la siguiente ecuación para elementos no pretensados con refuerzo de amarre de acero existente:

$$(14) \quad \Phi P_n = 0,8\Phi [0,85f'_{cc}(A_g - A_s) + f_y A_s]$$

En donde:

- $\Phi = 0,65$ : factor de reducción de resistencia.
- $f_y$ : Modulo de elasticidad del acero de refuerzo.

## 2.2. METODOLOGÍA

Los casos de estudio se constituyen de la suma de las combinaciones de tipo de probeta, tipo de fibra FRP, numero de capas de refuerzo y distintas composiciones de geometría arrojaron un total de 396 combinaciones para el desarrollo de estudio.

La composición de estas combinaciones se basa en las siguientes características:

- Dimensiones de probeta.
- Sección de probeta.
- Resistencia del hormigón.
- Cuantía de hierro.
- Tipo de fibra.
- Numero de capas de fibra.

Lo cual divide el análisis en muestras tipo probeta y muestras tipo pieza, como se muestra en la tabla 1.

<b>Hormigones</b>	<b>15, 25 y 40 N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Tipos de fibras</b>	Fibra de carbono unidireccional de alta resistencia (0,166mm) Fibra de carbono unidireccional de alto módulo de elasticidad (0,165mm) Fibra de basalto Fibra de vidrio
<b>Numero de capas</b>	1, 2 y 3

Tabla 1 Tabla de combinaciones para estudio de probetas

Para piezas de hormigón, las combinaciones a estudiar se muestran en la tabla 2, con su respectivo código de identificación de caso:

<b>CÓDIGO</b>	<b>Tipo de sección</b>	<b>Dimensiones (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Armado</b>	<b>Hormigones (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tipos de fibras</b>	<b>Numero de capas</b>
<b>CASO 1</b>	Cuadrada	25x25	4φ12	15, 25 y 40	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbono de alta resistencia.</li> <li>• Carbono de alto módulo de elasticidad.</li> <li>• Basalto.</li> <li>• Vidrio.</li> </ul>	1, 2 y 3
<b>CASO 2</b>			4φ20			
<b>CASO 3</b>			4φ12			
<b>CASO 4</b>			4φ20			
<b>CASO 5</b>	Rectangular	25x30	6φ12			
<b>CASO 6</b>			6φ20			
<b>CASO 7</b>	25x40	25x30	6φ12			
<b>CASO 8</b>			6φ20			
<b>CASO 9</b>			6φ12			
<b>CASO 10</b>			6φ20			

Tabla 2 Tabla de combinaciones para estudio de piezas de hormigón

La identificación de los casos de estudio se realiza mediante el siguiente código basado en el número de caso, tipo de fibra, Resistencia de hormigón y numero de capas de refuerzo, siendo su estructura la siguiente:

Caso – Tipo de fibra – Resistencia de hormigón – Capas de refuerzo.

### 3. RESULTADOS

En este capítulo comentaremos los números obtenidos a partir de las ecuaciones y conjunto de combinaciones de hormigón de distintas resistencias, tipo de geometría, tipo de FRP de refuerzo y el número de capas de esta misma en elementos tipo probeta y tipo pieza.

### 3.1 ELEMENTOS TIPO PROBETA

Se han observado similitudes de comportamiento entre tipos de fibras con características diferentes, en la figura 11 se identifican con mayor facilidad la similitud de valores de resistencia final reforzada conforme al número de capas instaladas entre los distintos tipos de fibra. Es notable como se alcanzan valores de incremento similares de  $f'_{cc}$  entre hormigones con resistencia inicial menor y la siguiente resistencia a la compresión del hormigón de la muestra, además de la similitud de valores alcanzados entre diferentes fibras como el caso de la muestra CHM25 con la muestra V25.

Inclusive se observa que en la configuración de 3 capas de refuerzo, los valores alcanzados por las muestras CHR15 y B15 son superiores a los alcanzados por las muestras CHM25 y V25 con resistencia de hormigón inicial superior.

Además, en las muestras con 3 capas de refuerzo el comportamiento se repite con las muestras de resistencia inicial superior siguiente, las muestras CHR25 y B25 alcanzan una resistencia final reforzada similar a las muestras CHM40 y V40.

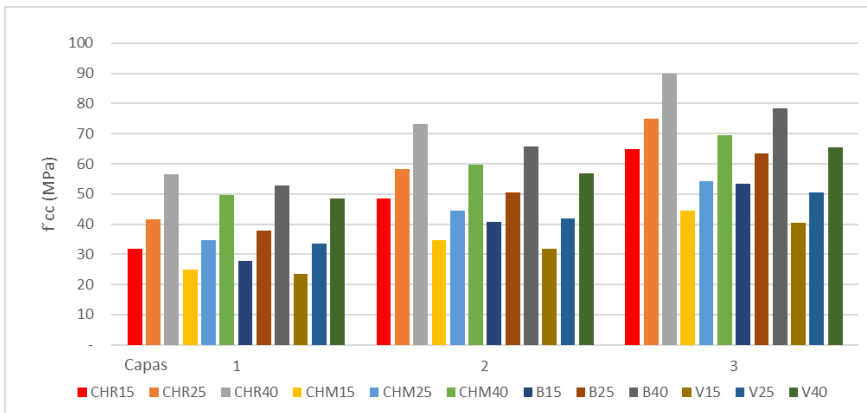


Figura 11 Resistencia ultima y numero de capas de todas las fibras FRP.

A partir del enfoque del incremento porcentual, en la figura 12 se aprecia la efectividad del refuerzo con FRP sobre los elementos con características “pobres” de resistencia mecánica, mejorando su desempeño en un rango del 56% en la muestra V15 al 354% de la muestra CHR15 con tres capas de refuerzo respecto a su resistencia

inicial. Como hemos mencionado, la similitud de resistencia final entre las fibras CHM y V es bastante clara, aunque sus características mecánicas son diferentes es la capacidad mecánica de cada una la que logra esta similitud.

Se convierte en un resultado interesante ya que las fibras de vidrio tienen un módulo de elasticidad aproximadamente 84% menor que las fibras de carbono de alto módulo de elasticidad, sin embargo, el porcentaje de deformación última de las fibras de basalto es casi 8 veces el valor que presentan las fibras de carbono de alto módulo de elasticidad, motivos por los cuales su comportamiento final mecánico es similar.

En la figura 12, observamos ahora en forma de porcentaje de aumento de resistencia respecto a la resistencia  $f'_c$  inicial de cada muestra, se observa que el porcentaje de aumento de resistencia es mucho menor en los elementos con resistencia inicial alta, siendo el rango de un aumento del 21% al 42% de la resistencia final con refuerzo de 1 capa.

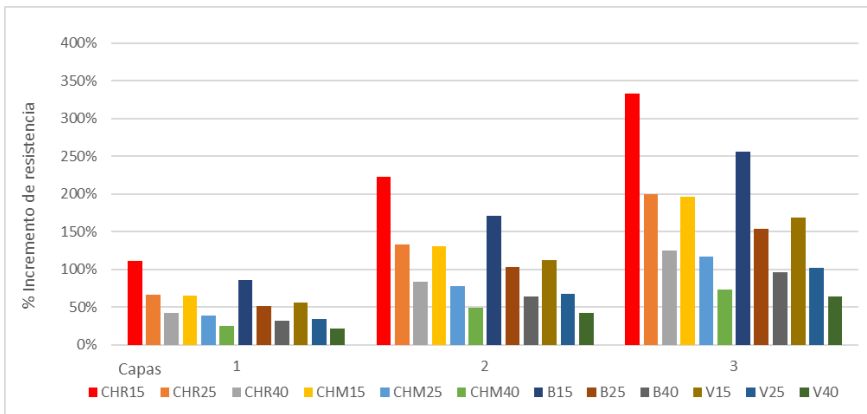


Figura 12 Incremento porcentual de resistencia respecto al número de capas de refuerzo FRP.

Por consecuencia, en la figura 12, se nota que el mayor aumento porcentual de resistencia es en los elementos con menor valor de resistencia inicial, con esta figura se observa un comportamiento inverso en comparación con la figura 11, evidenciando el aumento efectivo de los diferentes refuerzos FRP en cada elemento de características

iguales. Aunque de igual forma se evidencia que las fibras con mejor desempeño son las de Carbono y Basalto.

### 3.2 ELEMENTOS TIPO PIEZA

Continuamos con los resultados obtenidos para elementos con características similares a las que se pueden encontrar en los casos reales de aplicación de refuerzo, respecto a elementos con geometrías y cuantía de acero comunes en las edificaciones candidatas a aplicar este tipo de refuerzo.

En las siguientes figuras se muestran las gráficas de los resultados obtenidos para cada caso, en donde se observará la capacidad de resistencia última  $P_n$  con respecto al número de capas de refuerzo, así como el porcentaje de incremento porcentual de resistencia con respecto a la resistencia inicial  $P_0$ . Cada grafico contara con los 12 elementos que muestran las diferentes combinaciones de tipo de fibra, numero de capas y resistencia inicial del hormigón. Además, la tabla de resultados completa se puede consultar en el Anejo B.

La figura 13 corresponde a el primer caso, un elemento de 25x25 cm y con una cuantía de acero de  $4\phi 12$ , en ella observamos que las columnas con mayor valor corresponden a las muestras con un valor inicial mayor, es decir, las que tienen un hormigón de 40 MPa. Además, se observa como en todas las muestras la resistencia final aumenta conforme el número de capas de refuerzo crece.

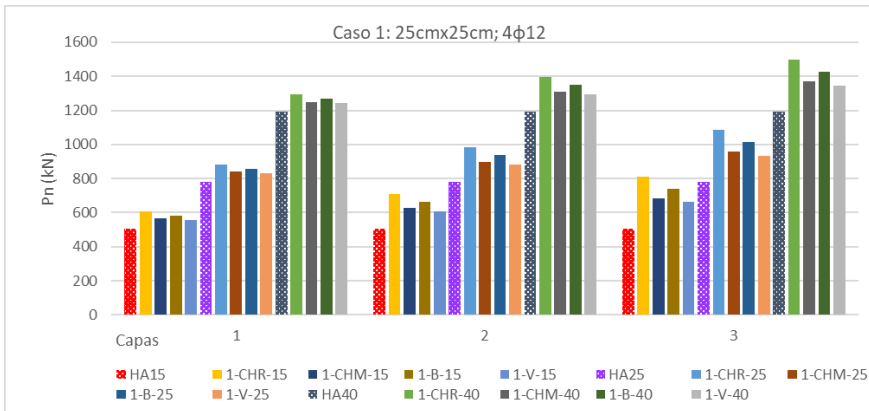


Figura 13 Resistencia ultima respecto al número de capas del caso 1.

En cuanto al incremento porcentual, observamos en la figura 14, los resultados obtenidos para las muestras de este caso en donde los mejores porcentajes de aumento de resistencia se observa cuando hay 3 capas de refuerzo, siendo las muestras CHR-15 y B-15 las que mayor valor alcanzan con 61% y 47% de aumento respectivamente. También es muy notable como el aumento de resistencia es mayor conforme las condiciones de resistencia iniciales son de características más pobres, se nota en todos los casos un descenso del aumento porcentual conforme aumenta la resistencia del hormigón.

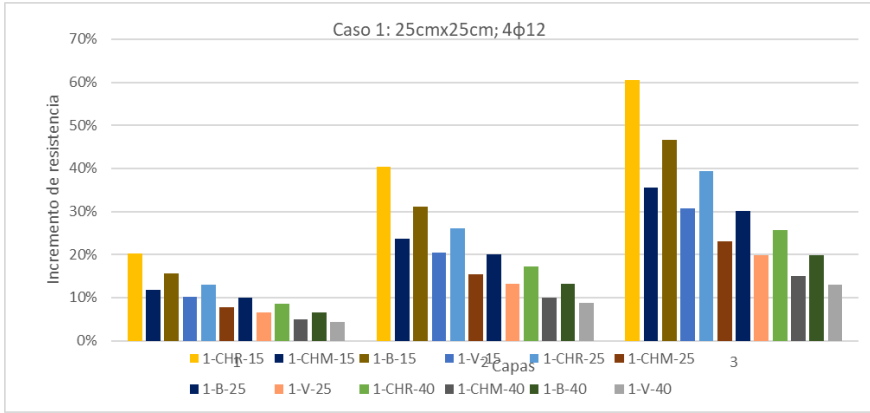


Figura 14 Incremento porcentual de resistencia respecto al número de capas de refuerzo FRP del caso 1.

El comportamiento se mantiene de manera muy similar en los casos 3 y 4, obteniendo los mayores valores de resistencia  $P_n$  en los elementos reforzados con fibra de carbono de alta resistencia (CHR) y fibra de basalto (B) y las de menor desempeño las que fueron reforzadas con las fibras de carbono de alto módulo de elasticidad (CHM) y fibra de vidrio (V). Así mismo, la pendiente proyectada de las respectivas rectas mantiene también un comportamiento a lo observado en los casos anteriores.

A continuación la figura 15 muestra de forma paralela los resultados alcanzados entre los dos últimos casos de sección cuadrada pero con un área geométrica de mayor extensión. En este caso son de 40 cm por lado, en ellos vemos resultados similares a los dos casos anteriores que comparten características geométricas, se nota un aumento de resistencia final conforme aumenta el área de acero de refuerzo, sin

embargo, no se observa un aumento considerable de resistencia  $P_n$  respecto a los valores alcanzados sin ningún tipo de refuerzo.

De nueva cuenta vemos cómo la fibra de carbono de alta resistencia y la fibra de basalto son las que mayor aumento de resistencia  $P_n$  logran, con la fibra de carbono de alto módulo de elasticidad y fibra de vidrio con las menores aportaciones a la resistencia final.

Inclusive la diferencia de capacidad resistente  $P_n$  entre las diferentes combinaciones de fibra se reduce, por ejemplo las combinaciones 3-CHR-15-1, 3-CHM-15-1, 3-B-15-1 y 3-V-15-1 arrojan una capacidad resistente  $P_n$  de 1294 kN, 1235 kN, 1261 kN y 1224 kN respectivamente.

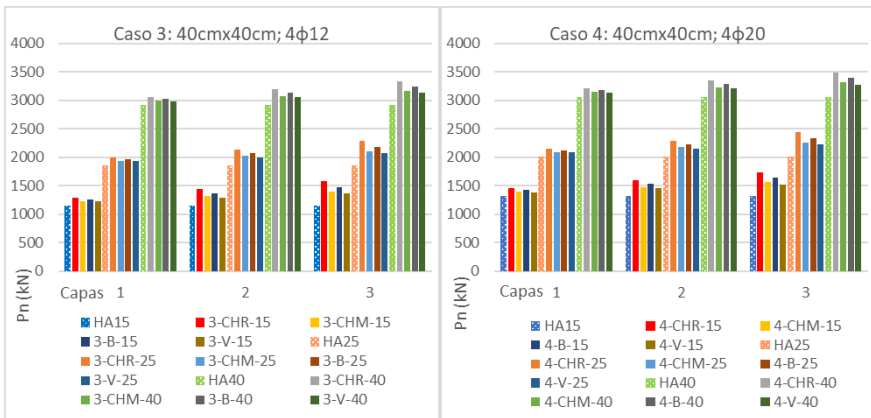


Figura 15 Resistencia ultima respecto al número de capas del caso 3 y 4.

Para el caso 4, representado de igual manera en la figura 15 ocurre un comportamiento similar en las mismas combinaciones 4-CHR-15-1, 4-CHM-15-1, 4-B-15-1 y 4-V-15-1 arrojan una capacidad resistente  $P_n$  de 1455 kN, 1396 kN, 11422 kN y 1385 kN respectivamente. Notamos el comportamiento esperado y presente en los dos primeros casos donde las fibras de carbono de alta resistencia (CHR) y fibra de basalto (B) comparten valores similares, sucediendo lo mismo con la fibra de carbono de alto módulo de elasticidad (CHM) y la fibra de vidrio (V).

Repitiendo la forma de presentación, en la figura 16, se presentan los gráficos de porcentaje aumento de resistencia alcanzado de los casos

3 y 4, vuelve a ser evidente la similitud de comportamiento para esta configuración de casos, donde el caso con mayor área de acero de refuerzo presenta un aumento menor de su capacidad de resistencia con respecto a la resistencia sin reforzar.

Así mismo, observamos como a mejores características de los casos, es decir, mayor área geométrica y de acero, el refuerzo con FRP va reduciendo el aporte de capacidad resistente  $P_n$  en el elemento.

También observamos el incremento de resistencia en cada combinación como una constante conforme van aumentando las capas de refuerzo, es decir, la primera capa aporta una capacidad resistente que se multiplica por las  $n$  capas de refuerzo que se agreguen a la pieza reforzada.

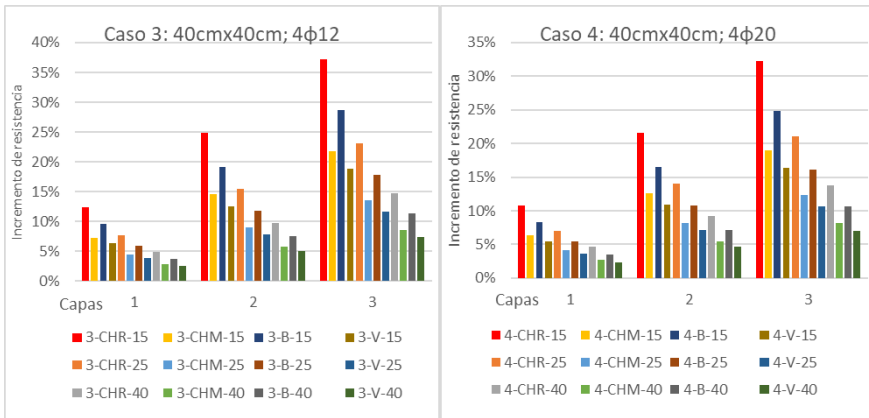


Figura 16 Incremento porcentual de resistencia respecto al número de capas de refuerzo FRP del caso 3 y 4.

Los resultados obtenidos en los 6 casos restantes corresponden a los casos establecidos como elementos de sección rectangular y una mayor área total de acero de refuerzo en su configuración de diseño inicial. Aumentando la cantidad de acero de refuerzo, en un par de unidades, pero con los mismos diámetros que en los casos de sección cuadrada. En estos casos si se tiene una mayor influencia del factor de forma planteado en la ecuación (6) por que el cociente que implica el ancho y largo de la sección geométrica del elemento en la ecuación (7) multiplica el efecto reductor del factor de forma.

En la figura 17 observamos el primer caso de sección rectangular correspondiente al caso 5, que muestra el comportamiento de la capacidad resistente ultima  $P_n$  con las diversas combinaciones de fibras y capas de refuerzo. En este caso podemos observar que no hay un aumento significativo de la capacidad resistente alcanzada con el uso de refuerzo FRP.

Como muestra de este comportamiento tomaremos la combinación 5-B-15 que alcanza una capacidad resistente  $P_n = 691,25$  kN, mientras que la capacidad sin ninguna clase de refuerzo para ese tipo de hormigón es de  $P_0 = 633,98$  kN.

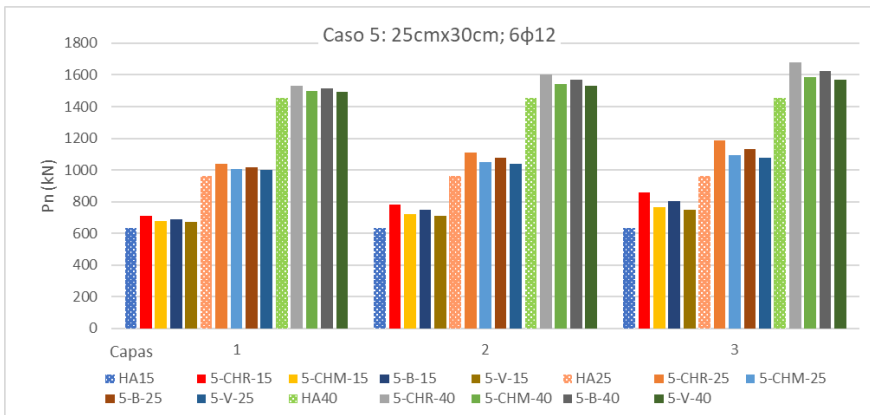


Figura 17 Resistencia ultima respecto al número de capas del caso 5.

Los resultados alcanzados son más fáciles de visualizar en términos de porcentaje de aumento de resistencia, retomando la combinación mencionada en el párrafo anterior, la 5-B-15-1 tiene un aumento porcentual de resistencia de 9% respecto de las características sin reforzar. Este resultado, así como el de las demás combinaciones se pueden apreciar en la figura 18.

También observamos de nueva cuenta que la fibra de carbono de alto módulo de elasticidad y la fibra de vidrio arrojan las menores aportaciones a la capacidad resistente final. Además, se mantiene el comportamiento en donde los hormigones más pobres son los que mayor ventaja obtienen del refuerzo con fibras FRP.

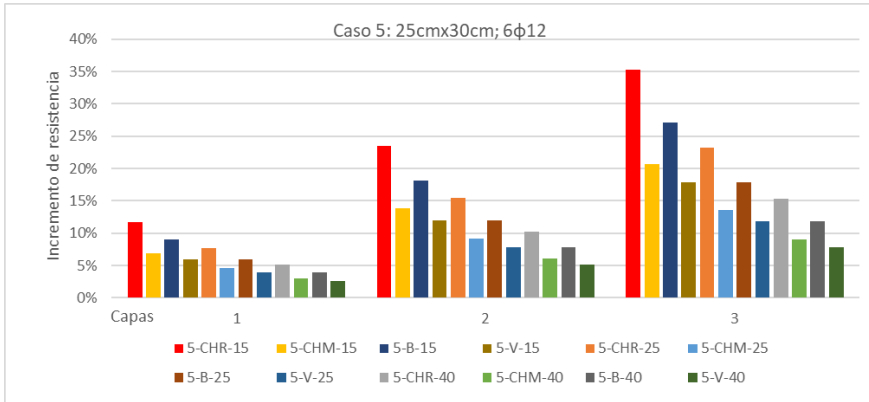


Figura 18 Incremento porcentual de resistencia respecto al número de capas de refuerzo FRP del caso 5.

En los casos siguientes conforme van mejorando las características mecánicas, observamos como el rendimiento de las fibras de refuerzo va disminuyendo, otorgando un aumento de capacidad resistente con por lo menos 2 capas de refuerzo. La reducción en el aumento porcentual ha sido una constatación conforme las características del elemento van mejorando, es decir, cuando un caso tiene mayor área de acero de refuerzo y mayor área geométrica la aportación de resistencia adicional proporcionada por el refuerzo de FRP no es tan significativo con en los casos a nivel de probeta.

Evidencia de esto son los resultados obtenidos para el último caso de estudio mostrados en la figura 19, nos muestran resultados similares a los alcanzados por las muestras del caso 9, no en el sentido del valor alcanzado de capacidad resistente, sino porque se aprecian aumentos de resistencia de poco incremento, por ejemplo: en la combinación 10-CHR-51 se alcanzan valores de resistencia  $P_n$  de 1237 kN, 1266 kN y 1295 kN con 1, 2 y 3 capas respectivamente y siendo el valor para hormigón de 15 MPa en la pieza sin refuerzo de  $P_0 = 1208$  kN, podemos deducir que el incremento se reduce aún más ya que no se ha podido siquiera superar los 1300 kN de resistencia a la compresión.

Es notable de nueva cuenta que las muestras con mayor ganancia de resistencia final son las que tienen las características mecánicas pobres, es decir, las muestras con hormigón de 15 MPa son las que mayor partida obtienen del refuerzo fibras FRP. Aunque en términos

cuantitativos todas las muestras de un tipo de fibra obtienen el mismo aumento de resistencia conforme incrementan las capas de refuerzo, por ejemplo: la muestra 10-CHM-15 obtiene de una capa de refuerzo un aumento de 17 kN, para dos capas un valor de 34 KN y para tres capas un incremento de 51 kN al igual que la muestra 10-CHM-25 o que la muestra 10-CHM-40. El rendimiento respecto a su capacidad resistente inicial siempre es mayor en la muestra con hormigón de 15 MPa que en el de hormigón de 40 MPa, este rendimiento es que el hemos podido observar en los casos anteriores en los gráficos de porcentaje de aumento de resistencia.

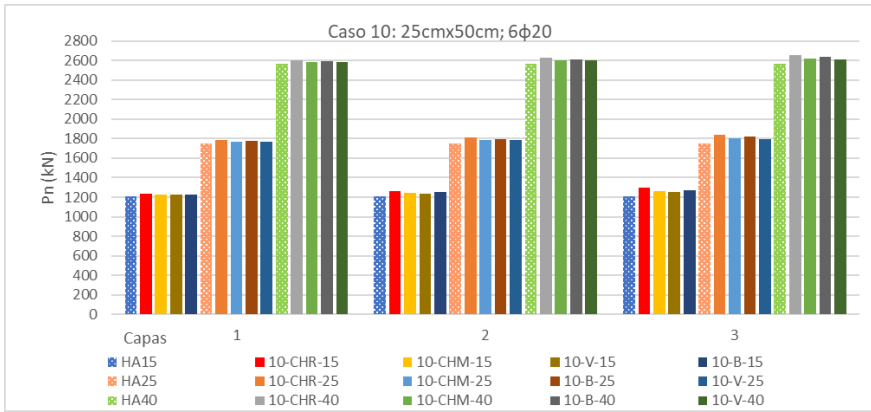


Figura 19 Resistencia ultima respecto al número de capas del caso 10.

En el caso 10, el aumento de porcentual de resistencia se muestra en la figura 20, en ella podemos visualizar lo comentado en el párrafo anterior. Los mayores porcentajes de aumento de resistencia se encuentran concentrados en las muestras con el hormigón de menores características de resistencia, por lo que aunque el aumento cuantitativo sea de pocas unidades si la resistencia inicial es baja representa porcentualmente un número mayor. De nueva cuenta notamos que las fibras que otorgan el porcentaje y valor más alto de resistencia final son las de carbono de alta resistencia (CHR) y la de basalto (B) en las muestras con el hormigón de menor capacidad resistente y a partir de 2 capas de refuerzo FRP.

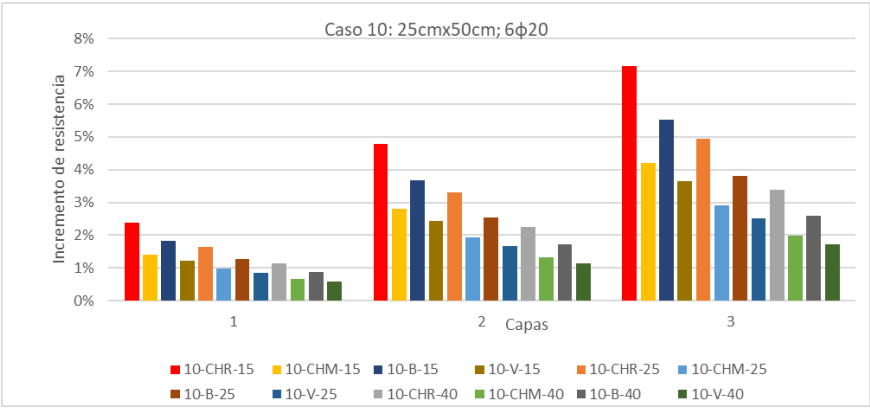


Figura 20 Incremento porcentual de resistencia respecto al número de capas de refuerzo FRP del caso 10.

Durante el desarrollo de este trabajo hemos podido comprobar como la forma del elemento a nivel de pieza afecta al rendimiento que pueden proporcionar los compuestos FRP, los posibles resultados a obtener con diferentes tipos de fibra en un elemento de hormigón lo cual nos ayudara a ampliar nuestro criterio en el momento de recomendar o valorar el utilizar un refuerzo de FRP en la rehabilitación de elementos estructurales sometidos a compresión considerando sus características mecánicas principales como su resistencia inicial, su cantidad de acero de refuerzo y la forma geométrica de la sección, tal como se observa en la figura 6, en donde el desempeño del refuerzo FRP es condicionado por las características geométricas y mecánicas del elemento a reforzar, siendo menores en elementos con buena composición estructural.

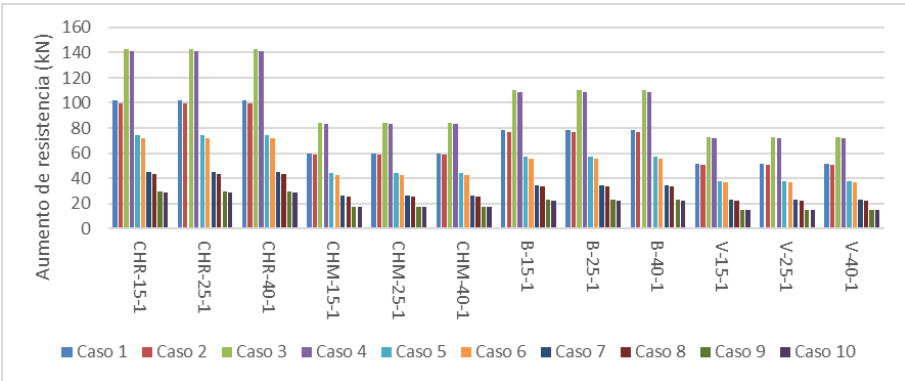


Figura 21 Aumento de resistencia en casos 1 a 10 con una capa de refuerzo.

En la figura 21 podemos visualizar y comparar todos los aumentos de resistencia final que se han obtenido de cada caso, se dejan fuera los resultados del Caso 0 que corresponden a muestras tipo probeta a que en estas se valora el resultado de aumento de resistencia del hormigón  $f'_{cc}$  y a nivel de pieza se valora la capacidad resistente  $P_n$ . Resulta notable como los primeros 2 casos tienen los mayores valores de aumento de resistencia y los casos con las secciones geométricas más grandes presentan los menores de los valores de incremento capacidad resistente, este comportamiento encaja perfectamente con la ecuación (7) establecida por ACI 440 (2017) para obtener el factor de forma, en donde las dimensiones del elemento a reforzar influyen la capacidad de la fibra de FRP de aportar resistencia adicional.

### 3.3 COMPARACIÓN DE DATOS REALES CON DATOS OBTENIDOS MEDIANTE MODELO ACI 440

En el desarrollo de este capítulo hemos podido observar los resultados esperados a obtener mediante el procedimiento y formulas establecidas en boletín ACI 440 (2017), así como una comparativa de los datos a obtener mediante las variaciones de tipo de fibra, numero de capas, tipo de hormigón, tipo de geometría y diferentes áreas de acero de refuerzo por lo que podemos conocer con qué clase de características en el elemento a intervenir, el refuerzo con FRP otorgará el mayor beneficio.

Para conocer más el comportamiento del modelo propuesto por ACI 440 [26] para refuerzos con materiales compuestos compararemos los resultados que arroja la formulación con los resultados obtenidos a través de pruebas reales, datos proporcionados de los resultados obtenidos y recopilados por Gutiérrez et al. (2021) que abarcan 9 autores con los más recientes resultados de elementos sujetos a prueba en laboratorio con refuerzo FRP de carbono o CFRP y de Mastroviti et al. (2012) quienes realizaron una recopilación de resultados de diferentes autores y diferentes tipos de fibras.

Se comienza el contraste entre los resultados para probetas, estos resultados se muestran en la figura 22, dicha imagen nos muestra en color azul los resultados obtenidos en las pruebas físicas y en color naranja el resultado obtenido a partir del modelo de ACI 440 (2017).

Es notable como los resultados teóricos están por debajo de la resistencia alcanzada en la totalidad de las pruebas de entorno real, los resultados obtenidos a partir de ACI muestran un promedio de 22% menos del valor obtenido en las pruebas físicas de  $f'_{cc}$ , con una reducción máxima del 54% en la probeta con un valor de  $f'_c$  de 20,4 MPa y mínima de 99% en la probeta con valor  $f'_c$  de 34 MPa., en promedio los valores teóricos son 78% menores a los alcanzados realmente y se tiene una desviación estándar del 10%.

Por lo cual se puede determinar en este comparativo de datos y resultados de pruebas físicas la formula presentada por ACI 440 (2017) se encuentra orientada a la seguridad al producir valores reducidos con respecto a la resistencia real que puede alcanzar un elemento tipo probeta con refuerzo de FRP.

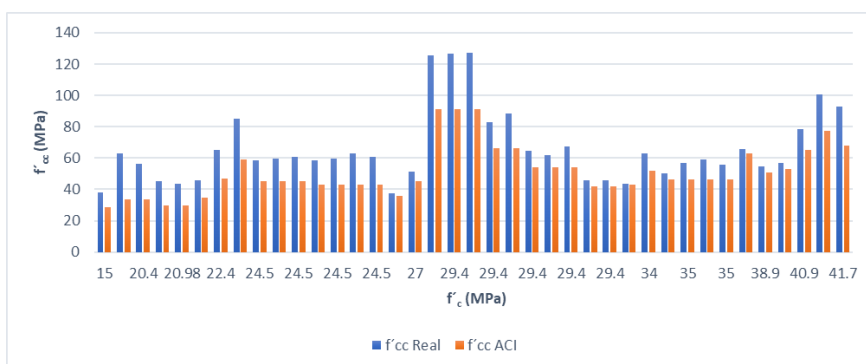


Figura 22 Valor de  $f'_{cc}$  en geometría tipo probeta obtenidos en ensayos reales y mediante formula de ACI 440.

En cuanto a los resultados obtenidos para piezas de geometría más común, es decir, la de sección cuadrada o rectangular, obtenemos un comportamiento similar al anterior. En la figura 23, nos muestra que también en esta ocasión la mayoría de los valores de  $f'_{cc}$  obtenidos mediante ACI 440 (2017) se encuentran por debajo de los obtenidos en las pruebas físicas realizadas a los elementos.

Es importante mencionar que al no tener disponible la información referente al área de acero de refuerzo en los elementos, valor  $k_a$  no se puede calcular mediante el procedimiento establecido en el boletín, por lo que para fines de continuar con la comparativa de valores se estableció un factor de corrección de forma con valor de 0,5. Se eligió este valor de corrección de forma  $k_a$  al ser el promedio de los

valores presentados en el cálculo de las combinaciones realizadas en este trabajo, sin embargo, se toma primeramente sin tomar en cuenta la última parte de la ecuación (7) para conocer qué tanta variación podría presentarse.

Como podemos observar en la figura 23, algunos resultados se encuentran muy alejados de los valores obtenidos en las muestras reales y algunos otros valores teóricos superaron en por lo menos en 123% al valor obtenido en la prueba física. Para esta muestra de datos compuesta por 69 datos, por lo menos 19 de ellos obtuvieron un resultado teórico mayor al reportado en las pruebas físicas. Esto corresponde a un 28% del total de muestra, el restante 72% obtuvieron un valor de resistencia  $f'_{cc}$  teórico menor.

Aun considerando los valores teóricos de resistencia que superaron al realmente obtenido, el modelo teórico ha arrojado un valor de resistencia ultima promedio de 85% del realmente alcanzado en las pruebas físicas. Con los datos disponibles de la fibra de carbono utilizada se deduce por su módulo de elasticidad que es una fibra de carbono de alta resistencia la que se utilizó para la realización de las pruebas físicas que se presentaron.

Sin embargo, a fines de profundizar en el análisis de los resultados obtenidos mediante la ecuación (7) establecida por ACI 440 (2017), el factor  $k_a$  sugerido anteriormente no está completo, aunque el valor de 0,5 si es el promedio obtenido en los datos anteriores le falta considerar la potencia al cuadrado del cociente entre el ancho y el alto de la sección, por lo que en la figura 24 podemos ver como al aplicar correctamente el factor de forma el índice de la resistencia promedio es más uniforme pasando arrojar un valor de resistencia inferior al realmente alcanzado en el 90% de los datos, comparando los valores teórico entre el realmente alcanzado encontramos que el valor de máximo de este cociente alcanza el 123% y el de menor valor es de 45%, en promedio los valores teóricos son 79% menores a los alcanzados realmente y se tiene una desviación estándar del 16%.

Por lo que sigue demostrando estar del lado de la seguridad en el diseño de intervenciones mediante la utilización de refuerzos con materiales compuestos de fibra, aunque con una mayor reserva para los elementos con sección rectangular.

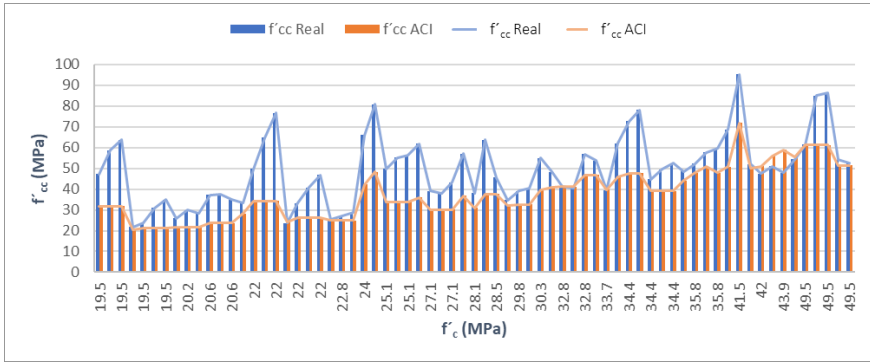


Figura 23 Valor de  $f'_{cc}$  en geometría tipo pieza obtenidos en ensayos reales y mediante fórmula de ACI 440 con  $k_a$  incompleto.

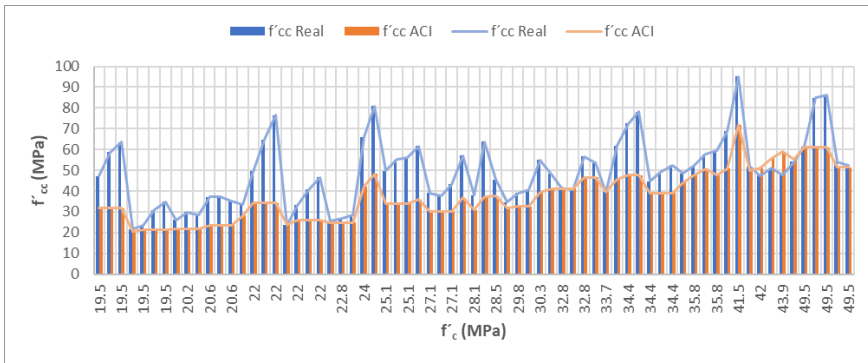


Figura 24 Valor de  $f'_{cc}$  en geometría tipo pieza obtenidos en ensayos reales y mediante fórmula de ACI 440.

### 3.4 ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS TENSIÓN-DEFORMACIÓN GRÁFICOS DE DEFORMACIÓN

Se observó también que las características mecánicas del tipo de fibra utilizado influyen en el comportamiento de la curva tensión – deformación asociada al diseño de refuerzo ya que esta curva está guarda relación con la influencia del aumento de capacidad resistente otorgada por el FRP y la capacidad resistente inicial del elemento, como se observa en la figura 25, donde podemos notar que la mayoría de las combinaciones cumple con lo esperado de acuerdo con la guía de ACI 440 (2017). Notamos una evolución de las pendientes de las curvas tensión - deformación pronunciada en la primera parte que corresponde al rango elástico, llega al punto de tensión de transición

para después continuar en rango elástico hasta la deformación máxima con la resistencia ultima  $f'_{cc}$ .

Sin embargo, en las combinaciones 2-CHM-25-1, 2-CMH-40-1 y 2-CMH-40-1 se observa un retroceso en la curva porque el valor de deformación máximo es inferior al de deformación de transición. Esto puede suceder porque la relación mínima de confinamiento  $f_l/f'_c$  de esas combinaciones es menor a 0,08, ACI 440 (2017) explica que si se tiene un valor inferior a 0,08 no se puede garantizar la no disminución de los valores de deformación en algún punto de la gráfica, anomalía que sucedió en estas combinaciones.

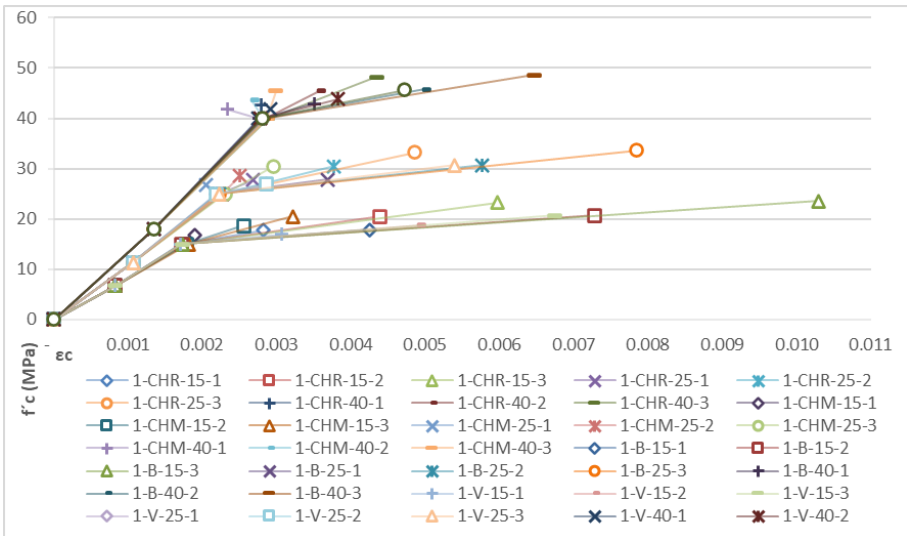


Figura 25 Curva tensión - deformación para un caso de estudio.

Los resultados de la curva tensión – deformación del caso 3 se observa en la figura 26, en este caso en donde la sección geométrica aumenta se observa que los valores de  $\epsilon'_t$  y  $\epsilon_{ccu}$  se reducen en las varias millonésimas, además de que un mayor número de combinaciones no alcanzan a superar en su valor de deformación ultima  $\epsilon_{ccu}$  al valor de deformación de transición. Los casos que tienen este comportamiento son 4-CHR-25-1, 4-CHR-40-1, 4-CHM-15-1, 4-CHM-25-1, 4-CHM-25-2, 4-CHM-40-1, 4-CHM-40-2, 4-CHM-40-3 y 4-V-40-1.

Resulta interesante que en los casos en donde no se logra superar la deformación de transición coincide con los casos en donde el aumento de resistencia final no supera el 7% de incremento.

En la figura 27, observamos como el aumento del área de acero nuevamente disminuye los valores de deformación última alcanzados en la millonésima parte, comportamiento similar al ocurrido en los casos 1 y 2. En esta figura 56 también comprobamos que los 9 casos mencionados anteriormente tienen el mismo comportamiento de no poder alcanzar la deformación de transición.

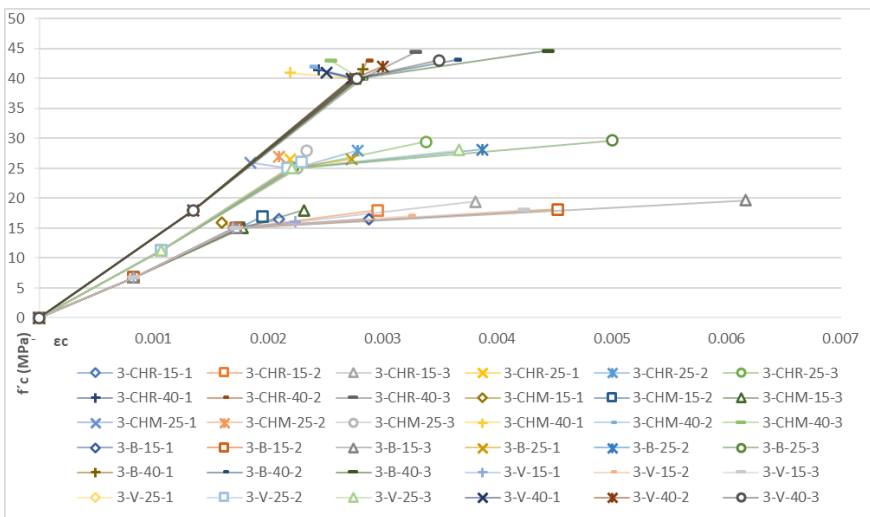


Figura 26 Curva tensión - deformación caso 3.

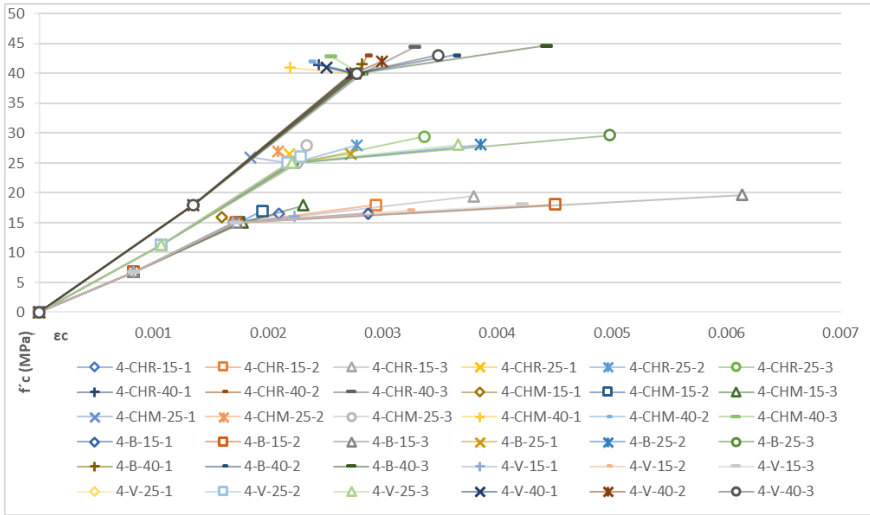


Figura 27 Curva tensión - deformación caso 4.

Hemos estado observando como los resultados de deformación van disminuyendo conforme aumenta la sección geométrica del elemento y a su vez el área de acero de refuerzo. Por lo que se puede deducir que la influencia del acero de refuerzo hace la deformación última alcanzada por el material compuesto se vea reducida.

En los casos en donde la sección es irregular cobra más sentido el factor de forma  $k_b$  ya que el cociente del alto entre el ancho afecta el resultado final, siendo en los casos con mayor diferencia de longitudes en donde el factor de forma reduce en mayor manera el posible resultado a alcanzar de deformación.

#### 4. CONCLUSIONES

Hemos estudiado analíticamente el comportamiento de elementos de hormigón confinados tanto a nivel de probeta como a nivel de pieza y llegamos a las siguientes conclusiones:

A nivel de probeta se obtiene incrementos de resistencia altísimos de hasta el 334%, estos incrementos de resistencia son tanto mayores cuanto mayor es la resistencia de la fibra que confina y son independientes de la rigidez de la fibra que ejerce como confinante.

A nivel de pieza los incrementos de resistencia obtenidos también dependen de la resistencia de la fibra y e igualmente son independientes de la rigidez de la fibra que confina, sin embargo, son sustancialmente menores que los incrementos de resistencia obtenidos a nivel de probeta, son menores cuando la sección es rectangular en vez de cuadrada o circular por el factor de forma y son menores cuanto mayor es la resistencia o la capacidad mecánica a compresión del elemento que se está confinado.

En el estudio del diagrama tensión - deformación obtenido a partir de las expresiones de ACI se ha podido comprobar que: la rigidez de la fibra, obtenida como el producto del módulo de elasticidad por el espesor, influye decisivamente en la de formación última del hormigón cuanto mayor es la rigidez menor es la deformación última y cuanto mayor es la rigidez de la fibra mayor es la pendiente en la fase de endurecimiento.

El comportamiento de las curvas de tensión – deformación llama mucho la atención que algunas combinaciones no logran superar la deformación de transición en su valor de deformación última, por lo que puede ser debido a que por las características del refuerzo este no es compatible y sufre una rotura frágil, pues el hormigón falla antes por aplastamiento. En esta característica las fibras de basalto (B) y vidrio (V) son las que alcanzaron los valores más altos de deformación última  $\epsilon_{ccu}$ , mientras que ambas fibras de carbono se quedaron con valores inferiores. Adicionalmente la guía de cálculo ACI 440 (2017) recomienda que para que este tipo de comportamiento no suceda, se debe cumplir una condición mínima en donde el cociente entre  $\frac{f_l}{f_c}$  no debe ser menor a 0,08 pues de no satisfacer esta condición no se puede garantizar que no exista una segunda reducción en los valores de deformación y en todos los casos donde no se cumple esta condición la deformación última no pudo superar al valor de deformación de transición.

Es muy importante considerar en el diseño de refuerzo con FRP las características de los elementos a reforzar, ya que el beneficio del refuerzo tiende a disminuir conforme las características del elemento original son de mejores prestaciones. Dicho esto y en consideración de que la mayoría de las edificaciones antiguas tiene materiales pobres de características mecánicas, el refuerzo con FRP demuestra ser

una gran herramienta para garantizar una renovación de la estructura poco invasiva y de buenas prestaciones, no perdiendo de vista que no todas las fibras disponibles en mercado son adecuadas para todos los usos y se deben considerar todas las opciones y escenarios a los que el refuerzo será sometido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DE DIEGO VILLALÓN, A., ARTEAGA IRIARTE, Á., & FERNÁNDEZ GÓMEZ, J. A. (2014). “Modelos de cálculo del hormigón confinado con FRP. Estudio comparativo”. *E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM)*.

DEL RÍO BUENO, A. (2008). *Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación*.

PARRA, C., MARTÍNEZ-CONESA, E., VALCUENDE PAYÁ, M. O., & GARRIDO, A. (2012). “Análisis de métodos para evaluar el refuerzo a esfuerzo cortante con CFRP en vigas de hormigón armado”. *Informes de la Construcción*, 64(526), 197-206.

BRIZUELA VALENZUELA, D., GONZÁLEZ GARCÍA, M. de la N., & COBO ESCAMILLA, A. (2021). “Influence of the Modulus of Elasticity of CFRPs on the Compressive Behavior of Confined Test Pieces and on the Flexural Behavior of Short Concrete Beams”. *Applied Sciences*, 11(2), 491.  
<https://doi.org/10.3390/app11020491>

RUA ÁLVAREZ, E. (1977). “Estudio del refuerzo de pilares de hormigón armado”. *E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM)*.

INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CATALUÑA – ITeC. (s. f.). *Sumario informe Euroconstruct - ITeC*. Accedido: 26 de junio de 2023. <https://itec.es/servicios/estudios-mercado/euroconstruct-sumario-ultimo-informe/>

CHAWLA, K. K. (2012). *Composite materials: science and engineering*. Springer Science & Business Media.

BANK, L. C. (2006). *Composites for construction: structural design with FRP materials*. John Wiley & Sons.

- BAQUER SISTACH, J. (2021). *La fibra de carbono en refuerzo de estructuras de hormigón*. Institut d'Estudis Estructurals.
- GIL, L. (2014). "El refuerzo de estructuras de hormigón con laminados de FRP según la FIB". *OmniaScience Monographs*.
- SPISAKOVA, M., & KOZLOVSKA, M. (2020). *Options of Customization in Industrialized Methods of Construction in Terms of Construction 4.0* (Vol. 47). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_56)
- NASER, M. Z., HAWILEH, R. A., & ABDALLA, J. A. (2019). "Fiber-reinforced polymer composites in strengthening reinforced concrete structures: A critical review". *Engineering Structures*, 198, 109542. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2019.109542>
- NACIONES UNIDAS. (s. f.). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. Accedido: 8 de abril de 2023. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- DÍAZ-COMAS, O. Z., BURÓN, C. L., & RIVAS, H. W. (2018). "Reforzamiento de columnas de hormigón armado a través del uso de tejidos de Polímeros Reforzados con Fibras (PRF)". *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 12(3), 2.
- DE LA ROSA GARCÍA, P., COBO ESCAMILLA, A., & GONZÁLEZ GARCÍA, M. D. L. N. (2013). "Bending reinforcement of timber beams with composite carbon fiber and basalt fiber materials". *Composites Part B: Engineering*, 55. ISSN 1359-8368.
- DE LA ROSA GARCÍA, P., COBO ESCAMILLA, A., & GONZÁLEZ GARCÍA, M. N. (2016). "Analysis of the flexural stiffness of timber beams reinforced with carbon and basalt composite materials". *Composites Part B: Engineering*, 86, 152-159. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2015.10.003>
- DE LA ROSA, P., GONZÁLEZ, M. de las N., PRIETO, M. I., & GÓMEZ, E. (2021). "Compressive Behavior of Pieces of Wood Reinforced with Fabrics Composed of Carbon Fiber and Basalt Fiber". *Applied Sciences*, 11(6), 2460. <https://doi.org/10.3390/app11062460>

- AYMING ESPAÑA. (2020). *Agenda\_Estratégica\_PTEC\_21\_23*.
- SCHNEEGANS, S., LEWIS, J., & STRAZA, T. (2021). *Informe de la UNESCO sobre la ciencia*. [En línea]. Disponible en: [www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbyncsa-sp](http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbyncsa-sp)
- CARBONVENETA. (s. f.). *CFRP carbon laminates in structural reinforcement: uses*. Carbonveneta. <https://carbonveneta.com/en/carbon-fiber-used-in-building/>
- PÉREZ, M. A. (2014). *Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación*. OmniaScience.
- MONALDO, E., NERILLI, F., & VAIRO, G. (2019). “Basalt-based fiber-reinforced materials and structural applications in civil engineering”. *Composite Structures*, 214, 246-263. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2019.02.002>
- AIRE, C., GETTU, R., CASAS, J. R., MARQUES, S., & MARQUES, D. (2010). “Concrete laterally confined with fibre-reinforced polymers (FRP): experimental study and theoretical model”. *Materiales de Construcción (Madrid)*, 60(297), 19-31. <https://doi.org/10.3989/mc.2010.45608>
- GUTIÉRREZ, J. P., MARTÍNEZ, S., DE DIEGO, A., CASTRO, V. J., & ECHEVARRÍA, L. (2021). “Experimental analysis and design strength models adopted by international guides for FRP-confined concrete columns subjected to axial compression”. *Materiales de Construcción (Madrid)*, 71(344), e266. <https://doi.org/10.3989/mc.2021.11521>
- CAO, Q., LV, X., WANG, Y., WU, Z., & LIN, Z. (2021). “Performance and analysis of unidirectional GFRP actively confined high-strength concrete under monotonic and cyclic axial compression”. *Construction and Building Materials*, 271, 121593. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121593>
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (2017). *Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures (ACI 440.2R-17)*. American Concrete Institute.

MASTROVITI, P. (2012). “Estado actual del refuerzo mediante FRP de elementos, de sección rectangular, sometidos a compresión simple”. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/14410>

## PERCEPCIÓN DE PROFESIONALES QUE ATIENDEN A MUJERES VÍCTIMAS DE VIOLENCIA SOBRE VIVIENDA

---

DRA. MARÍA YOLANDA GONZÁLEZ ALONSO  
*Universidad de Burgos, España*

DÑA. BEATRIZ GONZÁLEZ LOZANO  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

### RESUMEN

La vivienda desempeña un papel clave en prevención, tratamiento y rehabilitación de las mujeres que sufren violencia. El objetivo es analizar la implantación de medidas de apoyo a las mujeres según la legislación y su adecuación a la realidad desde la perspectiva de los profesionales que las atienden.

Se recoge la normativa existente en materia de violencia, seguida de un estudio cualitativo mediante entrevistas en profundidad a dos profesionales. Los datos se clasifican en tres categorías: a) Necesidades de las mujeres, b) Servicios que reciben, c) Propuestas para mejorar la atención.

Hay que garantizar el derecho a las medidas de protección y apoyo para las mujeres. Se trata de buscar alojamientos que apliquen enfoques proactivos, enfaticen una atención individualizada, unificada, inmediata, integral y profesionalizada, adaptada a sus necesidades de seguridad y autonomía personal, a través de recursos que permitan la inclusión social en un entorno libre de violencia.

### PALABRAS CLAVE

Violencia, vivienda, calidad, seguridad, inclusión.

## INTRODUCCIÓN

Desde hace casi tres décadas, la violencia contra las mujeres se reconoce internacionalmente como un factor grave y extendido que afecta a la vida y la salud de las mujeres, constituye una violación de sus derechos (WHO, 2018). Naciones Unidas define la violencia contra la mujer como «todo acto de violencia de género que resulte, o pueda tener como resultado un daño físico, sexual o psicológico para la mujer, inclusive las amenazas de tales actos, la coacción o la privación arbitraria de libertad, tanto si se producen en la vida pública como en la privada» (Organización de Naciones Unidas, 1993), comprendiendo las distintas formas de violencia física, psicológica, sexual y económica, que tienen lugar en los ámbitos de la pareja, familiar, laboral y socio-comunitario. Una de cada tres mujeres ha sufrido algún tipo de abuso por parte de otra persona en algún momento de su vida (WHO, 2021).

El examen sistemático y exhaustivo de los datos de prevalencia demuestran que la violencia contra las mujeres es generalizada a nivel mundial. No es un pequeño problema que repercute solamente a algunos sectores de la sociedad, sino que se trata de un problema de salud pública a nivel mundial, que afecta a cientos de millones de mujeres y exige adoptar medidas urgentes para eliminarla. Todos los sectores, deben adquirir los recursos necesarios en el contexto de un enfoque multisectorial hacia la violencia contra las mujeres (WHO, 2018).

Los objetivos del plan de acción mundial de la OMS son prevenir la violencia interpersonal y, en los casos en que se produzca, hacer frente a las consecuencias para la salud y a otras consecuencias negativas de esa violencia, por ejemplo, mediante la prestación y la programación de servicios de salud integrales y de calidad, y facilitando el acceso a servicios multisectoriales (Asamblea Mundial de la Salud, 2021).

En el año 2015 Naciones Unidas aprobó los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, entre los que se encuentra el ODS 5 que propone la igualdad de género (García Lujan Ávila & Albareda-Triana, 2024; Machado López et al., 20218). Entre los indicadores relacionados con la violencia de género, únicamente uno

«el porcentaje de países con planes de acción multisectoriales nacionales para abordar la violencia contra la mujer» está cerca de conseguirse. La igualdad de género es un derecho fundamental y uno de los pilares centrales para construir sociedades pacíficas, prósperas y sostenibles. No obstante, avanzar en esta dirección no implica únicamente un compromiso formal con las normativas vigentes; exige un enfoque que permita analizar de manera efectiva cómo implementar y evaluar el ODS 5 en relación con los otros 16 ODS (Merma-Molina et al., 2024). Después de menos de una década del término de esta Agenda, se constata que, aunque ha habido avances significativos, todavía falta compromiso y trabajo por parte de todas las administraciones y entidades para contribuir al logro de todas las metas.

Los profesionales sanitarios juegan un papel fundamental en la prevención, detección y tratamiento, siendo necesario potenciar una formación específica en este campo y articular mecanismos y protocolos de coordinación entre los distintos servicios socio-sanitarios, que garanticen una atención integral e integrada a las mujeres afectadas (Calvo González & Camacho Bejarano, 2014; Lozano et al., 2021; Trías Capella & Guardia Villalba, 2024). También conviene tener en cuenta los efectos que la arquitectura provoca en las personas a la hora de diseñar o buscar una residencia con el fin de proteger y prestar apoyo a las mujeres víctimas de violencia (Montaner & Muxi, 2020; Ugarte Fidalgo & López González, 2022).

Son muchas las organizaciones no gubernamentales que defienden a las mujeres víctimas de violencia. La red de titulares de centros de emergencia y casas de acogida de la Consejería de Familia e Igualdad de Oportunidades ha desarrollado medidas en colaboración, que se centran en la constitución de Redes de Igualdad que están permitiendo generar estrategias de trabajo conjunto en la promoción de la igualdad entre mujeres y hombres y la atención a víctimas de violencia de género (Nieto Sanz, 2017). También se trata de avanzar en la construcción de una política pública con perspectiva de género y la transferencia de conocimiento cuyos objetivos son la profesionalización de los centros de atención a víctimas, la estandarización de servicios, el análisis de la situación de los centros y la incorporación de mecanismos que permitan la evaluación de los servicios como instrumento de mejora continua (Fernández Peón, 2020).

Esta investigación analiza la normativa, los recursos utilizados en las instituciones y su aplicación desde la perspectiva de dos profesionales de atención directa con el fin de dar respuesta a la siguiente pregunta ¿son efectivos los recursos existentes sobre alojamiento para mujeres víctimas de violencia?

El objetivo de este estudio es analizar la aplicación de medidas de apoyo a las mujeres víctimas de violencia según la normativa nacional e internacional y su adecuación a la realidad desde el punto de vista de los profesionales que las atienden.

## METODOLOGÍA

Se trata de un estudio exploratorio y descriptivo. La principal técnica de investigación empleada es por una parte la revisión y análisis teórico de las normas legislativas sobre los servicios de atención a mujeres víctimas de violencia y a esta se une la técnica de la entrevista en profundidad como forma de obtención de información de las personas que atienden a las mujeres. La entrevista es semiestructurada y abierta, lo cual permite obtención y explicación de datos de forma sistemática, rigurosa y no estandarizada ofreciendo datos de carácter descriptivo.

### 1. PARTICIPANTES

La selección de las participantes se estableció con las instituciones encargadas de proporcionar servicios generales y específicos relativos a las mujeres, por lo que para la realización del estudio cualitativo se contó con una muestra de dos personas pertenecientes a dos instituciones del tercer sector. Son mujeres con formación superior y responsables del servicio. En la tabla 1 se encuentran los criterios de inclusión y exclusión.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión

<b>CRITERIOS DE INCLUSIÓN</b>	<b>CRITERIOS DE EXCLUSIÓN</b>
- Profesional que trabaje con mujeres en situación de violencia de género	- No tener interes en participar en el estudio

- Tener experiencia	- Trabajar en el ámbito con menos de un año de experiencia
---------------------	------------------------------------------------------------

Ambas instituciones desempeñan un papel fundamental en el ámbito de la violencia. Antes de realizar la entrevista se les solicito el consentimiento informado, explicando que los datos se utilizarían para este estudio.

## 2. INSTRUMENTOS

Los principales instrumentos utilizados para la recolección de datos han sido las bases legales y normativas nacionales e internacionales. Y además la entrevista semiestructurada y abierta que obtiene de manera directa información a través de la escucha y la observación. Se establece un guion a partir del cual se han adaptado las preguntas o la secuenciación en relación a las respuestas o se han reformulado para profundizar en el objetivo del estudio.

El tiempo medio de duración de las entrevistas fue alrededor de 90 minutos.

## 3. PROCEDIMIENTO

Para llevar a cabo la investigación se realizó, en primer lugar, una revisión y análisis de la legislación vigente. En segundo lugar, se diseña la entrevista semiestructurada abierta junto con el consentimiento informado que se rellena al inicio del contacto con las participantes. Se identifican las principales y/o más relevantes instituciones encargadas de proporcionar este servicio. Se contacta con las instituciones a través de email y teléfono. Se confirma su participación. En segundo lugar, se aplica la herramienta de entrevista semiestructurada para posteriormente analizar los datos a través de los discursos obtenidos, así como la documentación utilizada en la recolección de datos. Para la explotación de datos de tipo cualitativo se utiliza el software ATLAS.ti, mediante el cual se asignan una serie de categorías correspondientes con los bloques establecidos en la preparación de la entrevista y se analizan.

## RESULTADOS

### 1. MARCO LEGAL

La violencia de género constituye un problema de carácter estructural y globalizado, que se presenta de formas muy diversas en todos los países. La incidencia de este fenómeno en la comunidad internacional ha dado pie a una amplia actividad legislativa, desde una perspectiva multinivel, con objeto de desarrollar un conjunto de medidas para erradicar este tipo concreto de violencia (Pastor-Gosálbez et al., 2021). Se considera de relevancia para el desarrollo de este estudio, llevar a cabo un breve repaso de las medidas legislativas, adoptadas a nivel internacional, europeo, estatal y autonómico en las últimas décadas.

A nivel **internacional** la primera norma a destacar en Derecho Internacional es la Declaración Universal de los Derechos Humanos, proclamada por Naciones Unidas en 1948. Este documento establece un conjunto de derechos humanos y libertades fundamentales, que pertenecen a todas las personas “sin distinción alguna de raza, color, sexo, idioma, religión, opinión política o de cualquier índole, origen nacional o social, posición económica o cualquier otra condición” (Art.2). Posteriormente, en la década de los 70, el movimiento feminista a nivel internacional comenzó a manifestarse con mayor fuerza. Prueba de ello es que la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó 1975 como el Año Internacional de la Mujer y después la Organización de Naciones Unidas (ONU) ha celebrado cuatro Conferencias Mundiales sobre la Mujer que contribuyen a colocar en la agenda política a nivel internacional la igualdad de género. La última subraya la necesidad de un cambio social más amplio, que cuestiona cómo se estructura toda la sociedad y hace tomar conciencia de la necesidad de la plena participación de ambos sexos en lo público y en lo privado (Pekín, 1995). La Declaración de la eliminación de la violencia contra la mujer, de 1993, aprobada por la ONU, a pesar de no ser obligatoria para los Estados, puesto que carece de carácter vinculante, es el primer texto internacional que define la violencia contra las mujeres (Organización Naciones Unidas, 1993).

El marco jurídico **europeo** es extenso, aunque la norma más importante es el Convenio del Consejo de Europa sobre prevención y lucha contra la violencia hacia las mujeres y la violencia doméstica. Este

es el primer tratado de carácter vinculante, en el ámbito europeo, en materia de violencia contra la mujer y violencia doméstica, y también el primero que identifica esta forma de violencia como una grave violación de los derechos humanos (Consejo de Europa, 2011). Esto significa que se considera responsable a los Estados en caso de no responder ante este tipo de violencia. Se crea un marco legal para prevenir la violencia ejercida contra las mujeres y proteger a las víctimas.

A nivel **estatal**, la Ley Orgánica 1/2004, de 28 de diciembre, de Medidas de Protección Integral contra la Violencia de Género, incorpora principios, valores y derechos fundamentales para garantizar la igualdad entre hombres y mujeres (Ley Orgánica 1/2004). Es la primera ley europea que aborda el tratamiento de la violencia de género de manera integral y multidisciplinar. Se diseña un tratamiento integral que se articula a través de un conjunto de medidas de sensibilización, prevención, detección e intervención que alcanza a los ámbitos educativo, cultural, publicitario, sanitario, social, laboral, económico, arquitectónico, institucional, penal, procesal y orgánico-judicial.

A nivel **autonómico**, en Castilla y León se presenta la Ley 13/2010, de 9 de diciembre, contra la violencia de género que tiene como objetivo regular todas aquellas medidas tendentes a erradicar la violencia de género mediante la sensibilización a la sociedad, la prevención y la atención integral a sus víctimas a fin de conseguir su recuperación efectiva, entendiendo por tales no sólo a la mujer sino también a las personas que de ella dependan. Se desarrolla en Castilla y León la “Red de asistencia a la mujer”, propuesta por la Junta de Castilla y León, que busca garantizar una determinada serie de prestaciones de atención y derechos a favor de las mujeres que reciben este tipo de violencia, centros y servicios destinados a la atención integral (Presidencia de la Junta de Castilla y León, 2010).

La Red de Atención a las mujeres víctimas de violencia de género en Castilla y León cuenta con diferentes tipos de vivienda (centros de emergencia, casas de acogida y pisos tutelados) destinados a cubrir las necesidades de atención, información y alojamiento temporal que puedan tener estas mujeres.

## 2. ENTREVISTAS EN PROFUNDIDAD

La entrevista se realiza a dos profesionales (P1 y P2) trabajadoras en centros de atención a mujeres víctimas de violencia durante más de diez años. Los tres temas identificados como centrales en el análisis según las profesionales entrevistadas son: a) Necesidades de las mujeres, b) Servicios que reciben, c) Propuestas para mejorar la atención.

**Necesidades de las mujeres.** Además de las necesidades básicas de alojamiento, protección y manutención, se ofrece el apoyo psicológico y jurídico que requieren para su situación. La atención es individualizada y se resuelven las necesidades según van surgiendo. Conviene proporcionar apoyo, recursos y facilitar la descarga emocional.

“Se ofrece la oportunidad de hablar, que puedan expresar sus problemas, ser escuchadas sin juzgar y se les ayuda a realizar un juicio razonable de lo sucedido” (P1).

“Se atienden las necesidades según el momento en el que se encuentra la mujer y las circunstancias de cada una... (P2).

Conviene priorizar las necesidades que deben ser atendidas de inmediato. Destacan la importancia de la seguridad en un primer momento y la búsqueda de autonomía para el futuro inmediato. El enfoque para conseguir su independencia es a través del reciclaje profesional y la orientación en el mercado laboral.

“Es importante que quieran dar el paso, ellas eligen el tiempo que quieren estar” (P2).

“La independencia económica casi siempre pasa por encontrar un empleo” (P1).

Los problemas con los que se encuentran en los centros son los relacionados con la convivencia y la relación con su agresor.

“La convivencia y la relación con los hijos adolescentes suele acarrear problemas” (P2).

“En ocasiones le piden a su pareja que les vengán a buscar, no están preparadas” (P1).

**Servicios que reciben.** Servicios de apoyo generales para que las víctimas tengan acceso a los apoyos que faciliten su restablecimiento. Deben incluir si es necesario servicios de asesoramiento jurídico y psicológico, asistencia financiera, servicios de alojamiento, educación, formación y asistencia en materia de búsqueda de empleo. También recibirán apoyo especializado y podrán asistir a un alojamiento seguro.

“Reciben apoyo las 24 horas” (P2).

“La atención es integral a través de un equipo profesional” (P1).

Se garantiza el funcionamiento de centros de emergencia, acogida, pisos tutelados y alojamientos seguros cuando es necesario.

“Cuentan con un espacio individual, zonas amplias, compartidas y adaptadas, realizan actividades físicas y mentales” (P2).

“Buscamos el recurso que mejor garantice la acogida de la mujer y sus hijos menores si los tiene” (P1).

Algunas mujeres además de sufrir violencia tienen otras circunstancias o situaciones añadidas, discapacidad, enfermedad mental o problemas de adicción.

“A veces se complica el proceso con otros temas abusos de sustancias, salud mental y hay que derivar” (P2).

“Se trata de apoyar a las mujeres en un proceso en el que cada una, a su propio ritmo, consiga el mayor grado de autonomía posible” (P1).

**Propuestas para mejorar la atención.** Dejar una relación de maltrato es un proceso con altibajos, hay que centrarse en el acompañamiento de las mujeres proporcionándolas los recursos que necesiten en cada momento para salvar las barreras con las que se vayan encontrando y conseguir escapar de la violencia.

“Me preocupa saber ¿qué pasa cuando las mujeres se van del centro?” (P2).

“Algunas mujeres vuelven, tal vez necesitan más tiempo para conseguir cambios. También podría ayudarles hacer un seguimiento de su caso, pero si hay un gran compromiso” (P1).

Tras años de experiencia en su trabajo se han dado cuenta que es importante reiniciar esa nueva vida con un empleo, una casa o un alquiler asegurado, el servicio de guardería si fuera necesario y responsabilizarse con los cambios para mantenerlos. Se pide mayor flexibilidad en los recursos de cada comunidad autónoma. El objetivo final es dotarles de mecanismos personales para lograr un modo de vida responsable, autónomo, con capacidad para desenvolverse en la sociedad y rehacer su vida en condiciones sin violencia.

“Salir de esta situación depende de la mujer y de que está quiera hacer cambios en su vida” (P2).

“En la vivienda están seis meses, tal vez se necesita más tiempo para conseguir cambios eficaces” (P1).

Asistir a un alojamiento público o privado para mujeres víctimas de violencia tiene ventajas e inconvenientes que deben considerarse. Las ventajas de un servicio público que señalan las profesionales son la seguridad física, recibir apoyo emocional, se les brinda asesoramiento legal, asistencia social y acceso a recursos comunitarios, se ofrece alto nivel de confidencialidad y una oportunidad de reconstruir sus vidas, desarrollar habilidades y establecer planes para un futuro sin violencia. Destacan como inconvenientes, espacios reducidos, la convivencia, reglas estrictas y estigma social por vivir en un alojamiento público.

Tras la investigación realizada se presenta la siguiente propuesta arquitectónica desde un enfoque integral para ayudar a las mujeres víctimas de violencia que les permita insertarse en la sociedad (Figura 1).

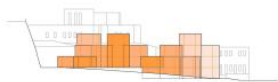


Figura 1: Vivienda para mujeres víctimas de violencia  
Fuente. Elaboración propia

## DISCUSIÓN

En este estudio se consigue analizar las medidas de apoyo a las mujeres víctimas de violencia según la normativa internacional, europea y nacional. Además, estos resultados se han complementado con las percepciones de las profesionales para ver cómo es la realidad desde su punto de vista.

En cuanto a la legislación existente sobre violencia, son varios los autores que analizan el marco legal de referencia que guía la intervención en esta materia, resaltando las mismas normas que en el presente estudio (Arraibi Larrea et al., 2023; De la Herrán Ruíz-Mateos, 2021). Los Planes de actuación en las diferentes comunidades cuentan con objetivos generales similares: apoyar a las mujeres, transformación económica y organización social para garantizar derechos y conseguir vidas libres de violencia, trabajando la prevención y la atención integral hasta su completa recuperación.

Los centros de atención integral y acogida en las diferentes comunidades se organizan de acuerdo con tres niveles de atención: Centros de emergencia, casas de acogida y pisos tutelados. En estos centros se preocupan de la recuperación integral de las mujeres y menores que las acompañen, mediante una intervención multidisciplinar que contempla acciones en el ámbito socioeducativo, social, formativo, psicológico y jurídico. En la propuesta que se ofrece esta el diseño de un servicio integral que responde a un sistema coordinado de recursos cuya finalidad es ofrecer la protección y el apoyo necesario a las mujeres para su recuperación personal. Se trata de un entorno que cuenta con servicios en los que se ofrece una atención inmediata las 24 horas del día (Código de Violencia de Género y Doméstica, 2023).

Cada mujer vive el proceso de manera particular con necesidades personales, psicosociales y estructurales propias. Las profesionales facilitan una atención individualizada e integral que proporcione a la mujer herramientas para su autonomía (Romero, 2021). De acuerdo con Sánchez de Madariaga & Novella-Abril (2020), las medidas de igualdad en urbanismo deberían cubrir un campo amplio de acciones no sólo centrarse en la seguridad en el espacio público o la vivienda para víctimas de violencia de género. La interseccionalidad, dar difusión y visibilidad a la vez que se crean foros de discusión para intercambiar opiniones, conocimientos y experiencias son aspectos que se deben abordar desde diferentes ámbitos.

La metodología propuesta se fundamenta en una intervención profesional de carácter temporal y flexible, adaptada a la intensidad que requiera cada caso. Esta actuación parte del reconocimiento del derecho de toda persona a recibir una atención social personalizada, basada en una relación proactiva, cercana y de confianza mutua. Se articula a través del diseño colaborativo de un itinerario individualizado de inclusión, con metas realistas y ajustadas a las necesidades, deseos y circunstancias de cada mujer (Canto Álvarez, 2021). Esta intervención no solo debe ofrecer una oportunidad real de mejora personal o reducción de los daños derivados de la violencia vivida, sino también impulsar procesos de empoderamiento, recuperación y resignificación de la experiencia. Se orienta hacia el fortalecimiento de las capacidades personales, la reconstrucción de la autoestima y

la promoción de la autonomía, desde una mirada integral que contemple las dimensiones emocional, social, económica, educativa y laboral.

Es esencial que la mujer asuma un papel activo en su propio proceso de transformación, dentro de un entorno seguro, protegido y libre de violencia, que favorezca su inclusión social de forma sostenible (Prieto Bilbao, 2025). En este sentido, contar con un recurso de alojamiento estable, como el que aquí se plantea, resulta clave para estabilizar la situación de partida y proporcionar una base sólida desde la cual afrontar los retos del cambio. La estabilidad habitacional, además, permite abordar con mayor eficacia muchos de los factores de riesgo y vulnerabilidad asociados a la violencia de género.

Los servicios que reciben en la vivienda que se propone en este caso son asistencia integral, alojamiento y manutención, tratamiento especializado, actividades de convivencia, cooperación, autoayuda, apoyo psicosocial, asesoramiento jurídico, actividades para las mujeres y descendencia según su edad, inserción socio laboral y seguimiento post institucional.

Estos servicios se analizan cada cierto tiempo y al igual que en este estudio otras comunidades autónomas también consideran que la duración de las estancias en los centros es corta y algunas mujeres dejan el centro repentinamente por la incomodidad de vivir con horarios restringidos, medidas estrictas o conflictos de convivencia (Cid Santos, 2007; Moriana Mateo, 2023).

Para acompañar a las propuestas de las profesionales conviene reflexionar sobre los intereses y necesidades reales de las mujeres y porque la solución que se ofrece es su institucionalización, siendo ellas las víctimas (Reyes, 2024). De acuerdo con Rodríguez Nieto y Alarcón Vélez (2022) la efectividad de estas medidas se ve afectada por el abuso y la falta de una supervisión adecuada de las organizaciones competentes.

El centro debe atender la intimidad, comunidad y seguridad para comenzar el proceso de restitución en ese espacio, y solo será posible si incluyen las herramientas de la perspectiva de género en la arquitectura, creando entornos más justos, igualitarios y sostenibles en los

que los cuidados tengan el lugar que merecen (Montaner & Muxi, 2020; Rodríguez Nieto & Alarcón Vélez, 2022).

Con los servicios de vivienda se pretende garantizar la seguridad, la atención integral, urgente, continuada, y adaptada a las necesidades específicas de las mujeres víctimas de violencia, con un estilo de vida normalizado, promoviendo su integración familiar y/o su vida autónoma, y potenciando el desarrollo de sus capacidades (Fernández Peón, 2020).

Una de las principales fortalezas de este estudio es unir a los resultados de la normativa los testimonios de profesionales relacionados con la eficacia de la aplicación de esa legislación.

Como limitación señalar que solo se conoce la opinión de dos profesionales, sin embargo, su gran experiencia da solidez a la información.

## CONCLUSIONES

Tras la realización del estudio, las conclusiones principales que se pueden extraer son las siguientes: es crucial subrayar la necesidad de asegurar el acceso a medidas de protección y respaldo para las mujeres que sufren violencia, en concordancia con los marcos normativos internacionales, europeos, nacionales y regionales. Proporcionando especial atención a aspectos como la vivienda y el entorno.

El ordenamiento jurídico que regula la violencia contra las mujeres, así como las medidas de protección, cumplen con su objetivo, sin embargo, la falta de seguimiento en cuanto a las medidas de protección sobre la ejecución de las mismas obstaculiza su eficacia.

Priorizar la coordinación y crear un equipo multidisciplinar es necesario, para que se realice un seguimiento del cumplimiento de las medidas de protección y orientar la rehabilitación de las víctimas, mitigando las secuelas que puedan sufrir.

Se propone un diseño arquitectónico para un centro integral que brinde servicios de alta calidad, con el objetivo de ayudar a las mujeres víctimas de violencia a recuperar su autonomía y mejorar su calidad de vida. Destacar que este entorno no solo debe garantizar la

seguridad física, sino también promover el bienestar emocional y la reintegración en la sociedad.

Es esencial buscar alojamientos que apliquen enfoques proactivos, priorizando una atención individualizada, unificada, inmediata, integral y profesionalizada, adaptada a sus necesidades de seguridad y autonomía personal, facilitando así la inclusión social en entornos libres de violencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRAIBI LARREA, G., BAÑUELOS GANUZA, A., ETXEBARRIA ESTANKONA, K., ILARDIA OLANGUA, B., IMAZ ZUBIAR, L., & ZARRANDIKOETXEA MONTEJO, I. (2023). Violencia contra las mujeres: marco normativo, derechos de las mujeres víctimas, servicios y recursos.

ASAMBLEA MUNDIAL DE LA SALUD. (2021). Plan de acción mundial de la OMS para fortalecer la función del sistema de salud en el marco de una respuesta nacional multisectorial para abordar la violencia interpersonal, en particular contra las mujeres y las niñas, y contra los niños en general: informe del Director General. *In Plan de acción mundial de la OMS para fortalecer la función del sistema de salud en el marco de una respuesta nacional multisectorial para abordar la violencia interpersonal, en particular contra las mujeres y las niñas, y contra los niños en general: informe del Director General.*

CALVO GONZÁLEZ, G & CAMACHO BEJARANO, R (2024). La violencia de género: evolución, impacto y claves para su abordaje. *Enfermería Global*, 13(1), 424-439 <https://doi.org/10.6018/eglobal.13.1.181941>

CANTO ALVAREZ, A. (2021). Vivienda y violencia de género: Análisis de las trayectorias habitacionales de mujeres supervivientes de violencia de género.

CID SANTOS, A. P. (2007). Las casas de acogida para mujeres maltratadas como respuesta a un problema de salud pública. *Feminismo/s*, n° 10 (dic. 2007); pp. 69-77.

CÓDIGO DE VIOLENCIA DE GÉNERO Y DOMÉSTICA. Selección y ordenación: Dirección General de la Policía Edición actualizada a 27 de noviembre de 2023 [www.boe.es/biblioteca\\_juridica/](http://www.boe.es/biblioteca_juridica/)

- CONSEJO DE EUROPA. (2011). Convenio del Consejo de Europa sobre prevención y lucha contra la violencia contra las mujeres y la violencia doméstica. *Council of Europe Treaty Series*, 210, 1-34.
- DE LA HERRÁN RUÍZ-MATEOS, S. (2021). La intervención estatal en la erradicación de la violencia contra las mujeres como un compromiso con los derechos humanos: el caso de España. *Revista Electrónica de Estudios Penales y de la Seguridad*, (7).
- FERNÁNDEZ PEÓN, B. (2020). Atención y recursos ante la violencia de género: Castilla y León Vs País Vasco.
- GARCÍA LUJAN ÁVILA, G. D. S. & ALBAREDA-TIANA, S (2024) Igualdad de género y desarrollo sostenible. Avances y desafíos en la agenda mundial y en la universidad. *Feminismo/s*, (43), 213-243. <https://doi.org/10.14198/fem.2024.43.09>.
- LEY ORGÁNICA 1/2004, de 28 de diciembre, de Medidas de Protección Integral contra la Violencia de Género. Boletín Oficial del Estado, número 313 de 29/12/2004. Recuperado (13-06-12) de [http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases\\_datos/doc.php?id=BOE-A-2004-21760](http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-2004-21760)
- LOZANO, A., DOMÍNGUEZ, P., MEDINA, L., & SÁEZ, A. (2021). Proposals for approaching violence against women in health care. A qualitative analysis. *Atencion Primaria*, 53(6), 102045-102045. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2021.102045>
- MACHADO LÓPEZ, L., MORALES MOLINA, T., & CHÁVEZ CALLE, L. S. (2018). La igualdad de género, paradigma del desarrollo sostenible en la Agenda 2030. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(2), 7-13.
- MERMA-MOLINA, G., SOLANO, M. U., & GAVILÁN-MARTÍN, D. (2024). Promover la igualdad de género mediante la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Introducción. *Feminismo/s*, (43), 13-25. <https://doi.org/10.14198/fem.2024.43.01>
- MONTANER, J. M., & MUXÍ, Z. (2020). *Política y arquitectura: Por un urbanismo de lo común y ecofeminista*. Editorial GG.
- MORIANA MATEO, G. (2023). Casas de acogida para mujeres: ¿empoderamiento o disciplinamiento? *Cuadernos de trabajo social*, 36(2). <https://dx.doi.org/10.5209/cuts.84530>
- NIETO SANZ, H. (2017). La violencia de género en Castilla y León: el ejemplo de Palencia.

- ORGANIZACIÓN NACIONES UNIDAS. Asamblea General. (1993). Declaración sobre la Eliminación de la Violencia contra la Mujer. *Resolución*, 48(104), 20.
- PASTOR-GOSÁLBEZ, I., BELZUNEGUI-ERASO, Á., MERINO, M. C., & MERINO, P. P. (2021). La violencia de género en España. *REIS: Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, (174), 109-127.
- PRESIDENCIA DE LA JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. (2010). Ley 13/2010, de 9 de diciembre, contra la Violencia de Género en Castilla y León. BOCL núm. 243 de 20 de diciembre de 2010 y BOE núm. 317 de 30 de diciembre de 2010.
- PRIETO BILBAO, A. (2025). Identificación, clasificación tipológica y análisis urbano de casas de acogida y centros integrales para mujeres víctimas de violencia de género.
- REYES, J. V. P. (2024). Desinterés en la asistencia psicológica en mujeres víctimas de violencia de género que solicitan medidas administrativas en la Junta de Protección de Derechos de Puerto Quito. *Derecho y Sociedad UTE*, 1(2), 1-12.
- RODRÍGUEZ NIETO, R. E. & ALARCÓN VÉLEZ, R. A. (2022). Violencia intrafamiliar y medidas de protección: Un análisis teórico y legislativo del régimen jurídico ecuatoriano. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(2), 92.
- ROMERO, M. A. A. (2021). Las Dos vías que protagonizan las mujeres las mujeres para cortar con la violencia de género en la pareja. *Cuadernos de Trabajo Social*, 34(1), 155.
- SÁNCHEZ-DE MADARIAGA, I., & NOVELLA-ABRIL, I. (2020). Género y urbanismo en España: experiencias y perspectivas. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 52(203), 5-12. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2020.203.01>
- TRIAS CAPELLA, M. E., & GUARDIA VILLALBA, R. (2024). Tratamiento de la información de violencia de género. Con aportaciones de la inteligencia artificial. *Revista Española de Medicina Legal*, 50(1), 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.reml.2023.04.002>
- UGARTE FIDALGO, S. & LÓPEZ GONZÁLEZ, C. (2022). Recorrido histórico-arquitectónico por los centros de acogida para víctimas de violencia de género. *Cuestiones de género: de la igualdad y la diferencia*, (17), 253-276

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2018). *Violencia contra las mujeres, estimaciones para 2018: estimaciones mundiales y regionales y nacionales de la prevalencia de la violencia de pareja contra las mujeres y estimaciones mundiales y regionales de la prevalencia de la violencia sexual fuera de la pareja contra las mujeres [Violence against women, 2018 estimates: global and regional and national estimates of the prevalence of intimate partner violence against women and global and regional estimates of the prevalence of non-partner sexual...*

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2021). *Global patient safety action plan 2021-2030: towards eliminating avoidable harm in health care.* World Health Organization.

## ESTUDIO DE LA DURABILIDAD DE DIFERENTES MORTEROS DE CEMENTO REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES<sup>1</sup>

---

DR. DANIEL FERRÁNDEZ VEGA  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

DRA. ALICIA ZARAGOZA BENZAL  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

ARQ. MSC. ROCÍO PASTOR LAMBERTO  
*Universidad Politécnica de Cartagena, España*

DR. CARLOS MORÓN FERNÁNDEZ  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

### RESUMEN

Las fibras naturales se consideran una alternativa sostenible y medioambientalmente amigable frente a las convencionales fibras sintéticas empleadas en morteros de revestimiento. Esta tipología de morteros reforzados con fibras se emplea frecuentemente para la restauración de fachadas debido a su menor retracción y mayor durabilidad. En este trabajo, se estudia el efecto de tres tipologías de fibras naturales: coco, abacá y paja toquilla, para la conformación de morteros de albañilería tradicionales. El estudio se lleva a cabo empleando porcentajes de adición del 1.5%, 2.5% y 3.5% en peso de cemento para cada tipo de fibra de longitud 20 mm, en morteros de cemento convencionales. Los resultados muestran como la incorporación de estas fibras de refuerzo permite mejorar la resistencia frente a los ciclos de hielo-deshielo y cristalización de sales de estos morteros, reduciéndose la masa desprendida tras este proceso de envejecimiento acelerado y aumentando la resistencia mecánica respecto a las muestras sin fibras por encima del 15% en todos los casos analizados. Asimismo, se ha observado una disminución en la retracción de los morteros con fibras en comparación con los morteros tradicionales, siendo los

---

<sup>1</sup> Este capítulo forma parte del proyecto de innovación educativa: Retos para Integrar la Sostenibilidad y el Pensamiento Crítico en la Construcción Actual (Código: IE25.5401), de la E.T.S. de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid.

compuestos con fibra de coco los que mejor comportamiento presentaron. Esto supone una mejora significativa a la hora de aplicar este tipo de revestimientos continuos en fachadas y evitar la fisuración y desprendimiento del material. Con todo ello, este trabajo presenta diferentes alternativas a los morteros reforzados con fibras sintéticas, comúnmente empleados en obras de edificación y contribuye al desarrollo de nuevos compuestos de construcción más sostenibles.

## **PALABRAS CLAVE**

morteros, fibras naturales, rehabilitación de fachadas, durabilidad, revestimientos continuos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La rehabilitación y restauración del patrimonio edificado son actividades esenciales para garantizar la seguridad, durabilidad y estética del entorno urbano, así como para prevenir posibles patologías. En la actualidad, los morteros de cemento constituyen el material de revestimiento más comúnmente empleado en la ejecución de fachadas y su estudio ha cobrado un gran interés entre los investigadores (Miranda *et al.*, 2021). En este sentido, el diseño y caracterización de estos materiales constituye una actividad de gran relevancia para llevar a cabo intervenciones que permitan recuperar el valor inicial de las fachadas y prolongar su vida útil.

Las edificaciones están sometidas a varios agentes degradantes que pueden dañar sus fachadas, lo que pone en riesgo su estabilidad dimensional y afecta a la estética de cerramientos y revestimientos (Verdum *et al.*, 2021). Entre otros factores a considerar se incluyen las condiciones meteorológicas adversas, la contaminación en entornos urbanos, el efecto de del cambio climático y otras situaciones excepcionales de riegos. Es importante para los técnicos y profesionales del sector conocer el efecto sobre los morteros de albañilería que pueden ocasionar estos fenómenos. Por este motivo, la investigación a nivel de laboratorio de nuevos métodos y técnicas de rehabilitación, así como la caracterización de materiales cementicios bajo estas condiciones adversas, supone un trabajo de alto valor añadido y en línea con el ODS 11 (Naciones Unidas, 2015).

Algunas de las patologías más frecuentes que se encuentran en los morteros de revestimiento son ocasionadas por el efecto de las heladas y las sales marinas. Ambas patologías se desarrollan en condiciones extremas donde o bien se producen ciclos de hielo-deshielo, o bien el mortero se encuentra expuesto a condiciones de humedad o salpicadura de agua con alto contenido en sales (Bustos García, 2018). Por otro lado, tras la aplicación de mortero in situ y durante su proceso de curado, también es frecuente que aparezcan fisuras superficiales o agrietamientos como consecuencia de la retracción generada durante el proceso de fraguado (Gu *et al.*, 2025), la cual se hace más visible cuando existen cambios bruscos de temperatura.

En términos generales, estas patologías pueden ser prevenidas con un buen diseño (dosificación) de la mezcla de mortero y un control/seguimiento sobre el proceso de endurecimiento (Ferrández *et al.*,

2022). No obstante, en determinadas situaciones donde se hace necesaria la intervención para restaurar la integridad del revestimiento o mejorar la calidad de la ejecución, se requiere del empleo de materiales de refuerzo. Entre otros, las fibras de refuerzo se han posicionado como una adición idónea para mantener la integridad dimensional de estos compuestos y mejorar sus resistencias mecánicas (Demircan *et al.*, 2025).

Si bien las fibras sintéticas son ampliamente utilizadas por sus excelentes propiedades físicas, trazabilidad durante el proceso de fabricación y alta durabilidad, la construcción con materiales de origen natural está cobrando cada vez más importancia en las edificaciones actuales gracias a su mayor sostenibilidad y menor impacto ambiental. En este sentido, las fibras de refuerzo de origen vegetal constituyen un material idóneo para su incorporación en la fabricación de morteros de albañilería, debido a su bajo costo, circularidad y disminución de las emisiones durante su producción (García *et al.*, 2024).

Existen gran cantidad de fibras que han sido empleadas con éxito en la fabricación de morteros, tales como: fibras de palma, fibras de banana, fibras de cañamo, fibras de madera o fibras de paja de trigo. En este trabajo, se aborda el efecto de tres tipos de fibras de origen ecuatoriano: abacá, paja toquilla y coco, como materiales de refuerzo para aumentar la durabilidad y reducir la retracción de los morteros. Estas fibras han sido empleadas con anterioridad en otras investigaciones y algunos autores han destacado su potencial para la elaboración de morteros de rehabilitación.

Tras una revisión de la literatura actual, se han podido encontrar varias investigaciones que guardan relación con este trabajo experimental. Sin lugar a dudas, la fibra de coco es la más ampliamente utilizada de las tres fibras naturales empleadas en esta investigación. Su empleo permite mejorar la resistencia mecánica a flexión y compresión si se incorpora esta fibra a la matriz de mortero sin superar el porcentaje del 4% en masa (Sathiparan *et al.*, 2022). Adicionalmente estas fibras permiten mejorar la deformación de los compuestos al estar sometidos a cargas axiales y de flexión, mejorando la ductilidad del mortero (Sathiparan *et al.*, 2017). Si bien, en algunos estudios se ha podido observar que estas fibras incrementan la absorción de agua por capilaridad con respecto al mortero tradicional y su porosidad (Keskidou & Stefanidou, 2019). En general se destaca el potencial de uso

de estas fibras previamente tratadas (ej.: con una disolución de NaOH) para mejorar la resistencia y durabilidad de los morteros convencionales, mejorando la eficiencia energética del cerramiento y reduciendo el carbono embebido global de estas soluciones constructivas.

Menos extendido está el uso de la fibra de abacá, donde algunos autores han encontrado el límite de 30 mm de longitud para su aplicación en morteros de albañilería, siempre y cuando la fibra sea previamente tratada con NaOH (Alcivar-Bastidas *et al.*, 2023). Al igual que en el caso anterior, estas fibras permiten mejorar la resistencia mecánica de los morteros de revestimiento (Alcivar-Bastidas *et al.*, 2024) y su alta higroscopicidad puede repercutir negativamente en la durabilidad de estos composites (Suhelmidawati *et al.*, 2019). En lo que se refiere a la aplicación de la paja toquilla, únicamente se han encontrado referencias al trabajo de Ferrández *et al.*, 2024 donde se analizaba su comportamiento en morteros con árido reciclado y se obtuvieron unos buenos resultados mecánicos.

El objetivo principal de este trabajo es comprender el efecto que genera la incorporación de fibras naturales para la mejora de la durabilidad de los morteros de albañilería. En este sentido, se han empleado tres tipos de fibras de origen vegetal como material de refuerzo: abacá, paja toquilla y coco. Posteriormente, se han elaborado diferentes muestras y se analiza el efecto de diferentes ciclos de envejecimiento acelerado sobre la durabilidad de estos morteros, así como la mitigación en la retracción ocasionada por la incorporación de estas fibras. Con ello, se obtiene una idea global del comportamiento de estos morteros de albañilería ejecutados en obras de rehabilitación, como revestimiento de fachadas y analizando la potencial aplicación derivada del uso de estos materiales de refuerzo ecológicos.

## 2. METODOLOGÍA


En este apartado se describen tanto los materiales empleados para la conformación de los morteros de albañilería, como las dosificaciones y técnicas de ensayo empleadas.

## 2.1. MATERIALES

Para la elaboración de los diferentes morteros de cemento empleados en la presente investigación se han empleado las siguientes materias primas:

- **Cemento:** como material conglomerante se ha empleado cemento tipo CEM II/B-L 32.5N de acuerdo con la norma UNE-EN 197-1 y suministrado por Holcim (Barcelona, España). Se trata de un material comúnmente empleado en trabajos de albañilería compuesto de Clinker (65%-79%), caliza (21%-35%) y otros componentes minoritarios en porcentaje no superior al 5%. Según el fabricante (Holcim, Barcelona, España), posee una resistencia a compresión  $\geq 32.5\text{N}$  a los 28 días, tiempo de inicio de fraguado mayor o igual a 75 min y coeficiente de expansión menor de 10 mm.
- **Arena:** se ha empleado árido natural de naturaleza silíceo (AF-0/4-T-S) comúnmente empleado en obras de albañilería y suministrado por Obramat (Madrid, España). Las principales propiedades físicas de estos áridos determinadas en laboratorio según la normativa de aplicación son: contenido en finos 1.25% (UNE-EN 933-1), módulo de finura 2.47% (UNE-EN 13139), coeficiente de friabilidad 14.12% (UNE-EN 146404), densidad aparente  $1562\text{ kg/m}^3$  (UNE-EN 1097-3), densidad real  $2568\text{ kg/m}^3$  (UNE-EN 1097-6) y coeficiente de absorción de agua 0.51% (UNE-EN 1097-6). De la misma forma, se garantizó una granulometría continua para favorecer la trabajabilidad de los morteros en estado fresco de acuerdo con la norma UNE-EN 933-2.
- **Fibras naturales:** como material de refuerzo para los morteros de revestimiento diseñados para la rehabilitación de fachadas se han empleado tres tipologías de fibra natural: abacá, coco y paja toquillas. Tres fibras de origen vegetal procedentes de Guayaquil (Ecuador), las cuales fueron previamente tratadas para evitar su pudrición en contacto con los álcalis del cemento. En la mayoría de los estudios, se utilizan soluciones de NaOH entre 1–15% para el tratamiento de fibras naturales, ya que este pretratamiento mejora la durabilidad, la resistencia a la tracción y el módulo de Young en comparación con fibras sin tratar (Juradin *et al.* 2021). En esta investigación, las tres fibras empleadas fueron pretratadas con una solución al 5% de NaOH durante 2 días, luego lavadas,

separadas manualmente, secadas durante 24 horas a  $45 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  y almacenadas en recipientes herméticos hasta su uso.

	Fibra de Abacá	Fibra de Coco	Fibra de Paja Toquilla
Longitud de fibra $20 \pm 1 \text{ mm}$			
Densidad aparente	$1230 \pm 8 \text{ kg/m}^3$	$1340 \pm 15 \text{ kg/m}^3$	$670 \pm 10 \text{ kg/m}^3$
Modulo de Young	$22.7 \pm 1.3 \text{ GPa}$	$16.4 \pm 0.9 \text{ GPa}$	$11.5 \pm 0.7 \text{ GPa}$
Diámetro	$0.1 - 0.4 \text{ mm}$	$0.1 - 1.2 \text{ mm}$	$0.7 - 1.1 \text{ mm}$

**Figura 1:** Fibras naturales empleadas para la conformación de los morteros y principales características (Ferrández *et al.*, 2024).

- **Agua:** para el amasado se empleó agua corriente potable del Canal de Isabel II (Comunidad de Madrid, España). Esta agua está incluida en el art. 29 del Código Estructural y es apta para su aplicación en morteros, como ha sido corroborado en investigaciones previas (Ruano *et al.*, 2024), donde caracteriza por su dureza media y pH entre 7 y 8.

## 2.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para la conformación de los diferentes morteros de albañilería empleados en este trabajo se han empleado las siguientes dosificaciones recogidas en la Tabla 1. Cabe destacar que todas las mezclas se elaboraron empleado las técnicas y métodos recogidos en la norma UNE-EN 196-1.

**Tabla 1.** Dosificaciones empleadas en la preparación de los morteros.

Denominación*	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (g)	Fibra (g)
Referencia (NA)	450	1350	279	
1.5%FA / 1.5%FC / 1.5%FT	450	1350	279	
2.5%FA / 2.5%FC / 2.5%FT	450	1350	279	
3.5%FA / 3.5%FC / 3.5%FT	450	1350	279	

\* **Nota:** FA = Fibra de Abacá, FC = Fibra de Coco; FT = Fibra de paja toquilla.

Como se puede observar, en todos los casos elaborados se ha empleado una ratio cemento:arena en masa de 1:3. Asimismo, la relación agua:cemento en masa fue de 0.62, la cual fue fijada experimentalmente para obtener una consistencia plástica y trabajable de acuerdo con la norma UNE-EN 1015-3. Esta consistencia se corresponde con un diámetro de la torta de  $175 \pm 10$  mm empleando el método de la mesa de sacudidas. Una vez elaboradas, las probetas destinadas a los ensayos de durabilidad se curaron en cámara húmeda durante 28 días a  $22 \pm 2$  °C y humedad relativa del 95%. Las probetas destinadas a medir retracción, se curaron en ambiente de laboratorio ( $22 \pm 2$  °C y humedad relativa del  $50 \pm 5\%$ ) y se fueron midiendo de manera periódica.

### 2.3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Como se ha destacado anteriormente, el objetivo principal de este trabajo es analizar el efecto de las fibras naturales adicionadas de cara a obtener morteros de albañilería más durables y aptos para su empleo en la rehabilitación de fachadas. Para ello, es conveniente analizar el efecto de las condiciones meteorológicas adversas sobre estos materiales de revestimiento y medir su retracción, ambos efectos son esenciales para determinar su potencial aplicación. En este sentido, se han realizado los siguientes ensayos experimentales:

- ***Ciclos de envejecimiento acelerado:*** se han realizado dos tipologías de ciclos para determinar la durabilidad: hielo-deshielo y cristalización de sales. En ambos casos, se elaboró una serie de control de cada dosificación de mortero incluida en este trabajo y otra serie para ser sometida a cada uno de los ciclos. Cada serie estaba conformada por un total de tres probetas de  $4 \times 4 \times 16$  cm<sup>3</sup>, en las cuales se determinó la pérdida de masa tras los ciclos empleando una balanza digital con precisión 0.01 g y las resistencias mecánicas a flexión ( $\sigma_f$ ) y compresión ( $\sigma_c$ ). Estas resistencias mecánicas se obtuvieron con una prensa hidráulica de IBERTEST modelo AUTETEST 200-10SW y siguiendo las indicaciones de la norma UNE-EN 196-1:
  - *Ciclos de hielo-deshielo:* se realizaron un total de 25 ciclos empleando para ello la adaptación de la norma para piedra natural UNE-EN 12371. Cada ciclo consiste en 6 h de congelación al aire de las probetas saturadas de agua a

-12 °C, seguido de un periodo de 18 h de descongelación de las probetas sumergidas en agua a 20 °C.

- *Ciclos de cristalización de sales*: se realizaron un total de 10 ciclos empleando para ello la adaptación de la norma para piedra natural UNE-EN 12370. Las probetas se introducen en una disolución de  $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{H}_2\text{O})_{10}$  saturada al 14% durante 2 h, después se introducen 16 h en estufa a 105 °C, y, a continuación, se dejan enfriar a temperatura ambiente 6 h.
- **Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)**: determinada con ayuda de un microscopio Jeol JSM-820 (Mitaka, Tokyo) operando a 20 kV y equipado con analizador Oxford EDX. Este ensayo permite conocer la microestructura de los morteros e integración fibra-matriz. Asimismo, se empleó una metalizadora modelo Cressington 108 para cubrir las muestras con una fina lámina de oro y mejorar así la conducción del haz de electrones.
- **Retracción**: determinada sobre series de tres probetas de cada tipología de mortero de dimensión  $280 \times 24 \times 24 \text{ mm}^3$ . Se midió el acortamiento en dirección longitudinal preferente (280 mm) durante un periodo de 180 días.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, se presentan los resultados obtenidos para los diferentes morteros de cemento elaborados tras someterse a ciclos de durabilidad. La síntesis de estos ensayos se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Resultados obtenidos tras los ciclos de envejecimiento acelerado.

Muestra	<b>Ciclos de Hielo – Deshielo</b>				Pérdida de masa (%)
	Serie de control		Serie con ciclos		
	$\sigma_f$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_f$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	
NA	7.89	25.41	5.10	18.75	8.9
1.5%FA	8.01	26.84	6.30	20.15	6.3
1.5%FC	8.15	25.43	6.59	21.35	7.5
1.5%FT	7.77	25.64	6.11	19.89	8.1
2.5%FA	8.25	29.56	6.69	20.89	7.1
2.5%FC	8.53	26.53	6.66	22.36	6.9
2.5%FT	7.98	25.98	6.15	20.02	7.8
3.5%FA	8.61	28.56	7.15	21.54	5.9
3.5%FC	8.65	27.53	6.98	22.64	6.0

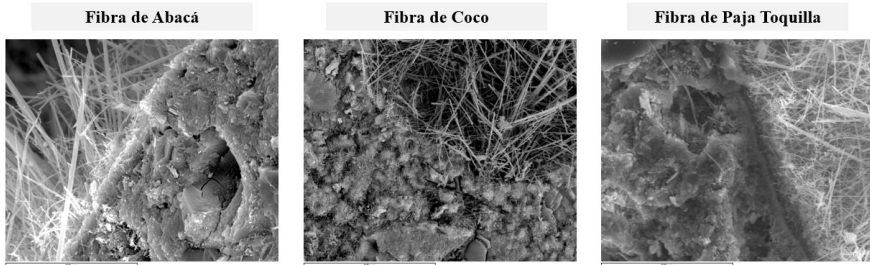
3.5%FT	8.25	25.47	6.53	17.55	7.1
<b>Ciclos de Cristalización de Sales</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Serie de control</b>		<b>Serie con ciclos</b>		<b>Pérdida de masa (%)</b>
	$\sigma_f$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_f$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	
NA	7.89	25.41	2.35	11.23	15.3
1.5%FA	8.01	26.84	5.32	16.54	10.2
1.5%FC	8.15	25.43	5.94	17.05	10.2
1.5%FT	7.77	25.64	4.22	13.22	13.6
2.5%FA	8.25	29.56	5.68	16.66	10.3
2.5%FC	8.53	26.53	5.21	17.09	9.6
2.5%FT	7.98	25.98	4.36	13.56	11.5
3.5%FA	8.61	28.56	5.94	17.01	9.5
3.5%FC	8.65	27.53	6.03	17.62	9.4
3.5%FT	8.25	25.47	5.01	13.45	10.6

Al analizar los resultados presentados en la Tabla 1 se pueden inferir varios resultados interesantes. En primer lugar, se observa que adiciones de porcentajes de fibra superiores al 2.5% en masa, no garantizan una mejora de las resistencias mecánicas de los morteros con y sin ciclos. Este resultado, evidentemente, no es generalizable a todos los tipos de fibras y únicamente hace referencia a las incluidas en este estudio. Por otro lado, se observa que la incorporación de fibras, en términos generales, reduce significativamente la pérdida de masa al someter a los morteros a ciclos de envejecimiento acelerado.

De la misma forma, tal y como corroboraron en su estudio Morón Barrios *et al.* (2021), la incorporación de fibras en la matriz de mortero repercute mayoritariamente en la mejora de la resistencia flexión. En lo que se refiere a la resistencia a compresión, las impresiones son contradictorias según las fuentes analizadas, ya que algunos autores confirman que estas fibras aumentan la resistencia y otros no. En el caso de este estudio experimental, el efecto de las fibras en la resistencia a compresión fue más relevante en los morteros sometidos a ciclos. Finalmente, se destaca que la fibra de coco fue la que presentó un mejor comportamiento y la paja toquilla la que mejoró en menor medida las resistencias mecánicas, siendo como era esperable más agresivos los ciclos de cristalización de sales frente a los ciclos de hielo-deshielo.

Para conocer en profundidad la microestructura de estos morteros de rehabilitación se ha realizado un análisis SEM cuyas imágenes se

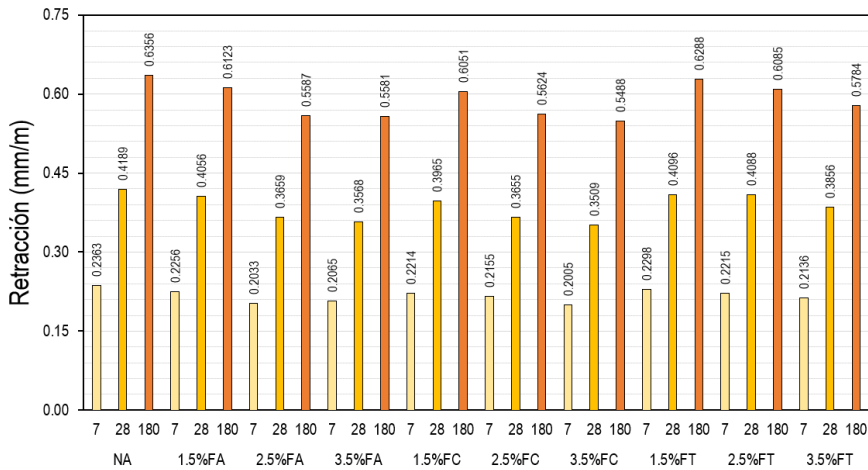
presentan en la Figura 2. Las imágenes fueron extraídas del interior de los morteros sin modificar su textura superficial y sin alterar su morfología original, bajo el criterio de garantizar la máxima representatividad posible extrayendo las muestras de probetas de referencia.



**Figura 2.** Análisis SEM de los morteros con fibras naturales ( $\times 1000$  aumentos).

En la Figura 2, se puede observar una buena integración entre las diferentes fibras adicionadas y la matriz de mortero. Adicionalmente, el menor diámetro de las fibras de coco y abacá frente a las fibras de paja toquilla, repercute en una mayor concentración de fibra por unidad de volumen. Este incremento de la densidad de fibras en la matriz explica en cierta medida su mejor comportamiento mecánico y mayor durabilidad frente a los ciclos de envejecimiento acelerado.

Por último, se ha medido la retracción obtenida durante el proceso de fraguado en los diferentes morteros. Para ello se ha medido el acortamiento longitudinal en probetas de  $2.4 \times 2.4 \times 28$ . cm<sup>3</sup> a las edades de 7, 28 y 180 días de fraguado. Cabe destacar que las probetas se mantuvieron en condiciones de laboratorio, a humedad relativa de 55% y temperatura constante de 23 °C. Estas condiciones se fijaron en base a otros estudios existentes, donde se ha determinada que las condiciones ambientales condicionan fuertemente este ensayo, y variaciones bruscas de humedad y temperatura repercuten en una mayor retracción durante el proceso de fraguado (Saiz-Martínez *et al.*, 2018). Los resultados obtenidos para este ensayo se muestran en la Figura 3.



**Figura 2.** Retracción de los morteros elaborados a diferentes edades.

Como se puede observar en la Figura 3, a edades tempranas (hasta 28 días) la retracción crece rápidamente, para posteriormente estabilizarse. Diversos estudios han corroborado el comportamiento logarítmico de esta propiedad física de los morteros (Sabziparvar & Foruzanmehr, 2024). En lo que se refiere a la incorporación de fibras naturales en la composición del mortero de cemento, se observa como se incrementa la estabilidad dimensional a mayor contenido de fibra, reduciéndose la retracción con respecto al mortero de referencia. Una vez más, los morteros con fibra de coco fueron los que mejor comportamiento presentaron, con una mayor reducción de la retracción (hasta un  $\downarrow 13.66\%$  para el 3.5%FC). Este efecto corrobora las afirmaciones realizadas por otros autores acerca del uso de fibras en morteros como método para reducir fisuras durante el proceso de ejecución (Aghae & Khayat, 2023), así como para incrementar la durabilidad de estos morteros. Como se ha destacada el efecto de las fibras es crucial a edades tempranas, por lo que la naturaleza de las mismas no es un condicionante para este fenómeno, si bien si lo es su factor de forma (ratio ancho/largo), que determina el número de fibras por metro cúbico y repercute en una mayor cobertura del material de refuerzo para evitar la aparición de grietas superficiales.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado el comportamiento físico-mecánico de diferentes morteros de albañilería reforzados con fibras naturales.

Para ello, se han realizando ensayos de durabilidad y se ha determinado la retracción durante el fraguado. Con ello, se ha obtenido una idea general de su potencial de aplicación en obras de rehabilitación de fachadas y restauración de morteros para revestimiento. Las principales conclusiones extraídas son:

- La resistencia a los ciclos de hielo-deshielo y cristalización de sales, siendo este último más agresivo, se vio incrementada con la incorporación de fibras en la matriz. Tanto la resistencia a flexión, como a compresión, de los morteros con fibras, supera a la del mortero tradicional. Por orden de mejora las adiciones serían: fibra de coco, fibra de abacá y paja toquilla, siendo esta última la que mejor porcentaje de mejora introdujo en los morteros.
- En el análisis SEM se ha desvelado una buena integración entre la fibra y la matriz de mortero, con la generación de cristales producto de la hidratación en la interfase.
- Se ha corroborado como la incorporación de fibras naturales mejora la estabilidad dimensional de los morteros de cemento. En este sentido, porcentajes de adición de 3.5% en masa de fibra de coco reducen la retracción del mortero tradicional hasta en un 13.66%. Con ello, se muestra el efecto beneficioso de estos materiales para mejorar la aplicabilidad de los morteros de albañilería.

En futuras investigaciones sería conveniente ampliar la campaña experimental presentada y complementar los resultados obtenidos con ensayos de caracterización fisicoquímica. Asimismo, la aplicación en entornos reales y edificios existentes permitiría conocer en detalle el efecto derivado de la aplicación de estos morteros *in situ*, con un alto valor añadido para las empresas y técnicos del sector. No obstante, a pesar de estas limitaciones, en su estado actual, el manuscrito es de gran utilidad para los profesionales del sector y muestra de forma clara las posibles aplicaciones de estos compuestos en las obras de rehabilitación de fachadas.

**Agradecimientos:** Los autores quieren agradecer a la Universidad Politécnica de Madrid por la concesión del proyecto de innovación educativa: Retos para Integrar la Sostenibilidad y el Pensamiento Crítico en la Construcción Actual (Código: IE25.5401).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGHAEI, K.; KHAYAT, K.H. (2023). Effect of internal curing and shrinkage-mitigating materials on microstructural characteristics of fiber-reinforced mortar. *Construction and Building Materials*, 386, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131527>
- ALCIVAR-BASTIDAS, S., PETROCHE D.M., MARTINEZ-ECHEVARRIA, M.J. (2023). The effect of different treatments on abaca fibers used in cementitious composites, *Journal of Natural Fibers*, 20:1, 2177235, 235, <https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2177235>
- ALCIVAR-BASTIDAS, S., PETROCHE D.M., CORNEJO, M.H., MARTINEZ-ECHEVARRIA, M.J. (2024). Effect of aging process on mechanical performance of reinforced mortar with NaOH abaca fibers. *Case Studies in Construction Materials*, 20, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03122>
- SABZIPARVAR, A.; FORUZANMEHR, M.R. (2024). An investigation into the microstructural evolution and shrinkage control in internally cured mortars with milkweed fibres. *Case Studies in Construction Materials*, 21, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03946>
- BUSTOS GARCÍA, A. Morteros con propiedades mejoradas de ductilidad por adición de fibras de vidrio, carbono y basalto. Tesis (Doctoral), 2018, E.T.S. de Edificación (UPM). <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.54114>.
- DEMIRCAN R, AHMET M, BENLI A, GENÇ G, BEYHAN F, KAPLAN G. (2025). Eco-efficient lime/pumice mortars with sheep wool for heritage restoration: Life cycle and energy savings. *Renovable and Sustainable Energy Review*, 211, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115624>
- FERRÁNDEZ D, YEDRA E, ATANES-SÁNCHEZ E, MORÓN C. (2022). Arduino based monitoring system for materials used in façade rehabilitation – Experimental study with lime mortars. *Case Studies in Construction Materials*, 16, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00985>
- FERRÁNDEZ, D., ZARAGOZA-BENZAL, A., PASTOR LAMBERTO, R., SANTOS, P., & MICHALAK, J. (2024). Optimizing Masonry Mortar: Experimental Insights into Physico-Mechanical Properties Using Recycled Aggregates and Natural Fibers. *Applied Sciences*, 14(14), 6226. <https://doi.org/10.3390/app14146226>
- GARCÍA G, CABRERA R, ROLÓN J, PICHARDO R, THOMAS C. (2024). Natural fibers as reinforcement of mortar and concrete: A

- systematic review from Central and South American regions. *Journal of Building Engineering*, 98, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111267>
- GU C, LIN J, WANG Q, WEI H, CUI D, KONG D, XU Y, ZHANG Y. (2025). The drying shrinkage and crack resistance of self-leveling cement mortars with sulfate-rich sewage sludge ash and superabsorbent polymers. *Journal of Building Engineering*, 105, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112470>
- HOLCIM. CEM II/B-L 32,5 N (ficha técnica). <https://www.holcim.es/sites/spain/files/2023-06/cem-ii-b-l-325-n-ecoplanet-in.pdf> (acceso, Julio 2025).
- JURADIN, S., BOKO, I., NETINGER, I., JOZIĆ, D., MRAKOVČIĆ, S. (2021). Influence of different treatment and amount of Spanish broom and hemp fibres on the mechanical properties of reinforced cement mortars. *Constr. Build. Mater.*, 273, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121702>
- KESIKIDOU, F., STEFANIDOU, M. (2019). Natural fiber-reinforced mortars. *Journal of Building Engineering*, 25, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100786>
- MIRANDA J, COSTA H, VALENÇA J, CARMO RD, JÚLIO E. (2021). Design and Durability Assessment of Restoring Mortar for Concrete Heritage. *Materials*, 14(16):4508. <https://doi.org/10.3390/ma14164508>
- MORÓN, A., FERRÁNDEZ, D., SAIZ, P., & MORÓN, C. (2021). Experimental Study with Cement Mortars Made with Recycled Concrete Aggregate and Reinforced with Aramid Fibers. *Applied Sciences*, 11(17), 7791. <https://doi.org/10.3390/app11177791>
- SATHIPARAN, N., ANBURUVEL, A., MURALITHARAN, M., ISURA D.A. (2022). Sustainable use of coco pith in cement-sand mortar for masonry block production: Mechanical characteristics, durability and environmental Benefit. *Journal of Cleaner Production*, 360, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132243>
- RUANO GUTIÉRREZ E, FERRÁNDEZ D, ATANES-SÁNCHEZ E, RUANO DE PABLO M. (2024). Physico-Mechanical Characterization of Masonry Mortars for Sustainable Construction: Experimental Study with Four Different Aggregates. *Sustainability*, 16(14):6228. <https://doi.org/10.3390/su16146228>
- SAIZ-MARTÍNEZ, P.; FERRÁNDEZ-VEGA, D.; MORÓN-FERNÁNDEZ, C.; PAYÁN DE TEJADA-ALONSO, A. (2018). Comparative study of the

- influence of three types of fibre in the shrinkage of recycled mortar. *Materiales de Construcción*, 68 (332), <https://doi.org/10.3989/mc.2018.07817>
- SATHIPARAN, N.; RUPASINGHE, M.N.; PAVITHRA, B.H.M. (2017). Performance of coconut coir reinforced hydraulic cement mortar for surface plastering application. *Construction and Building Materials*, 142, 23-30, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.058>
- SUHELMIDAWATI, E. ADIBROTO, MUKHLIS, F. HANWAR, S. NUMADA, M. MEGURO, K. (2019). Experimental Test of Masonry Walllets Retrofitted by ABACA Fiber Reinforced Mortar, *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 929–935, <https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.3.5457>
- UNE-EN 197-1:2011. Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes. AENOR, España.
- UNE-EN 933-1:2012. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado. AENOR, España.
- UNE-EN 933-2:1996. Ensayo para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas. AENOR, España.
- UNE-EN 1015-3:2000. Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas). AENOR, España.
- UNE-EN 1097-3:1999. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 3: Determinación de la densidad aparente y la porosidad. AENOR, España.
- UNE-EN 1097-6:2014. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua. AENOR, España.
- UNE-EN 12370:2020. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales. AENOR, España.
- UNE-EN 12371:2011. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la heladicidad. AENOR, España.
- UNE-EN 13139:2003. Áridos para morteros. AENOR, España.

UNE 146404:2018. Áridos para hormigones. Medida del coeficiente de friabilidad de las arenas. AENOR, España.

United Nations. Goal 11: Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable. United Nations Sustainable Development Goals. Published 2015. <https://sdgs.un.org/goals/goal11> (acceso, Agosto 2025).

VERDUM G, BERSCH J.D., LAMEGO F, FACA O R, GIORDANI C, ZUCCHETTI L, BORGES A. (2021). Mortar coating degradation in historical buildings facades from Rio Grande do Sul – Brazil. Construction and Building Materials, 310, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125221>

# STUDY OF THE IMPACT ON EMBEDDED AND OPERATIONAL CARBON IN RESIDENTIAL BUILDINGS OF PARTITIONING AND GLASS SYSTEMS WITH HIGH RECYCLED CONTENT AND LOW CARBON FOOTPRINT

---

DR. ENRIQUE GÓMEZ DE LA PEÑA  
*Universidad Alcalá de Henares, España*

MSC. MARILUZ JIMENO ROMERO  
*Saint-Gobain, España*

## RESUMEN

The building sector is a major contributor to global energy use and CO<sub>2</sub> emissions, accounting for 35% of energy consumption and 38% of emissions worldwide. While operational energy has been the focus of efficiency measures, the embodied carbon from building materials is gaining importance, especially in highly energy-efficient buildings, where it can reach up to 50% of total life-cycle emissions. In response to climate targets, the European Commission has introduced Life Cycle Assessment (LCA) requirements to reduce embodied carbon and achieve carbon-neutral new buildings by 2030, alongside ambitious reductions in energy consumption.

This study evaluates the impact of incorporating recycled-content materials—particularly partitioning and glazing systems—on the embodied and operational carbon footprint of a residential building in Madrid. Using AFELMA’s baseline study of a simulated 114-dwelling, 8-story building, scenarios were compared with different façade insulation systems and replacement strategies over a 50-year lifespan. The introduction of low-carbon materials, provided by Saint-Gobain, demonstrated significant reductions: up to 19% in partitions and 42% in glazing, leading to overall building savings of 4–5% in embodied carbon. When including material replacements, savings exceeded 237 tons of CO<sub>2</sub> equivalent, reaching over 5% reduction at the building scale.

These results highlight the effectiveness of recycled and lightweight construction solutions in reducing raw material use, waste, and overall carbon footprint. However, the magnitude of impact depends on building typology and system integration. Broader adoption and more detailed studies are essential to meet EU decarbonization goals, especially as operational efficiency improves and embodied carbon becomes increasingly dominant.

## PALABRAS CLAVE

carbon, embedded, operational, glass, and gypsum board

## 1. INTRODUCCIÓN

The current building stock is responsible for 35% of the planet's global energy use and 38% of CO<sub>2</sub> emissions, with between 5% and 10% of these emissions attributed to the production of building materials [1]. This scenario would consider all types of buildings, but if we focus on the most energy efficient buildings, authors such as Rock et al [2], increase this percentage of emissions produced by the manufacture of materials to consider that they are responsible for 20% or 25% of the building's life cycle emissions, reaching up to 45-50% in very energy efficient buildings according to Saade et al [3]. The data show that embedded carbon in buildings is becoming increasingly important in total emissions as buildings become more energy efficient, which has been the focus of attention in recent years in an attempt to reduce direct CO<sub>2</sub> emissions from the building sector.

The current climate emergency has led the architecture and construction community to set ambitious targets for reducing emissions from buildings. In this context, the reduction of global emissions from the building process is essential in order to achieve these targets with a drastic reduction of CO<sub>2</sub> emissions in the operational phase through passive energy efficiency strategies and the major challenge of reducing the carbon embedded in buildings, as mentioned above.

In this context of the urgent need to reduce CO<sub>2</sub> emissions and with the perspective of the need to implement effective strategies for the reduction of embedded carbon, the European Commission has approved the implementation of the LCA of the building where embedded carbon will be quantified with the aim of achieving carbon neutral new buildings by 2030 and the reduction of primary energy consumption by 16% by 2030 and between 20 and 22% by 2035, becoming CO<sub>2</sub> neutral in 2050 in Europe [4].

In order to achieve such ambitious objectives, all the knowledge acquired in recent years in the field of energy efficiency will be needed, which is gradually being implemented in the building regulations of European countries and under the demand of a society that is increasingly aware of the need to reduce energy consumption. It is in the field of energy consumption in the construction and deconstruction phase of buildings where it is necessary to increase knowledge. A

number of studies have begun this journey by studying in general terms the embodied carbon of different building typologies with different construction systems [5-7], but there are few detailed studies of specific construction solutions that allow us to detail how to reduce the embodied carbon of the building by reducing the emissions of the parts that make up the building.

This study analyses the impact of the inclusion of new partitioning and glazing systems with a high content of recycled material in the manufacture of raw materials on the embedded and operational carbon footprint in a specific type of building: residential construction, specifically studying the impact on a building type described below.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. BASELINE STUDY FROM WHICH THE STARTING DATA ARE TAKEN

For the analysis carried out, the study carried out by AFELMA (Association of Spanish Manufacturers of Mineral Wool Insulation) on the impact of mineral wool insulation on the carbon footprint of the building has been taken as a starting point [8].

The base building available is a simulation of a residential building of 114 dwellings, located in the city of Madrid and 8 storeys high, whose proportion of openings with respect to the rest of the façade is 25%. The roofs are flat. The constructive composition of this building is as follows:

- Concrete structure with slab floors.
- Interior partition walls of double 12.5 mm plasterboard, 48 mm profiling and 50 mm mineral wool insulation.
- Flat roof with 140 mm mineral wool insulation.
- Floating floor with 20 mm mineral wool insulation.
- Central heating and DHW production by gas boiler and cooling by multisplit systems.
- External façade insulation with 8 cm of mineral wool in SATE system and ventilated façade (2 assumptions).
- Inner lining of double 12.5 mm board and 50 mm of mineral wool insulation.

- Aluminium joinery with thermal break and double glazing.

In the study, an analysis is carried out with a useful life of the building of 50 years and two types of external insulation of the building, carrying out calculations for a building with external insulation of mineral wool sate (FS) and the same building with external insulation with a ventilated façade external insulation system (FV). Both are 8 cm thick. Subsequently, two 50-year replacement scenarios are proposed, the first one only carries out maintenance works on the roof (RI) and the second one proposes a replacement scenario typical of the use of the building in the proposed period (RII) where, of the elements analysed in this study, 50% of the partition walls and 25% of the windows and glazing are replaced.

The results of the Afelma study in relation to the impacts obtained per building element and the different insulation and replacement scenarios can be seen in table 1. Table 2 shows the impacts obtained by type of material.

Table 1. Impacts per building element of the building type analysed [8]

Categoría / Grupo	Ventilated façade - kgCO <sub>2</sub> eq totales		ETICS Façade - kgCO <sub>2</sub> eq totales	
	Scenario FV-RI	Scenario FV-RII	Scenario FV-RI	Scenario FV-RII
Structure	2039536,79		2039536,79	
Roof	78614,73	79209,30	78614,73	79211,13
Façade	858305,49	936912,56	681745,57	760361,64
Partitioning	803325,60	1056986,24	803325,60	1056997,86
Interior finishes	342895,90	553564,62	342895,90	553542,18
Total 50 years	4122678,51	4666209,50	3946118,59	4489649,59

Table 2. Impacts broken down by type of material [8].

Category / Group	Ventilated façade - kgCO <sub>2</sub> eq totales		ETICS Façade - kgCO <sub>2</sub> eq totales	
	Scenario FV-RI	Scenario FV-RII	Scenario FS-RI	Scenario FS-RII
Concrete + lightweight concrete	1.527.407,32	1.527.407,32	1.527.407,32	1.527.407,32
Steel + Steel structure	855.748,32	983.817,62	818.894,87	946.964,17

Bricks	539.426,33	539.426,33	540.036,42	540.036,42
Gypsum plaster-board	304.163,33	438.862,41	304.244,29	438.943,37
Carpentry	274.292,03	342.987,25	274.963,65	343.658,86
Mineral Wool	86.557,80	113.831,56	86.607,76	113.881,53
Glass	51.481,36	64.398,99	51.602,81	64.520,45

## 2.2. MATERIALS USED IN THE ANALYSIS OF THE REDUCTION OF EMBEDDED CARBON IN THE BUILDING

For the analysis of the reduction of embedded carbon, materials from the manufacturer Saint-Gobain with a high recycled content and a reduced carbon footprint compared to materials with similar technical performance were used for comparison. These materials and their recycled content can be seen in table 3.

## 2.3. CALCULATION PROCEDURE

For the analysis of the impacts on the embedded carbon in the building under study, the data on the impacts produced by the partitioning system and the glass of the AFELMA study were taken, comparing them with the results that could have been obtained by the construction solutions without high recycled content shown in table 3. Subsequently, the impacts obtained by replacing these solutions with the construction solutions with low carbon footprint analysed were calculated for the whole building in the two scenarios of insulation and replacements proposed.

Table 3. Global Warming Potential (A1-C4) and amount of secondary material (post-consumer recycled) of the solutions used in the study.

Partition	GWP* (kg CO2 equiv/m2 sistem)	Secondary material input partitioning (Kg/m2)*	Recycled content (according to ISO14021) in the composition of GP and Base Glass.
Original Partitioning	19,53	3,37	5%
Low CO2 Partitioning	15,63	19,07	28%
Original Glass	11,45	1,09	19%
Low CO2 Glass	6,64	6,41	64%

\*(material recovered from previous use or from waste replacing primary material in accordance with UNE-EN 15804 + A2)

### 3. RESULTS AND ANALYSIS

#### 3.1. NEW BUILDINGS WITHOUT MATERIAL REPLACEMENT

The results obtained from the calculation of the embedded carbon in the scenario without material replacement with the different construction solutions analysed can be seen in table 4. The solutions with a high recycled content obtain a KgCo2eq reduction result of 19.04% in the partitioning solution and 42.00% in the window glass, which means a reduction of up to 181 tn of Co2eq in the total building. These solutions would mean a reduction in the total impact of the newly constructed building of up to 4.61% in the scenarios analysed with sate and ventilated façade.

Table 4. Results on the embodied carbon of the building for a 50-year lifetime calculated from LCA phases A1-C4 of the materials studied in the RI replacement scenario.

Partition	% kgCO2eq totals in element analysed	kgCO2eq equivalents totals in element analysed	kgCO2eq Totals complete building FV-RI	%kgCO2eq total embedded option FV-RI	kgCO2eq totals complete building FS-RI	%kgCO2eq total embedded option FS-RI
Original Partitioning	0,00%	803325,60	4122678,51	0	3946118,59	0
Low CO2 Partitioning	-19,04%	643142,48	3962495,39	-3,89%	3785935,47	-4,06%
Original Glass	0,00%	51481,36	4122678,51	0	3946118,59	0
Low CO2 Glass	-42,00%	29859,1888	4101056,34	-0,52%	3924496,42	-0,55%
TOTAL		-181805,30	3984117,56	-4,41%	3807557,64	-4,61%

#### 3.2 NEW BUILDINGS WITH REPLACEMENT OF MATERIALS

The results corresponding to the analysis of the impacts of the materials analysed can be seen in table 5. In this configuration the savings increase significantly to a saving of more than 237 Tn KgCo2eq and increasing the percentage of embedded carbon to 5.30% in the total building in the option analysed with sate insulation.

Table 5. Results on the embodied carbon of the building for a useful life of 50 years calculated from LCA phases A1-C4 of the materials studied in the RII replacement scenario.

Partition	% kgCO <sub>2</sub> eq totals in element analysed	kgCO <sub>2</sub> eq equivalents totals in element analysed	kgCO <sub>2</sub> eq Totals complete building FV-RII	%kgCO <sub>2</sub> eq total embedded option FV-RII	kgCO <sub>2</sub> eq totals complete building FS-RII	%kgCO <sub>2</sub> eq total embedded option FS-RII
Original Partitioning	0,00%	1056986,20	4666209,50	0,00%	4489649,59	0,00%
Low CO <sub>2</sub> Partitioning	-19,04%	846223,15	4455446,45	-4,52%	4278886,54	-4,69%
Original Glass	0,00%	64398,99	4666209,50	0,00%	4489649,59	0,00%
Low CO <sub>2</sub> Glass	-42,00%	37351,41	4639161,92	-0,58%	4462602,01	-0,60%
TOTAL		-237810,62	4482494,03	-5,10%	4305934,12	-5,30%

### 3.3. TOTAL IMPACTS ON TOTAL BUILDING CARBON

The results obtained in the calculation of total building carbon can be seen in table 6. The impact of these solutions in this scenario was reduced to 2.62% and 2.69% respectively for the two types of buildings analysed, reducing the total figure by around 20 KgCo<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

Table 6. Results on the embedded and operational carbon of the building for a useful life of 50 years calculated from LCA phases A1-C4 of the materials studied, including phase B6.

Partition	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> Embedded FV	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> 50 years FV (Total)	%kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> 50 years FV option(Total)	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> Embedded ETICS option	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> 50 years ETICS option (Total)	%kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> 50 years ETICS option
Original Partitioning	530,13	892,63	0,00%	510,07	873,07	0,00%
Low CO <sub>2</sub> Partitioning	509,51	872,01	-2,31%	489,36	852,36	-2,37%
Original Glass	527,37	889,87	-0,31%	507,26	870,26	-0,32%
Low CO <sub>2</sub> Glass	506,75	869,25	-2,62%	486,56	849,56	-2,69%

#### 4. DISCUSSION

In terms of CO<sub>2</sub> emissions reduction, the use of this type of material represents major advances in comparison with materials of similar performance, achieving results of over 19% in the partitioning systems analysed and over 42% in the glass solutions. This represents significant savings at building level with the incorporation of these two solutions alone, although these percentages may vary widely depending on the type of building in which they are used. Based on the results obtained, where glass stands out for its significant savings, buildings with curtain wall façade systems can reduce embedded carbon significantly [9]. However, it is clear that the reduction of the total building's embedded carbon depends on the construction typology used and the participation of all materials if very significant savings are to be achieved in this respect.

In the analysis carried out in the RII scenario of building replacements, the percentage impact is much higher than in the scenario without replacements, which could be compared to a new building. This type of lightweight construction solutions are widely used in building refurbishment due to their lightness and ease of assembly, so the results obtained gain significance and it would be interesting to have data on the regulation of this type of work in this respect.

As for their relationship with the total carbon footprint of the building, their impact will depend on the energy efficiency of the building and the materials used as a whole. Regulatory standards for energy efficiency in new buildings and refurbishment are becoming increasingly high, due to the high impact that operational carbon currently has on the ageing European building stock. These types of building systems play a double important role in this aspect because they can be configured to improve the transmittance of blind walls by including insulated cladding and replacing glazing in openings with other more insulating ones, so they acquire a double relevance in this aspect.

## 5. CONCLUSIONS

The two construction solutions analysed represent a great step forward in the incorporation of recycled materials in the manufacturing process of the materials, which means that they are of great benefit in reducing the consumption of raw materials and the reduction of waste from the construction sector, thus aligning with the policies and strategies established in terms of sustainability set out by The European Commission.

The use of these solutions reduces the embodied carbon of the building's interior partitions by 19.02%, depending on the systems chosen, with an impact of between 4% and 5% on the total embodied carbon of the building under study, indicating that action must be taken at all levels to achieve a drastic reduction in the building's footprint.

The use of building materials with a high recycled content as well as the use of lightweight construction solutions greatly reduces the extraction of raw materials from the planet, thus helping to reduce the embodied carbon of the building.

It should be noted that the influence of each type of solution on the overall building will vary significantly depending on the building typology, its design and the other solutions chosen.

There is a need for studies to measure the carbon footprint of the building in order to quantify it and thus increase the analysis of its reduction through construction materials with a lower carbon footprint and a reduction in the extraction of raw materials. Knowledge of the carbon footprint of the building is expected to increase dramatically in the coming years thanks to the growth of studies such as the INDICATE project [10], led in Spain by GBCe, which aims to establish a range of values for carbon emissions throughout the life cycle of new buildings in Spain.

## REFERENCES

- GlobalABC. UNEP, Global Status Report for Buildings and Construction: towards a Zero-Emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector, 2020. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/34572>.
- M. Röck, M.R.M. Saade, M. Balouktsi, F.N. Rasmussen, H. Birgisdottir, R. Frischknecht, G. Habert, T. Lützkendorf, A. Passer, Embodied GHG emissions of buildings – the hidden challenge for effective climate change mitigation, *Appl. Energy* 258 (2020) 114107, <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.114107>.
- M.R.M. Saade, G. Guest, B. Amor, Comparative whole building LCAs: how far are our expectations from the documented evidence *Build. Environ.* 167 (2020) 106449 <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2019.106449>.
- [1] GlobalABC. UNEP, Global Status Report for Buildings and Construction: towards a Zero-Emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector, 2020. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/34572>
- Net-zero buildings. Halving construction emissions today. Arup, London. United Kingdom. WBCSD, January 2023. <https://www.wbcd.org/contentwbc/download/15653/227132/1>
- Embodied carbon benchmarks for European Building. According to EN 15978:2011 and LEVEL(s) framework. One Click LCA 2021. <https://143253260.fs1.hubspotusercontent-eu1.net/hubfs/143253260/Ebooks/Embodied%20Carbon%20Benchmarks%20for%20European%20Buildings.pdf>
- Y. Decorte, N. Van Der Bossche, M. Steeman. Importance of technical installations in whole-building LCA: Single-family case study in Flanders. *Building and Environment* 250 (2024) 111209. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111209>
- Assessment of the impact of mineral wool insulation on the carbon footprint of the building. AFELMA. <https://afelma.org/>
- Carbon footprint of façades: significance of glass. Arup and Saint-Gobain. <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/carbon-footprint-of-facades-significance-of-glass>
- INDICATE Project GBCE. <https://gbce.es/proyectos/indicate-spain/>

## ASSESSMENT OF THE STONE WALLS' THERMAL PROPERTIES IN CULTURAL HERITAGE BUILDINGS: THE ROYAL HOSPITAL OF GRANADA, SPAIN<sup>1</sup>

---

DRA. M<sup>a</sup> PAZ SÁEZ-PÉREZ  
*Universidad de Granada, España*

DR. JORGE A. DURÁN-SUÁREZ  
*Universidad de Granada, España*

DRA. M<sup>a</sup> ÁNGELES VILLEGAS-BRONCANO  
*CSIC Madrid, España*

DR. JOAO CASTRO GOMES  
*Universidad de Beira Interior, Portugal*

### ABSTRACT

Energy rehabilitation is today the main challenge for buildings to achieve the reduction of final energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions, being an objective to comply with the European Directives and with direct help for the rehabilitation of buildings of the European Next Generation funds. In the case of intervention in cultural heritage buildings, its implementation entails the need for specific studies that allow addressing energy rehabilitation actions, knowing their behavior, as they are exclusive cases. This work presents the evaluation of the thermal behavior of two rooms of the Royal Hospital of Granada (Spain) through the study of thermal patterns in situ and simulation by computational means through non-destructive techniques. The results highlight the importance and improvement offered in the behavior of the spaces by the existence of thick walls. They also offer information to

---

<sup>1</sup> This work was supported by the Project granted by the Pre-competitive Research Projects Program, belonging to the Research and Transfer Plan of the University of Granada (PP2022.PP.27) with the collaboration of REMINE Project Programme for Research and Innovation Horizon 2020 Marie Skłodowska-Curie Actions, Horizon 2020, WARMEST Project Research and Innovation Staff Exchange (RISE) H2020-MSCA-RISE-2017, RRRMaker project Marie Skłodowska-Curie Research and Innovation Staff Exchange. Also, the authors acknowledge the Centro de Ciencias Humanas y Sociales CSIC, to the Scientific Unit of excellence "Ciencia en la Alhambra", ref. UCE-PP2018-01 (University of Granada). The research was carried out under the auspices of Research Groups RNM 0179 and HUM 629 of the Junta de Andalucía

address strategic planning at the monument scale in the future, defining the conditions of thermal comfort confirming the incidence that recognizes its material composition, construction systems as well as its state of conservation.

## KEY WORDS

*In situ thermal resistance, energy retrofit, wall thermal properties, non-destructive techniques, cultural heritage.*

## INTRODUCTION

The architectural heritage constitutes an essential part of the cultural heritage, which requires the application of actions that allow its conservation and help to protect the environment, carrying out sustainable interventions. This approach commits all countries, governments and also society that as a whole seek, among their objectives, to achieve the proposed goals. At present they are framed in the so-called Sustainable Development Goals (SDGs). Its implementation supposes, in addition to generating economic growth, helping the sustainability of the environment in all the actions planned in its different areas. Specifically, the protection of Cultural Heritage is contemplated in the fourth goal of SDG 11, which aims to *"redouble efforts to protect and safeguard the world's cultural and natural heritage", being the way to "ensure that cities and human settlements are inclusive, safe, resilient and sustainable"*.

The application of these objectives, in the context of this study, generates a circular action between economic, social and environmental aspects, contributing to the protection and defense of cultural heritage (Ortega, 2021; Soler, 2020). In this sense, the European Union determines as a strategic proposal to achieve the sustainability of architectural heritage buildings during the 21st century (European Commission 2013).

In addition, the proposal and development of the conservation of cultural heritage and its enhancement contributes directly to the achievement of other SDGs, thereby achieving other achievements related to the safety and sustainability of cities, the slowing down of environmental degradation, and even gender equality, all involved in the promotion of peaceful and inclusive societies (Hosagrahar, 2017).

Achieving the objectives in line with the SDGs requires intervention in old buildings with actions that improve their energy efficiency and good conservation. The possibility of guaranteeing the new use, allows their survival over time, giving them utility, and favoring the sustainability of the environment. To this end, along these lines, numerous research teams and scientific committees have developed guides and standards in which intervention in cultural heritage is analyzed, including proposals to improve energy efficiency (EN 16883, 2017; Lucchi & Pracchi, 2013; HeLLo-Heritage Energy Living Lab

Onsite, 2023; Lidelöw et al., 2019; De Santoli, 2015; Co2olBricks, 2013).

Most of the proposed approaches focus on reducing the transmittance of the building envelope, working on constructive solutions that prevent the heat inside from being lost, mainly through its facades (Kisilewicz, 2019; Zhou, Carmeliet, Derome, 2018).

The most common proposal consists of placing an element that makes it impossible or reduces the transfer of temperatures. The solution being recurring through an element attached to the outside of the wall. Unfortunately, this solution is very limited when it is proposed in buildings of architectural heritage, whose facades, of great value, are protected (Magrini & Franco, 2016; Boarin, Lucchi & Zuppiroli, 2019; Buda et al., 2021), being mandatory the conservation of their original state. In these cases, the alternative is based on the placement of insulating material inside the wall.

This circumstance requires that the conservation, restoration or rehabilitation actions carried out on these properties be especially sensitive, so as not to distort their image. To this end, public bodies have been establishing state, regional and local regulations in which actions on these properties are regulated, ensuring the permanence of their original image.

The peculiarity of these interventions causes a dilemma when it comes to addressing the interventions, having to implement, on the one hand, actions for the conservation of cultural heritage and, on the other hand, actions that are appropriate to the requirements of current regulations. Recent studies highlight the importance of maintaining heritage values (Buda et al., 2021; Mazzola et al., 2019; Ruggeri et al., 2020; Siandou, 2015) compared to those that address issues of environmental sustainability, focusing mainly on energy efficiency measures (Cornaro, Puggioni & Strollo, 2016).

Obviously, the ideal solution is to be able to achieve both challenges, although, in order to address the second of them, and reduce energy costs, it is necessary to know the thermal functioning of the envelope and specifically of the facades, since these constitute the largest surface percentage.

In the commented line, on the behavior of buildings and energy needs, the current situation and the increase in energy consumption

has generated numerous studies whose main objective is to cover those needs. Furthermore, and as confirmed by (Xu et al., 2022), it corresponds to a significant part of the total energy consumption (Ciardello et al., 2020; Directive 2018/844; Directive 2010/31). Consequently, the development of efficient energy sources, the control of energy consumption and with it the promotion of sustainable development, is increasing.

Climatic conditions and geographical characteristics have been decisive in the design of buildings, even more so in historical constructions, in which construction has focused on satisfying the needs of production and life, adapting to the climate and the characteristics of its environment.

The fundamental environmental thermal conditions are temperature and humidity, coinciding with the determining factors of the so-called thermal comfort. Being the measurement and evaluation systems the key elements for its quantification (Lai et al., 2020).

Being able to quantify the energy necessary to achieve user comfort has a direct consequence on the environment (De Dear & Brager, 1998). But also on aspects related to socio-economic impact (Lai et al., 2020), health conditions (Aljawabra & Nikolopoulou, 2009) and adaptability at different levels (Nikolopoulou, Kotopouleas, Lykoudis, 2018).

With the advancement of construction science, the methodology dedicated to the study of the thermal environment and the characteristics and qualities of buildings have improved considerably. At present, they mainly include software simulation, in situ measurements, and satellite remote sensing (Xu et al., 2022). Its authors indicate that the satellite remote sensing method is considered the most appropriate in locations with similar environmental and climatic characteristics in large-scale studies. On the contrary, to a lesser extent, the most common research is based on simulations and real measurements, solving the problem of authenticity and reliably showing the changes in the climatic environment, increasing the precision and reliability of the conclusions of the different studies.

In relation to the intervention in the heritage area, it is necessary to take into account specific knowledge both about the buildings and about the applicable study and evaluation techniques. In this sense,

historical studies are joined by those related to the characterization of their materials, knowing the nature and properties, the state and level of degradation as well as environmental conditions, the state of stress to which they are subjected and their foreseeable evolution. To achieve this, it is necessary to apply experimental techniques, sampling being the system used. However, due to the cultural value, the number of samples is considerably reduced, which requires the use of non-destructive techniques, being in many cases the exclusive way of analyzing the building. As (Menendez, 2016) confirms, the need to preserve the great value of the objects in the most intact way possible has made the use of this type of technique mandatory, even during the construction phase, which allows us to know the suitability of the improvements implemented, as well as compliance with construction and regulatory requirements (Deepak et al., 2021). Added to the above is the limitation of destructive tests and the less representativeness of the results, which need to be contrasted with a greater number of tests that allow an adequate level of knowledge and evaluation, in the shortest possible time (Diaferio, 2022).

In this sense, and on the topic addressed, the materials and construction systems used are decisive when choosing the intervention criteria that improve their thermal behavior and, therefore, the energy efficiency of the building. Therefore, it is necessary to carry out material characterization investigations, as is the case of the works carried out by some of the authors in singular patrimonial locations (Ramos et al, 2019; Duran & Sáez, 2019; Muñoz, et al., 2021; Rodríguez, Camino & Saez, 2014; Saez & Garcia, 2019).

For this reason, and taking into account that the studies carried out on them must be differentiated and specific for each type of material and construction system, the present investigation focuses on the study of the thermal behavior of old buildings that were executed with stone material. To carry it out, it must be borne in mind that both the materials and the construction systems used are different from the current ones, and it is necessary to know their behavior and their compliance based on current regulations.

Determining the thermal behavior of Stone Cultural Heritage buildings requires taking into account two aspects, on the one hand, that these walls have been exposed to the weather for decades, and on the

other, that the material has certain intrinsic properties, which are determinants in its thermal behavior and whose information is very useful for its analysis and understanding (Umar et al., Grzyb et al., 2022; El Masri & Rakha, 2020).

Therefore, the first action focuses on analyzing the material, Saez et al., 2021; Saet el al., 2022), being necessary to take into account the geographical factor. A posteriori, once the materials have been characterized and their behavior known, this study allows its application to other similar cases.

Based on the above, in the present investigation the temperature gradient of the facade walls and the thermal behavior of two rooms that are part of one of the most emblematic heritage sites in the city of Granada, a BIC building of special relevance, are analyzed. The Royal Hospital, currently the Rectoral Headquarters of the University of Granada. The present study intends through the use of non-destructive techniques and specific software, to verify and evaluate the thermal behavior of a building with a facade built in stone.

The investigation is carried out in different climatic seasons and orientations to correctly evaluate the behavior of the building throughout the year and thus know the influence of periods of sunshine and the behavior of the material through simulations. For this, two data sources have been used, resorting to two measurement procedures, "in situ" and through the analysis of statistical data.

The study carried out will help to evaluate the conservation interventions that can be proposed as part of the strategic planning at the monument scale, allowing to carry out evaluation, management, protection and sustainable development actions applied to the built cultural heritage.

In addition, the possibility of extrapolating the results obtained to other buildings, located in different areas with similar material characteristics, construction solutions and environmental conditions, is recognized as of great interest.

## CASE OF STUDY

### 1. HISTORICAL STUDY

The building object of this study is known as The Royal Hospital and currently houses the Headquarters of the Rectorate of the University of Granada. Regarding the category of protection, the building in question enjoys the highest level of legal protection contemplated by Spanish legislation, that is, it has been declared an Asset of Cultural Interest (BIC) since 1931 (Gaceta de Madrid, 1931).

The construction of the Royal Hospital of Granada began in 1513 and it was inaugurated unfinished in 1526 with the visit of Carlos V. Despite the fact that the building began to function on that date, the conditioning and finishing works lasted until the eighteenth century, suffering various events in this interval of time. The fire that took place in 1549 stands out as the most important, which forced the reconstruction of the carpentry to assemble and part of the factories in a large part of its rooms, among other deteriorations.

Formally, it presents a Greek cross floor plan with four symmetrical patios at its corners, built with stone masonry, the galleries being covered with wooden frames. At the intersection between the two main naves is the transept covered with a ribbed or ribbed vault, supported on four pillars adorned with little columns that is culminated in a dome. This type of structure corresponds to a design clearly influenced by Italian hospitals (Gallego, 2009). Both around the patios and in the galleries the different rooms are articulated. In elevation it has two floors, with the exception of the southwest corner that exhibits a third floor known as the Gallery of Convalescents. Figure 1 shows the plan, elevation and section of the building.

The main façade presents a significant doorway, the work of Alonso de Mena (1632), carved in micritic limestone from native quarries (Sierra Elvira, Granada-Spain) almost entirely, with the exception of some decorative details made of marble from the national quarries of Macael, Almería-Spain. The portal leads to the hallway, rectangular in plan and covered by a paneling like the rest of the naves on the ground floor with the exception of the transept, which is closed with a ribbed vault. On the upper floor, all the naves are covered with wooden armor decorated with lacework and muqarnas, while the enclosure of the upper transept was solved with a wooden dome.

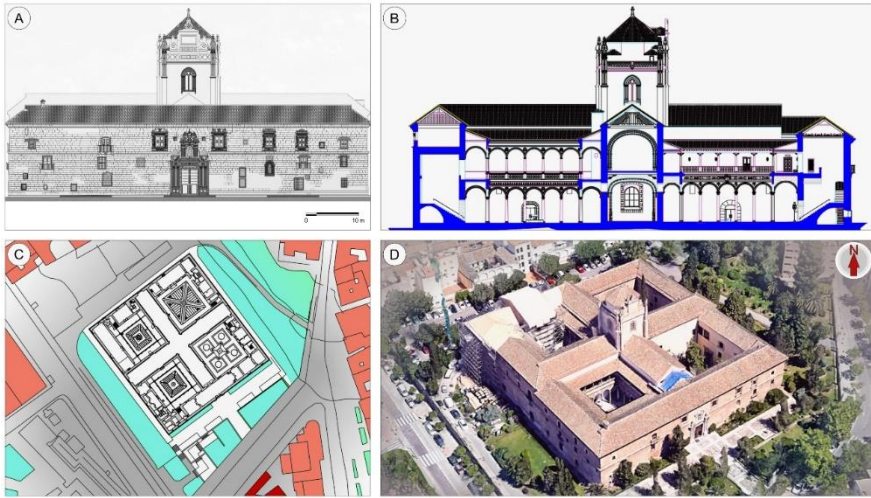


Figure 1: Elevation plan (a), section plan (b), floor plan (c) and aerial view (d) of the Royal Hospital of Granada building  
 Source. The authors

The original project of the building contemplated the erection and ornamentation of the four patios, but only two of them were addressed, partially the Patio de los Mármoles and the entire Patio de la Capilla. In the case of the Patio de los Mármoles, it was left unfinished as only the ground floor, of slender proportions, made up of a gallery of semicircular arches supported by marble columns, was traced. This patio would not be completed until the second half of the 20th century in the intervention carried out by the conservative architect of the Alhambra, Prieto Moreno (Gallego, 2009), who, among other things, made the forging of the galleries and the upper floor. On the other hand, the Chapel Courtyard stands out, which was finished in 1536 (as recorded in an inscription) and in which the building's chapel was located, hence its name. Regarding the construction system of said patio, it is made up of two porticoes floors with semicircular arches supported by columns, all carved in bioclastic calcarenite stone, from native quarries in Escuzar, Granada-Spain.

As a consequence of its development over time, the building displays different architectural styles. Recognizing Gothic, Renaissance and Mudejar elements (Félez, 2014). This mix of styles added to interventions such as the rehabilitation of the architect Prieto Moreno (mid-20th century), and the repair works and adaptation to various

uses justifies the coexistence of different materials, construction systems, thicknesses, heights, etc. (Medina et al., 2016; Sebastian et al., 1990).

## 2. LOCATION OF ROOMS FOR THE STUDY. CONSTRUCTIVE CHARACTERIZATION

Prior to the climatological study, the historical and technical information available in previous studies and existing written and graphic documents on the building, in addition to those cited, were consulted (Cambil, 2019; Cambil et al., 2019; Gijón, 2017; Romero, 2011; Valenzuela, 2004). The available information was complemented with the visual inspection and the recognition of different phases and construction systems of the complex.

Given the entity of the building and finding the investigation in the phase of previous studies, the thermal evaluation of two rooms, with similar characteristics, located on the ground floor of the Royal Hospital of Granada is addressed. Room 1 has its exterior façade oriented to the Southwest and Room 2 presents its exterior façade oriented to the Northeast. In both cases they are directly exposed to outside air conditions, located on the ground floor and having dividing rooms on the other 3 facades. Figure 2 below indicates the location of the studied areas.

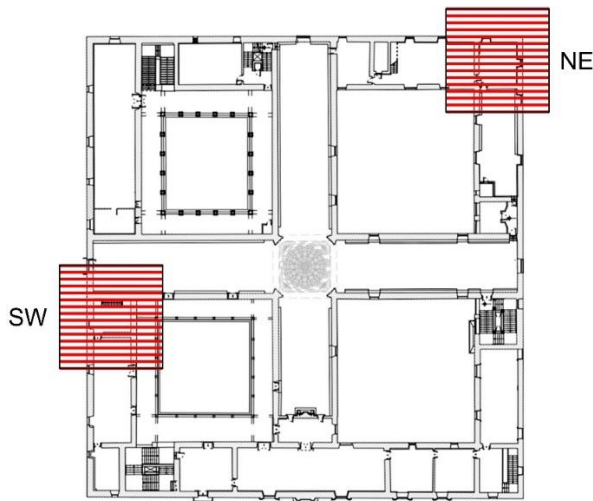


Figure 2: Location by facades of the rooms in the building. Room 1= NE and Room 2= SW  
Source. The authors

Regarding the geometric and constructive characteristics, the two areas present the same composition of materials. The data for each of them is shown in Table 1.

Table 1. Features of the study areas

FEATURES	ROOM 1	ROOM 2
Geographic orientation (outside wall)	Southwest	Northeast
Area	38.60 m <sup>2</sup>	29.58 m <sup>2</sup>
Height of the room	4.50 m	4.50 m
Outside walls		
(composition and thickness)	Travertine masonry Wall 1.10 m	Travertine masonry 1.10 m
Inside walls		

Source: The Authors

### 3. CLIMATE STUDY

The climatic conditions during the thermographic survey were monitored from the AEMET Cartuja Weather Station (AEMET, 2023). Data on temperature, air humidity, wind speed, pressure and precipitation were recorded.

The city has a mixed Mediterranean and continental climate according to the updated Köppen-Geiger Climate Classification (Kottek et al., 2006). In addition, Granada has the particularity of having Atlantic influences, with its average annual temperatures between 0°C and 34°C. The average annual temperature is higher than 18°C (Universidad de Alcalá, 2012; Lara et al., 2008; Muhr, 2024). The city belongs to the C3 climatic area, according to the Spanish CTE regulations (Código Técnico, 2006). This unique location makes it possible for the temperature variations recorded on the same day to exceed a 20° difference.

## METHODOLOGY

### 1. THERMOGRAPHIC STUDY

In a first phase, the thermographic study was carried out during the two most representative months of the maximum and minimum temperatures (January and July) in which the exterior and interior walls of the building were inspected with a HIKMICRO M20W thermographic camera. The camera has a spectral band between 7.5  $\mu\text{m}$  to 14  $\mu\text{m}$ , a resolution of  $\pm 2^\circ\text{C}$ , and simultaneously records infrared and visible spectrum images. Post-processing of the infrared images was performed with the Hikmicro Analyzer thermal imaging software (Hikmicro Analyser, 2024).

The thermographic survey was carried out in different time slots to allow the recognition of the walls without insolation and after the warming of the day due to solar radiation, which allowed recognition of the temperature variation through thermographic detection.

The choice of spaces was determined for those locations in which both the constructive and dimensional component could be identified and corresponded to different and opposite orientations, one being directly exposed to solar radiation, (Stay 1, > 6 h) and the other totally protected from solar radiation (Stay 2, = 0 h). During the study, the two rooms were without air conditioning.

In the second phase, to carry out the study of gradients and isotherms of the selected facades, the study of temperatures was carried out using a Raytek Inc. PM5 DLM (Data Logger Model) infrared emissivity thermometer with laser pointer was used for the thermographic test. The main features of the non-contact temperature measurement device are as follows: temperature range from  $-18^\circ\text{C}$  to  $870^\circ\text{C}$ ; digitally adjustable emissivity from 0.1 to 1.0; accuracy of  $\pm 1\%$ ; repeatability of  $\pm 0.5\%$ ; spectral response from 8 to 14  $\mu\text{m}$ , and working temperature from 0 to  $50^\circ\text{C}$ .

The work system consisted of measuring the surface temperature of part of the exterior travertine stone wall from local quarries in Alfacar, Granada-Spain, on the northeast façade of the Royal Hospital of the Catholic Monarchs in Granada-Spain (16th century) and part

of the exterior wall of the southwest façade of the same Cultural Heritage Site. Both have an approximate area of 5 m<sup>2</sup>. The measurements taken, both on the northeast and southwest sides, were carried out once the total or partial direct solar radiation had been removed.

For this purpose, a grid was drawn up with nodes at a distance of 10 cm from each other where the temperatures were taken. For this grid and its corresponding sampling points, laser levels with crossed lines were used to ensure the highest precision between each node at 10 cm.

All measurements were included in a calculation software to compose a longitudinal thermal gradient, from the bottom of the wall to the top, as well as a distribution of isotherm areas.

A total of 513 measurements were taken in each area of travertine wall and mortar joint of aerial lime mortar and river sand aggregate (granular fragments of marble, silica sand, schist, quartzite, and/or serpentinite), whose sizes range from 1.5 mm to 4 mm.

The environmental values for the location of the north-facing wall at 13:00 on 25 February 2022 were as follows: temperature 17.0 °C and relative humidity 63%. In the case of the measurement of the south-facing wall at 15:00 on 25 February 2022, its ambient values are: temperature 15.6°C and relative humidity 62% (AEMET, 2024).

## 2. ENERGY SIMULATION. NUMERICAL STUDY

The chosen areas were subjected to an energy simulation, with the objective of evaluating the thermal behavior in a state of "free floating" (free floating), that is, without the support of artificial air conditioning, ventilation, heating or cooling systems.

In this study, the EnergyPlus tool (Energy Plus, 2023) is used through the OpenStudio application for SketchUp (OpenStudio, 2024) because it is a software that offers reliable results, as demonstrated in their research (Sakiyama et al., 2021; Ciardello et al., 2020; Balaji, Mani & Reddy, 2019).

Regarding the time interval chosen for data collection, the lowest criterion allowed by the program is adopted, that is, obtaining numerical results every hour whenever possible. The total simulation time spans a full year.

The procedure is carried out in 6 stages:

Stage 1. Geometry survey. Definition of envelopes.

Stage 2. Definition of the thermal areas that make up the construction.

Stage 3. Definition of the boundary conditions of the construction (differentiation between interior and exterior areas and those in contact with the ground).

Stage 4. Introduction of holes and their characteristics for the elements that make up the envelope.

Stage 5. Configuration of the climatology data according to the location of the building.

Stage 6. Carrying out the energy simulation. Verification of the thermal behavior of the building (studied rooms) without the influence of any air conditioning, heating, refrigeration or ventilation system.

## RESULTS

### 1. LONGITUDINAL GRADIENT AND DISTRIBUTION OF ISOTHERMS

The results are shown in the corresponding figures 3 and 4 where the longitudinal thermal gradient has been represented, from the point 0-0 to 0-27 (x-y profile of temperature (°C) vs length (m)).

In the same way, the isothermal areas of each area measured in an X-Y (distance between nodes of 10 cm over the entire surface) and Z (representative of the temperature values in °C) arrangement have been represented with colour scales in the corresponding intervals. This arrangement corresponds to points 0-0 to 19-27 (total of 513 temperature values). Finally, the real image of the wall under study has been combined with an insertion of the isothermal areas filled with coloured bars.

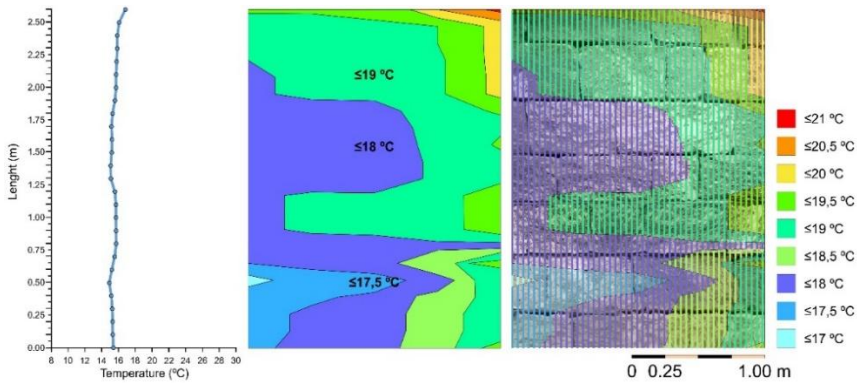


Figure 3: Outside northeast wall of the Royal Hospital in Granada-Spain (16th century). From left to right. Thermal gradient profile relating temperature vs longitudinal direction (points 0-0 to 0-27). Graph of x-y isotherms (surface positioning at 10 cm intervals) and Z (°C) from point 0.0 to 19-27. Superimposed graph of isotherm areas with coloured bars on the image of the north wall. The coloured squares represent the resulting isothermal intervals-areas.

Source. The authors

In relation to the northeast wall, a relative homogeneity in the profile of the thermal gradient is detected, ranging from 0-0 to 0-27 slightly more than 2°C in an upward direction. This represents thermal differences in the longitudinal thermal gradient of approximately 11%. On the other hand, the surface thermal gradient oscillates from 0-0 to 19-27, where there are thermal variations with superficially heterogeneous isothermal areas, of about 4°C, a factor that represents a variation of 18.5%. All this in an increasing and oblique direction from lower to higher temperature. The coloured bar inset graph reiterates the results and discussions indicated in the isotherm area graph.

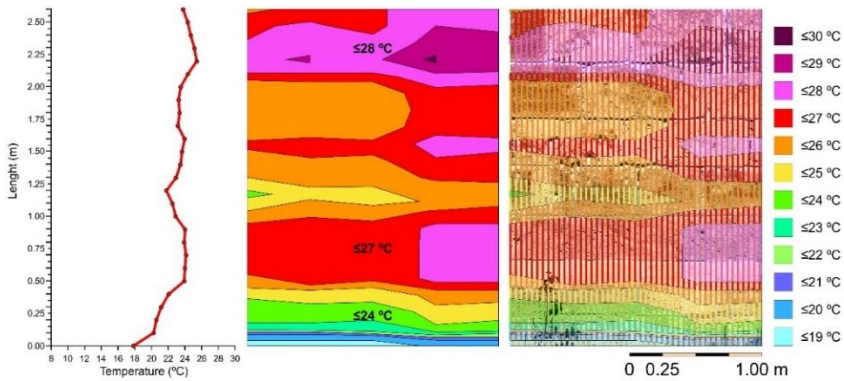


Figure 4: Outside southwest wall of the Royal Hospital in Granada-Spain (16th century).

From left to right. Thermal gradient profile relating temperature vs longitudinal direction (points 0-0 to 0-27). Graph of x-y isotherms (surface positioning at 10 cm intervals) and Z (°C) from point 0.0 to 19-27. Superimposed graph of isotherm areas with coloured bars on the image of the southeast wall. The coloured squares represent the resulting isothermal intervals-areas.

Source. The authors

Regarding to the southwest wall, the profile of the thermal gradient is very heterogeneous (similar to saw peaks), oscillating from 0-0 to 0-27 almost 10°C upwards. This represents thermal differences in the longitudinal thermal gradient greater than 35%. On the other hand, the surface thermal gradient oscillates from the 0-0 point to 19-27, where thermal variations occur, with superficially heterogeneous isothermal areas, of around 11°C, a factor that represents a variation of approximately 40%. All this in an increasing and slightly oblique direction from lower to higher temperature. However, the thermal radiation of this area of the southwest wall has generated greater heterogeneities in the areas of thermal equality, probably due to the heterogeneity of the native travertine stone, to the loss of joints between the stone ashlar, to both causes, or even to the selective factors of alteration that proliferate in this type of construction materials.

## 2. SIMULATION RESULTS

After the simulation, the analysis of the results presented below determines the potential benefits of the rooms that allow mitigating the negative effects of high and low temperatures.

First, the thermal sensation data obtained in the simulation are compared with the thermal data of the two rooms (Room 1 and Room 2). Secondly, the two rooms defined in section 2 are analyzed. Case Study, comparing the percentage of hours of thermal comfort.

### 2.1. EVALUATION OF THE ORIENTATION OF THE ROOMS

Figure 5 compares the data obtained in the simulation in relation to the average temperature ranges inside the two rooms, with their façades oriented in Room 1 to the Northeast and in Room 2 to the Southwest.

The comparison of these data shows that Room 2 presents higher temperatures than Room 1. In addition, the minimum temperatures are higher in Room 1. On the other hand, the thermal oscillation is noticeably wider in Room 1, up to 14.3°C, being 12.7°C in Room 2, resulting in a difference between the two of 1.6°C.

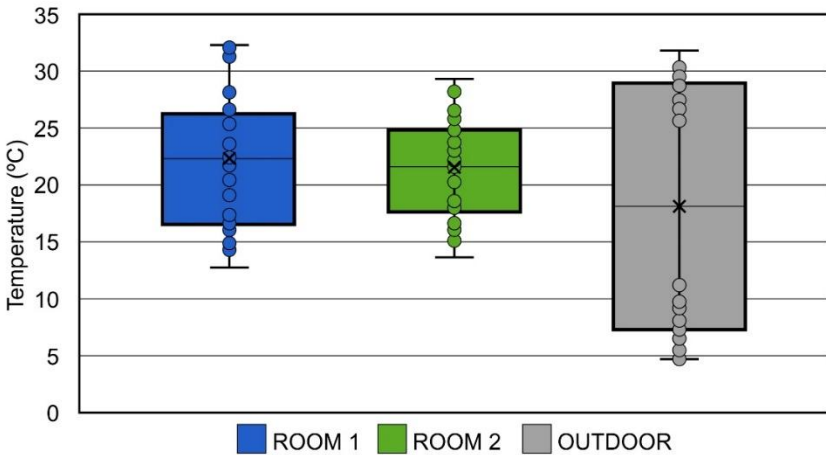


Figure 5: Graph of average temperature ranges inside the two rooms and outside during the study period (1 year). The colored rectangles represent the distribution of the data. The horizontal lines represent the maximum, average and minimum temperature values. Source. The authors

Figures 6 and 7 illustrate the evolution of the maximum and minimum daily interior temperatures for the coldest and hottest months of the year, which allows a better understanding of the thermal behavior of each room.

The results for the month with minimum temperatures (January) are shown in figure 6. It can be seen that the coldest days are between January 15 and 21, with minimum temperatures of 14.7 and 18.6°C for rooms 1 and 2 respectively.

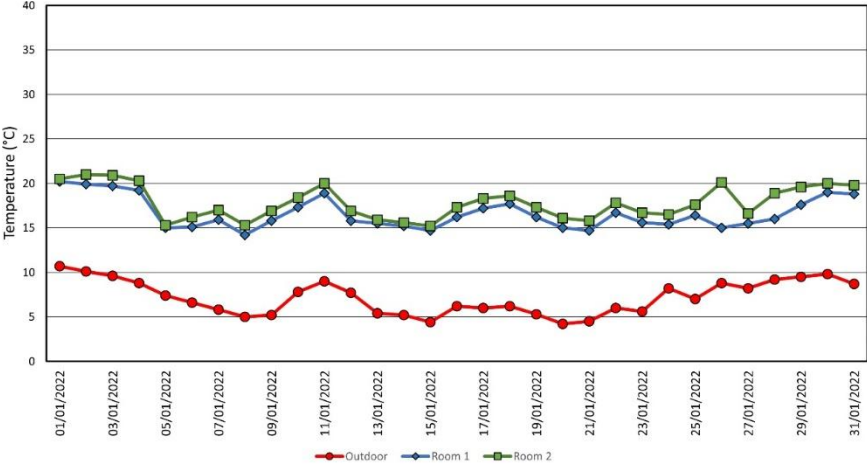


Figure 6: Average daily temperature of the study areas during the coldest month (January).  
Source. The authors

It can be seen how the data in Room 1 show lower temperatures during the coldest month, ( $\approx 15^{\circ}\text{C}$ ) with a difference of  $10.8^{\circ}\text{C}$  compared to the outside temperature. For its part, Room 2 offers slightly milder temperatures for that same period, with the minimum temperature being  $16.1^{\circ}\text{C}$  and presenting a difference with respect to the outside temperature of  $11.9^{\circ}\text{C}$ .

In the case of the hottest month, with maximum temperatures (July), Figure 7 shows the results obtained. In this period the hottest days are between July 22 and 30, with maximum temperatures of  $22.8^{\circ}\text{C}$  for Room 1 and  $30^{\circ}\text{C}$  for Room 2.

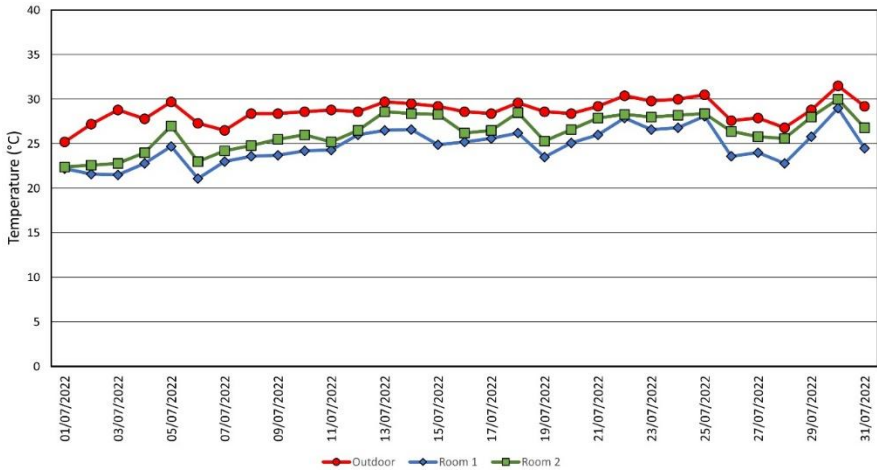


Figure 7: Average daily temperature of the study areas during the hottest month (July).  
Source. The authors

Likewise, it can be seen how the data for Room 1 show milder temperatures during the hottest month, reaching 29°C and presenting a difference with respect to the outside temperature of 2.5°C (See figures 5 and 7). In addition, it is confirmed that the data for Room 2 show higher temperatures during the hottest month, reaching 30°C and presenting a difference with respect to the outside temperature of 1.5°C (See figures 5 and 7).

## 2.2. IMPACT OF GEOMETRY ON THE OPERATION OF ROOMS

This section compares the internal thermal sensation of the two rooms in "free-running" conditions (without any air conditioning system). With this it is possible to evaluate the comfort time inside generated by the constructive and geometric conditions for each room.

Figure 5 shows the average temperature distribution inside the two rooms under "free-running" conditions. Despite both having a substantially square plan, Room 1 reaches the most extreme interior temperatures between 15 and 20.2°C, and more moderate warm average temperatures, between 21.4 and 29°C.

In contrast, Room 2 reaches more moderate cold interior temperatures, between 16.1 and 21°C, and more extreme warm average temperatures, between 22.4 and 30°C. Between the two rooms, there is

an average temperature difference of 1.1 °C in the coldest month and an average temperature difference of 1 °C in the hottest month.

### 2.3. OPTIMAL CLIMATE-RESILIENT CONFIGURATION OF THE ROOMS

Table 3 shows the benefits of Ranch 1 and Ranch 2 in mitigating the impact of extreme temperatures. In the cold month, Room 1 is capable of offering thermal comfort for 94% of the time of the analyzed period, by managing to maintain the average temperature above the comfort level established by ASHRAE (ASHRAE, 2024), which stands at 17.6°C. In the case of Room 2, the percentage increases slightly, until reaching 95% of hours of comfort, which represents an improvement of 1% compared to Room 1.

For the hottest month, Room 1 is capable of offering thermal comfort for 97% of the time of the analyzed period, that is, keeping the average temperature below the level established by ASHRAE (ASHRAE, 2024), being 26.7°C. For its part, Room 2 ensures 99% of hours of comfort, improving 2% compared to Room 1.

Table 2. Annual thermal comfort (%)  
Source: The Authors

## DISCUSSION

Regarding the gradient and the distribution of isotherms, it is confirmed that the thermal radiation of the area of the southwest wall studied involves greater heterogeneities throughout the studied surface, probably due to the heterogeneity of the autochthonous travertine stone, to the loss of jointing between the ashlar stones, or even both causes at the same time, also having to consider possible selective factors of alteration that proliferate in this type of construction materials.

On the other hand, regarding the geographical orientation, the data obtained show the thermal benefits of orienting the most permeable façade towards the Northeast orientation compared to the Southwest orientation.

In relation to the simulation, the data obtained show the thermal benefits derived from the recognized orientation for each room. In the case studied, the most permeable façade corresponds to the Southwest orientation compared to the Northeast orientation. As shown in

Figures 5 and 6, in the period with minimum temperatures, façade 2 is capable of mitigating the temperature up to a maximum of 11.9°C. On the other hand, it is observed that during the hottest period, Room 1 with a northeast orientation mitigates heat more efficiently, while Room 2 with a southwest orientation offers greater heat filtration in the winter month.

The influence of geometry in the parallel operation between Rooms 1 and 2 highlights the potential to mitigate extreme temperatures in the building. The mitigation of the maximum temperatures in the building has a positive impact on the interior rooms, reducing heat gains by transmission, infiltration and ventilation during daylight hours. As indicated in the Impact of geometry section, the results for Room 1 show an average temperature in the cold month that is 1.1°C colder compared to Room 2.

Finally, the climatic-resilient analysis of the rooms studied indicates that the thermal oscillation that is created in Room 1 presents a better efficiency in the hot month by 1°C, which represents an improvement of 3% with respect to Room 2. In contrast, Room 2 presents a better behavior in the cold month by 1.1°C, which represents an improvement of 6.8% with respect to Room 1. This means that, using different geometries and locations of transition spaces between the exterior and interior passive cooling strategies can be designed and planned to increase indoor comfort hours and cooling demand (López, Galán & Rivera, 2020; Galán et al., 2018; López, Galán & Rivera, 2018).

## CONCLUSIONS

The research carried out tries to provide an estimate of the thermal performance of the locations chosen in the building under study, through the study of its envelope, largely responsible for the regulation of the internal thermal environment in response to the external environment. This article presents for the first time a complete simulation of two rooms that encompass the casuistry of the Royal Hospital of Granada (16th century) to consider the potential benefits of its orientation in the climatic conditions of its location. The results demonstrate and quantify that considering the geometry, situation, orientation and inclusion of transition areas between the exterior and the interior, the improvement in thermal comfort is obtained. It is worth noting the need for future studies with different construction

typologies and orientations, existing in the building, as well as the impact on the behavior of open spaces (patios) and extreme hot and cold conditions.

For the study addressed, the climatological study and the analysis of the thermographic images are considered key information required for the simulation that, as it has been revealed, determines the thermal behavior of the building.

Analyzing the behavior of the façade walls, it is confirmed that the thermal characteristics of the existing thick masonry walls are suitable for climates with high thermal amplitudes, as is the case of Granada, together with a high percentage porosity with respect to the volume of the stone material. , because the thermal mass offers benefits as a consequence of its thermal inertia and insulating capacity in line with (Balaji, Monto & Venkatarama, 2014; Flores et al., 2021).

The study allows us to confirm the incidence of the construction components in the thermal behavior and in the scope of thermal comfort inside the rooms, being more relevant in high temperatures, proving greater benefit through the microclimate created inside the spaces. This reflects the attenuation capacity of the materials that make up the envelope, managing to reduce the increase in temperature.

It is therefore concluded by confirming that the study carried out and the methodology used are adequate for determining the thermal behavior of thick walls in heritage buildings. Its reliability allows these investigations to be carried out in other locations, both in the same building and in other heritage buildings, in which different formal, constructive, material and environmental conditions can be considered.

The use of non-destructive study methods offer valuable scientific support through the results obtained, for decision-making in future energy rehabilitation strategies in the context of the restoration of heritage buildings.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ, S., GONZÁLEZ, M., TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO NO DESTRUCTIVO EN LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO, REVISTA

- DE RESTAURACIÓN 18(3) (2020) 45-60. RECUPERADO DE [HTTPS://BIT.LY/3NQHR7C](https://bit.ly/3NQHR7C)
- ÁLVAREZ, T., SÁEZ, P., MODELADO ENERGÉTICO PARA EDIFICIOS HISTÓRICOS, INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN 71(567) (2019) E157. RECUPERADO DE [HTTPS://BIT.LY/2XUCM3V](https://bit.ly/2XUCM3V)
- ASHRAE (2024). RECUPERADO DE [ASHRAE.ORG/ABOUT/ASHRAE](https://www.ashrae.org/about/ashrae) (CONSULTADO 1 FEBRERO 2024).
- BALAJI, N. C., MANI, M., REDDY, B. V. V. (2019). DYNAMIC THERMAL PERFORMANCE OF CONVENTIONAL AND ALTERNATIVE BUILDING WALL ENVELOPES. JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING, 21, 373-395.
- BALAJI, N. C., MANI, M., VENKATARAMA REDDY, B. V. (2014). DISCERNING HEAT TRANSFER IN BUILDING MATERIALS. ENERGY PROCEDIA, 54, 654-668.
- CARA, L., MUÑOZ, A., PÉREZ, M., TORRES, M., SEVILLANO, A., VERDEGAY, F., ZAPATA, A. (2008). GUÍAS DE ALMERÍA. TERRITORIO, CULTURA Y ARTE. LA CIUDAD DE ALMERÍA. INSTITUTO DE ESTUDIOS ALMERIENSES.
- CIARDIELLO, A., ROSSO, F., DELL'OLMO, J., CIANCO, V., FERRERO, M., SALATA, F. (2020). MULTI-OBJECTIVE APPROACH TO THE OPTIMIZATION OF SHAPE AND ENVELOPE IN BUILDING ENERGY DESIGN. APPLIED ENERGY, 280, 115984.
- CÓDIGO TÉCNICO CTE (2017). REAL DECRETO 314/2006, DE 17 DE MARZO, POR EL QUE SE APRUEBA EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. DB HE.
- DÍAZ, C., DÍAZ, P. E., GALARZA, A. (2013). STUDY OF THERMAL PERFORMANCE IN ADOBE CONSTRUCTION FOR WARM AND DRY CLIMATES. ENERGY AND BUILDINGS, 61, 41-52.
- ENERGYPLUS (2024). RECUPERADO DE [ENERGYPLUS.NET](https://energyplus.net) (CONSULTADO 17 ENERO 2024).
- FLORES LARSEN, S., HONGN, M., VALDEZ, M., GONZALEZ, S., GEA SALIM, C. (2021). IN-SITU DETERMINATION OF THE WALL'S THERMAL PROPERTIES FOR ENERGY RETROFIT IN A COLONIAL HERITAGE BUILDING: THE CABILDO OF SALTA, ARGENTINA. INTERNATIONAL JOURNAL OF CONSERVATION SCIENCE, 12(4), 1191-1208.
- GALÁN-MARÍN, C., LÓPEZ-CABEZA, V. P., RIVERA-GÓMEZ, C., ROJAS-FERNÁNDEZ, J. M. (2018). ON THE INFLUENCE OF

- SHADE IN IMPROVING THERMAL COMFORT IN COURTYARDS. PROCEEDINGS, 2, 22.
- HERNÁNDEZ, J., GARCÍA, R., PÉREZ, M. (2015). NATURAL VENTILATION IMPACT ON THERMAL COMFORT IN VERNACULAR ARCHITECTURE OF THE MEDITERRANEAN. BUILDING AND ENVIRONMENT, 89, 27-34.
- HIKMICRO ANALYSER (2024). RECUPERADO DE HIKMICROTECH.COM (CONSULTADO 25 ENERO 2024).
- KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, J., RUDOLF, B., RUBEL, F. (2006). WORLD MAP OF THE KÖPPEN-GEIGER CLIMATE CLASSIFICATION. METEOROLOGISCHE ZEITSCHRIFT, 15, 259-263.
- LÓPEZ-CABEZA, V. P., GALÁN-MARÍN, C., RIVERA-GÓMEZ, C. (2018). COURTYARD MICROCLIMATE ENVI-MET OUTPUTS DEVIATION FROM THE EXPERIMENTAL DATA. BUILDING AND ENVIRONMENT, 144.
- LÓPEZ-CABEZA, V. P., GALÁN-MARÍN, C., RIVERA-GÓMEZ, C. (2020). THERMODYNAMIC PERFORMANCE ENHANCEMENT OF COURTYARDS USING A SHADING DEVICE. MULTIDISCIPLINARY DIGITAL PUBLISHING INSTITUTE PROCEEDINGS, 38(1), 17.
- MARTÍNEZ, G., SÁNCHEZ, L., LÓPEZ, F. (2018). ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF TRADITIONAL ADOBE HOUSES UNDER DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS. SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY, 39, 469-478.
- MÜHR, B. (2019). KLIMADIAGRAMME WELTWEIT. RECUPERADO DE KLIMADIAGRAMME.DE/INDEX.HTML (CONSULTADO 14 ENERO 2024).
- MUÑOZ, A., PÉREZ, C. (2023). RENOVATION STRATEGIES FOR THERMAL IMPROVEMENT IN HISTORIC ADOBE BUILDINGS. ENERGY AND BUILDINGS, 276, 112506.
- OPENSTUDIO (2024). RECUPERADO DE OPENSTUDIO.NET (CONSULTADO 22 ENERO 2024).
- RAMÍREZ, D., OPTIMIZACIÓN DEL MICROCLIMA EN PATIOS HISTÓRICOS, INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN 72(573) (2020) E168. RECUPERADO DE [HTTPS://BIT.LY/3LFZ4WM](https://bit.ly/3LFZ4WM)
- RAMÍREZ, D., OPTIMIZACIÓN DEL MICROCLIMA EN PATIOS HISTÓRICOS, INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN 72(573) (2020) E168. RECUPERADO DE [HTTPS://BIT.LY/3LFZ4WM](https://bit.ly/3LFZ4WM)

- RAMÍREZ, J., TORRES, M. (2020). THERMAL INERTIA AND ENERGY SAVING IN HISTORIC BUILDINGS: A CASE STUDY. *JOURNAL OF ARCHITECTURAL CONSERVATION*, 26(2), 112-130.
- RIVERA, F., FERNÁNDEZ, L. (2024). THERMAL PERFORMANCE EVALUATION OF ANCIENT CONSTRUCTION MATERIALS IN WARM DRY CLIMATES. *JOURNAL OF THERMAL ANALYSIS AND CALORIMETRY*, 146, 10123-10137.
- SÁEZ-PÉREZ, M.P., DURÁN-SUÁREZ, J.A., VERDÚ-VÁZQUEZ, A., GIL-LÓPEZ, T., CHARACTERIZATION AND CHROMATIC EVALUATION OF GYPSUM-BASED PASTES FOR CONSTRUCTION AND HERITAGE RESTORATION, *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS* 307 (2021) 124981. RECUPERADO DE [HTTPS://BIT.LY/3P4YwFB](https://bit.ly/3P4YwFB)
- SÁEZ-PÉREZ, M.P., DURÁN-SUÁREZ, J.A., VERDÚ-VÁZQUEZ, A., GIL-LÓPEZ, T., STUDY AND CHARACTERIZATION OF SPECIAL GYPSUM-BASED PASTES FOR THEIR USE AS A REPLACEMENT MATERIAL IN ARCHITECTURAL RESTORATION AND CONSTRUCTION, *MATERIALS* 15(17) (2022) 5877. RECUPERADO DE [HTTPS://BIT.LY/44HTSMP](https://bit.ly/44HTSMP)
- SAKIYAMA, N. R. M., MAZZAFERRO, L., CARLO, J. C., BEJAT, T., GARRECHT, H. (2021). NATURAL VENTILATION POTENTIAL FROM WEATHER ANALYSES AND BUILDING SIMULATION. *ENERGY & BUILDINGS*, 231, 110596.
- SÁNCHEZ, P., INNOVACIÓN EN MATERIALES PARA RESTAURACIÓN DE PATRIMONIO, *REVISTA DE MATERIALES AVANZADOS* 29(3) (2020) 322-336.
- SÁNCHEZ, P., INNOVACIÓN EN MATERIALES PARA RESTAURACIÓN DE PATRIMONIO, *REVISTA DE MATERIALES AVANZADOS* 29(3) (2020) 322-336.
- SIANDOU, E., HERITAGE VALUES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT: THE CASE OF THE MODERN HERITAGE IN CYPRUS, EN: PHILOKYPROU, M., MICHAEL, A., SAVVIDES, A. (EDS.), *BIOCULTURAL 2015 SUSTAINABILITY IN ARCHITECTURAL CULTURAL HERITAGE - CONFERENCE PROCEEDINGS*, CYPRUS, 2015, PP. 277-286.
- SOLER MARCHÁN, S.D., LA PERSPECTIVA SOCIOCULTURAL PARA LA ACTUACIÓN PATRIMONIAL CON ACTORES SOCIALES Y ARTICULANTES EN EL DESARROLLO LOCAL, *REVISTA UNIVERSIDAD Y SOCIEDAD* 12(6) (2020) 31-40.

- SUÁREZ, E., GÓMEZ, M., RODRÍGUEZ, L. (2022). INFLUENCE OF SOLAR SHADING ON INDOOR THERMAL CONDITIONS IN TRADITIONAL URBAN HOUSES. *ENERGY REPORTS*, 8, 2796-2805.
- SUÁREZ, L., ESTUDIO COMPARATIVO DE TÉCNICAS NDT EN RESTAURACIÓN ARQUITECTÓNICA, CONSTRUCCIÓN Y PATRIMONIO 8(1) (2022) 77-94.
- SUÁREZ, L., ESTUDIO COMPARATIVO DE TÉCNICAS NDT EN RESTAURACIÓN ARQUITECTÓNICA, CONSTRUCCIÓN Y PATRIMONIO 8(1) (2022) 77-94.
- TORRES, A., GARCÍA, F., EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO: RETOS Y OPORTUNIDADES, *JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE MANAGEMENT* 14(1) (2020) 67-83.
- TORRES, A., GARCÍA, F., EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO: RETOS Y OPORTUNIDADES, *JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE MANAGEMENT* 14(1) (2020) 67-83.
- UMAR, M.U., HANAFI, M.H., LATIP, N.A., AHMAD, A.G., STRENGTHENING OF HISTORIC BUILDINGS THROUGH STRUCTURAL REPAIR WORKS: REVIEW OF THE METHODS AND PROCESS, *AUSTRALIAN JOURNAL OF BASIC AND APPLIED SCIENCES* 9(7) (2015) 358-362.
- UNIVERSIDAD DE ALCALÁ (2012). ADSCRIPCIÓN DE TIPOS CLIMÁTICOS SEGÚN CLASIFICACIÓN DE KÖPPEN A ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL MUNDO. RECUPERADO DE [GEOGRA.UAH.ES/DOCS\\_PDF\\_GEOPLANVEG/CUADERNILLO\\_PRACTICAS\\_GRADO\\_CIENCIAS\\_AMBIENTALES\\_2012.PDF](https://geogra.uah.es/docs_pdf_geoplanveg/cuadernillo_practicas_grado_ciencias_ambientales_2012.pdf) (CONSULTADO 4 NOVIEMBRE 2024).
- VÁZQUEZ, M., LÓPEZ, R., ANÁLISIS DE CONFORT TÉRMICO EN EDIFICIOS HISTÓRICOS DE CLIMA MEDITERRÁNEO, *REVISTA INTERNACIONAL DE ARQUITECTURA* 35(2) (2021) 211-229. RECUPERADO DE [HTTPS://BIT.LY/3PTVGKR](https://bit.ly/3PTVGKR)
- VÁZQUEZ, M., LÓPEZ, R., ANÁLISIS DE CONFORT TÉRMICO EN EDIFICIOS HISTÓRICOS DE CLIMA MEDITERRÁNEO, *REVISTA INTERNACIONAL DE ARQUITECTURA* 35(2) (2021) 211-229. RECUPERADO DE [HTTPS://BIT.LY/3PTVGKR](https://bit.ly/3PTVGKR)
- VÁZQUEZ-PIEDRA, C., APORTACIONES AL ANÁLISIS Y PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL, EDITORIAL ACADÉMICA ESPAÑOLA, 2017.

- VELASCO, A., RODRÍGUEZ, L., GÓMEZ, P., ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE ESTRUCTURAS PATRIMONIALES: ESTADO DEL ARTE, REVISTA DE INGENIERÍA SÍSMICA 99 (2018) 45-54. RECUPERADO DE [HTTPS://BIT.LY/3IYHPMT](https://bit.ly/3IYHPMT)
- VELÁSQUEZ, P., MORALES, A. (2021). EVALUATION OF THERMAL COMFORT IN HERITAGE BUILDINGS USING IN-SITU MEASUREMENTS. JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING, 44, 102987.
- VILLAR, J.A., LA REVITALIZACIÓN DEL PATRIMONIO URBANO: CLAVES PARA LA SOSTENIBILIDAD, EDITORIAL SÍNTESIS, 2019.
- WU, Z., ZHANG, J., HUANG, Y., NON-DESTRUCTIVE TESTING TECHNOLOGIES FOR CULTURAL HERITAGE: A REVIEW, JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE 45 (2020) 250-262. RECUPERADO DE [HTTPS://BIT.LY/3GcfMVT](https://bit.ly/3GcfMVT)
- YOUNG, R., CONSERVATION AND RESTORATION TECHNIQUES FOR HISTORIC BUILDINGS, INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURAL HERITAGE 22(3) (2018) 289-302.
- ZAMBRANO, L., ANÁLISIS TÉRMICO EN ESTRUCTURAS PATRIMONIALES, JOURNAL OF BUILDING PHYSICS 43(2) (2020) 123-139.
- ZAMORA, R., EVALUACIÓN AMBIENTAL DE EDIFICIOS PATRIMONIALES, REVISTA AMBIENTAL 22(4) (2019) 145-160.
- ZÚÑIGA, P., APLICACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EDIFICIOS HISTÓRICOS, ENERGÍAS RENOVABLES 27(1) (2021) 85-98.
- ÁLVAREZ, F., LÓPEZ, M., DISEÑO Y APLICACIÓN DE SISTEMAS ENERGÉTICOS EN ARQUITECTURA HISTÓRICA, REVISTA INGENIERÍA Y ENERGÍA 35(1) (2019) 55-67.
- ÁLVAREZ, R., EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO, ESTUDIOS AMBIENTALES 29(4) (2022) 210-225.
- ARCHITETTURA ENERGIA RESEARCH CENTRE, HELLO-HERITAGE ENERGY LIVING LAB ONSITE. RECUPERADO DE [HTTPS://TINYURL.COM/32EW9ZJH](https://tinyurl.com/32EW9ZJH). 15 OCTUBRE 2024.
- BOARIN, P., LUCCHI, E., ZUPPIROLI, M., AN ASSESSEMENT METHOD FOR CERTIFIED ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN THE PRESERVATION OF HISTORIC BUILDINGS. A FOCUS ON ENERGY EFFICIENCY AND INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY IN THE

- ITALINA EXPERIENCE OF GBC HISTORIC BUILDING, RESTORATION OF BUILDINGS AND MONUMENTS (2019).
- BUDA, A., ET AL., CONSERVATION-COMPATIBLE RETROFIT SOLUTIONS IN HISTORIC BUILDINGS: AN INTEGRATED APPROACH, SUSTAINABILITY, 13(5) (2021) 2927.
- CIARDIELLO, A., ROSSO, F., DELL'OLMO, J., CIANCIO, V., FERRERO, M., SALATA, F., MULTI-OBJECTIVE APPROACH TO THE OPTIMIZATION OF SHAPE AND ENVELOPE IN BUILDING ENERGY DESIGN, APPLIED ENERGY, 280 (2020) 115984.
- CO2OLBRICKS – CLIMATE CHANGE, CULTURAL HERITAGE AND ENERGY-EFFICIENT MONUMENTS, PROJECT IN THE FRAMEWORK OF THE BALTIC SEA REGION PROGRAMME 2007–2013. RECUPERADO DE [HTTPS://TINYURL.COM/3UP6C42N](https://tinyurl.com/3UP6C42N). 15 OCTUBRE 2024.
- CORNARO, C., PUGGIONI, V.A., STROLLO, R.M., DYNAMIC SIMULATION AND ON-SITE MEASUREMENTS FOR ENERGY RETROFIT OF COMPLEX HISTORIC BUILDINGS: VILLA MONDRAGONE CASE-STUDY, JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING, 6 (2016) 17–28.
- DE DEAR, R.J., BRAGER, G.S., DEVELOPING AN ADAPTIVE MODEL OF THERMAL COMFORT AND PREFERENCE, ASHRAE TRANSACTIONS, 104(1) (1998) 145–167.
- DE SANTOLI, L., GUIDELINES ON ENERGY EFFICIENCY OF CULTURAL HERITAGE, ENERGY AND BUILDINGS, 86 (2015) 534-540.
- DIRECTIVE (EU) 2018/844 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 30 MAY 2018 AMENDING DIRECTIVE 2010/31/EU ON THE ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS AND DIRECTIVE 2012/27/EU ON ENERGY EFFICIENCY (TEXT WITH EEA RELEVANCE); N.D.
- EUROPEAN COMMISSION, EU RESEARCH, CULTURAL HERITAGE; EUROPEAN UNION: BRUXELLES, BELGIUM, 2013.
- EUROPEAN PARLIAMENT, DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 19 MAY 2010 ON THE ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS (RECAST). OFF. J. EUR. UNION, 2010.
- EUROPEAN STANDARD EN 16883, CONSERVATION OF CULTURAL HERITAGE. GUIDELINES FOR IMPROVING THE ENERGY PERFORMANCE OF HISTORIC BUILDINGS (2017).

- HOSAGRAHAR, J., CULTURE AT THE HEART OF THE SDGs. THE UNESCO COURIER, 1 (2017) 12-14. RECUPERADO DE [HTTPS://TINYURL.COM/4JNNTB3E](https://tinyurl.com/4jnnTB3E). 3 DECEMBER 2024.
- KISILEWICZ, T., ON THE ROLE OF EXTERNAL WALLS IN THE REDUCTION OF ENERGY DEMAND AND THE MITIGATION OF HUMAN THERMAL DISCOMFORT, SUSTAINABILITY, 11(4) (2019) 1061.
- LAI, D., LIU, W., GUO, C., LIU, K., CHEN, Q., A COMPREHENSIVE REVIEW OF THERMAL COMFORT STUDIES IN URBAN OPEN SPACES, SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 742 (2020) 70-92.
- LIDELÖW, S., ÖRN, T., LUCIANI, A., RIZZO, A., ENERGY-EFFICIENCY MEASURES FOR HERITAGE BUILDINGS: A LITERATURE REVIEW, SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY, 45 (2019) 231-242.
- LUCCHI, E., PRACCHI, V., EFFICIENZA ENERGETICA E PATRIMONIO COSTRUITO: LA SFIDA DEL MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI NELL'EDILIZIA STORICA, MAGGIOLI EDITORE, MILANO, ITALY, 2013.
- MAGRINI, A., FRANCO, G., THE ENERGY PERFORMANCE IMPROVEMENT OF HISTORIC BUILDINGS AND THEIR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY ASSESSMENT, JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE, 21 (2016) 834-841.
- MAZZOLA, E., MORA, T.D., PERON, F., ROMAGNONI, P., AN INTEGRATED ENERGY AND ENVIRONMENTAL AUDIT PROCESS FOR HISTORIC BUILDINGS, ENERGIES, 12(20) (2019) 3940.
- NATOLI, A., OSELLO, A., THE ROLE OF THERMAL COMFORT IN THE PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE, JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE, 15(2) (2014) 207-213.
- ORTEGA SÁNCHEZ, K.M., LA CULTURA COMO CATEGORÍA DEL BIENESTAR SOCIAL Y SU VINCULACIÓN CON LA AGENDA 2030 Y LOS OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE EN TIEMPOS DE COVID-19, COFACTOR, 10(20) (2021) 50-79.
- PASSERINI, F., ET AL., ENERGY EFFICIENCY INTERVENTIONS IN HISTORICAL BUILDINGS: GUIDELINES AND LESSONS LEARNED, ENERGY PROCEDIA, 78 (2015) 1184-1189.
- PERINO, M., ENERGY RETROFIT OF HISTORICAL BUILDINGS: BETWEEN CONSERVATION AND INNOVATION, ENERGY AND BUILDINGS, 182 (2019) 273-284.
- RANALLI, J., THERMAL BRIDGES IN HISTORICAL BUILDINGS: IMPACT AND MITIGATION, BUILDING PHYSICS, 42(4) (2019) 321-334.

- RUGGERI, A.G., CALZOLARI, M., SCARPA, M., GABRIELLI, L., DAVOLI, P., PLANNING ENERGY RETROFIT ON HISTORIC BUILDING STOCKS: A SCORE-DRIVEN DECISION SUPPORT SYSTEM, *ENERGY AND BUILDINGS*, 224 (2020) 110066.
- SANTAMOURIS, M., ADVANCES IN ENERGY RETROFIT STRATEGIES FOR CULTURAL HERITAGE, *RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 82 (2018) 2534–2547.
- SIANDOU, E., HERITAGE VALUES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT: THE CASE OF THE MODERN HERITAGE IN CYPRUS, EN: PHILOKYPROU, M., MICHAEL, A., SAVVIDES, A. (EDS.), *BIOCULTURAL 2015 SUSTAINABILITY IN ARCHITECTURAL CULTURAL HERITAGE-CONFERENCE PROCEEDINGS, CYPRUS, 2015*, PP. 277-286.
- SOLER MARCHÁN, S.D., LA PERSPECTIVA SOCIOCULTURAL PARA LA ACTUACIÓN PATRIMONIAL CON ACTORES SOCIALES Y ARTICULANTES EN EL DESARROLLO LOCAL, *REVISTA UNIVERSIDAD Y SOCIEDAD*, 12(6) (2020) 31-40.
- XU, S., CHENG, B., HUANG, Z., SHEN, C., AN INVESTIGATION ON THE THERMAL ENVIRONMENT OF RESIDENTIAL COURTYARDS IN THE COLD AREA OF WESTERN SICHUAN PLATEAU, *BUILDINGS*, 12(1) (2022) 49.
- ZAMORA, M., PÉREZ, A., RODRÍGUEZ, L., ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS HISTÓRICOS, *REVISTA DE ARQUITECTURA SOSTENIBLE* 14(2) (2021) 120-135. RECUPERADO DE [HTTPS://BIT.LY/3KMLoAB](https://bit.ly/3KMLoAB)
- ZHANG, L., WANG, S., SUSTAINABLE APPROACHES FOR THE PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE BUILDINGS, *SUSTAINABILITY* 12(5) (2020) 2001.
- ZHOU, X., CARMELIET, J., DEROME, D., INFLUENCE OF ENVELOPE PROPERTIES ON INTERIOR INSULATION SOLUTIONS FOR MASONRY WALLS, *BUILDING ENVIRONMENT*, 135 (2018) 246–256.
- ZURITA, E., TÉCNICAS MODERNAS EN RESTAURACIÓN PATRIMONIAL, EDITORIAL UNIVERSIDAD CENTRAL, 2017.

## LA BARRACA: PARADIGMA DE CASA MINIMA, AUTOCONSTRUIDA, E INTEGRADA EN LA HUERTA DE MURCIA

---

DR. PEDRO PINA RUIZ

*Universidad Politécnica de Madrid, España*

DR. TOMÁS GIL LÓPEZ

*Universidad Politécnica de Madrid, España*

### RESUMEN

La barraca tradicional de la huerta de Murcia, era una pequeña construcción de planta rectangular y cubierta a dos aguas, siendo su superficie total construida de 45,54 m<sup>2</sup> construidos, y sus dimensiones en planta de 6,60 metros de longitud y 4,60 de ancho, es decir, que por sus dimensiones puede ser considerada como un paradigma de “casa mínima”.

El sistema constructivo de la barraca murciana, fue de autoconstrucción por sus futuros moradores, se ejecutaba con la ayuda de un familiar o amigo experto barraquista, y con materiales extraídos del entorno inmediato.

La imagen de casa con cubierta a “dos aguas”, volumetría cubica, texturas naturales y colores terrosos, componen y definen la percepción de su imagen próxima y de su perspectiva lejana, lo que produce como resultado la integración natural de la barraca en el territorio donde se emplaza y ubica: la huerta de Murcia.

En base a las diecisiete virtudes de la barraca murciana, se ha desarrollado el prototipo contemporáneo de «casa» mínima y autosuficiente Bm.2, de 69,76 metros cuadrados construidos y con una capacidad de acogida de 3/4 habitantes.

### PALABRAS CLAVE

Casa mínima, Barraca murciana, Autoconstrucción, Autosuficiencia. Huerta de Murcia.

## 1. INTRODUCCIÓN / SITUACIÓN HUERTA DE MURCIA

La comarca de la huerta de Murcia, está situada en el sureste español, dispone de una extensión de 952 kilómetros cuadrados y su ámbito metropolitano está compuesto por cuatro municipios (Murcia, Alcantarilla, Santomera y Beniel). En el año 2020, residían en la comarca 529.483 habitantes, de los cuales 158.845 habitantes, es decir, unas 48.000 viviendas, estaban situadas en la zona agrícola de la huerta, aproximadamente un 30% de su población (Figura 1).

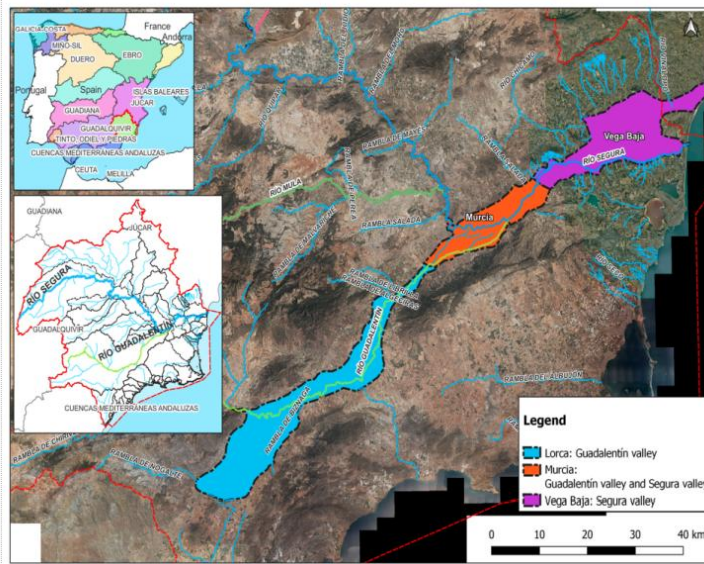


Figura 1: Mapa de situación de la huerta de Murcia a escala nacional, regional y comarcal  
Fuente: Oliva, A., Olcina, J. (2023) Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Confederación Geográfica del Segura (CHS)

## 2. BREVE REFERENCIA HISTORICA Y SISTEMA DE RIEGO

La huerta de Murcia, es un valle natural conformado y delimitado por el norte y por el sur por dos formaciones montañosas. De oeste a este por la parte central del valle, discurre serpenteante el río Segura, que posibilita el riego de los terrenos de huerta aptos para el cultivo agrícola, valle natural donde históricamente se situaban las tradicionales barracas murcianas, chozas de reducidas dimensiones donde residían los huertanos.

Los primeros pobladores prehistóricos no se asentaron en el interior del valle, por ser tierras pantanosas e inundables. Se asentaron en las faldas de las cordilleras que limitan el valle por el norte y por el sur, donde se han encontrado restos algaricos (Calvo,1975). El origen de los cultivos agrícolas de la huerta de Murcia, data de la época romana, pero fueron los árabes los que en el siglo IX desecaron los terrenos y crearon un eficiente sistema de riego y drenaje del agua del río Segura, sistema de riego cuyo origen es el azud/presa denominada «contraparada» situado en el cauce del río Segura, siete kilómetros «aguas arriba» de la ciudad de Murcia , a partir del «azud» se genera un inteligente y capilar sistema de riego de toda la huerta de Murcia (Figura 2).

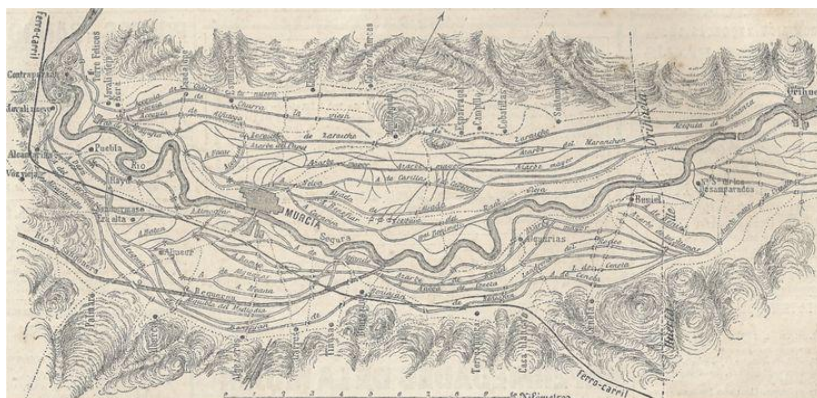


Figura 2: Sistema tradicional de riego de la huerta de Murcia

Fuente: Plano de los regadíos de la Huerta de Murcia (Suplemento de La Ilustración Española y Americana. 30 de octubre de 1879)



Figura 3. Paisajes y sistema de riego de la huerta de Murcia

Fuente: Ayuntamiento de Murcia. Concejalía de Turismo

### 3. LA BARRACA MURCIANA

En el año 1878 el arquitecto D. José Marín Baldo, describía la barraca murciana como “...un nido como el de las golondrinas, que se fabrica con barro y cañas y yerbas secas, por los mismos que han de habitar en ella...” (Figura 4).

D. Isidoro Reverte Salinas en su manual dedicado a la vivienda popular de la Región de Murcia, define la barraca de la siguiente forma (Reverte,1974):

*“La barraca es la vivienda elemental en la que vive una familia de modestos agricultores intensivos, cavadores y no labradores, jardineros más que agricultores, que apenas tienen productos que guardar porque los venden a diario o semanalmente en los mercados; que viven de día y de noche al cuidado de sus delicados cultivos y que pueden alimentarse, de un modo casi autóctono, con los productos que le da, en tres o cuatro mil metros cuadrados de terreno, la más exuberante agricultura europea que, en el suelo aluvial más fecundo, produce el sol más luminoso del continente”.*



Figura 4: Vistas de barracas murcianas integradas en la huerta de Murcia  
Fuente: Tarjetas postales de siglos XIX y XX

Del mismo tenor literal es la definición conceptual del Catedrático D. Francisco Javier Flores Arroyuelo, que en su libro “Vida y cultura españolas: Murcia”, define al huertano y a la barraca de la siguiente manera (Flores,1977):

*“El huertano murciano ha pertenecido siempre a una modesta clase social, que ha vertido su esfuerzo en las tres o cuatro tahúllas de las que por término medio ha sido propietario o arrendatario, pasando después a descansar en sus pequeñas casas construidas siguiendo, en su mayoría, el prototipo llamado barraca. Era la barraca murciana un edificio de planta rectangular (8 x 4 ó 5 metros) con los frontales en forma de pentágono, con el ángulo superior muy agudo y lomera de cubierta. Sobre cimentación poco profunda se alzaban sus muros de atoba o adobes pesados, trabajados a pie de obra al mezclar barro con paja y secados al sol en moldes de madera enrasados con las manos y enlucíéndolos con yeso. El suelo solía ser de tierra apisonada hasta quedar liso, siendo regado en los calurosos días de verano para procurar un poco de fresco. Sobre los dos vértices se tendía una viga que servía de lomera para soportar la cubierta tendida sobre ligeros palos de chopo o de tronco de girasol cuando no de liceras, cañas atadas entre sí para formar cuerpo; después se tendía un manto de paja, sisca y de albardín, esparto fino, escalonado desde el muro a lo alto.”*

En ambas definiciones conceptuales, se aprecia que el terreno “vinculado” a la barraca, era en torno a 3.000/ 4.000 m<sup>2</sup> (Reverte,1974) ó de 3 ó 4 Tahúllas, es decir 3.354/ 4.472 m<sup>2</sup> (Flores,1977), una media aproximada de 3’5 Th equivalente a 3.913m<sup>2</sup>, redondeando en torno a 4.000 m<sup>2</sup> de “parcela de bancal” vinculado a la modesta unidad de vivienda, cuál era la barraca murciana en torno 30/40 metros cuadrados construidos en planta baja, más la andana ó altillo que ocupaba el 50% de la superficie en planta, es decir una vivienda en torno a 45/50 metros cuadrados construidos (Figura 5).

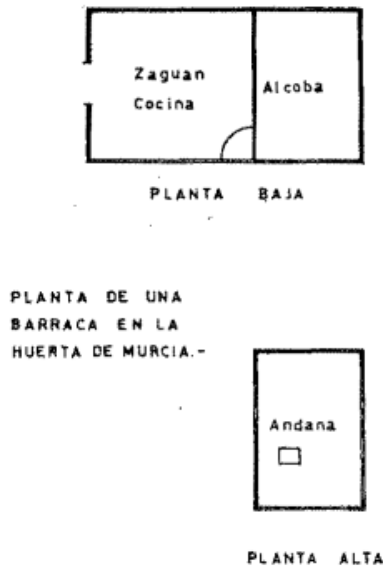


Figura 5: Planta baja y planta alta /andana de barraca murciana.

Fuente: Continuidad y cambio en la huerta de Murcia. Edición digital basada en la 2ª ed. Academia Alfonso X el Sabio – Autor: Francisco García Calvo – Tornel

#### 4. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL: BARRACA Y HUERTA

El dispositivo experimental es la referida barraca murciana, que, como ha quedado detallado literal y gráficamente, se componía de planta baja y altillo o andana, y también como territorio experimental , la huerta de Murcia, medio natural donde se ubica e integra paisajísticamente la barraca, dispositivos que a continuación se describen pormenorizadamente.

A la barraca murciana, se accedía a través de la fachada principal orientada a sur para aprovechar el soleamiento y con emparrado en el exterior como zona de transición exterior / interior. La zona de relación familiar se ubicaba en la primera dependencia, situada en el acceso de la planta baja, cuyo uso funcional era el de cocina y come-

dor, y disponía de una superficie aproximada de 16 metros cuadrados, con altura de suelo a cumbre. A través de esta dependencia principal se accedía por un marco de madera, a la zona de dormitorios de aproximadamente 14 metros cuadrados, la separación entre camas, se realizaba mediante una simple cortina o sabana.

Sobre la zona de dormitorios se situaba la andana o altillo, donde se almacenaban las cosechas, el grano y temporalmente, se criaba el gusano de seda, y al que se accedía por una escalera de travesaños situada en la esquina noreste de los dormitorios.

Con el doble espacio que se conforma con la andana o altillo, al ocupar esta únicamente el 50 % de la planta baja, se logra la integración espacial del espacio interior de la barraca murciana en su posible versión contemporánea, propiciando la funcionalidad y el flujo entre los diferentes usos, cómo se conectan y como se comunican entre sí para crear una sensación de continuidad e integración espacial, y posibilitar su acondicionamiento climático mediante “plenum” (Figura 6).

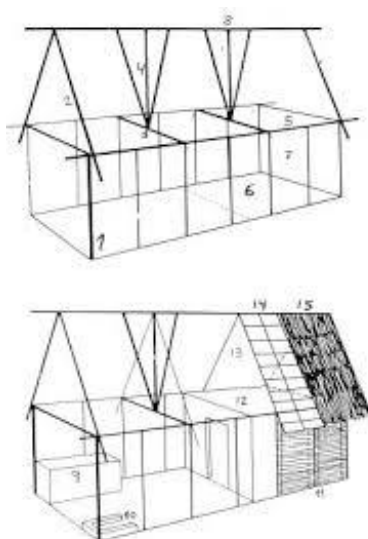


Figura 6: Vista axonometrica de barraca: 1: entrada. 2: pares. 3: cadena. 4: pie derecho. 5: correa. 6: cuarto o alcoba. 7: laero. 8: lomera. 9: tinajero. 10: cocina. 11: testereros. 12: andana. 13: percha. 14: mojines. 15: manto.

Fuente: Revista CANGILÓN – número 22-Junio 2001

En cuanto a su sistema constructivo, existieron tres tipos de Barracas:

- De atobas
- De testeros
- Mixta

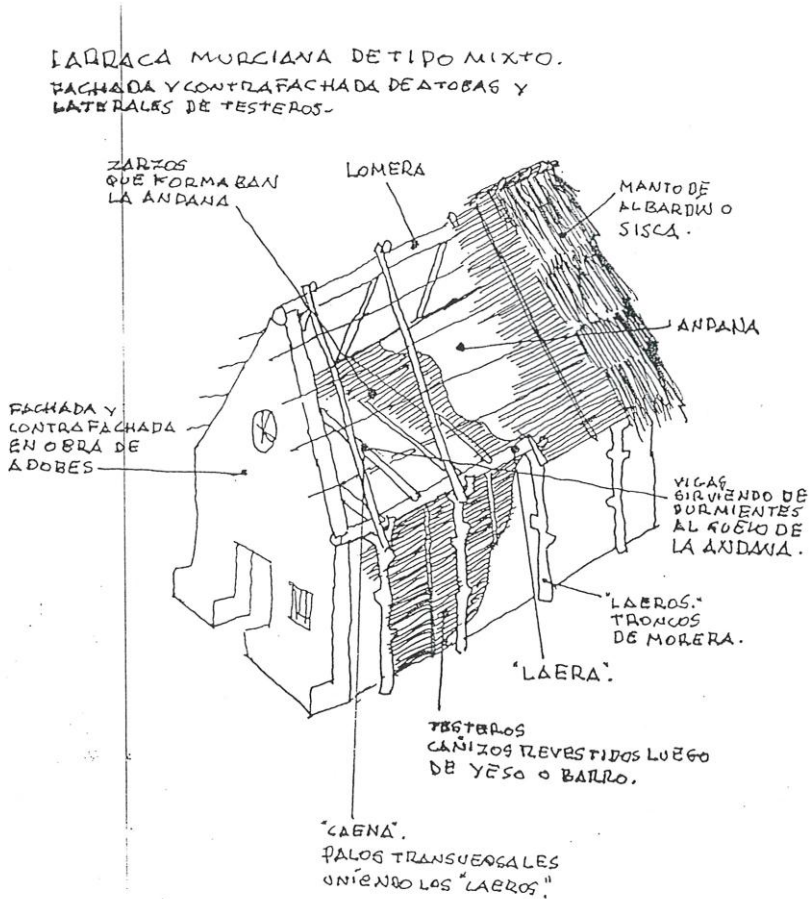


Figura 7: Perspectiva barraca murciana de tipo mixto (atobas y testeros). Origen siglo XIV hasta final del siglo XIX, (Soldevila, 2001, p.42)

Fuente: Fondo documental del Museo de la Huerta – Alcantarilla (Murcia) - (1970, p.34)

El tipo de atobas, se construía con adobes de 40 x 35 x 5 cm fabricados manualmente con barro y paja y secados al sol. Sobre cimentación corrida de 50 por 40 cm, rellena con tierra compactada, se colocaban las atobas en las cuatro fachadas, que se ejecutaban como una fábrica aparejada de ladrillo, y revocada con yeso.

El tipo de testeros, la fachada y contrafachada estaban ejecutadas con entramado de troncos de morera a 40 o 50 centímetros de separación. Las fachadas laterales o “testeros”, también estaban ejecutadas con “laeros” o troncos de moreras, se empotraban en el terreno unos 40 o 50 cm, y entre ellos, se disponía cañizos revestidos con yeso o barro.

En cuanto al sistema constructivo «mixto», las fachadas principal y trasera, estaban ejecutadas con atobas, y las fachadas laterales o “testeros”, ejecutados con “laeros” o troncos de moreras que se empotraban en el terreno unos 40 o 50 cm, y entre ellos, como en el tipo de testeros, se cerraban con cañizos revestidos con yeso o barro (Figura 7).

De la descripción de los diversos elementos constructivos de la barraca murciana, se deduce su sistema de ejecución y acabados:

Suelo: tierra arcillosa apisonada.

Cubrición: viga lomera y cerchas de madera poco trabajadas, cubiertas con un manto de esparto / albardín sobre cañizo.

Carpintería de madera: dos pequeñas ventanas y dos puertas.

En síntesis, la barraca murciana se autoconstruía por sus futuros moradores, con materiales extraídos del entorno inmediato (kilómetro cero), y con ayuda de un familiar o amigo experto barraquista.

Se representa gráficamente la barraca murciana tradicional, construida como modelo de lo que fue la «casa» donde residían los huertanos (Figura 8).

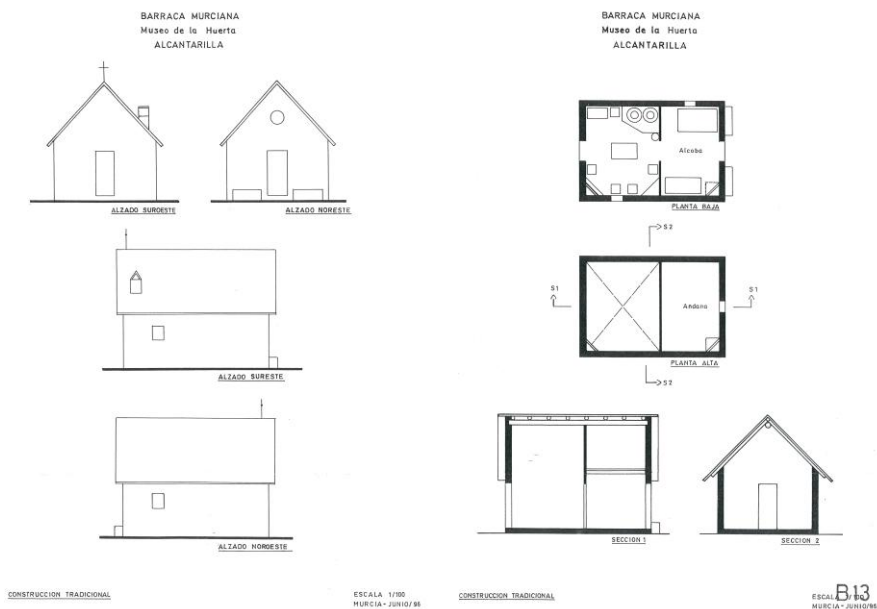


Figura 8: Barraca murciana - Plantas, Alzados y Secciones  
 Fuente: Museo de la Huerta (Alcantarilla) y elaboración propia (1996)

A continuación, se sintetizan los 17 atributos de la barraca murciana, que serán incorporados en el diseño del prototipo, integrando en las virtudes que tradicionalmente caracterizaron a la barraca murciana, paradigma de casa mínima, autoconstruida y sostenible:

1. Orientación fachada principal a sur.
2. Materiales de construcción “tomados” del entorno inmediato.
3. Distribución espacial interna con doble altura.
4. Ventanas de reducidas dimensiones.
5. Ventilación cruzada mediante dos ventanas circulares y dos “medias” puertas en fachadas sur y norte.
6. Cubierta con pendientes a dos aguas, y aleros volados.
7. Programa funcional / familiar mínimo e integrado.
8. Tres sistemas constructivos: de atobas, de testeros y mixto.
9. Aprovechamiento / uso del altillo abuhardillado bajo cubierta.

10. Imagen de casa que se integra en el paisaje lejano y en su entorno inmediato.
11. Cocina integrada en salón / comedor y en torno a la chimenea para cocinar y calentar la casa a “plenum” en el doble espacio de acceso.
12. Acumulación de agua potable en grandes tinajas, y mediante aljibe / pozos.
13. Mobiliaria minino y austero.
14. Bajos costes de construcción / autoconstrucción.
15. Orgullo de los habitantes de la tradicional barraca murciana, para con “su” casa.
16. Materiales de construcción sostenible, reciclables y con 2º ciclo de vida.
17. Sistemas constructivos con lógica estructural de muros de carga y pilares en el interior de la fachada, protegidos por dos hojas de cerramiento con cañas y yeso, por el exterior y por el interior de los muros testeros.

En cuanto a la huerta de Murcia, exponer que durante el curso 2008 / 2009, como síntesis de un curso monográfico de doctorado impartido en COAMU y en la ETS Arquitectura de Madrid, en el estudio monográfico titulado: *“La huerta de Murcia: análisis y diagnóstico desde 1960 hasta 2030 (Evaluación y contraste entre morfología hortelana y ordenanzas urbanísticas de edificación)”*, en este trabajo que se desarrolló en base al seminario impartido por Dr. D. José María Ezquiaga , se concluía con las diez siguientes propuestas:

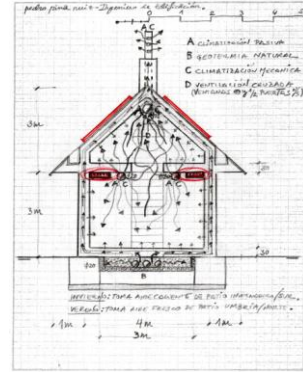
1. Edificaciones con autonomía energética e hídrica (Como históricamente “operación barraca”)
2. Huertos familiares vinculados a la casa / barraca, para asegurar la calidad y vigilancia de los cultivos.
3. Propiciar la movilidad tradicional de la huerta: bicicleta.
4. Dotación de equipamientos y comercios de proximidad por sectores de la huerta, generando la necesaria “mezcolanza” de usos en el territorio.
5. Fomentar técnicas de riego por goteo. Programación de los derechos de agua de todos los propietarios de los bancales de la huerta de Murcia.

6. Viviendas apoyadas sobre pilotes y con ático / cubierta ajardinada.
7. Permitir una altura capaz de captar energía solar fotovoltaica, y disfrutar de las vistas.
8. Reconocer y legalizar la realidad urbanística de la huerta: NO son terrenos no urbanizables, sino que están urbanizados y edificados.
9. Propiciar el poblar y habitar la huerta, con casas mínimas.
10. Urgente necesidad de un Plan Especial Integral para la huerta de Murcia, con trabajos de investigación sobre su origen.

En síntesis, se pretende defender el gran interés que tiene la huerta de Murcia, su fertilidad agradecida y sostenibilidad demostrada a lo largo de su dilatada historia, como reserva natural de un recurso no renovable, que es “*capaz de regar tres veces con la misma agua*”, así pues, hay que luchar por que la huerta no se pierda como seña de identidad, como lo que fue, y lo que ha de poder volver a ser.

## 5. PROPUESTA / PROTOTIPO DE BARRACA MURCIANA CONTEMPORANEA

En aplicación de las conclusiones de la Tesis doctoral referenciada en bibliografía (Pina, 2027), se propone al Excelentísimo Ayuntamiento de Murcia, que elabore el PLAN ESTRATEGICO de gestión integral de la huerta de Murcia, y que posteriormente a su redacción, exposición/información pública y aprobación por la Corporación Municipal, se integre en el Plan General y Normas urbanísticas municipales, incorporando la posibilidad de construcción de casas «mínimas autosuficientes», cuyos habitantes quedan obligados por ordenanza, al cultivo y mantenimiento de los huertos / parcelas vinculadas a su casa, incorporando en dicho Plan Estratégico de «GESTIÓN integral» de la huerta de Murcia y a iniciativa de la Administración Municipal, la creación de bancos de tierras públicos y la expropiación y compra de terrenos para su gestión y concesión temporal, que garanticen la ejecución de las determinaciones del Plan estratégico de gestión integral, con propuestas de «*Transformación de usos del suelo de la huerta de Murcia*» (Figura 9 - izquierda).

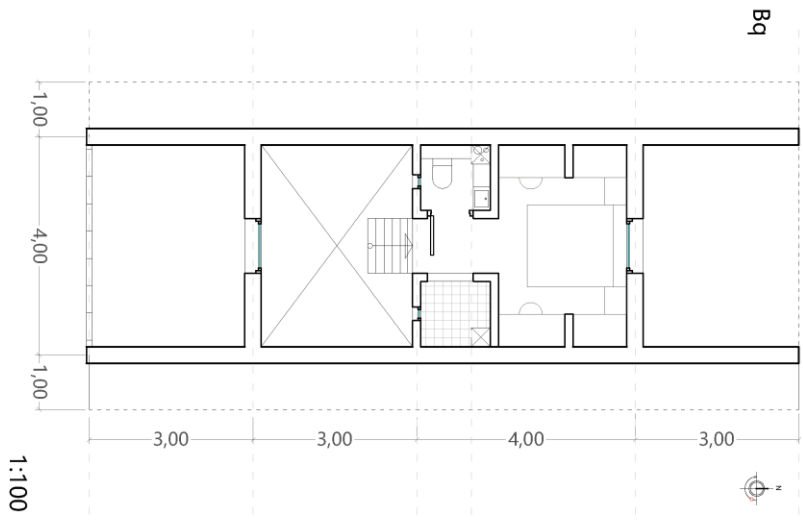


*Figura 9: Propuesta transformación de usos del suelo en la huerta de Murcia / Sección tipo de prototipos de casas mínimas autosuficientes energéticamente: instalación fotovoltaica y geotermia*

*Fuentes: 5 PALMOS 1929-2015. Transformación de usos del suelo en la Huerta de Murcia - Universidad Politécnica de Cartagena / Prototipo de casa mínima autosuficiente: el caso de la barraca murciana. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid (2024)*

En base a las diecisiete virtudes de la barraca murciana anteriormente anunciadas, se ha desarrollado el prototipo contemporáneo de «casa» mínima y autosuficiente Bm.2, de 69,76 metros cuadrados construidos y con una capacidad de acogida de 3/4 habitantes, y ello como resultado de la Tesis titulada «*Prototipo de casa mínima autosuficiente: el caso de la barraca murciana*». Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid (Pina, 2024) (Figuras 10, 11 y 12).

Además de ser casa mínima y autosuficiente energéticamente mediante energía solar, eólica, ventilación cruzada y geotermia (Figura 9 - derecha), el prototipo es eficiente energéticamente y respecto a su autosuficiencia económica, por prever la posibilidad de teletrabajo para los residentes en la casa, y también, la casa se vincula a la parcela / huerto, lo que posibilita mediante su cultivo (huerto) y crianza (granja), la autonomía alimenticia de los habitantes de la barraca contemporánea, garantizando así el habitar, cultivar y regenerar la huerta de Murcia, como recurso natural y como patrimonio cultural.



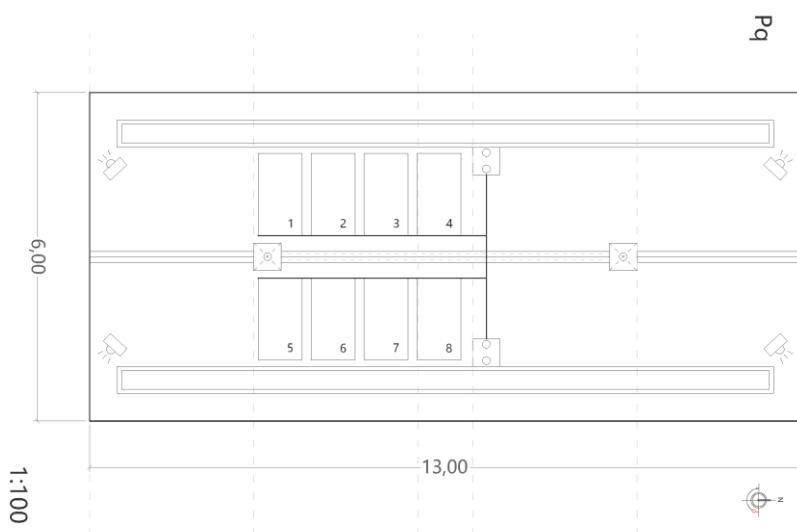


Figura 10: Prototipo Bm.2 (69,76 metros cuadrados construidos) : planta baja, planta  
 attillo y planta cubierta / placas solares fotovoltaicas.

Fuente: Prototipo de casa mínima autosuficiente: el caso de la barraca murciana. Tesis  
 doctoral. Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid.  
 (Pina, 2024)

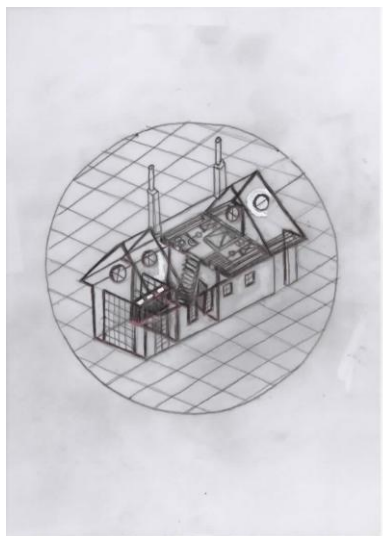


Figura 11: Definición geométrica del prototipo Bm.2: perspectiva interior

Fuente: elaboración propia

PROTOTIPO Bm.2

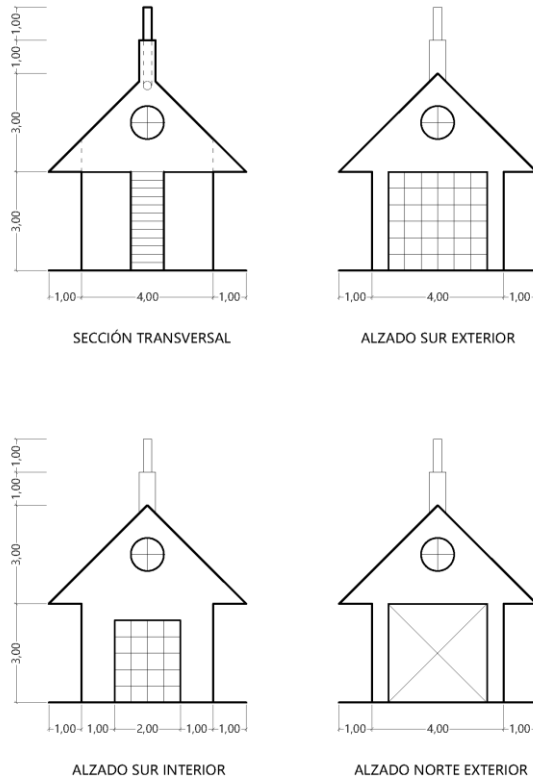


Figura 12: Definición gráfica del prototipo Bm2: sección, alzados sur y norte.  
Fuente: elaboración propia y Clara Pina Lopez - arquitecta.

Por tanto, como objetivo/propuesta finalista, se pretende además de garantizar la autonomía y autosuficiencia del prototipo, defender el gran interés que tiene la huerta de Murcia, su fertilidad agradecida y sostenibilidad demostrada a lo largo de su dilatada historia, como reserva natural de un recurso no renovable, que es “capaz de regar tres veces con la misma agua” (Reverte,1974).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado que se pretende, es el difundir las virtudes y bondades de la barraca murciana tradicional y del prototipo contemporáneo, mediante su difusión en Congreso CITE 2024, y a través de la Tesis titulada: “*Prototipo de casa mínima autosuficiente: el caso de la barraca murciana*”, en la cual se proponen tres sistemas constructivos de barraca contemporánea: tradicional, prefabricado e industrializado.

También, y como motivo de discusión, se pretende “*que la huerta no se pierda como seña de identidad, ni como reserva natural de un recurso no renovable*”, como lo que fue y lo que ha de poder volver a ser, y todo ello, como recuperación del Patrimonio etnográfico y cultural, adecuando y modificando la obsoleta e inoperante normativa urbanística del Plan General vigente, que prevé una edificabilidad “mitad” de la existente “de facto” actualmente y ello, según consta en el trabajo monográfico citado anteriormente: “*La huerta de Murcia: análisis y diagnóstico desde 1960 hasta 2030 (Evaluación y contraste entre morfología hortelana y ordenanzas urbanísticas de edificación)*”).

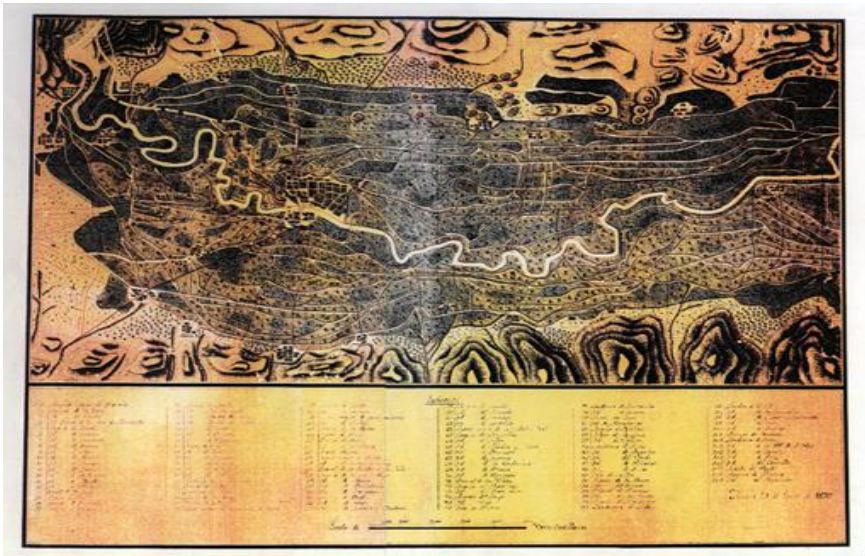


Figura 13: Plano de la huerta de Murcia

Fuente: D. Juan Ibáñez- Fondos del Museo Histórico de Murcia (1839)

En cuanto a la integración de la barraca murciana en el que fue su medio natural: la huerta de Murcia, (Figura 13), se concreta esta cualidad con dos citas comentadas y reflexionadas, una de carácter conceptual, y otra según la RAE:

*“Cada casa nace como un organismo vivo, gracias al contacto entre el genius loci y las necesidades de sus habitantes”* (Frank Lloyd Wright).

La integración en el territorio de la barraca murciana , es una consecuencia del nacimiento natural del hogar construido, fruto del espíritu / genio del lugar propio de cada emplazamiento,... esta cualidad está implícita en la barraca murciana, en la necesidad de cobijo y protección de los propios moradores de la barraca murciana, que la constrúan con sus propias manos, y con los materiales próximos que le ofrece la naturaleza, barro, yerbas secas, troncos , ramas,... lo que da como resultado su imagen de casa a “dos aguas” , volumetría cubica , texturas y colores terrosos , que componen y definen su vista lejana / paisajística, integración orgánica en el medio, e imagen cromática natural, lo cual supone su integración en el territorio donde se emplaza [Figuras 5 y 6)

*“Integrar es hacer que alguien o algo pase a formar parte de un todo”*. (RAE).

La Integración en el entorno inmediato, consiste en lograr una simbiosis entre el espacio exterior y el interior , tomando todos los elementos del hogar construido e incorpóralo a un organismo de rango superior, formando parte de él,... esta cualidad está implícita en el emparrado que en la barraca murciana, se sitúa ante la puerta de acceso, orientada al soleado mediodía,...también, implícito en la palmera datilera, en la higuera, y en las cañas que delimitan y definen el entorno inmediato, todo ello, tiene como consecuencia natural su integración en el lugar donde se sitúa (Figura 14).



Figura 14: Vistas de barracas murcianas integradas en la huerta de Murcia.  
Fuente: Tarjetas postales de barracas murcianas (1912)

## 7. CONCLUSIONES

7.1.- La barraca tradicional de la huerta de Murcia, por su superficie de 45,54 m<sup>2</sup> construidos y sus dimensiones en planta de 6,60 metros por 4,60 metros, puede ser tipificada como paradigma de “casa mínima”.

7.2.- El sistema constructivo de la Barraca murciana, fue el de autoconstrucción por sus futuros moradores con materiales extraídos del entorno inmediato, y se construía con la ayuda de un familiar o amigo experto barraquista.

7.3.- La imagen de casa con cubierta a “dos aguas”, volumetría cúbica, texturas naturales y colores terrosos, componen y definen su imagen próxima y su perspectiva lejana, lo que origina la integración natural de la barraca en la huerta de Murcia.

7.4.- En base a las diecisiete virtudes de la barraca murciana, se ha desarrollado el prototipo contemporáneo de «casa» mínima, autónoma económicamente y autosuficiente energéticamente Bm.2, de 69,76 metros cuadrados construidos y con una capacidad de acogida de 3/4 habitantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CALVO GARCÍA-TORNEL, F. (1975). *Continuidad y cambio en la huerta de Murcia*. Edición Academia Alfonso X el Sabio.

FLORES ARROYUELO, F.J. (1977). *Vida y cultura españolas: Murcia*, Capítulo III, Editor La Muralla, Madrid.

OLIVA, A.; OLCINA, J. (2023). *Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Confederación Geográfica del Segura (CHS)*.

PINA RUIZ, P. (2009). *La Huerta de Murcia: análisis y diagnóstico desde 1960 hasta 2030 (Evaluación y contraste entre morfología hortelana y ordenanzas urbanísticas de edificación)*. (Trabajo monográfico del seminario impartido por Dr. D. José María Ezquiaga). Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.

PINA RUIZ, P. (2017). *Estrategias de intervención sobre patologías originadas por los planes generales de ordenación urbanística*. Tesis doctoral. Escuela Internacional de doctorado. UCAM: Universidad Católica de Murcia.

PINA RUIZ, P. (2024). *Prototipo de casa mínima autosuficiente: el caso de la barraca murciana*, (Tesis doctoral). Director: Dr. D. Tomás Gil López. Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid.

REVERTE SALINAS, I. (1974). *La Provincia de Murcia*, Capítulo XIX, Nogues Editores, Murcia.

ROS SEMPERE,M; GARCIA MARTIN,F.M.(2016). *Cinco palmos 1929-2015 Transformación de usos del suelo en la Huerta de Murcia*. Edita CRAI - Biblioteca de la Universidad Politecnica de Cartagena.

## COMPATIBILIDAD DE MORTEROS SOBRE MUROS DE TIERRA EN LA ARQUITECTURA TRADICIONAL

---

DR. FÉLIX JOVÉ-SANDOVAL  
*Universidad de Valladolid, España*

EVA M. GARCÍA-BAÑOS  
*Universidad de Valladolid, España*

M. MAR BARBERO BARRERA  
*Universidad Politécnica de Madrid, España*

### RESUMEN

The building tradition of a territory is defined by the construction materials used in combination to the culture and socio-economical aspects. The availability of the materials in the surroundings was a common practice except for the singular cases, and this material and their properties defined constructive techniques.

Tierra de Campos is a vast territory of marked flatness that includes the provinces of Palencia, Valladolid, León, Zamora and Salamanca. It shows a singular architecture where earth is the main element. In addition to being used in the construction of the walls, earth has historically been used as finishing to protect them. This area is particularly cereal-growing and produce large quantities of fiber waste, which mixed with clayey soil helps to control the cracking of the finish. This mixture used for the finishing was commonly called “trulla”. Sometimes air lime was added to the mixture to decrease weathering (Barbero 2016).

The loss of trades and disuse of traditional materials had provoked that the earth finishings have been replaced, in recent decades, by others. The replacement is commonly cement derived from the widespread opinion of its waterproofing. However, this new render applied to the earth walls had generated clear mechanical, physical and water incompatibilities with the support.

In this research, a field study had been carried out in five municipalities in this area. Traditional buildings have been analysed and their renders has been classified according to their material, placement and orientation of the wall. Preliminary conclusions indicate the combination of different types of mortars is the most common practice also old renders and old techniques had been found in some cases in which

a demonstration about the preservation of the constructive tradition is concluded. Among the found ones, the most protective are the ones executed with traditional binders. On the contrary, cement renders showed a clear lack of adherence to the support and contribute to the water concentration compromising the structural stability of the wall.

## **PALABRAS CLAVE**

Earth building; Renders; Weathering; Durability

## 1. INTRODUCTION: EARTH CONSTRUCTION AND VERNACULAR ARCHITECTURE

Earth is one of the main building materials worldwide. It is estimated that 8-10% of the global population lives in houses built with earth although this percentage increased up 20-25% in developing countries (Marsh, Kulshreshtha 2021). However, a renewal interest has arisen for the use of earth in two main lines:

- Sustainability, due to its abundance, the low-embodied energy and environmental impact. Indeed, the amount of energy associated to the production but also to the elimination of the material is minimal compared to other building materials and its closed cycle of life since earth becomes to be earth at the end of their use.
- Preservation of the cultural heritage. In a globalized world, the identification of the cultural elements had become a symbol of peace and reconciliation. Then, the protection of the cultural heritage is compulsory (Council of the European Union, 2021). In addition, a huge amount of vernacular and monumental architecture around the world has been built using earth for the construction material. In fact, it is one of the most widespread building materials in the world because of its availability and workability.

Vernacular is an example of both lines. On one hand, it is an example of the cultural identity of a region and the most important expression of tangible and intangible heritage. On the other hand, their adaptation to the local sources in terms of the availability building materials and the adaptation of the constructive techniques to them, but also, the empirical knowledge accumulated over centuries is translated into the architectural typology that is adapted to the specific local conditions of each region. It is the precedent of what, nowadays, recognised as bioclimatical and bio-constructive buildings.

In their materialization, the use of earth as building material has given rise to a wide range of earth construction systems and techniques. They depend on the type of soil and the clay content but also by the climatic conditions, especially, relative humidity and frequency of rains and also by geomorphological conditions, modified by cultural characteristics of each region. Up to 14 earth construction techniques

can be identified, out of the 12 earth ones classified by Craterre (Houben, Guillaud, 1992), depending on its hydric state and specific use. Then, earth as building material shows a huge versatility with a high capacity of adapting to different requirements.

Among the different constructive techniques, in Spain, it should be highlighted “adobe”, because its high versatility in terms of workability but also due to the type of soil. Although rammed earth is also widely represented in areas with low-clayey soils. This technique is the predecessor to the current poured concrete (Mileto et al, 2014) and can be found in a large amount of variations: i) alone; ii) mixed with gypsum or lime, mainly to reinforce the corners and borders; iii) mixed with bricks or stones as reinforced materials in the weak parts of the wall (doors, windows and corners). Likewise, in some parts of the territory, especially in the areas with forest or closed to those, it is possible to find lighter constructive solutions such as “quinchas”, “bahareques” or “encestados” in which a combination of natural elements (wood, bamboo or others) and clayey soils allow to adapt to the local sources. This technique show and additional requirement which is its high flexibility and, then, earthquake resistance. Apart from those common ones in masonry walls, one of the commonly overlooked techniques is earth rendering. Indeed, renders and plasters are one constructive element commonly forgotten that, however, they show a high complexity in the solution of the finishing. In addition, their use is essential in earth construction to increase durability and preserve them towards weathering (Barbero 2014b). Additionally, renders are perhaps one of the most important elements to guarantee embellishment and preserve the cultural expression of a territory. They are the expression of the essence of the communities and reflect their values, traditions, superstitions and aspirations , among others.

*Tierra de Campos* (Spain) recognized by its relation to the cereal production, is an example of vernacular earth architecture. It is placed at 650-850 meters of altitude and their geography is characterized by gentle undulations and small hills. It is located between the provinces of Palencia, Valladolid, León, Salamanca and Zamora. The region has a strong cultural identity and a shared history that characterises it, which has been studied by many authors (Benito, 1988), (Carri- cajo, 1988), (Jové-Sandoval, 2006).

In this territory, as aforementioned, earth as building material is an identifying element of its vernacular architecture (Alonso, 1989), (Roldán, 1996), (Garriz, 2021). Earth has historically been used for the construction of the masonry walls of their buildings by adobe bricks or rammed earth walls (Olcese, 1993), (Rocha, Jové, 2015), (Barbero, 2010). Furthermore, earth was also used for rendering as protective coatings on walls, although due to their weathering and exposition to the environmental agents this is one of the first element to lose when buildings are not preserved.

This material was used until the mid-20th century due to its availability, simplicity on the execution (mainly based on labour force) and suitability to climatic conditions. The latter was clear in a climate in which high temperature fluctuations takes place between summer/winter but also day/night. The high amount of mass of the earth constructions benefit thermal inertia and time-lag in the buildings and comfort conditions. Indeed, its benefits from technical point of view were recognised from generation to generation for hundreds of years (Bujalance, García-Baños, 2022) and it is, nowadays, one of the reasons of their acclaimed recovery. On the contrary, post-civil war poverty and the lack of maintenance during decades of those buildings had provoked a degraded vision of this type of architecture. This perception was boosted by the exodus of the rural population to the big cities, which intensively took place in 1950's to 1970's as a consequence of the country's industrialisation process, that led to high levels of depopulation in the region and a significant loss of traditional building skills (Barbero et al, 2010).

The urban crisis linked to the lack of humanity and the lack of well-being specially after COVID-19, it is boosting a return to the rural areas and a new phenomenon of growth, mainly led by young people with children with the option of tele-working (Alexander, 2023) or as secondary housing. This phenomenon is complementary to the different platforms and projects with the aim of recovering population (Volveralpueblo; Adecuara). At the same time, this process is accompanied by the restoration of traditional dwellings which adapt them for its permanent use with the current requirements in terms of comfort conditions. In this situation, it is evident the lack the skilled labour with knowledge of the craft of earthen construction (know-how). The problem of the recovery process is combined with the poor

reputation of this material, which has often been associated with poverty and lack of resources. These factors threaten the preservation of this vernacular architecture since the vulnerability of those to the use of “modern” materials such as cement or concrete.

Despite these unfavourable starting conditions, there is currently a movement that promotes the re-use of earth as a sustainable material due to its low carbon footprint and low CO<sub>2</sub> emissions as it has a practically zero transformation process, and therefore becomes one of the most sustainable materials of the moment (Ordóñez, 2012), (Jové-Sandoval et al, 2023). Furthermore, the use of earth as a building material is seen as a means to revitalise local economies and fight against de-population. Moreover, thanks to the adoption of a new architectural language and the growing social awareness of climate change and the energy crisis, earth building techniques are being incorporated with particular relevance in a new way of creating contemporary architecture (Casares, 2017).

### 1.1. EARTH RENDERINGS IN EARTH CONSTRUCTIONS

One of the most de-evaluated element with a high simplicity to recover it due to the lack of structural requirements is the renders. Although it has a notable impact on the cultural and social identity of a region as well as the general atmosphere of the villages and cities (Butler, Fehr, 2024), it is commonly not considered in the urban or protection plans. Indeed, not only morphology and typology of buildings but also their finishing materials defined the environmental aesthetic of a place.

In addition, renders have a notable influence on the durability of the building itself. They provide adequate protection for walls and increase their durability against weathering (Luxán García de Diego et al, 2014). It has been shown that bad practices developed in recent decades have caused more problems than solutions, affecting not only the durability and structural stability itself but also they have notable influence on energy efficiency of buildings (González, 2016). Another problem is that some of the binders used in the renders compromise basic requirements such as adherence to the substrate (Van Balen et al, 2010). Indeed, compatibility among the render and the support is defined by the adhesion since poor one enhanced the infiltration of water and the deterioration of the support (Alonso, 1989). In addition, the strength and modulus of elasticity of

the render must be equal to or lower than those of the substrate material to guarantee that it can be adapted to the movement of the support but also to the thermal or hydric dilation demanded by its exposition to the weathering (Van Balen et al, 2010). Regarding this, in the case of traditional support and especially in earth walls, render must have a high permeability to water vapour to eliminate humidity in the wall and prevent its accumulation in the interior. And, in damp conditions, it must be able to dry quickly (Van Balen et al, 2010). Indeed, all types of building materials, in contact with water, loss their strength and hardness and can compromise structural stability (Barbero, 2014a).

In this work, a characterization of the renders used in the vernacular architecture heritage had been developed. At the same time, an evaluation of the compatibility of different rendering mortars on earthen walls of traditional buildings has been performed. This would provide the knowledge of the state of conservation of the existing buildings together with the identification of the damages found in them. In addition, the research has the main aim of defining a criteria for restoration works to be carried out. The research focused on renderings, as they are particularly important for earthen buildings as aforementioned.



Figura 1: Edificio típico de la región de Tierra de Campos

## 1.2. GEOGRAPHICAL AREA OF THE ANALYSIS

Because of the high extension of the region of *Tierra de Campos* and, in order to guarantee similar conditions, the research focused on an specific area. It was selected attending to the same or similar properties of soils according to the classification of IGME (IGME, 2025). Bustillo and Sequillo rivers was selected as the study are. These are two small rivers that run parallel to each other, from north to south. To be exact, the analysis has been limited to a rectangle bounded by the source of the river Bustillo or Ahogaborricos, to the north-east, and to the south-west by the boundary with the river Rioseco. This area comprises nine municipalities: four on the left bank of the river Bustillo - from the headwaters - the municipalities of Bustillo de Chaves, Villacid de Campos, Ceinos de Campos, and Aguilar de Campos; and five in the central area - to the right of the river Sequillo - the municipalities of Villalón de Campos, Villafrades de Campos, Cuenca de Campos, Moral de la Reina, and Berrueces (Figure 02).

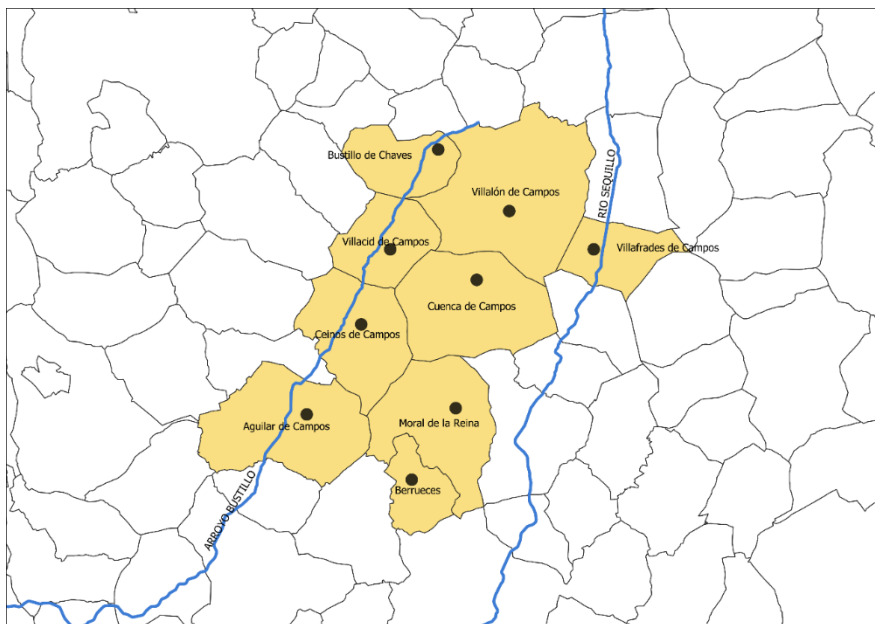


Figura 2: plano redibujado de la zona de estudio (posición de los pueblos y los dos ríos).

## 1.2. EXPERIMENTAL RESEARCH

As mentioned above, the nine municipalities selected as case studies are located between the two river basins and constitute the same soil unit. Furthermore, they show the same geomorphological characteristics to ensure. It was key in the research in order to guarantee identical characteristics of adherence of the finishings. The soils are composed of sandy clays with inclusions of highly permeable gravels and sands of Miocene geological formation (Dirección General de Medio Ambiente y Urbanismo, 1987), (IGME, 2001), (Consejería de Fomento, 1989). These are luvi-sol soils: chromic and calcic, which typically develop in flat or gently sloping areas in regions with a Mediterranean climate where there are distinct dry and wet seasons.

As a result of the severe summer drought, the accumulation of iron oxides or calcium carbonates is frequent. Depending on the predominance of the soil: chromic or calcic, clays in the area show their characteristic reddish or yellow-brown colour. Table 01 shows the georeferenced location of the municipalities and their altitude.

Table 1: Georeferenced location of the municipalities and their altitude. Source: sigpac

Municipality	Latitude N	Longitude W	Altitude A
Bustillo de Chaves	42° 7' 52.65" N	5° 5' 27.20" W	816m
Villacid de Campos	42° 4' 49.68" N	5° 7' 22.04" W	781m
Ceinos de Campos	42° 1' 54.14" N	5° 8' 51.99" W	754m
Aguilar de Campos	41° 58' 55.39" N	5° 11' 46.10" W	745m
Villafrades de Campos	42° 04' 39" N	4°58'14" W	762m
Villalón de Campos	42° 5' 38.35" N	5° 2' 21.43" W	778m
Cuenca de Campos	42° 3' 18.73" N	5° 3' 19.71" W	776m
Moral de la Reina	41° 58' 53.86" N	5° 4' 22.69" W	775m
Berrueces	41° 56' 44" N	5° 05' 49" W	767m
<b>AVERAGE ALTITUDE</b>			<b>773m</b>

Given the abundance of examples of earthen constructions in the region, numerous solutions for the protection of the walls have been

detected. In a preliminary work, the identification and cataloguing of the types of current renders in the vernacular heritage of the area was performed. Then, the following aims were stabilized:

1. Recognise the survival of traditional know-how based on finishings made with historical binders.
2. Identify the types of damages in traditional dwellings due to malpractice.
3. Establish appropriate technical criteria for intervention that guarantee compatibility with existing supports, contributing to the protection of this heritage.
4. Development of a guide of good practices, of an informative and easy-to-understand nature, which will serve to enhance the value of this type of heritage and, therefore, its conservation.

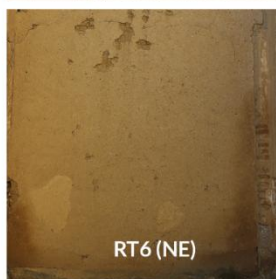
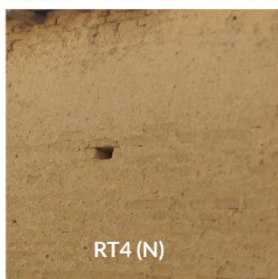
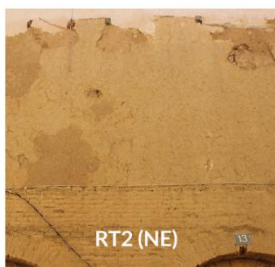
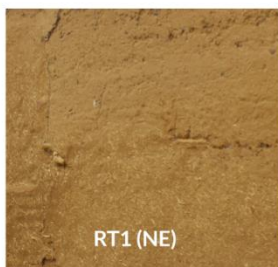
### 3. MATERIALS AND METHODS

From each of the municipalities, four dwellings were selected. These ones were the representative of the traditional architecture of the region, most of which are over 100 years old. For each of the 36 examples selected, a classification has been proposed (Figures 03 and 04) to identify the orientation of the surface area analysed. They were classified into two predominant and opposing orientations: on the one hand, north, west and northwest; and on the other, south, east and southeast. This classification was performed bearing in mind the wind incidence.

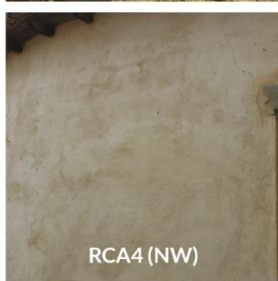
NORTH /  
WEST /  
NORTH-WEST /  
NORTH-EAST



## EARTH



## LIME



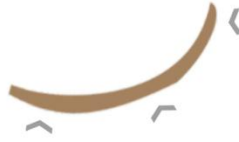
## MIXED and with CEMENT



Figure 3: Photographs of north, west, northwest and northeast orientation

Once the surface orientation was defined, the type of material used in the render was identified. They were classified as: earth (RT), lime (RCA) or cement (RC). Finally, after establishing the analysis of the matrix, the position of the render on the surface was observed. It was identified as: bottom base, body of the wall or top, and whether there was more than one material on the same surface. This information had been collected in a visual matrix that has allowed the conclusions of this article to be drawn. Indeed, the data extracted from the summary sheets have been used to elaborate an analysis of common parameters, combining aspects of orientation, the location of the rendering on the wall, the type of mortar and its state of preservation.

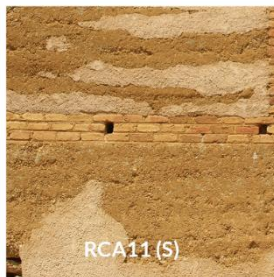
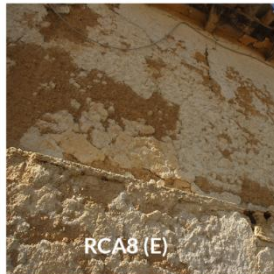
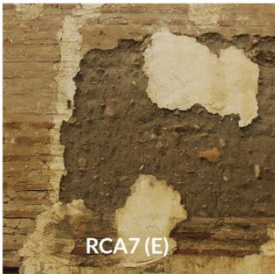
SOUTH /  
EAST /  
SOUTH-WEST /  
SOUTH-EAST



## EARTH



## LIME



## MIXEX and with CEMENT



Figure 4: Photographs of south, east, southwest and southeast orientations

### 4. ANALYSIS OF THE RESULTS

In general, it can be observed the persistence of finishings made with traditional binders (earth and lime in these cases). However, they co-exist with contemporary ones (cement) is a current practice (Figures 03 and 04). This statement should be highlighted due to the situation found in other territories where the traditional renders have disappeared.

From the analysed cases, it has been found that it is even common to mix earth and cement rendering on the same surface. Cement is the material of choice in the base area of the wall and earth in the rest of the wall. This practice seems to be justified by the fact that the base of the building is the most eroded part of the surface, in the belief that the cement mortar provides greater “reinforcement” to the base. In other cases, it is found the use of cement not only as render but the use of wall cladding composed by contemporary brick walls with cement mortar. This construction practice seems to have become widespread from the 1960s onwards in other territories, although in the case of Tierra de Campos it was probably introduced in the 1980s-

1990s due to the geographical and socio-economic conditions of the territory.

Likewise, the pattern is that those renders executed with earth, which are oriented north/west and north/east are preserved in adequate conditions. In contrast, those located to the south/west and south/east, have deteriorated or are very deteriorated in all the buildings identified. Furthermore, this type of performance is also observed in the renders executed with lime mortar. In this case, façades facing north/west and north/east show less erosion than those to the south/west and south/east. In both cases, earth and lime renders, no damage to the base facing has been identified. Concerning this, other authors stated as:

«it is evident that the predominant winds are firstly from north-east [...], in spring and autumn, winds from the opposite quadrant tend to blow and even from the west during the rainy season [...]» (González Garrido, 1941).

This hypothesis is corroborated by other authors:

«windward facing buildings in a south-westerly direction may suffer serious damage due to the effect of water on the material». (Garriz, 2021).

Finally, cement-based renders showed deterioration regardless of orientation. They had fissures and cracks of varying size and pattern, but also loss of material from both the mortar and the substrate. However, dampness stands out in the form of stains on the finishing, indicating that the wall is subjected to permanent damp conditions which, as aforementioned, could compromise the structural stability.

		NORTH / WEST / NORTHWEST / NORTHEAST	SOUTH / EAST / SOUTHWEST / SOUTHEAST
	MAIN LOCATION	FULL WALL	PARTIAL
EARTH	STATE OF RENDER -SUPPORT	GOOD. THE RENDER IS PRESERVED AND THERE IS NO DAMAGE TO THE WALL.	RENDER PRACTICALLY NON-EXISTENT. THE WALL HAS SURFACE EROSION
	MAIN LOCATION	FULL WALL	PARTIAL
LIME	STATE OF RENDER -SUPPORT	GOOD PRESERVATION. NO PATHOLOGIES OBSERVED	DETERIORATION OF THE RENDER, BUT NO PATHOLOGIES IN THE WALL
	MAIN LOCATION	FULL WALL, EXCEPT RC3 WHICH IS PARTIAL	FULL WALL, EXCEPT RC12 WHICH IS PARTIAL
MIXED and with CEMENT	STATE OF RENDER -SUPPORT	WIDESPREAD PRESENCE OF HUMIDITY, ALTHOUGH MORE PRONOUNCED IN THE BASE AREA.	CRACKS AND LACK OF ADHERENCE TO THE SUBSTRATE. THE STATE OF THE SUBSTRATE IS INDISTINGUISHABLE

Figure 5: Summarize of the results in the identification performed

Then, the best durability in renders used in traditional supports are those made from historical binders such as earth or lime. On the one hand, they kept their adhesion to the substrate better and have not caused apparent pathological processes in the wall. On the other hand, renders made with cement mortar are causing moisture concentration where they are placed, especially in the lower parts of the walls, which not only compromises the stability of the finishing but also that of the substrate.

This behaviour had been highlighted previously (Van Balen et al, 2010) and it is justified by the mechanical, hydric and chemical compatibility between the traditional materials. Indeed, modulus of elasticity of earth and lime are mostly similar but considerably lower than the one of cement. This parameter influences the deformation capacity of the render in comparison to the support. Since traditional support shows high strain, any material applied over it must have the same or lower modulus of elasticity in order to adapt it to the movement. Furthermore, finishing is exposed to the variation in relative

humidity and temperatures, then, hydric and thermal coefficient should be similar to avoid decohesion. On the other hand, the finishing must allow the evaporation of the water coming from damping or infiltration and, then, it must have high water vapour permeability and high rates of drying (Veiga et al, 2000), (Veiga et al, 2002).

Then, if a rigid render is placed on a flexible substrate, it will be the first to crack as soon as the building undergoes deformations. In addition, this rigid cement render, with very low water vapour permeability and low rates of drying, does not allow moisture to escape from the substrate. There, it implies that damp stores it internally on the back of the render, causing the weakness of the substrate material and its loss at medium term.

## 5. CONCLUSIONS

Vernacular earthen architecture had been denigrated and undervalued until recently. In the last years, especially, after COVID-19, a new sensibility towards traditional materials and techniques has emerged. This turning point arise as the incorporation of earth as building materials in contemporary architecture as well as the renaissance of crafts. This new approach focuses on recovery of loss knowledge and highlights the cultural identity of the region.

The research, carried out in 36 buildings located in the towns of Bustillo de Chaves, Villacid de Campos, Ceinos de Campos, Aguilar de Campos, Villalón de Campos, Villafrades de Campos, Cuenca de Campos, Moral de la Reina and Berrueces, has made it possible to qualify and quantify the behaviour and impact of the rendering on the preservation of this type of architecture. It is important to point out that all the selected localities are located in the same natural region, and in a specific area where the soils have identical geomorphological characteristics. This is to ensure that the earthen walls have identical rendering consistency characteristics to be compared.

One of the most relevant conclusions is the fact that the best preserved renders found in the north/west, northwest and northeast orientations are those executed with traditional materials. Those materials show a suitable mechanically, hydric and chemical compatibility with the earthen substrate. As for the south/east, south-east and southwest façades, a greater degradation of these finishings

can be observed, although the state of the substrate is optimal in both cases.

In fact, lime and earth plasters are the ones that best fulfil their protective function for the base wall. On the contrary, cement renders, far from standing up, show accelerated ageing, with the presence of cracks and fissures (symptoms of mechanical incompatibility with the substrate) which result in loss of material and accelerated degradation of both the render and the substrate itself.

On the other hand, architectonic design is emphasised since it can contribute to the preservation of the heritage. The most exposed facades are those facing north-east and south-west, in this region of Castile. The latter is those that experience a predominance of winds with rainfall during spring and autumn. Then, their maintenance is crucial to prevent the acceleration of their degradation.

In conclusion, the research shows the need to avoid the use of cement mortar as a render for an earth masonry wall. In addition to its incompatibility due to its physical and mechanical characteristics, cement renders cause pathological processes in the base wall in all the cases analysed. This damage is related to the permanent concentration of dampness at the bottom of the walls, which could affect their structural stability and conservation while accelerating energy inefficiencies.

## REFERENCES

- ADECUARA. Available at: [www.adecuar.org/tu-pueblo-te-llama-campana-para-facilitar-el-retorno-al-medio-rural](http://www.adecuar.org/tu-pueblo-te-llama-campana-para-facilitar-el-retorno-al-medio-rural)
- Alonso Ponga, J.L. (1989). *La arquitectura del barro*. Junta de Castilla y León
- Barbero-Barrera, M.M. (2020). Estudio y caracterización de morteros históricos. In Molero García, J.M.; Gallego Valle, D.; Gil Crespo, I.J., eds. *La construcción fortificada medieval: historia, conservación y gestión*. Instituto Juan de Herrera, Universidad Castilla-La Mancha, Centro de Estudios José Joaquín de Mora, Fundación Cárdenas, Fundación Castillo de la Estrella de Montiel: 237-264. ISBN: 978-84-9728-583-4
- Barbero-Barrera, M.M. (2016). Cal y arquitectura vernácula. *Pedra & Cal* 61: 56-58.

- Barbero-Barrera, M.M.; Maldonado Ramos, L. (2014a). Estudio comparativo de la denominación de los revestimientos de cal. De los tratados clásicos a la bibliografía actual. *Ph Investigación* 3: 75-94.
- Barbero-Barrera, M.M.; Maldonado Ramos, L.; Van Balen, K.; García Santos, A.; Neila González, F.J (2014b). Lime renders layers: an overview of their properties. *Journal of Cultural Heritage* 15: 326-330.
- Barbero Barrera, M.M.; Maldonado Ramos, L.; De Cárdenas y Chavarri, J.; Cabero Diéguez, V. (2010). El Patrimonio como motor psicosocio-cultural: El caso de la comarca de Las Villas en Salamanca (España). In Centro Internacional para la Conservación del Patrimonio. *Proceedings of the International Congress on Rehabilitation of the Architectural and Building Heritage CICOP 2010*: 487-493. ISBN: 978-956-9006-00-5.
- Benito Martín, F. (1988). *La arquitectura tradicional de Castilla y León*. Ayuntamiento de Salamanca
- Bujalance, M., García-Baños, E. (2022). Estudio técnico para la intervención contemporánea en arquitectura tradicional del norte de la provincia de Cáceres. <https://eticat2022.com/>
- Butler, J.V.; Fehr, D. (2024). The causal effect of cultural identity on cooperation. *Journal of Economic Behavior and Organization* 221: 134-147.
- Carricajo Carbajo, C. (1988). La arquitectura popular humilde vallisoleтана. In: *Comunicaciones de la 1º Semana de Arquitectura Popular*: 57
- Casares Ruiz, G. (2017). *Arquitectura de Tierra en el s. XXI*. Universidad Politécnica de Madrid
- Castilla Pascual, F.J. (2004). *Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra*. PhD Thesis. Universidad Politécnica de Madrid
- Consejería de Fomento (1989). *Análisis del medio físico de Valladolid*. Dirección General de Urbanismo
- Council of the European Union (2021). COPS 232. Council conclusions on EU Approach to cultural heritage in conflicts and crises. Available at: [https://www.eeas.europa.eu/eeas/building-peace-cultural-heritage-%E2%80%93-new-eu-approach-conflicts-and-crises\\_und\\_fr](https://www.eeas.europa.eu/eeas/building-peace-cultural-heritage-%E2%80%93-new-eu-approach-conflicts-and-crises_und_fr)
- Dirección General del Medio Ambiente y Urbanismo (1987). *Mapa de Suelos Castilla y León*. Junta de Castilla y León

- Garriz Molina, L. (2021). *Lecciones populares: La arquitectura de barro en Tierra de Campos*. Universidad Politécnica de Madrid
- González Garrido, J. (1941). *Tierra de Campos: Región Natural*. Ámbito
- González Serrano, A. M. (2016). *Revocos de tierra cruda: Especificaciones técnicas para el empleo de morteros preparados de arcillas en construcción*. PhD Thesis. Universidad de Sevilla. Available at: <https://idus.us.es/items/4c03e429-67a8-4338-83d1-b5a4523e75f0>
- Houben, H.; Guillaud, H. (1992). *Earth construction technology*. Nairobi : United Nations Centre For Human Settlements (Habitat). ISBN 92-1-131-192-5
- IGME (2025). Cartography available at: <https://info.igme.es/cartografi-adigital/tematica/tematicossingulares.aspx>
- Instituto Geográfico Nacional (2001). *Comarca de Tierra de Campos*. Ministerio de Fomento, Gobierno de España
- Jové-Sandoval, F., García-Baños, E., Barbero-Barrera, M. (2023). Characterisation and thermal improvement of adobe walls from earth-straw lightweight panels. *MRS Advances*. <https://link.springer.com/article/10.1557/s43580-023-00630-1>.
- Jové-Sandoval, F., García-Baños, E., Barbero-Barrera, M., (2023). Influence of natural renders in compressed earth block walls. In : *Proceedings CITE-2023*: 240-241.
- Jové-Sandoval, F., García-Baños, E., Barbero-Barrera, M. (2022). Paneles aislantes de barbotina y fibras naturales, investigación aplicada. *PI Cod.*: 061-223191 Universidad de Valladolid
- Jové-Sandoval, F., Barbero-Barrera, M., Flores Medina, N. (2018). Assessment of the mechanical performance of three varieties of pine needles as natural reinforcement of adobe. *Construction and Building Materials*, 187: 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.187>
- Jové-Sandoval, F., Muñoz de la Calle D., Pahino-Rodríguez, L. (2011). Ensayos de erosión hídrica sobre muros de tierra, fábrica de BTC. Método, resultados y discusión, in: *Construcción con Tierra, tecnología y arquitectura*, Cátedra JdV: 193-204. <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html>.
- Jové-Sandoval, F. (2006). *La vivienda excavada en tierra*. Colegio Oficial de Arquitectos de Valladolid

- Luxán García de Diego, M. D., Román López, M. E., Barbero Barrera, M. & Gómez Muñoz, G. (2014). Consecuencias constructivas y energéticas de una mala práctica. Arquitecturas desolladas. In Proceedings of International Congress of Energy Efficiency and Historical Buildings. ISBN 978-84-617-3440-5: 186-200.
- Marsh, A.T.M., Kulshreshtha, Y. (2021). Th state of the earthen housing worldwide: how development affect attitudes and adoption. Building research and information 50 (5): 485-501.
- Mileto, C., Vegas López-Manzanares, F., García Soriano, L., Cristini, V. (2011). La restauración de la arquitectura de tapia en la península ibérica. Metodología de catalogación y análisis de casos. Arché, 6: 309-314.
- Olcese Segarra, M. (1993). Arquitecturas de tierra: tapial y adobe. Colegio Oficial de Arquitectos de Valladolid
- Ordóñez, L. (2012). La tierra, un material de construcción sustentable. In-ventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos, 8 (16): 40-47.
- Rocha, M., Jové, F. (2015). Técnicas de construcción con tierra. Argumentum
- Roldán Morales, F. (1996). Arquitectura popular de la provincia de Valladolid. Diptación de Valladolid
- Van Balen, K., Bicer-Simsir, B., Binda, L., Blauer, C., Elsen, J., Groot, C., Hansen, E., Van Hees, R., Henriques, F., Hughes, J., Toumbakari, E.E., Von Konow, T., Lindqvist, J.E., Maurenbrecher, P., Middendorf, B., Papayianni, I., Simon, S., Stefanidou, M., Subercaseaux, M., Tedeschi, C., Thomson, M., Valek, J., Valluzi, M.R., Vanhellemont, Y., Veiga, R. 2010. The Role of mortar in masonry: an introduction to requirements for the design of repair mortars. En Valek, J.; Groot, C.; Hughes, J.J. eds (2010). Proceedings of the 2nd Conference on Historic Mortars Conference HMC2010 and RILEM TC 203-RHM Final Workshop. Bagneux: RILEM Publications S.A.R.L. 1323-1329.
- Veiga, M.R. (2009). Characteristics of repair mortars for historic buildings concerning quantified hygric requirements. In C. Groot (Ed.). Proceedings 078: Repair Mortars for Historic Masonry TC RMH. RILEM: 305–315.
- Veiga, M.R.; Carvalho, F. (2002). Argamassas de reboco para paredes de edificios anti-gos: requisitos e características a respetar. Cadernos de Edifícios, 2: 39–55.

VOLVERALPUEBLO. Available at: [www.volveralpueblo.coceder.org](http://www.volveralpueblo.coceder.org)

# EDUCACIÓN, HABITABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO: UNA APROXIMACIÓN MULTIDISCIPLINAR DESDE LA COOPERACIÓN UNIVERSITARIA<sup>1</sup>

---

MARÍA DEL MAR BARBERO-BARRERA  
*Universidad Politécnica de Madrid (España)*

RAFAEL CÓRDOBA HERNÁNDEZ  
*Universidad Politécnica de Madrid (España)*

JUANA CANET ROSSELLÓ  
*Universidad Politécnica de Madrid (España)*

GREGORIO GARCÍA LÓPEZ DE LA OSA  
*Universidad Politécnica de Madrid (España)*

INMACULADA MARTÍNEZ PÉREZ  
*Universidad Politécnica de Madrid (España)*

DANIEL MORCILLO ÁLVAREZ  
*Universidad Politécnica de Madrid (España)*

LUIS PEREA MORENO  
*Universidad CEU San Pablo (España)*

RICARDO TENDERO CABALLERO  
*Universidad Politécnica de Madrid (España)*

## RESUMEN

La intensificación de fenómenos climáticos extremos, sumada al agravamiento de la pobreza y las desigualdades estructurales, plantea desafíos sin precedentes para las poblaciones más vulnerables del planeta. Esta situación demanda nuevas formas de intervención, donde la educación superior y la cooperación internacional juegan un papel transformador. Este texto profundiza en el papel de las universidades, en particular de la Universidad Politécnica de Madrid, en la formación de arquitectos/as e ingenieros/as que, con aptitud social, sean capaces de proponer soluciones resilientes en asentamientos humanos precarios. Esta experiencia muestra la del Proyecto de Aprendizaje-Servicio “Resiliencia en contextos de cooperación desde

---

<sup>1</sup> Este capítulo forma parte del ApS RMcC “Resiliencia en contextos de cooperación desde una visión multidisciplinar”

una visión multidisciplinar” (RMCC), en la que se promovió una formación multidisciplinar y colaborativa entre estudiantes, docentes y ONGs, que busca integrar el conocimiento técnico con el compromiso social. La propuesta se estructura en torno al concepto de Habitabilidad Básica abordando, de forma integral, las distintas etapas que comprenden ésta, desde la elección del sitio, parcelación, urbanización hasta alcanzar la edificación, como pilares para la adaptación al cambio climático. Finalmente, se destacan los logros del proyecto y se esbozan recomendaciones para fortalecer la incidencia de la universidad en la transformación social y ambiental global.

## PALABRAS CLAVE

Cambio climático, cooperación universitaria, habitabilidad básica, resiliencia, asentamientos precarios, aprendizaje-servicio, justicia social, desarrollo sostenible.

## 1. INTRODUCCIÓN. INTRODUCCIÓN: CRISIS GLOBAL Y RESPUESTA UNIVERSITARIA

En las últimas décadas, el planeta ha experimentado una creciente concatenación de crisis sociales, económicas y ambientales que han impactado de forma desproporcionada a las poblaciones más vulnerables del mundo. Estas crisis, que incluyen: i) la aceleración del cambio climático, ii) el aumento de las desigualdades, iii) la urbanización descontrolada, iv) los conflictos armados y, v) las crisis sanitarias globales como la pandemia de COVID-19, han puesto en evidencia la fragilidad de muchos sistemas sociales, económicos y ecológicos.

En este contexto, la cooperación internacional ha evolucionado desde su enfoque original como instrumento para preservar la paz, hasta convertirse en una herramienta esencial para la promoción del desarrollo humano sostenible. De acuerdo con el *Informe sobre Desarrollo Humano* (PNUD, 2019), el desarrollo debe entenderse como un proceso de empoderamiento de las personas y comunidades para que puedan definir y recorrer sus propios caminos vitales con libertad, dignidad y bienestar. Esta visión implica no solo superar la pobreza económica, sino también eliminar barreras estructurales que impiden el acceso a la salud, la educación, la vivienda y una vida digna (Sachs et al., 2025).

Uno de los indicadores más representativos de esta evolución ha sido el *Índice de Desarrollo Humano* (IDH), establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en 1990. Este índice sintetiza tres dimensiones fundamentales: esperanza de vida saludable, acceso a la educación y un nivel de vida digno, medido por el ingreso nacional per cápita ajustado por paridad de poder adquisitivo. Sin embargo, el IDH ha sido progresivamente complementado con nuevas variables que reflejan la complejidad multidimensional del desarrollo, como la equidad de género, la salud reproductiva, el acceso al empleo y la sostenibilidad ecológica (Figura 1).

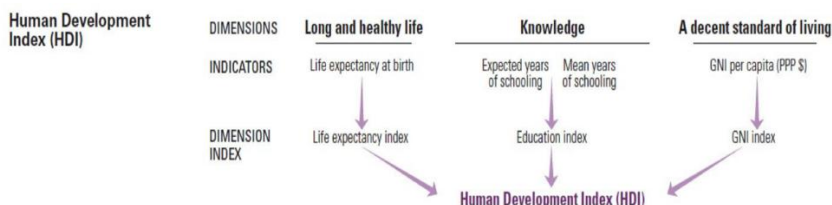


Figura 1. Esquema de HDI

Fuente: United Nations Development Programme (2020)

Paradójicamente, los países con mayores valores de IDH suelen ser también los que presentan mayores niveles de impacto ambiental, lo cual evidencia una contradicción estructural: el modelo de desarrollo que se promueve globalmente está basado en una lógica de consumo y producción que es ambientalmente insostenible. Esta contradicción ha sido descrita por autores como Chang (2004) bajo el concepto de “la escalera del desarrollo”, en el cual los países más avanzados bloquean a los demás el acceso a las mismas rutas de crecimiento que ellos utilizaron, mientras se proyectan como modelos de progreso.

Junto con lo anterior, hay que destacar que las cifras actuales en el cumplimiento de los objetivos de erradicación de la pobreza muestran un preocupante retroceso. Según el Banco Mundial, más de 712 millones de personas vivían en 2022 con menos de 1,90 dólares al día, cifra que se había agudizado como consecuencia de la pandemia, la inflación global, la crisis energética y la inestabilidad geopolítica, entre otras (The World Bank, 2022). Esta pobreza extrema se concentra mayoritariamente en dos regiones: África subsahariana y el sur de Asia que, además, enfrentan con más crudeza los efectos del cambio climático.

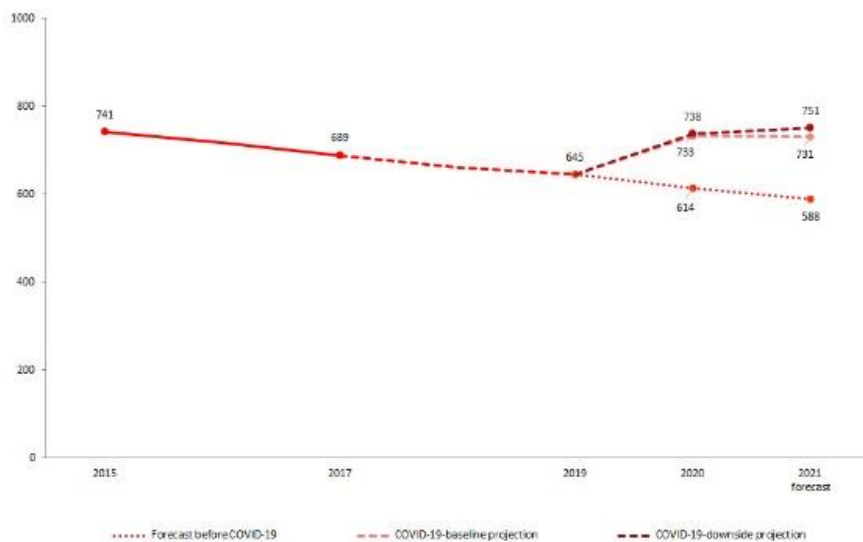


Figura 2. Número de personas que viven menos de 1,90 \$ por día, en millones

Fuente: United Nations (2021)

En efecto, los fenómenos climáticos extremos como olas de calor, sequías prolongadas, inundaciones, incendios forestales, ciclones y tormentas intensas afectan de forma creciente a estas regiones, intensificando las vulnerabilidades existentes. El sexto informe del IPCC alerta sobre los impactos ya irreversibles del cambio climático en la biodiversidad terrestre, acuática y marina, así como en la seguridad alimentaria, hídrica y sanitaria de millones de personas. Se requiere una transformación de los sistemas energéticos y una disminución drástica del uso de combustibles fósiles. Alcanzar estas metas exige acciones coordinadas a nivel global, así como decisiones políticas y económicas que favorezcan energías renovables y prácticas sostenibles.

El incremento de las desigualdades pero también el aumento de enfermedades infecciosas, respiratorias y cardiovasculares, la malnutrición infantil y la pérdida de medios de vida están estrechamente relacionados con estos impactos (IPCC, 2022). Otra circunstancia, que no es ajena al cambio climático, es el dramático incremento de los desplazamientos forzados por causas climáticas, por disminución de la posibilidad de generar alimentos y mantener un mínimo de seguridad alimentaria o por conflictos armados, frecuentemente ligados a



edificación, la ingeniería y el urbanismo tienen una responsabilidad directa en la configuración de los entornos habitables y que cumplan unas mínimas condiciones para satisfacer las necesidades de la población en términos no sólo de proveer alojamiento sino también de desarrollar la vida con plenitud garantizando formas de trabajo y de formación, preservando la cultura, facilitando las relaciones sociales, etc. que, por supuesto, han de ser resilientes, adaptadas y capaces de hacer frente a las crisis climáticas y sociales.

La educación superior no puede limitarse a reproducir modelos de enseñanza descontextualizados, centrados únicamente en la técnica y alejados de las realidades más urgentes del mundo. Se requiere una formación con perspectiva social, ecológica, medio ambiental y ética, que integre el pensamiento crítico con la acción transformadora.

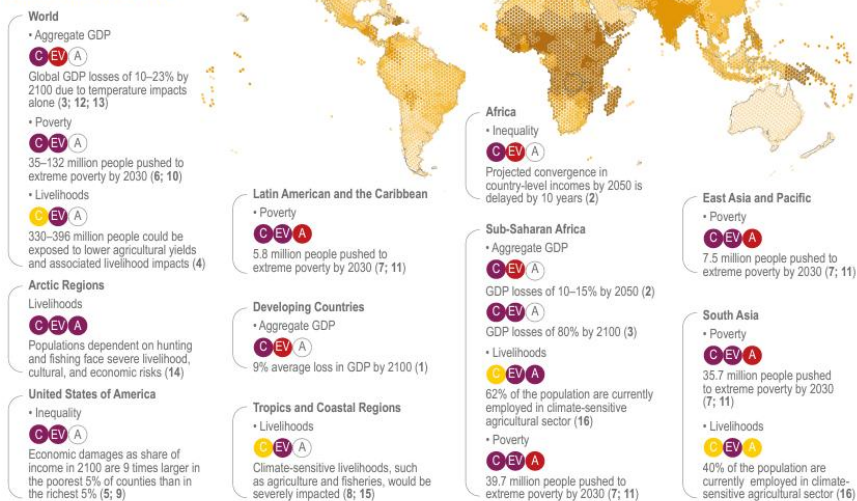
Por ello, el presente trabajo se propone analizar el papel que puede desempeñar la universidad en la promoción de procesos de cooperación desde un enfoque multidisciplinar, tomando como eje de análisis el concepto de Habitabilidad Básica, acuñado y defendido por el grupo de cooperación ICHaB-ETSAM desde sus orígenes, así como la experiencia desarrollada por el proyecto RMcC (Resiliencia en contextos de cooperación desde una visión multidisciplinar) desde la Universidad Politécnica de Madrid.

## 2. DESIGUALDAD CLIMÁTICA Y GEOGRAFÍA DE LA VULNERABILIDAD

Como se ha mencionado anteriormente, la distribución de los impactos del cambio climático es profundamente desigual. Las regiones menos responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero son, sin embargo, las que sufren con mayor severidad sus consecuencias. África subsahariana, Asia meridional, el Caribe y América Latina concentran la mayoría de las poblaciones en riesgo, no solo por su exposición a fenómenos extremos, sino también por su limitada capacidad de adaptación.

Las alteraciones intensas que sufren distintas áreas como consecuencia del cambio climático afectan gravemente a los ecosistemas terrestres, hídricos y marinos.

**Illustrative examples from individual studies of risks to living standards and the conditions under which they could become severe**



**References:**  
 1. Acovedo (2017); 2. Baarsch et al. (2020); 3. Burke et al. (2015); 4. Byers et al. (2018); 5. Carleton and Greenstone (2021); 6. Hallegatte (2017); 7. Hallegatte and Rozenberg (2017); 8. Hoegh-Guldberg (2018); 9. Hsiang et al. (2017); 10. Jafino (2020); 11. Jafino et al. (2020); 12. Kahn (2019); 13. Kalkuhl (2020); 14. Norden (2014); 15. Roy (2018); 16. World Bank (2020)

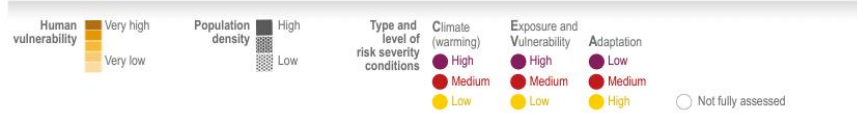


Figura 3. Vulnerabilidad humana, densidad y tipo y nivel de condiciones de gravedad del riesgo

Fuente: IPCC (2022)

Esta afección, sin embargo, abarca mucho más allá de lo predecible y, de acuerdo con el informe publicado por UN (2020), el 25% de las especies de plantas y de animales estaban en riesgo de desaparición, mientras que WorldWildLife advierte que sólo el 3% del agua disponible a nivel mundial es agua apta para el consumo humano y 2/3 está congelada en los glaciares que aún se conservan, lo que se traduce en que 1,1 miles de millones de personas no dispongan de acceso a agua (WWF - World Wildlife Fund, 2025), algo que incide directamente en la preservación de la vida, la salud pública o en la seguridad alimentaria.

De acuerdo con el informe publicado por FAO, IFAD, UNICEF, WFP y WHO (2024), entre 713 y 757 millones de personas sufrieron

hambre en 2023, lo que representa 1 de cada 11 personas en el mundo, de los cuales, como se ha mencionado 1 de cada 5 se encuentran en África.

La vulnerabilidad estructural de estas regiones se ve amplificada por factores como el crecimiento desordenado de las ciudades, la ausencia de infraestructuras básicas, la precariedad laboral y la fragilidad institucional, entre otras.

Además, estos impactos no son neutros desde el punto de vista social ni de género. Niños, mujeres y jóvenes son los más afectados, ya que sus posibilidades de adaptación están condicionadas por desigualdades históricas en el acceso a recursos, servicios y derechos. La intersección entre pobreza, género, edad y territorialidad genera verdaderas trampas de exclusión que requieren respuestas integradas y multidisciplinarias.

La vulnerabilidad conlleva, como se ha mencionado anteriormente, desplazamientos masivos hacia regiones o países de renta baja o media, donde las condiciones habitacionales ya eran precarias previamente. Las personas afectadas, se ven obligadas a reasentarse en lugares no ocupados por la población autóctona, que son a menudo, zonas precarias, sin las condiciones mínimas de seguridad no sólo en cuanto a tenencia sino también estructural, ya que se encuentran ubicadas en laderas con problemas de deslizamientos, costas o áreas inundables y en las que la falta de planificación urbana, junto con la debilidad normativa y la ausencia de estrategias de adaptación acentúan la vulnerabilidad que perpetúa el ciclo de riesgo y exclusión. En este contexto, la urgencia habitacional se convierte en una cuestión de supervivencia y la Habitabilidad Básica se plantea como un índice de gran relevancia para la identificación de la urgencia mundial.

De acuerdo con UN-Habitat (2024), el 94.2% de la población en el África sub-sahariana residía, en 2022, en asentamientos informales con tugurios como hogar. En el mundo residen más de 1.100 millones de personas en estas condiciones.

### 3. ROL DE LA ARQUITECTURA Y LA INGENIERÍA EN LA TRANSFORMACIÓN SOCIAL

Frente a este panorama, las disciplinas proyectuales, como se ha indicado en el apartado primero, no pueden permanecer ajenas. La arquitectura, la ingeniería civil, la planificación urbana y la edificación están en la primera línea de respuesta. No se trata únicamente de diseñar infraestructuras más resistentes, sino de redefinir los modelos de desarrollo urbano y territorial, integrando justicia social, sostenibilidad ecológica y resiliencia climática (Córdoba Hernández & Román López, 2023).

Esto implica una transformación profunda en la forma en que se enseña y se ejercen las profesiones. Las universidades deben formar a profesionales críticos, empáticos y técnicamente capacitados para actuar en entornos de alta complejidad e interdisciplinarios. Su misión debe ampliarse para asumir un rol transformador en el contexto de crisis múltiples e interrelacionadas: climático, social, urbano, económico y de derechos humanos. Y, en este escenario, la educación superior tiene la responsabilidad de formar profesionales capaces de comprender y actuar sobre los desafíos más urgentes que enfrenta la humanidad, particularmente en relación con las desigualdades estructurales y la vulnerabilidad habitacional derivada del cambio climático.

Para ello, es necesario superar el enfoque tecnocrático y eurocéntrico dominante, promoviendo una arquitectura al servicio de la dignidad humana, capaz de trabajar con comunidades, entender sus necesidades y co-diseñar soluciones habitacionales, urbanas y territoriales justas y sostenibles. Este enfoque no solo es ético, sino de justicia.

La magnitud de los desafíos actuales exige la participación activa de todos los sectores sociales, y en particular, de los centros de generación de conocimiento. En este sentido, la cooperación universitaria se perfila como una estrategia clave para vincular la docencia, la investigación y la acción transformadora.

En este sentido, algunas universidades han comenzado a introducir modelos pedagógicos alternativos que vinculan docencia, investigación y servicio comunitario. Entre ellos, destaca el enfoque de *Aprendizaje-Servicio* (ApS), una estrategia educativa que busca formar

profesionales socialmente comprometidos a través de experiencias prácticas en contextos reales de intervención.

### 3.1. APRENDIZAJE-SERVICIO: EDUCACIÓN TRANSFORMADORA PARA LA ACCIÓN SOCIAL

El Aprendizaje-Servicio se basa en una premisa sencilla pero potente: el conocimiento se consolida mejor cuando se pone en práctica al servicio de una necesidad social real. Esta metodología combina la adquisición de competencias académicas y técnicas con la participación en proyectos que generan impacto positivo en comunidades concretas. Bien es cierto que esta metodología se había venido aplicando desde hace más de 25 años en el curso que se oferta desde el grupo de cooperación ICHaB-ETSAM pero, hasta el momento no se había abierto, más que puntualmente a través de otro PIE (ArCoopera), a estudiantado de distintos niveles e intereses. Sin embargo, esta apertura, en el campo de la arquitectura, la ingeniería y la edificación, y su relación con el ApS permite que estudiantes de distintos cursos se vinculen y entiendan, de primera mano, los problemas reales de vivienda, infraestructura básica, planificación urbana o diseño territorial.

Esto es, en lugar de resolver ejercicios abstractos o ficticios, los estudiantes se enfrentan a desafíos multidimensionales que requieren empatía, pensamiento crítico, creatividad, trabajo colaborativo e innovación adaptativa. Además, este enfoque promueve el contacto directo con organizaciones sociales, entidades públicas y comunidades locales, generando una red de cooperación horizontal y aprendizaje mutuo.

### 3.2. EL CASO DEL PROYECTO RMCC: UNA EXPERIENCIA PILOTO CON VISIÓN GLOBAL

En esta línea, el grupo de cooperación ICHaB-ETSAM de la Universidad Politécnica de Madrid ha impulsado el proyecto RMCC (Resiliencia en contextos de cooperación desde una visión multidisciplinar) como una propuesta de Aprendizaje-Servicio orientada a fortalecer la formación en cooperación internacional para estudiantes de grado y posgrado.

El objetivo del proyecto es doble: por un lado, sensibilizar a los estudiantes sobre los problemas globales de habitabilidad en contextos

vulnerables y, por otro, proporcionarles herramientas prácticas para la intervención efectiva y contextualizada. El proyecto parte de la premisa de que no es posible formar profesionales completos sin una visión crítica de la realidad y sin habilidades para trabajar en contextos de emergencia o desigualdad estructural.

**XXVI curso de posgrado de la Universidad Politécnica de Madrid**

**Cooperación para el Desarrollo de Asentamientos Humanos Precarios**  
Instrumentos de Habitabilidad Básica

- **Titulación:** Título de Experto de la UPM. 15 créditos ECTS.  
 - **Clases:** Online del 16 septiembre al 11 de octubre de 2024, de lunes a viernes por la tarde  
 Presenciales del 14 de octubre al 25 de octubre, intensivo de lunes a viernes (mañana y tarde).  
 Online del 28 octubre al 15 de noviembre, de lunes a viernes por la tarde  
 Trabajo final de curso, entrega el 18 de Mayo de 2025  
 - **Inscripción:** del 1 de abril de 2024 al 1 de septiembre de 2024  
 - **Precio:** 1.950 €. Para matrículas formalizadas antes del 5 de mayo\*: 1.800 €  
 Posibilidad de tercios de beca.  
\*Matriculación antes del 5 de mayo  
 - **Plazas limitadas:** 30 plazas.  
 - **Dirección técnica:** ICHaB-ETSAM | ichab.arquitectura@upm.es | [ichab.es](http://ichab.es)

**Organizan:** Instituto de Cooperación en Habitabilidad Básica (ICHaB-ETSAM), UPM.  
**Colaboran:** AECID, ETSAM, Arquitectura Sin Fronteras, CESAL, Entreculturas, ONGAWA, COPRODELI, Médicos Sin Fronteras, CIAI, OII, Tenachicha, Red Española de Cooperación, Arcosis Alianza por la Solidaridad, Flak, Realidad Toledo, etc.

Figura 5. Cartel del XXVI Curso de expertos de ICHaB-ETSAM

Fuente: ICHaB-ETSAM

RMcC ha sido diseñado como una iniciativa multidisciplinar, en la que participan estudiantes de distintos programas: el Máster en Estrategias y Tecnologías para el Desarrollo (METD), el Máster en Administración y Gestión de Edificios (MAGE), así como alumnos de grado en Arquitectura, Edificación y el doble grado en Edificación-Administración y Dirección de Empresas (ADE). La formación se articula en torno a clases teóricas, seminarios con ONG, talleres participativos y el desarrollo de proyectos aplicados vinculados a necesidades reales detectadas en países como Marruecos, Mozambique, Haití, República Dominicana, Colombia e India.

El trabajo conjunto con organizaciones no gubernamentales permite identificar problemáticas reales y diseñar respuestas contextualizadas. Estas experiencias se orientan a la mejora de la resiliencia urbana y territorial, integrando principios de sostenibilidad, equidad y participación. Los estudiantes trabajan en propuestas habitacionales, planes de urbanización progresiva, diseño de infraestructuras esenciales

o intervenciones comunitarias, siempre desde un enfoque adaptado a los contextos climáticos, sociales y culturales.

Uno de sus logros más importantes es haber demostrado que la formación técnica puede (y debe) ir acompañada de formación en valores, competencias sociales y conciencia global. Los estudiantes no solo adquieren habilidades proyectuales, sino que también desarrollan capacidad de escucha activa, análisis crítico, comunicación intercultural y compromiso ético.

Además, se fomenta la capacidad de trabajo en equipo, en la que alumnado de distintos niveles educativos trabajan conjuntamente y de forma interdisciplinar para la resolución de problemas complejos, con gran flexibilidad y sin soluciones preestablecidas. En contextos de alta incertidumbre y escasez de recursos, como los que se abordan en este proyecto, los futuros profesionales aprenden a tomar decisiones con criterio técnico y sensibilidad social.

De esta forma, se configura una nueva forma de enseñanza: una pedagogía situada, comprometida y transformadora, que prepara a los estudiantes no solo para construir edificios, sino para contribuir a construir sociedades más justas, resilientes y habitables.

### 3.2.1. Objetivos y metodología estratégica del proyecto

El proyecto RMcC responde a cinco objetivos fundamentales, que articulan la lógica de intervención tanto pedagógica como técnica:

1. Sensibilizar a los estudiantes sobre las desigualdades estructurales globales y los desafíos habitacionales vinculados al cambio climático.
2. Proporcionar herramientas profesionales para el análisis, diagnóstico y propuesta de soluciones en contextos de alta vulnerabilidad social, económica y ambiental.
3. Fomentar la cooperación interdisciplinaria, integrando saberes de arquitectura, edificación, ingeniería, gestión y ciencias sociales para una aproximación holística.
4. Involucrar a la comunidad universitaria en proyectos de impacto real, fortaleciendo los lazos entre conocimiento académico y compromiso ciudadano.

5. Promover soluciones resilientes y sostenibles que mejoren las condiciones de vida en comunidades marginadas, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

La metodología del proyecto RMcC se basa en un enfoque mixto que combina formación teórica, trabajo de campo virtual y presencial, aprendizaje experiencial y colaboración institucional. Las principales estrategias desarrolladas son:

- Sesiones formativas impartidas por docentes e investigadores especializados en cooperación, cambio climático, urbanismo, arquitectura social y habitabilidad básica.
- Seminarios con ONG y profesionales del terreno, donde los estudiantes conocen de primera mano las problemáticas específicas de cada territorio de intervención.
- Grupos de trabajo interdisciplinarios, integrados por estudiantes de grado y posgrado, que desarrollan propuestas conjuntas a partir de casos reales planteados por las entidades colaboradoras.
- Desarrollo de proyectos aplicados, orientados a dar respuesta a necesidades concretas en países como Marruecos, Mozambique, Haití, República Dominicana, Colombia e India.
- Evaluación continua, tanto de competencias técnicas como de habilidades transversales, mediante tutorías, informes y presentaciones colectivas.

Esta metodología permite un aprendizaje profundo y situado, en el que el estudiante no solo adquiere conocimiento técnico, sino que, como se ha indicado anteriormente, aprende a adaptarlo a contextos culturales, climáticos y sociales diversos. La cooperación, entendida como diálogo entre saberes, se convierte así en una herramienta formativa de alto valor transformador.

### 3.2.2. Participantes y sinergias institucionales

El proyecto involucra a estudiantes de diversos niveles y titulaciones:

- En el posgrado, participan estudiantes del:

- Máster en Estrategias y Tecnologías para el Desarrollo (METD)
- Máster en Gestión en Edificación (MAGE)
- Curso de Experto en Cooperación en Asentamientos Humanos Precarios
- En el grado, se integran estudiantes de:
  - Grado en Fundamentos de la Arquitectura (ETSAM)
  - Grado en Edificación (ETSEM)
  - Doble grado en Edificación-ADE (ETSEM)

Todos ellos trabajan en colaboración directa con ONG asociadas, que plantean retos específicos basados en demandas reales de comunidades locales. Estas organizaciones no solo actúan como interlocutoras del territorio, sino también como co-formadoras, proporcionando al alumnado una visión aplicada del desarrollo y la cooperación.

La sinergia entre universidad, sociedad civil y territorios de intervención genera un ecosistema de aprendizaje cooperativo, en el que se universaliza el conocimiento y se fortalece la capacidad de respuesta frente a los desafíos globales.

#### 4. ENFOQUE TRANSVERSAL: HABITABILIDAD BÁSICA Y RESILIENCIA CLIMÁTICA

El concepto de Habitabilidad Básica constituye el núcleo estructural del proyecto RMcC y uno de los principales aportes teóricos y prácticos del grupo de cooperación ICHaB-ETSAM. Esta noción se basa en la idea de que todas las personas, independientemente de su lugar de origen o nivel socioeconómico, tienen derecho a vivir en condiciones que garanticen su seguridad, salud, bienestar y dignidad, partiendo de unas condiciones mínimas que le permitan iniciar el tránsito hacia la salida de la pobreza.

A diferencia de modelos arquitectónicos que priorizan la estética o la eficiencia tecnológica, la Habitabilidad Básica pone el énfasis en la funcionalidad social del espacio construido, considerando la vivienda y el asentamiento como instrumentos para la vida digna. Tal como lo expresó Felipe Colavidas, “la habitabilidad básica es aquella que sa-

tisface la necesidad esencial de vivienda que tienen todas las personas” (2020), incluyendo no sólo la unidad habitacional individual, sino también los espacios públicos, las infraestructuras básicas y los servicios colectivos.

Este enfoque propone una visión integral y escalonada de la intervención arquitectónica y urbana, estructurada en cuatro fases: elección del sitio, parcelación, urbanización y edificación. Cada una responde a desafíos técnicos y sociales específicos y se adapta a los condicionantes geográficos, climáticos y culturales del entorno.

#### 4.1. ELECCIÓN DEL SITIO: EL PUNTO DE PARTIDA TERRITORIAL

La primera decisión que condiciona todo el proceso de intervención es la localización. Elegir adecuadamente el emplazamiento de un asentamiento o proyecto urbano es esencial para minimizar riesgos y maximizar oportunidades. En contextos afectados por el cambio climático, la elección del sitio debe tener en cuenta:

- La exposición a amenazas naturales (inundaciones, deslizamientos, terremotos, etc.)
- El acceso a recursos esenciales (agua, suelo fértil, materiales locales)
- La conectividad con infraestructuras existentes (camino, servicios, redes)
- La seguridad jurídica y social del terreno

Esta etapa también implica reconocer y respetar las dinámicas ecológicas del territorio. En lugar de imponer modelos urbanos extractivos, se busca una integración respetuosa con los ecosistemas locales. Desde esta perspectiva, los asentamientos no deben concebirse como meras superposiciones sobre la naturaleza, sino como formas de cohabitación sostenible entre el ser humano y el entorno.

#### 4.2. PARCELACIÓN: ESTRUCTURA ESPACIAL Y RESILIENCIA

Una vez seleccionado el emplazamiento, la parcelación constituye el siguiente paso. Esta fase implica el diseño del trazado urbano, es decir, la distribución y organización de los espacios públicos y privados que conformarán el asentamiento. Es una etapa decisiva para:

- Facilitar la evacuación rápida y segura en caso de desastres naturales
- Garantizar la accesibilidad y circulación interna, tanto de personas como de los recursos necesarios para la vida
- Optimizar la exposición solar, ventilación natural y drenaje pluvial
- Favorecer la cohesión comunitaria y la preservación cultural, mediante el diseño de espacios compartidos
- Integrar y respetar la biodiversidad autóctona en la relación humana-entorno

La parcelación no debe responder a criterios abstractos ni reproducir modelos formales desconectados de la realidad local. Por el contrario, se propone una planificación participativa, que tome en cuenta las prácticas culturales, los modos de vida y las aspiraciones de las comunidades. Asimismo, se deben prever usos flexibles del suelo que permitan adaptaciones progresivas sin romper el equilibrio funcional del asentamiento.

#### 4.3. URBANIZACIÓN: INFRAESTRUCTURA PROGRESIVA Y SOSTENIBLE

La urbanización es la fase en la que se materializa la conectividad física y funcional del asentamiento. Abarca la provisión de servicios básicos como calles, caminos, redes de agua, drenaje, electricidad, saneamiento, zonas verdes y espacios públicos. En contextos de precariedad, esta fase debe desarrollarse con criterios de:

- Progresividad: diseñar soluciones que puedan implementarse en fases según la disponibilidad de recursos.
- Bajo coste y bajo impacto ambiental: utilizar tecnologías apropiadas y materiales locales.
- Resiliencia: asegurar el funcionamiento de la infraestructura ante eventos extremos.
- Mantenimiento comunitario: facilitar la autogestión y el cuidado compartido de los espacios.

Una urbanización adecuada es clave para reducir la vulnerabilidad estructural de las comunidades. Especialmente en zonas propensas a

inundaciones o terremotos, un diseño eficiente puede marcar la diferencia entre la supervivencia y el desastre. Además, los espacios públicos bien concebidos refuerzan el tejido social, promueven el encuentro y previenen la fragmentación urbana.

#### 4.4. EDIFICACIÓN: ARQUITECTURA SITUADA Y ADAPTACIÓN CLIMÁTICA

La edificación representa la última etapa del proceso de habitabilidad básica, centrada en la construcción de viviendas, equipamientos comunitarios y espacios productivos. Aquí es donde convergen los saberes técnicos con las particularidades culturales, climáticas y económicas de cada contexto.

El diseño arquitectónico debe ser:

- Contextual: adaptado a las condiciones ambientales, topográficas y sociales.
- Progresivo: capaz de crecer, transformarse o reutilizarse con el tiempo.
- Apropiado y apropiable: terminología acuñada por J. Salas para indicar que la tecnología ha de ser adecuada al sitio (recursos locales y conocimiento), pero también que la población pueda apropiarse fácilmente de ella.
- Eficiente: optimizando materiales, técnicas y recursos locales.
- Culturalmente apropiado: respetando las formas de habitar de las comunidades.

La edificación no se limita a resolver la función de "alojar". Su objetivo es contribuir al bienestar integral de las personas, permitiendo desarrollar actividades familiares, laborales, educativas y comunitarias. Asimismo, los equipamientos colectivos —como escuelas, centros de salud o espacios de reunión— son elementos fundamentales para la recuperación postdesastre y la construcción de resiliencia.

En este sentido, el diseño arquitectónico en el marco de la habitabilidad básica debe trascender la lógica del objeto individual para integrarse en una estrategia territorial y social, orientada a reducir desigualdades, prevenir vulnerabilidades y potenciar capacidades locales.

## 5. CONCLUSIONES

En un mundo marcado por profundas desigualdades sociales, emergencias climáticas y desplazamientos forzados, la educación superior está llamada a jugar un papel decisivo como motor de transformación. La arquitectura, la edificación y la ingeniería civil no pueden entenderse ya como disciplinas neutras o ajenas a la realidad: su ejercicio profesional tiene un impacto directo sobre la justicia social, la sostenibilidad ambiental y la dignidad humana.

Este texto ha demostrado cómo el proyecto ApS “Resiliencia en contextos de cooperación desde una visión multidisciplinar” (RMCC), impulsado desde la Universidad Politécnica de Madrid, representa una propuesta innovadora y replicable para integrar la formación técnica, el compromiso ético y la acción transformadora en los estudios universitarios. A través de un enfoque de aprendizaje-servicio (ApS) y mediante la colaboración con organizaciones no gubernamentales en distintos países, el proyecto ha permitido a estudiantes de grado y posgrado enfrentarse a desafíos reales de habitabilidad, vulnerabilidad climática y exclusión territorial.

El marco conceptual de la habitabilidad básica, con sus cuatro etapas —elección del sitio, parcelación, urbanización y edificación—, ha permitido articular una metodología de intervención técnica con fuerte componente social. Este enfoque ha facilitado propuestas viables y sostenibles en comunidades de Marruecos, Mozambique, Haití, República Dominicana, Colombia e India, promoviendo no solo soluciones arquitectónicas o urbanas, sino también procesos de empoderamiento comunitario y resiliencia territorial.

Los impactos del proyecto son múltiples:

- En lo académico, ha fortalecido la formación integral del estudiantado, dotándolo de herramientas para actuar en contextos de alta complejidad.
- En lo social, ha contribuido al diseño de soluciones habitacionales y urbanas en territorios donde la exclusión y el cambio climático se entrecruzan.
- En lo institucional, ha potenciado las redes de colaboración entre universidad, ONG y comunidades locales, consolidando un ecosistema de cooperación multidisciplinar.

Todo ello ha permitido avanzar en los objetivos de la Agenda 2030, aportando directamente a metas clave como la erradicación de la pobreza, la acción climática y la construcción de ciudades sostenibles.

Sin embargo, este proyecto también plantea importantes desafíos a futuro. Entre ellos, destacan:

- La necesidad de institucionalizar el enfoque ApS dentro de los planes de estudio de las escuelas técnicas.
- La urgencia de ampliar las alianzas con nuevas organizaciones y universidades internacionales.
- El reto de escalar las propuestas diseñadas en el marco del proyecto hacia políticas públicas de vivienda y urbanismo adaptativo.
- Y, sobre todo, la importancia de seguir formando a profesionales que entiendan que construir un muro o diseñar una calle implica también tomar decisiones sobre quién habita, quién se desplaza y quién tiene derecho a permanecer.

En definitiva, el proyecto RMcC no es solo una experiencia formativa, sino una propuesta de futuro para una universidad comprometida con la equidad global, la sostenibilidad y la justicia espacial. En un contexto de crisis ecosocial sin precedentes, formar profesionales capaces de pensar, sentir y actuar colectivamente se convierte en una urgencia ética. Porque el conocimiento, cuando se pone al servicio de la vida, deja de ser privilegio para convertirse en esperanza.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chang, H.-J. (2004). Retirar la escalera. In *Catarata editores*.
- Colavidas Espinosa, F. (2020). Habitabilidad. *Claves de Razón Práctica*, 272, 22–23. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/569998>
- Córdoba Hernández, R., & Román López, E. (2023). Aprendizaje-Servicio: adquisición de competencias profesionales en urbanismo. In D. García-Escudero & B. Bardí Milà (Eds.), *JIDA: textos de arquitectura docencia e innovación 10* (pp. 90–103). RU Books, Recolectores Urbanos Iniciativa Digital Politècnica. Publicacions Acadèmiques UPC. <https://doi.org/10.5821/ebook-9788410008045>
- FAO, IFAD, UNICEF, W. and W. (2024). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2024*. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO; <https://doi.org/10.4060/cd1254en>

- iDMC. (2025). *2025. Global Report on Internal Displacement (GRID)*.  
<https://www.internal-displacement.org/global-report/grid2025/>
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- PNUD. (2019). *Panorama general. Desigualdades del desarrollo humano en el siglo XXI*. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.  
[http://www.hdr.undp.org/sites/default/files/hdr\\_2019\\_es.pdf](http://www.hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2019_es.pdf)
- Sachs, J. D., Lafortune, G., Fuller, G., & Iablonovski, G. (2025). *Financing Sustainable Development to 2030 and Mid-Century. Sustainable Development Report 2025*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.25546/111909>
- The World Bank. (2022). *Informe sobre el desarrollo mundial 2022* (Vol. 1). <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2022>
- UN-Habitat. (2024). *Proportion of urban population living in slums, informal settlements or inadequate housing*. Urban Indicators Database. <https://data.unhabitat.org/pages/housing-slums-and-informal-settlements>
- United Nations. (2021). *The Sustainable Development Goals Report 2021*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2021/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2021.pdf>
- United Nations Development Programme. (2020). Human development report 2020: the next frontier. In *Human Development Report 2020*. <https://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2020.pdf>
- WWF - World Wildlife Fund. (2025). *Water scarcity: 8 facts you need to know*. Water Scarcity: 8 Facts You Need to Know. <https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>

## PERCEPCIÓN DE LOS JÓVENES SOBRE EL AMBIENTE CONSTRUIDO HOSTIL AL CAMBIO CLIMÁTICO: UN ESTUDIO FOTOVOZ

---

DR. MIGUEL ÁNGEL NAVAS MARTÍN  
*Instituto de Salud Carlos III, España*  
*Universidad Carlos III de Madrid, España*

D<sup>a</sup>. CLARA COUSO  
*Universidad Carlos III de Madrid, España*

DRA. TERESA CUERDO VILCHES  
*Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, España*

### RESUMEN

En un contexto de cambio climático, marcado por el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, es probable que las estructuras existentes se enfrenten a condiciones para las cuales no fueron diseñadas, comprometiendo su funcionalidad y resiliencia. El entorno construido (compuesto por edificaciones, espacios abiertos e infraestructuras) puede presentar una notable incapacidad para afrontar los efectos adversos del cambio climático debido a su diseño, materiales o falta de adaptación, generando lo que se ha denominado una arquitectura hostil frente al cambio climático. Este tipo de arquitectura limita la habitabilidad, especialmente en el espacio público, afectando de manera particular a los jóvenes, quienes son uno de los colectivos más vulnerables a estos cambios y a la vez uno de los grupos más excluidos del diseño urbano.

Este estudio cualitativo empleó la técnica de Fotovoz con 21 estudiantes universitarios, quienes capturaron imágenes que reflejan su percepción del entorno construido en relación con el cambio climático. De un total de 40 fotografías, se seleccionaron y analizaron 11, agrupadas en cuatro categorías: plazas, zonas recreativas, edificios, calles y esplanadas. A través del análisis participativo, los jóvenes identificaron diversas problemáticas vinculadas con la escasez de sombra, el uso de materiales inadecuados y la falta de zonas verdes o azules. Las propuestas de mejora incluyeron soluciones basadas en naturaleza, como techos verdes y jardines verticales, y el uso de materiales más sostenibles. El estudio evidencia el valor del Fotovoz como herramienta educativa y participativa para sensibilizar y empoderar

a la juventud frente a los desafíos del entorno urbano en tiempos de emergencia climática.

## **PALABRAS CLAVE**

*Ambiente construido, investigación cualitativa, arquitectura hostil, photovoice.*

## INTRODUCCIÓN

En el año 2018, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) resaltó la magnitud sin precedentes del desafío que implica limitar el calentamiento a 1,5 °C. Hasta el momento, tanto el ritmo como la magnitud de las medidas tomadas y los planes actuales resultan insuficientes para abordar eficazmente el cambio climático (IPCC, 2023). A nivel regional, el cambio climático se manifiesta como sobrecalentamiento urbano y representa un desafío significativo para la mayoría de las principales ciudades a nivel mundial (Santamouris, 2021). Esto hace, que la investigación sobre el clima urbano se vuelve cada vez más crucial debido al cambio climático y a la actual tendencia de urbanización (Ward et al., 2016). En este contexto, es fundamental adaptar las ciudades y comunidades mediante un diseño urbano sostenible y eficiente en el uso de los espacios, para que puedan resistir mejor las nuevas realidades climáticas y fomentar una convivencia armónica entre los humanos y su entorno construido (Younger et al., 2008). Roof y Oleru describen el entorno construido como el espacio que ha sido diseñado y modificado por el ser humano, en el cual las personas realizan sus actividades diarias, tales como vivir, trabajar y recrearse. Este entorno incluye tanto los edificios como otros espacios que son creados o alterados por nosotros (Roof & Oleru, 2008). La escala del entorno construido incluye desde estructuras individuales, como edificaciones y parques, hasta comunidades más grandes como barrios y ciudades, que a menudo incluyen su propia infraestructura, como sistemas de distribución de agua o redes eléctricas. Este entorno se compone de lugares físicos como edificios, espacios abiertos e infraestructuras, los cuales son configurados y sostenidos por la cultura y las interacciones sociales de quienes los habitan. También abarca el ciberespacio, formado por computadoras, conexiones a Internet y la información que fluye a través de estos medios sistemas (Habash, 2022).

El cambio climático está provocando que los edificios existentes y sus ocupantes se enfrenten a situaciones para las cuales no fueron originalmente concebidos (Barbosa et al., 2016). A nivel del ambiente construido son diversos los factores que intervienen el sobrecalentamiento de los espacios, como son aspectos morfológicos y de

planificación urbana, tales como la estructura de los edificios, la presencia de vegetación, la proyección de sombras, la proporción de superficies impermeables y la presencia de agua superficial, se consideran elementos clave para entender la acumulación de calor en un área urbana (Ahmed et al., 2023). En un contexto de variabilidad climática, ya sea con transformaciones climáticas progresivas o eventos extremos más frecuentes, es probable que las edificaciones existentes se vean comprometidas con condiciones para las cuales no fueron inicialmente concebidas, poniendo en riesgo su funcionalidad (Barbosa et al., 2016).

A lo largo de los años, ciertos diseños urbanos han tenido la intención de marginar a grupos no deseados de ubicaciones específicas. Este tipo de planificación urbana se conoce como “arquitectura hostil”, y abarca características como bancos diseñados para evitar el descanso, estructuras que impiden estar de pie y obstáculos que complican la realización de diversas actividades recreativa (de Fine Licht, 2020). La arquitectura hostil al cambio climático en el entorno construido se puede definir como aquella que engloba edificaciones, espacios abiertos e infraestructuras que, debido a su diseño, construcción o falta de adaptación, presentan una evidente incapacidad para hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, como el aumento de la temperatura global. Esta resistencia o falta de resiliencia subraya la urgente necesidad de rediseñar nuestras ciudades de manera sostenible y adaptable, con el fin de mitigar los impactos del cambio climático y asegurar un futuro habitable y seguro (Navas-Martín & Cuervo-Vilches, 2025).

Uno de los grupos que se ven marginados en el uso del espacio público son los jóvenes. La arquitectura hostil afecta a los jóvenes al limitar su acceso y disfrute del espacio público, generando malestar, exclusión y una desconexión con el entorno. La mercantilización y la falta de espacios acogedores dificultan la socialización y fomentan el individualismo, afectando negativamente su bienestar emocional y su sentido de pertenencia (Payo-De-La-Cuerda et al., 2024). Asimismo, los jóvenes experimentarán los efectos más severos del cambio climático, enfrentando una injusticia intergeneracional significativa. Serán la generación que sufrirá una mayor inseguridad económica y laboral, haciéndolos especialmente vulnerables a eventos climáticos extremos (Barford et al., 2021).

Considerando lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo perciben los jóvenes el entorno construido en relación con el cambio climático? Siendo el objetivo principal de este estudio comprender la percepción de los jóvenes respecto al entorno construido y su relación con el cambio climático.

## METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este estudio cualitativo, se utilizó la técnica de Investigación Acción Participativa (IAP) conocida como Fotovoz, o en su denominación en inglés Photovoice. El Fotovoz se destaca por fomentar la participación y el empoderamiento de individuos marginados. En este enfoque, los miembros de la comunidad capturan imágenes que representan los problemas o temas que les preocupan, y luego participan en discusiones sobre estas imágenes para identificar posibles cambios sociales. A través de un diálogo crítico sobre las deficiencias o problemas identificados, se les brinda incluso la oportunidad de abogar por cambios dentro de sus comunidades. Esta metodología promueve un proceso de aprendizaje colectivo, en el que la imagen actúa como detonante de reflexiones personales y grupales sobre el entorno vivido. No se trata únicamente de identificar carencias o conflictos en el espacio urbano, sino también de reconocer fortalezas, resignificar lugares y proponer alternativas. El proceso incluye fases previas de formación básica en fotografía y ética del uso de imágenes, así como encuentros grupales donde se comparten experiencias, emociones y propuestas. El Fotovoz facilita la expresión de sujetos que, por razones generacionales, sociales o culturales, suelen tener escasa representación en los procesos de planificación urbana. De este modo, se convierte en una herramienta para la justicia espacial, dando visibilidad a percepciones que habitualmente no son consideradas en los diagnósticos técnicos o institucionales. Además, puede culminar en exposiciones públicas o encuentros con responsables políticos, ampliando el alcance transformador del proyecto (Cuerdo Vilches, 2017). La técnica de fotovoz se destaca por su versatilidad y adaptabilidad, lo que permite abordar diversas temáticas y trabajar con diferentes grupos, como estudios sobre el confinamiento con alumnos, pacientes, la población general (Cuerdo-Vilches et al., 2020; Cuerdo-Vilches & Navas-Martín, 2021; Navas-Martín & Cuerdo-Vilches, 2023; Sánchez-Ledesma et al., 2020), o usuarios en la gestión energética de edificios (Cuerdo Vilches, 2017).

Los participantes del estudio fueron estudiantes de primer año del doble grado en Derecho y Ciencias Políticas de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M). En total, 21 jóvenes (13 chicas y 8 chicos), distribuidos en cuatro grupos de trabajo. Para llevar a cabo la actividad, en una primera sesión se explicó en qué consistía la investigación, destacando que es el entorno construido hostil al cambio climático. Para ello, se les solicitó a los alumnos y a las alumnas que realizaran dos fotografías. Estas imágenes debían definir el espacio que, por su diseño, construcción o por falta de adaptación, muestra una incapacidad para manejar los efectos adversos del cambio climático. Además, se les pidió que respondieran cuatro preguntas sobre cada una de esas imágenes, basadas en las recomendaciones SHOWED (Cuerdo Vilches, 2017):

- Describe lo que para ti muestra esta fotografía
- ¿Por qué has escogido este escenario, este momento, este lugar, en concreto?
- ¿Por qué crees que ocurre lo que expresa la fotografía?
- ¿Cómo crees que se podría y/o podríamos resolver esta situación?

Para ello, se les facilitó una ficha (Figura 1) para que pudieran rellenar las respuestas de cada imagen. Asimismo, se les facilitó un consentimiento informado para aceptar su participación en el estudio y también se les informó de la protección de los datos.

<b>PREGUNTAS SOBRE LA FOTOGRAFÍA</b>	
P1: Describe lo que para ti muestra esta fotografía	
P2: ¿Por qué has escogido este escenario, este momento, este lugar, en concreto?	
P3: ¿Por qué crees que ocurre lo que expresa la fotografía?	
P4: ¿Cómo crees que se podría y/o podríamos resolver esta situación?	

Figura 1: Ficha con respuesta para la contextualización de la imagen realizada (Fuente: Elaboración propia)

En una segunda sesión, se pidió a cada uno de los estudiantes que explicara al resto del grupo el motivo y la intencionalidad detrás de cada una de sus fotografías. A continuación, se facilitaron a cada grupo de trabajo fichas con todas las imágenes, las cuales estaban codificadas de forma numérica y acompañadas de todas las respuestas. Posteriormente, se les pidió a cada grupo que seleccionara las

imágenes más relevantes y que realizaran una propuesta de categorización para su análisis de contenido. Finalmente, en una tercera sesión, se mostraron la selección y propuesta de categorización de cada grupo. Se seleccionaron las imágenes que mostraron mayor coincidencia con respecto a las demás imágenes elegidas por el resto del grupo. Además, se reagruparon algunas categorías. Se llegó a un consenso para seleccionar las imágenes finales y las categorías. Por último, en función de los resultados, se identificaron los problemas asociados a la arquitectura hostil al cambio climático y cada grupo trabajó en propuestas de mejoras.

Para el análisis de contenido, se facilitaron las fichas con todas las imágenes y respuestas. Además, las imágenes se compartieron en una carpeta de Google Drive.

## RESULTADOS

Se recogieron 40 imágenes (figura 2), de las cuales se seleccionaron 11 que fueron clasificadas en cuatro categorías (tabla 1): plazas y zonas recreativas, edificios, calles y esplanadas.



Figura 2: Selección de imágenes con su código (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 1: Categorización de las imágenes

CATEGORÍA	CÓDIGO IMÁGENES
<b>Plaza y zonas recreativas</b>	3,4,5,6,13,17,28 30
<b>Edificio</b>	27
<b>Calle</b>	25
<b>Esplanada</b>	18

Finalmente, los propios alumnos identificaron los problemas asociados al entorno construido y la limitación de las soluciones arquitectónicas ante el cambio climático, proponiendo varias ideas para mejorar la situación (tabla 2).

Tabla 2: Identificación de la problemática y sus propuestas de mejoras

PROBLEMÁTICA	PROPUESTA DE MEJORA
<b>Elementos de sombra</b>	Uso de plantas y árboles como elementos de sombras Uso de telares (por ejemplo, en las plazas de aparcamiento) Uso de techos artificiales con cubierta vegetal
<b>Zonas verdes y azules</b>	Plantación de árboles Uso de techos verdes y jardines verticales Uso de fuentes de agua Uso de lagos o lagunas
<b>Materiales inapropiados</b>	Uso de materiales más amigable y menos contaminantes. Reducción del uso de materiales como hormigón o el ladrillo. Sustitución de materiales metálicos en zonas recreativas (toboganes)

## DISCUSIÓN

Los jóvenes expresaron su preocupación por las plazas y zonas recreativas, identificando a través de las imágenes y las respuestas narrativas la falta de coberturas naturales o artificiales. También notaron la inadecuación de los materiales, lo que restringe el uso de estos

espacios públicos durante episodios de temperaturas extremas. En cuanto a nivel de edificio, destacaron preocupaciones relacionadas con un diseño ineficiente. Respecto a la escala de calle, observaron una falta generalizada de sombra. Finalmente, en el contexto a nivel de esplanada, señalaron la necesidad de infraestructuras que protejan contra las condiciones climáticas adversas.

Las propuestas de mejora planteadas por los jóvenes en el estudio se engloban en tres grupos: elementos de sombra, zonas verdes y azules, y materiales inapropiados. Sugieren aumentar los elementos de sombra mediante el uso de plantas, árboles y estructuras como telares y techos verdes, especialmente en áreas como plazas de aparcamiento, donde estas intervenciones pueden reducir significativamente el calor. Adicionalmente, la creación de zonas verdes y azules, que incluye la plantación de más árboles y la instalación de jardines verticales y techos verdes, junto con la incorporación de fuentes de agua y pequeños cuerpos de agua, puede mejorar el microclima urbano y ofrecer espacios de descanso y recreación más agradables. Por último, se propone un cambio en los materiales de construcción hacia opciones menos contaminantes y más sostenibles, como la reducción del uso de hormigón y ladrillo, y la sustitución de materiales metálicos en áreas recreativas, que no solo son más ecológicos, sino que también mejoran la seguridad y confort en las zonas urbanas.

El Fotovoz es una técnica de investigación cualitativa que puede ser utilizada como herramienta educativa. No solo facilita el aprendizaje, sino que también fomenta el interés emocional y favorece el empoderamiento de los estudiantes. Además, esta técnica es relevante frente al problema crecientemente del cambio climático. El Fotovoz puede servir como catalizador de conciencia ecológica, ya que el acto de fotografiar y reflexionar sobre los paisajes urbanos o naturales deteriorados provoca una respuesta emocional significativa que activa el deseo de cambio. Además, el uso del Fotovoz en entornos educativos fomenta una pedagogía transformadora, donde los estudiantes no son receptores pasivos de información, sino agentes activos en la producción de conocimiento y en la formulación de propuestas de adaptación climática. Esta experiencia participativa contribuye al desarrollo de competencias para la ciudadanía ambiental crítica y comprometida (Lam & Trott, 2022). El uso de imágenes puede ser

efectivo para modificar la percepción de los problemas relacionados con el clima e incentivar la participación en iniciativas de acción climática. A través de la etnografía visual, un estudio realizado en Alemania utilizó un repositorio de imágenes visuales para capturar el estrés térmico urbano en ciudades alemanas, examinando la eficacia de la fotografía documental como herramienta de comunicación visual confiable. El estudio revela que las fotografías pueden influir significativamente en las percepciones de los actores urbanos respecto a los riesgos y las adaptaciones necesarias frente al cambio climático. En concreto, las imágenes ayudaron a visualizar cómo se experimenta el calor en distintas zonas de la ciudad, desde áreas con abundante vegetación hasta entornos completamente asfaltados. Esta evidencia visual facilitó la comprensión de las desigualdades térmicas existentes y ofreció un lenguaje accesible para dialogar sobre soluciones basadas en la naturaleza, infraestructuras verdes y planificación urbana sensible al clima. Además, la investigación mostró que las imágenes pueden ser utilizadas no solo para documentar, sino también como herramientas propositivas que orientan las decisiones urbanas. La inclusión de actores locales en el proceso de recolección y análisis de imágenes fortaleció el compromiso comunitario y la legitimidad de las propuestas, demostrando que la comunicación visual puede ser un puente entre la evidencia técnica y la acción ciudadana (Bhadsavle, 2023).

En otro estudio llevado a cabo en Irán, el uso de imágenes facilitó el análisis de la importancia de los espacios urbanos reconfigurados y expuso las dinámicas de poder y control presentes en los procesos de redesarrollo. Este estudio resalta la utilidad del Fotovoz como herramienta para comprender y describir interpretativamente los cambios urbanos, identificando tanto los recursos tangibles como intangibles que juegan un papel en la transformación de los espacios urbanos. En concreto, mostró cómo el Fotovoz permitió a residentes y comerciantes documentar fotográficamente su entorno y, a través de entrevistas posteriores, revelar significados personales asociados tanto a los espacios como a los objetos que los rodean. Este enfoque visual-narrativo permitió identificar procesos de transformación urbana que, de otro modo, quedarían invisibilizados. Por ejemplo, un tendero redescubrió el valor patrimonial de una antigua balanza gracias a la mirada

de los visitantes, mientras que varios residentes manifestaron un profundo malestar al describir su barrio como “un sitio de construcción permanente”, debido a la constante actividad de redesarrollo. La metodología utilizada permitió exponer dinámicas de poder y relaciones de confianza o conflicto entre vecinos, desarrolladores y autoridades locales. Un caso especialmente revelador fue el de un residente que fotografió lo que consideraba una mala praxis constructiva, desafiando así al desarrollador y generando una forma de resistencia visual frente a los abusos. Esta capacidad del Fotovoz para otorgar agencia a los participantes y visibilizar tensiones estructurales convierte esta técnica en una herramienta poderosa no solo para la evaluación del impacto urbano, sino también para captar el sentido de lugar, el apego emocional y las memorias colectivas en contextos de transformación forzada (Erfani, 2021).

Con respecto a la arquitectura hostil no solo altera la estructura física de los espacios, sino que también restringe la presencia de jóvenes en áreas públicas. Esta limitación fomenta un aumento en el consumo en locales comerciales privados como alternativa para mantenerse en espacios públicos. En Estados Unidos y Gran Bretaña, el concepto de "espacio público" está diseñado primordialmente para adultos, buscando evitar que los jóvenes, en particular los adolescentes, pasen tiempo en las calles. Los adolescentes son percibidos frecuentemente como una amenaza al orden establecido en estos espacios. Los adultos (especialmente los de clase media) tienden a ver la presencia juvenil como ruidosa, disruptiva o incluso peligrosa, lo que genera respuestas institucionales como vigilancia reforzada, implementación de toques de queda y requisitos de acompañamiento en centros comerciales. Estas medidas no solo marginan a los jóvenes de origen urbano y condiciones socioeconómicas bajas, sino que también refuerzan su desplazamiento hacia espacios de consumo como los *malls* (centros comerciales que son grandes complejos o edificios que agrupan múltiples tiendas, servicios y espacios de entretenimiento en un solo lugar. Están diseñados para ofrecer una experiencia de compra, ocio y esparcimiento en un entorno cómodo y generalmente cerrado), donde al menos pueden ejercer cierto grado de autonomía, interacción social y sensación de seguridad. Así, el consumo deja de ser una simple elección individual y se transforma en una necesidad impuesta por la exclusión sistemática del espacio público tradicional.

En este contexto, el centro comercial opera como un sustituto funcional del espacio público, no solo porque permite la sociabilidad juvenil, sino porque se percibe como un entorno más seguro y menos estigmatizante. La aparente libertad que ofrecen estos espacios encubre, sin embargo, una forma de control social que condiciona las prácticas de los jóvenes a lógicas comerciales y de vigilancia privada, reproduciendo desigualdades sociales y espaciales bajo una apariencia de normalidad (Vanderbeck & Johnson James H., 2000).

Tras la desindustrialización, las ciudades han redirigido su enfoque hacia el consumo como medio para revitalizar los centros urbanos y fortalecer las economías locales, a través de estrategias como la creación de áreas comerciales. Sin embargo, esta intensificación de la comercialización frecuentemente resulta en desigualdad social y exclusión, dado que ciertos grupos pueden sentirse marginados en estos espacios. Las políticas urbanas centradas en el consumo tienden a favorecer a determinados perfiles de usuarios, como turistas o consumidores de alto poder adquisitivo, dejando al margen a quienes no responden a esos estándares. Jóvenes, personas sin hogar o colectivos racializados suelen ser percibidos como elementos incómodos o no deseados, especialmente si no participan activamente del consumo. Esta exclusión no siempre se manifiesta mediante barreras físicas, sino a través de normas sociales implícitas que determinan comportamientos considerados aceptables. La vigilancia, el mobiliario urbano disuasorio y la propia configuración del espacio refuerzan estas dinámicas. Aunque algunos espacios públicos puedan parecer abiertos y accesibles para todos, en la práctica se fragmentan en microterritorios donde diferentes grupos conviven sin apenas interactuar. Así, la diversidad es tolerada de forma superficial, pero restringida en la práctica por mecanismos sutiles de diferenciación, control social y apropiación simbólica del espacio (Aalst & Brands, 2021).

Considerando que los jóvenes serán la generación que vivirá las peores consecuencias de los efectos del cambio climático en comparación con generaciones anteriores, resulta imprescindible analizar no solo su vulnerabilidad, sino también su papel en la transformación de los entornos urbanos. El cambio climático, lejos de ser una amenaza abstracta, impacta directamente en aspectos vitales de la juventud como el acceso a la educación, el empleo digno, la salud mental y las posibilidades de migración forzada. Esta generación se enfrenta a un

doble desafío. Por un lado, dispone de menos recursos económicos y redes de apoyo para adaptarse a eventos extremos como sequías o inundaciones. Por otro, deberá convivir durante más tiempo con los efectos acumulativos del calentamiento global. Además, las desigualdades estructurales intensifican su exposición al riesgo, especialmente en contextos donde el espacio público ya está limitado o segmentado por criterios de consumo y control social. Así, los jóvenes se ven excluidos de ciertos espacios urbanos a través de normas implícitas o prácticas de arquitectura hostil, lo que agrava su desconexión con la ciudad y su sensación de inseguridad. A pesar de ello, muchas personas jóvenes muestran una fuerte capacidad de movilización, creatividad y resiliencia, ofreciendo soluciones innovadoras, saberes locales y formas de participación política orientadas al cambio. No obstante, estas contribuciones siguen estando subvaloradas o instrumentalizadas, por lo que urge garantizar una implicación real, justa y sostenida de la juventud en las decisiones sobre el futuro climático y urbano que les afectará de manera directa y prolongada (Barford et al., 2021).

Por ello, los espacios urbanos mal adaptados repercuten directamente en los jóvenes, quienes enfrentan restricciones en el uso de espacios públicos y sufren las consecuencias de diseños urbanos que limitan su utilización en el entorno o el ambiente construido. Esta situación se ve agravada por prácticas urbanísticas que priorizan la seguridad, la vigilancia, el control o el consumo por encima de la accesibilidad y el bienestar juvenil. La falta de zonas verdes seguras, de mobiliario urbano inclusivo o de espacios de encuentro no mercantilizados reduce sus oportunidades de socialización, recreación, participación cívica y expresión cultural. Además, en un contexto de crisis climática, estos entornos mal diseñados no solo excluyen, sino que también agravan su exposición al calor extremo, la contaminación o los fenómenos meteorológicos intensos. Como generación que vivirá más tiempo con los efectos del cambio climático, los jóvenes requieren entornos urbanos resilientes y equitativos que fomenten su protagonismo y bienestar.

Un estudio llevado a cabo en Austria, utilizando la técnica de Foto-voz para examinar el entorno construido, destacó la calidad deficiente de los espacios abiertos, la limitada interacción social y una sensación general de desolación en estos lugares. Esto se atribuye a un

diseño urbano que no promueve la pertenencia ni incentiva la permanencia en el espacio. Además, las difíciles condiciones climáticas, como vientos fuertes, agravan la experiencia negativa en estos espacios urbanos. El estudio subraya la importancia de una planificación y diseño urbano cuidadosos que propicien interacciones sociales positivas y mejoren la calidad de vida en los entornos urbanos modernos. A ello se suma que, según las percepciones recogidas por los jóvenes participantes, muchos de estos espacios carecen de identidad y carácter, lo que contribuye a una desconexión emocional con su entorno inmediato. La falta de refugios climáticos adecuados, zonas de descanso o espacios pensados para el encuentro intergeneracional refuerza la idea de que no han sido concebidos para su uso cotidiano, sino como áreas de paso o contención. Este tipo de planificación fragmentada, que ignora las necesidades reales de sus habitantes, contribuye a reproducir formas de exclusión y aislamiento, especialmente entre colectivos como la juventud. En consecuencia, repensar el diseño urbano desde una perspectiva inclusiva y climáticamente sensible no solo resulta urgente, sino imprescindible para garantizar la cohesión social, el bienestar emocional y la sostenibilidad de las ciudades contemporáneas (Guinand et al., 2021).

## CONCLUSIONES

El estudio destaca la percepción de los jóvenes acerca de las deficiencias del entorno construido frente al cambio climático. La carencia de sombra y cobertura en espacios públicos como plazas y parques recreativos, junto con el uso de materiales inadecuados que restringen su utilidad en condiciones extremas, son áreas de preocupación crítica. Las propuestas de mejora se centran en incrementar los elementos de sombra, integrar más zonas verdes y azules, y adoptar materiales más sostenibles. Este enfoque no solo puede mejorar la calidad ambiental, sino también concienciar y empoderar a los jóvenes sobre el impacto del calentamiento global en el entorno construido. Además, los hallazgos revelan cómo la falta de espacios resilientes al clima en el entorno urbano refuerza desigualdades estructurales que afectan desproporcionadamente a la juventud. La ausencia de mobiliario urbano inclusivo, la baja calidad ambiental y la imposibilidad de permanencia prolongada en espacios abiertos intensifican la desconexión emocional de los jóvenes con su entorno. Este distanciamiento no solo limita su bienestar y participación social, sino que

también obstaculiza su implicación activa en procesos de transformación urbana. Incorporar sus percepciones en el diseño urbano, por tanto, no es solo una cuestión de justicia intergeneracional, sino también de eficacia adaptativa frente al cambio climático.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al grupo de estudiantes de primer curso del doble grado en Derecho y Ciencias Políticas de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) por su valiosa participación en este estudio. Su compromiso, creatividad y mirada crítica han sido fundamentales para el desarrollo del proyecto y para visibilizar los retos del entorno construido frente al cambio climático. Esta experiencia no solo ha contribuido al avance del conocimiento académico, sino que también ha formado parte de su proceso formativo, fomentando la reflexión colectiva, la conciencia ambiental y el sentido de corresponsabilidad ante los desafíos urbanos actuales. A través de sus imágenes y propuestas, han demostrado el poder transformador de la participación juvenil en la construcción de ciudades más justas, sostenibles y resilientes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AALST, I. VAN, & BRANDS, J. (2021). Young people: being apart, together in an urban park. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 14(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/17549175.2020.1737181>
- AHMED, I., VAN ESCH, M., & VAN DER HOEVEN, F. (2023). Heatwave vulnerability across different spatial scales: Insights from the Dutch built environment. *Urban Climate*, 51, 101614. <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2023.101614>
- BARBOSA, R., VICENTE, R., & SANTOS, R. (2016). Comfort and buildings: climate change vulnerability and strategies. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 8(5), 670–688. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-05-2015-0058>

- BARFORD, A., MUGEERE, A., PROEFKE, R., & STOCKING, B. (2021). *Young people and climate change*.
- BHADSAVLE, M. M. (2023). *Climate change communication for enhanced urban resilience: communicating urban heat stress through visual narratives*.
- CUERDO VILCHES, M. (2017). *User participation in energy management of buildings: Application of Photovoice method in workplaces (spanish)*. University of Seville (Spain).
- CUERDO-VILCHES, T., & NAVAS-MARTÍN, M. Á. (2021). Confined Students: A Visual-Emotional Analysis of Study and Rest Spaces in the Homes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 5506. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115506>
- CUERDO-VILCHES, T., NAVAS-MARTÍN, M. Á., & NAVAS-MARTÍN, M. (2020). Estudio [COVID-HAB-PAC]: un enfoque cualitativo sobre el confinamiento social (COVID-19), vivienda y habitabilidad en pacientes crónicos y su entorno. *Paraninfo Digital*, e32075o–e32075o.
- DE FINE LICHT, K. (2020). “ Hostile architecture” and its confederates: A conceptual framework for how we should perceive our cities and the objects in them. *Canadian Journal of Urban Research*, 29(2), 1–17.
- ERFANI, G. (2021). Visualising urban redevelopment: Photovoice as a narrative research method for investigating redevelopment processes and outcomes. *Geoforum*, 126, 80–90.
- GUINAND, S., ROJO, A. M., & SCHERNER, M. (2021). Exploring lived space of new build urban environment through photovoice interview. The case of Donau City in Vienna. *Cidades. Comunidades e Territórios*, 43.
- HABASH, R. (2022). 9—Urbanization as an intelligent system. *Sustainability and Health in Intelligent Buildings*, 239–257.
- IPCC. (2023). *La acción climática urgente puede garantizar un futuro habitable para todos*. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/press/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_PressRelease\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/press/IPCC_AR6_SYR_PressRelease_es.pdf)
- LAM, S., & TROTT, C. D. (2022). Children’s climate change meaning-making through photovoice: Empowering children to learn, care, and act through participatory process. *Educação, Sociedade & Culturas*, 62(July), 1–25.

- NAVAS-MARTÍN, M. Á., & CUERDO-VILCHES, T. (2023). A Visual–Emotional Analysis of Perception in the Homes of Chronic Patients during Confinement by COVID-19 in Spain. *Architecture 2023, Vol. 3, Pages 107-127*, 3(1), 107–127. <https://doi.org/10.3390/ARCHITECTURE3010008>
- NAVAS-MARTÍN, M. Á., & CUERDO-VILCHES, T. (2025). El ambiente construido hostil al cambio climático. In María Luisa Gómez Jiménez (Ed.), *Vivienda y cambio climático. Desafíos regulatorios* (pp. 151–164). Tirant Lo Blanch.
- PAYO-DE-LA-CUERDA, B., CUERDO-VILCHES, T., & NAVAS-MARTÍN, M. Á. (2024). Arquitectura hostil y privación del espacio público juvenil en Madrid: estudio cualitativo con Photovoice. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 27(1). <https://doi.org/10.14718/RevArq.2025.27.5871>
- ROOF, K., & OLERU, N. (2008). Public health: Seattle and King County’s push for the built environment. *Journal of Environmental Health*, 71(1), 24–27.
- SÁNCHEZ-LEDESMA, E., VÁSQUEZ-VERA, H., SAGARRA, N., PERALTA, A., PORTHÉ, V., & DíEZ, È. (2020). Perceived pathways between tourism gentrification and health: A participatory Photovoice study in the Gòtic neighborhood in Barcelona. *Social Science and Medicine*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2020.113095>
- SANTAMOURIS, M. (2021). Present and Future Challenges and Opportunities in the Built Environment. *PoliTO Springer Series*, 111–116. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-59328-5\\_5/COVER](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59328-5_5/COVER)
- VANDERBECK, R. M., & JOHNSON JAMES H., JR. (2000). That’s the only place where you can hang out: Urban young people and the space of the mall. *Urban Geography*, 21(1), 5–25. <https://doi.org/10.2747/0272-3638.21.1.5>
- WARD, K., LAUF, S., KLEINSCHMIT, B., & ENDLICHER, W. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of The Total Environment*, 569–570, 527–539. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.06.119>
- YOUNGER, M., MORROW-ALMEIDA, H. R., VINDIGNI, S. M., & DANNENBERG, A. L. (2008). The built environment, climate change, and health: opportunities for co-benefits. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(5), 517–526.

## ASSESSMENT AND ANALYSIS OF VISUAL TECHNIQUES FOR DOCUMENTING AND SAFEGUARDING CULTURAL HERITAGE: PHOTOGRAMMETRY<sup>1</sup>

---

DRA. M<sup>a</sup> PAZ SÁEZ-PÉREZ  
*Universidad de Granada, España*

M.SC. DIANELYS CORDOVÉS DE LA TORRE  
*Universidad de Granada, España*

### RESUMEN

The safeguarding of cultural heritage requires the concerted effort of all disciplines that converge upon it. The loss of assets, whether due to natural causes or armed conflicts, has contrasted with the pressing need to document all existing information as a historical repository in constant evolution. The proposed work focuses on graphic techniques for data acquisition and virtual reconstruction capable of forming these holistic records, specifically photogrammetry, whose positive evolution is evidenced by the review of various research studies. Additionally, the statistical analysis of the main scientific trends in this field corroborates the significant interest dedicated by researchers to its improvement, and although currently, its precise application has some limitations, the effectiveness it has been achieving has been demonstrated during the course of this work. Particularly noteworthy are the investigations carried out in countries and regions with the most sites included on the UNESCO World Heritage List during the last decade.

### PALABRAS CLAVE

---

<sup>1</sup> This work was supported by the Project granted by the Research Projects Program, Research and Transfer Plan of the University of Granada (PP2022.PP.27) with the collaboration of WARMEST Project (RISE) H2020-MSCA-RISE-2017, RRRMaker project Marie Skłodowska-Curie Research and Innovation Staff Exchange, Scientific Unit of excellence "Ciencia en la Alhambra", ref. UCE-PP2018-01 (University of Granada). The research was carried out under the auspices of Research Group RNM 0179 of the Junta de Andalucía and Master CITPA.

*Cultural Heritage, Conservation, Photogrammetry, Heritage Virtualization, Technologies.*

## INTRODUCCIÓN

Preserving cultural heritage, crucial for transmitting a society's identity to future generations, faces significant challenges due to threats such as climate change and armed conflicts. Given the inadequacy of non-metric documentation (photographs, descriptive texts) (Monzón Gasca, 2016) for effective conservation, the Venice Charter (Carta de Venecia, 1964) underscores the importance of adopting modern techniques when traditional ones are insufficient. The digitization of heritage, especially metric documentation, has become an essential ally for conservation and restoration, providing precise and detailed records of cultural assets and their interventions.

Photogrammetry, one of the earliest digitization techniques applied in heritage conservation since 1980 (Zvirblis, 1980), has played a vital role in compiling detailed information for restoration and conservation. Its evolution has progressed from creating digital inventories to its use in archaeology and as a complement to technologies like virtual reality. Initially focused on creating simple virtual museums, photogrammetry has advanced towards the comprehensive virtualization of heritage, facilitating access and interaction with cultural assets from anywhere in the world, overcoming the limitations of previous platforms.

This research aims to critically review the application and evolution of photogrammetry in the documentation and conservation of heritage, evaluating its effectiveness and impact. The objective is to analyze scientific production in the field, identify key trends and primary actors through a methodological approach that combines qualitative and quantitative analysis. Thus, it is expected to offer a comprehensive insight into how photogrammetry has transformed the preservation and dissemination of cultural heritage, highlighting its importance and necessity in the effective conservation of cultural assets.

### 1. RESEARCH STUDY

In the field of monument conservation and restoration, the digital era has brought about a significant change (Sáez Vacas, 1997), particularly through photogrammetry. This technique has emerged as an essential method, facilitating the creation of photorealistic 3D models that enable precise and detailed recording of cultural assets (Allen et

al., 2003). Its impact extends beyond mere physical preservation, positively influencing cultural, educational, and economic aspects. Photogrammetry is not only indispensable for the physical preservation of heritage but also for its virtual enjoyment and access, ensuring the transmission of its legacy to future generations.

This study, which analyzes academic documents from databases such as Elsevier and Research Gate, highlights the growing research activity in cultural heritage conservation with a focus on photogrammetry. By definition, photogrammetry is a technique whose aim is to study and accurately define the shape, dimensions, and spatial position of any object, essentially using measurements taken from one or more photographs of that object.

In relation to the study conducted, Figure 1 presents the forty-four documents classified in different years that were published and focus their content on the study of photogrammetry and its applications. Most of the works focus on solving problems and improving methodologies for effective interventions in heritage, reflecting a marked increase in recent publications. This increase demonstrates a growing interest in the application of modern methods for heritage conservation, supported by international documents such as the Venice Charter and the Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage.

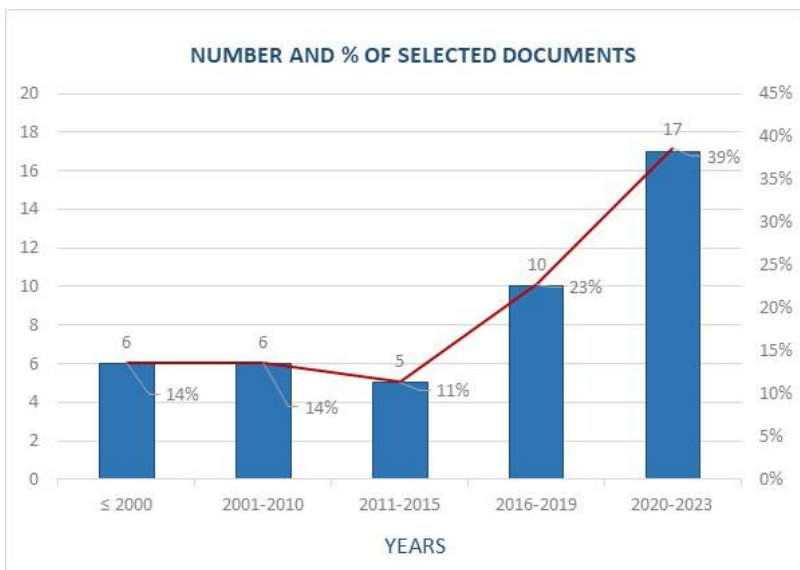


Figure 1: Number and percentage of documents selected per year from the total analysed.

Photogrammetry is based on triangulation, which involves measuring the position of points of interest in photographs from two or more different points of view. The position of the points is determined by measuring the differences in perspective between the photographs, allowing for the creation of accurate 3D models and orthophotos. Orthophotos are aerial or ground images that have been corrected to remove perspective distortions and tilt, so that the resulting image has a uniform scale and can be used for measurements, primarily in highly complex architectures (Figure 2), such as the dome of Hagia Sophia. For its development, CosmoPlayer was used, a Virtual Reality Modeling Language viewer that allows users to visualize and explore 3D models generated from photographs and other data (Dorffner et al., 2000).

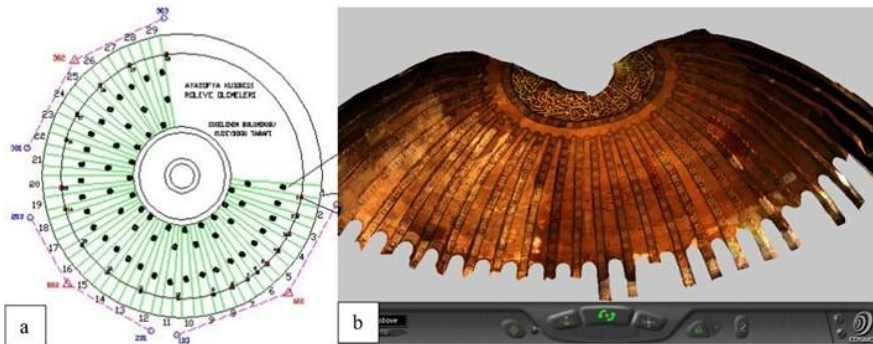


Figure 2: a) Points measured on the meridian arches; b) Photogrammetric model with the VRML viewer CosmoPlayer (Dorffner et al., 2000).

Digital close-range photogrammetry, used in the documentation of historical buildings, allows for obtaining precise and detailed measurements, analyzing deformations, and contributing to restoration, although its accuracy depends on factors such as image clarity, sufficiency of reference points, and lighting. Although traditionally a time and resource-intensive process, photogrammetry is invaluable for measuring areas that are difficult or dangerous to access, ensuring accuracy and safety, and facilitating collaboration in conservation through its capacity to store and share data digitally (Georgopoulos & Ioannidis, 2004; Hassani, 2015)9.

In photogrammetry, techniques such as stereoplotting and monoscopic photogrammetry stand out for their ability to create accurate and detailed 3D models. Stereoplotting, which combines two stereoscopic images from different angles, is extensively used in cartography and topography, effectively mapping shapes and structures in three dimensions (Kölbl et al., 2000; Mistry, 2018). Monoscopic photogrammetry, on the other hand, is crucial for data collection in hard-to-reach areas, although it requires high-quality images and clear differentiation of elements (Ortiz et al., 1980). These techniques enable systematic and non-invasive studies of cultural objects and complement geodetic methods and the use of laser scanners and georeferenced information systems, facilitating the digitization of art and detailed documentation of deformations and deterioration, as well as the creation of realistic models through processing in specialized software (Manea & Alexandru, 2012; Robson et al., 2004).

Until the first decade of the 21st century, photogrammetry faced significant challenges, such as the extensive time required to process point clouds and the high cost of specialized tools and software, in addition to requiring a multidisciplinary approach (Manea & Alexandru, 2012). To overcome these limitations, the use of high-resolution and cost-effective cameras in fixed stereo configurations was explored, with accessories designed to facilitate the precise and straightforward capture of photographs, a common practice in archaeological surveys, aiming to make the technique more accessible and less dependent on technical specialists or expensive equipment (Manea & Alexandru, 2012).

Photogrammetry has expanded its application beyond geometric analysis to include radiometric study, especially relevant in urban-architectural heritage research. This technique is used in the analysis of "flatland" surfaces, where topographic variations are minimal. By creating interactive 2.5D relief maps, it facilitates topographic study under specific lighting conditions, such as specular enhancement (Figure 3), improving the perception of details on the surface (Malzbender et al., 2001). This approach, supported by rendering software that exploits the reflectance property of materials, offers an effective solution for interpreting reliefs not only in terrains but also in artifacts and fossils, significantly enhancing the interpretation of surfaces through images (Fernández, 2013).

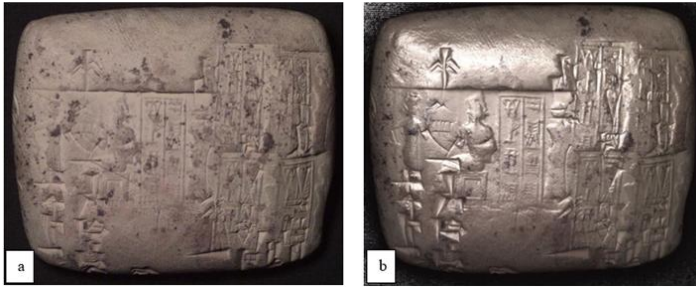


Figure 3: Methodology of specular enhancement applied to a 4,000-year-old Neo-Sumerian tablet: a) original photograph; b) result of applying pixel-wise specular lighting to the reconstructed model in polynomial texture mapping (Malzbender et al., 2001).

Traditionally, orthophotos for archaeological surveys and large-area mapping were conducted using telescopic poles, which resulted in errors and extensive post-production time due to oblique perspective. However, the development of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) has revolutionised this practice, merging with photogrammetry to enable precise and organised vertical captures, resulting in parallel and sharp orthophotos that significantly reduce processing time. UAVs, by improving efficiency and effectiveness in collecting topographic data and creating 3D models, even surpass laser scanners in accessibility and coverage, especially useful in areas affected by natural disasters or inaccessible terrain. Figure 4 depicts orthophotos obtained from two photogrammetric survey techniques at an archaeological site: oblique photos taken from a telescopic mast and nadiral orthophotos via UAV (Gagliolo et al., n.d.; Mozas-Calvache et al., 2012).



Figure 4: Orthophotos obtained from two photogrammetric survey techniques: a) network of oblique photos taken from a telescopic mast and utilizing an elevation model from TLS; b) vertical orthophotos using UAV. (Mozas-Calvache et al., 2012)

The case of ultrashort-range photogrammetry is primarily used for systematic monitoring of morphological variations in material restoration processes, referring to cleaning interventions, both physical and chemical, and the application of consolidating products, as well as the evolution of structural anomalies such as cracks or deformations (see Figure 5). To record this type of detail, macro lens cameras capable of achieving sharp captures on small surfaces are needed for the creation of the 3D model, where the relief of these surfaces is evident under specific lighting conditions. This is essential for assessing damages to buildings and prioritizing elements for intervention, as well as preventive interventions, which significantly improve upon manual mapping, which is not only slow in its development but also tends to be quite subjective to the researcher's knowledge and interpretations (Muoz-Pandiella et al., 2017).

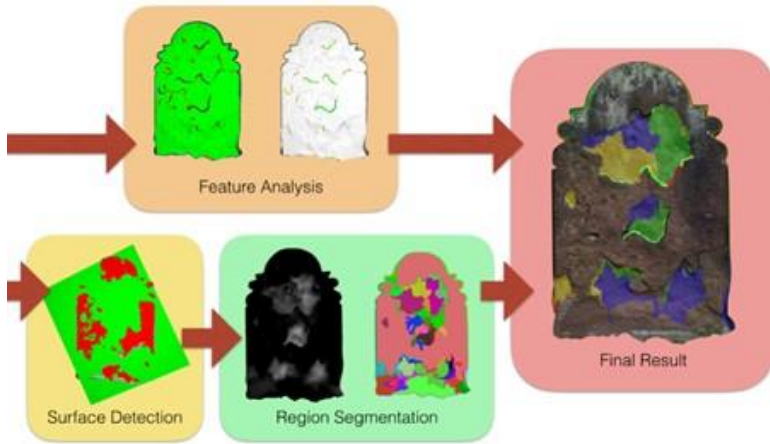


Figure 5: Working process outlined by (Muñoz-Pandiella et al., 2017) for mapping weathering damage on surfaces of various elements composed of stone material through photogrammetry.

Spherical panoramic photogrammetry, primarily used to create virtual tours, captures not only targets but also their surroundings due to its omnidirectional perspective. Invented in the 1990s (Fangi & Nardinocchi, 2013), this technique has been perfected with the development of epipolar geometry and 360° cameras, allowing for high-resolution panoramic images with metric precision. Although it faces challenges such as distortion in metric surveys, its integration with UAVs and techniques like terrestrial laser scanning has improved the

fidelity and accuracy of outdoor captures, facilitating the creation of detailed and accessible virtual spaces for the promotion and dissemination of heritage, as shown in the example in Figure 6. This technique is ideal for complex and narrow environments, allowing for efficient and precise captures even on curved surfaces (Losè et al., 2020).



Figure 6: Source of the Twelve Months in Valentino Park, Turin: a) fusion of vertical and oblique images taken using unmanned aerial vehicles; b) navigation website created from the 360° images (Losè et al., 2020).

While it is true that equirectangular or spherical images must be rectified, nowadays the results are reproductions without distortions with reality, where shape and orthogonality are preserved (Perfetti & Fassi, 2022). This technique has evolved to the use of "fisheye" lenses capable of capturing the envelope even better than common sensors, thus reducing the number of resulting images per photogrammetry with conventional cameras, and therefore the processing times. Additionally, the image scale is easily recognizable by calibrating the sensors and knowing the distance between them. The resulting point cloud is processed for the execution of the three-dimensional model (Perfetti et al., 2023). Figure 7 shows the results obtained in two studies using the multicamera system with "fisheye" lens for detailed surveying of narrow spaces, through the creation of point clouds (Perfetti et al., 2023; Perfetti et al., 2023).

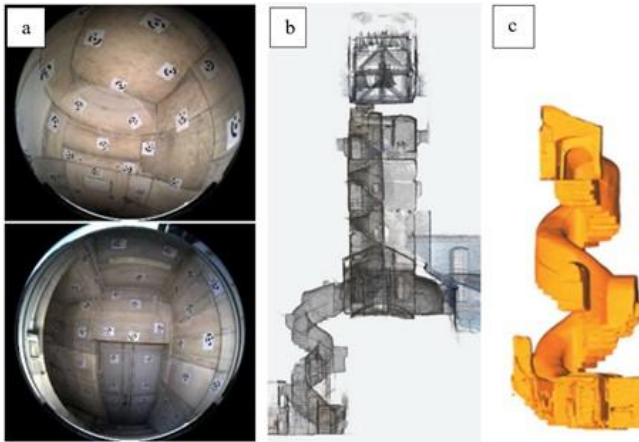


Figure 7: The images correspond to the use of the multicamera system with "fisheye" lenses; a and b belong to the Milan Cathedral (Perfetti & Fassi, 2022), c and d are from the Cathedral of Aosta (Perfetti et al., 2023): a) acquired images; b) point cloud; c) 3D model generated from a section of the spiral staircase.

Currently, the use of high-resolution photogrammetric images is capable of providing information on material differences, deterioration, and techniques employed in heritage assets such as frescoes, through the combination of spectral bands such as ultraviolet light, visible light, and infrared. When the orthophoto is taken (see Figure 8), all pixels are correctly superimposed in the capture, and through gray-scale review, a statistical summary of each band spectrum can be obtained. This analysis allows for the detection of surface damage by the increase in contrast in the image and therefore the texture, in areas with similar tones, where differences are barely visible under the same band (Rahrig et al., 2023).



Figure 8: Multiband orthophotos of the Renaissance Spanish painting "La adoración de los pastores" by Paolo de San Leocadio and Francesco Pagano (1472) (Rahrig et al., 2023).

Photogrammetry stands out in the field of heritage conservation for its ability to reproduce complex geometries with high precision, even surpassing scanners in certain contexts. Its non-invasive nature is crucial for protecting the integrity of monuments, and its temporal efficiency is vital in restoration projects with tight deadlines. This technique allows for detailed documentation of a building before and after intervention, facilitating the monitoring of deformations, deterioration, and evaluation of the effects of restorations. Its applicability in hard-to-reach spaces and in a wide range of lighting conditions makes it a versatile tool for researchers and restorers (Gómez-Tena et al., 2020).

Furthermore, photogrammetry has proven to be exceptionally useful in monitoring the structural health of heritage buildings. Research by (Rossi & Bournas, 2023) highlights its use with remote monitoring systems and advanced image processing techniques to gather accurate real-time data. This includes capturing dynamic interactions and detailed analysis of cracks and deterioration (Liva, 2021). The ability to create detailed and textured digital replicas facilitates restoration and conservation without constraints, allowing for more effective documentation and planning of restoration and conservation projects in historical structures (Maldonado Ruiz, 2020; Ringle et al., 2004; Suryana et al., 2024).

## 2. RESULTS

The data acquisition technique for documenting and conserving cultural heritage attracts experts from various disciplines, underscoring the importance of bibliometric analysis to deepen understanding of the subject. Bibliometrics, focusing on the statistical analysis of scientific activity, is crucial for quantifying and evaluating the production and impact of research in this field. This approach enables the identification of the most relevant trends and research areas in cultural heritage conservation and documentation, as well as the most influential publications and authors. Such analysis is key to discerning standout works and influential sources, facilitating the direction of future research and the dissemination of knowledge (Santana Moncayo, 2020).

To conduct bibliometric analysis, databases like Scopus are utilised, providing bibliographic references and citations of quality scientific

literature (Base de Datos de Scopus | Recursos Científicos, n.d.). This study relies on tools such as VOSviewer, allowing for the creation of data network maps to analyse connections between different variables such as countries, journals, keywords, and cited publications (Li et al., 2023). This facilitates a more comprehensive understanding of trends and dynamics in the study of technologies and techniques applied to cultural heritage conservation, enabling an integrated analysis of the evolution and impact of research in this area.

Several search attempts were conducted using keywords employed by the authors under study. Starting from more generic terms such as "cultural heritage" and "conservation," which were recurrent in previously analysed documents. These searches were conducted in the bibliographic database Scopus during the early days of November 2023. The results obtained are presented below:

a. (TITLE-ABS-KEY ("cultural heritage") AND TITLE-ABS-KEY (conservation)): This set of English keywords yielded a sample of 8419 texts from the year 1961 to the present day.

b. (TITLE-ABS-KEY ("patrimonio cultural") AND TITLE-ABS-KEY (conservación)): The same set of Spanish keywords resulted in only 19 texts, from 2012 to the present day.

The use of English keywords yielded a significantly higher number of results; therefore, it was decided to carry out the rest of the search in this language. However, their general use resulted in an excessively large sample of data. Although production in this field began in the last century, as observed in the graph in Figure 9, the percentage of publications is not relevant compared to the production from the year 2000 onwards. Even from the second decade, specifically in the year 2014, there is a noticeable upward trend in publication levels, so the sample was selected from that year onwards.

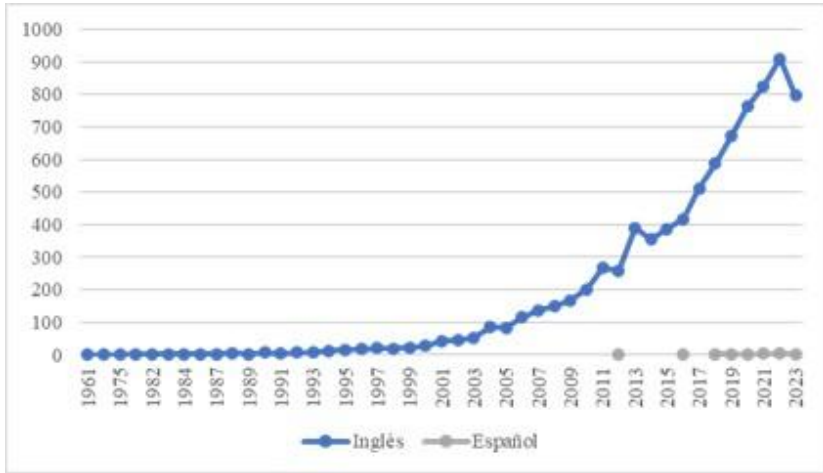


Figure 9: Document ratio in the first search, comparison between publications in English and Spanish languages

Reference keywords used in the previous analysis section were taken into account. Therefore, along with "cultural heritage" and "conservation," the search was conducted using "technology/techniques/reverse engineering" and synonyms to avoid restrictions in the results and obtain a comprehensive metric on this topic.

c. (TITLE-ABS-KEY ("cultural heritage") AND TITLE-ABS-KEY (conservation) OR TITLE-ABS-KEY ("technology")): This set of English keywords yielded a sample of 1449 texts.

The analysis of the most prolific disciplines in this research field allowed further refinement of the analysed sample, with the following disciplines standing out: Social Sciences, Computer Science, Engineering, Environmental Science, Arts and Humanities, resulting in 1169 texts. The following section will describe the results obtained from the bibliometric analysis of the selected sample.

## 2.1. DISCUSSION OF THE RESULTS

### 2.1.1. Key-words

Bibliometric analysis of keywords allows for a better understanding of research trends and recurring topics. Co-occurrence analysis of these keywords is based on the frequency with which they

appear in the sample set, allowing the identification of association patterns. This association is represented through links that depict the interrelation between these nodes. Nodes are grouped into clusters, and Figure 10 illustrates an example of these keyword groups, programmed within the software to gather terms with the highest similarity (Jan van Eck & Waltman, 2020).

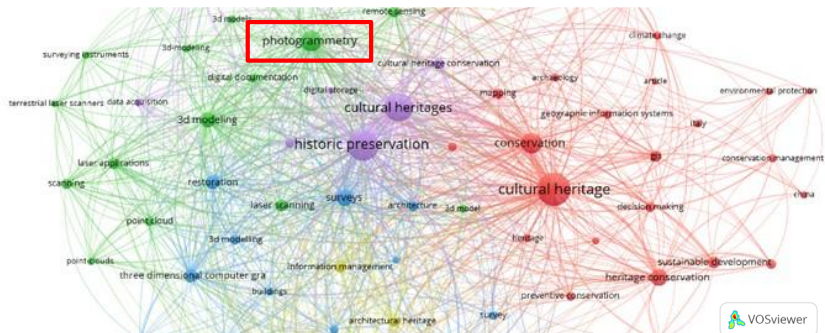


Figure 10: Co-occurrence map of keywords presented in previous work (Cordovés & Sáez-Pérez, 2024).

The overall analysis of keyword co-occurrence data extracted from the VOSviewer software yielded a total of 415 keywords and a co-occurrence value of 15,717 links, grouped into 5 clusters, centred around historical conservation and cultural heritage. The data extracted from Figure 10 were synthesised into different groups organised by the strongest linkages between clusters and the most co-occurring items, as well as the most representative keywords of each. Under this criterion, the following groups were formed as observed in Figure 11:

Group 1, related to cultural heritage with the strongest linkage, encompasses topics associated with interactive database systems of geographic information, obtained through geomatics surveys for the identification, cataloguing, and monitoring of heritage.

Group 2, centred around photogrammetry, specifically focuses on these techniques for surface mapping, acquisition of cartographic and spatial data such as laser scanning, and remote sensing systems, highlighting primarily photogrammetry in all its variants, such as unmanned aerial vehicles, which also stands out on the list.

Group 3, surveys, is linked to 3D modelling and the use of augmented reality techniques, mainly applied to the preservation of architectural heritage.

Group 4, information management, focuses on semantic models of building information oriented towards historical architecture, for data management and handling.

Finally, Group 5 and historical conservation encompass more general themes related to digital reconstructions, using non-invasive data collection techniques and storing them in a historical database.

Grupos	Ítems	Ocurrencia	Fuerza total de enlace
Grupo 1 (26 ítems)	conservation	179	696
	cultural heritage	452	1858
	GIS	53	275
	heritage conservation	119	466
	mapping	47	231
	sustainable development	62	218
Grupo 2 (18 ítems)	3 d modeling	105	692
	laser applications	53	435
	photogrammetry	174	946
	point cloud	34	234
	remote sensing	54	359
	scanning	43	316
Grupo 3 (15 ítems)	unmanned aerial vehicles (uav)	29	250
	architecture	47	286
	augmented reality	32	171
	restoration	83	523
	surveys	117	754
Grupo 4 (10 ítems)	three dimensional computer graphics	77	543
	architectural heritage	44	265
	BIM	43	227
	historical buildings	26	175
	information management	53	374
Grupo 5 (10 ítems)	semantics	31	218
	3 d reconstruction	26	114
	historic preservation	389	2183
	data acquisition	26	192
	digital storage	20	141
	image reconstruction	46	314
	nondestructive examination	21	104

Figure 11: Most occurring keywords and derived link strengths from the co-occurrence study presented in previous work (Cordovés & Sáez-Pérez, 2024).



Showing, as evidenced in the first chapter, a growing interest among researchers since 1980, it is not until 2012, with the emergence of the 4th industrial revolution and technologies like virtual construction, additive manufacturing, and digital twins, that research on this technique for precise and effective documentation and monitoring work in heritage restoration projects is reinforced, as demonstrated by Figure 13 with a growing trend from the second decade of the 21st century.

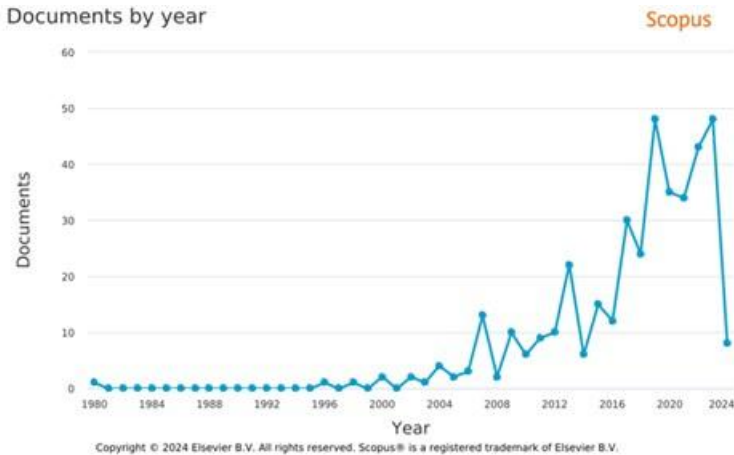


Figure 13: Number of publications per year in the sample.

Furthermore, the study presented previously by (Cordovés & Sáez-Pérez, 2024) demonstrates how, along with laser scanning, it is one of the most accurate techniques for mapping damages and reading volumes to achieve precision in restoration projects using 3D printing. As shown in Figure 13, a decline in scientific production can be noted in the years 2020 and 2021, related to the peak period of the global health crisis related to COVID-19; however, the trend of research in this last decade has been towards an increase.

### 2.1.2. Countries and regions

The metric analysis by countries and regions was conducted to identify nations with outstanding scientific production in this research area, as well as the international collaboration structures that arise among researchers from different countries, and the countries maintaining the most prominent international collaboration in this field.

Figure 14 shows the relationship between the most representative quantities of publications by countries: Italy stands out the most with 170 publications, representing 51.7% of the sample, followed by Spain with 16%, and then the United States and the United Kingdom, representing 7% and 6% respectively, of the total bibliographies.

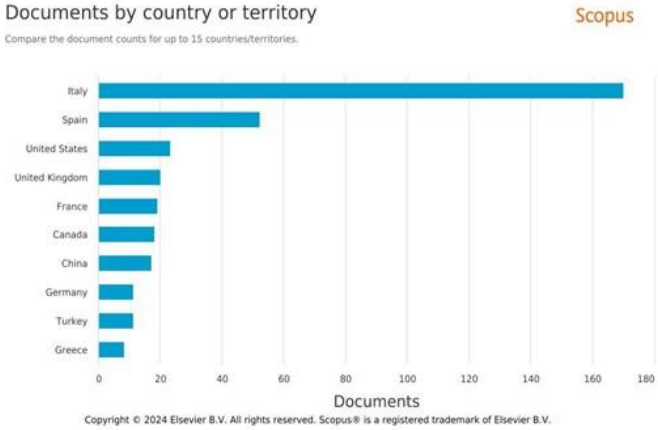


Figure 14: Countries ranked by number of publications. Source: Scopus

This percentage coincides with the regions with the highest concentration of cultural heritage sites declared UNESCO World Heritage Sites (Figure 15).

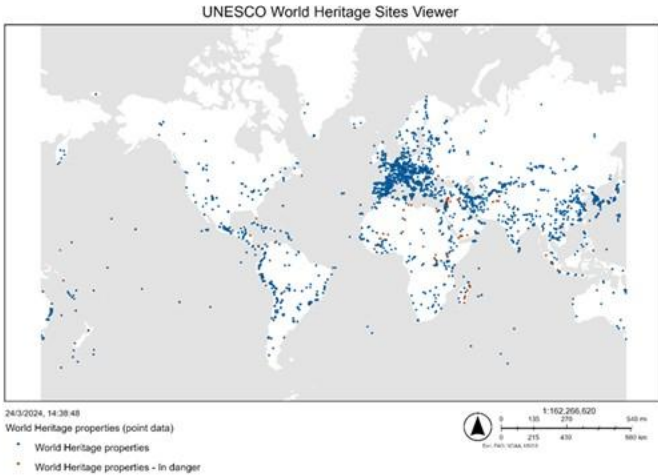


Figure 15: Distribution of heritage sites worldwide (Centro Del Patrimonio Mundial de La UNESCO - Estadísticas de La Lista Del Patrimonio Mundial, 2021)

Corresponding to 47.12% in Europe and North America, of which only 10% corresponds to Italy and 8.8% to Spain (Centro Del Patrimonio Mundial de La UNESCO - Estadísticas de La Lista Del Patrimonio Mundial, 2021). The literature analyzed yielded a significant number of studies related to Italian historical heritage. Relative to this data, it is reinforced by the fact that the majority of the research in the sample comes from institutions and universities in this country, accounting for 85.8% of the most prolific affiliations in this field (Figure 16).

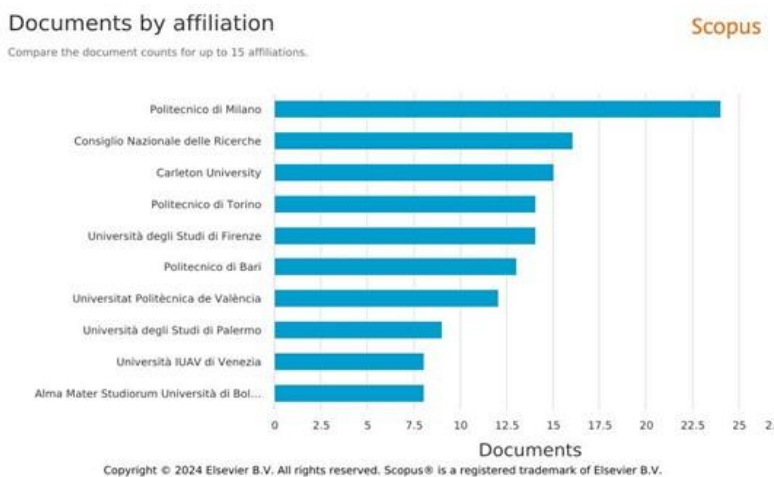


Figure 16: Most Prolific Institutions. Source: Scopus

The co-authorship map by regions shown in Figure 17 also indicates how the scientific production from Italy is linked to most of the generated clusters, demonstrating its extensive international collaboration. Additionally, in 2020, Spain and Italy signed a collaboration agreement for the integrated management of technological policies for the sustainable transition towards Industry 4.0 (Ministerio de Industria, 2020).

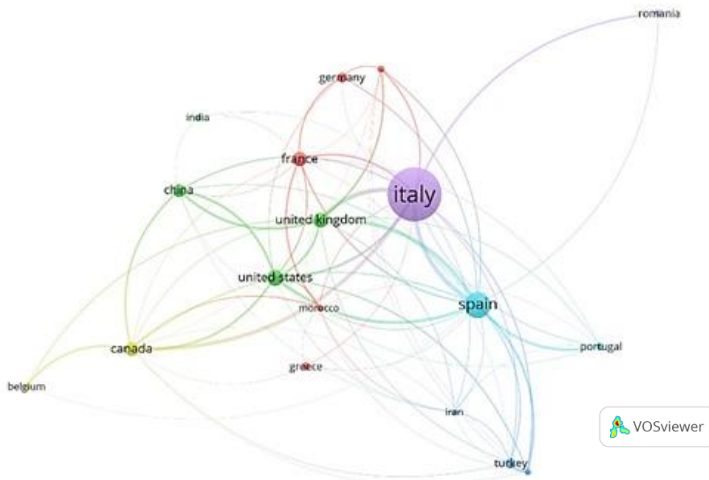


Figure 17: Network visualization of co-authorships and countries

The graph illustrates the link between countries with the highest number of publications, also demonstrating the existence of a scientific community dedicated to the documentation and conservation of heritage, composed of European and North American regions, linked to their responsibility for having the largest number of World Heritage elements within their territory.

### 2.1.3. Bibliographic sources

The following analysis aims to identify the most important journals in the field of research studied, with the objective of recognizing research trends, relationships between them, and the main sources of information. Figure 18 shows the main bibliographic sources that have published on the application of photogrammetry in the field of conservation of world heritage, with notable mentions:

ISPRS Annals of The Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, SJR: 0.378;

International Archives of The Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences ISPRS Archives, SJR: 0.274.

For the analysis of journal prestige, the SJR (SCImago Journal Rank) metric (Scimago Journal & Country Rank, n.d.) was used. SJR is an indicator that evaluates the relative importance of scientific journals

in relation to their areas of specialization, and it is based on the Scopus database from Elsevier (Base de Datos de Scopus | Recursos Científicos, n.d.). This value is evident in the citation network map in Figure 18, where it appears as a deep blue colour.

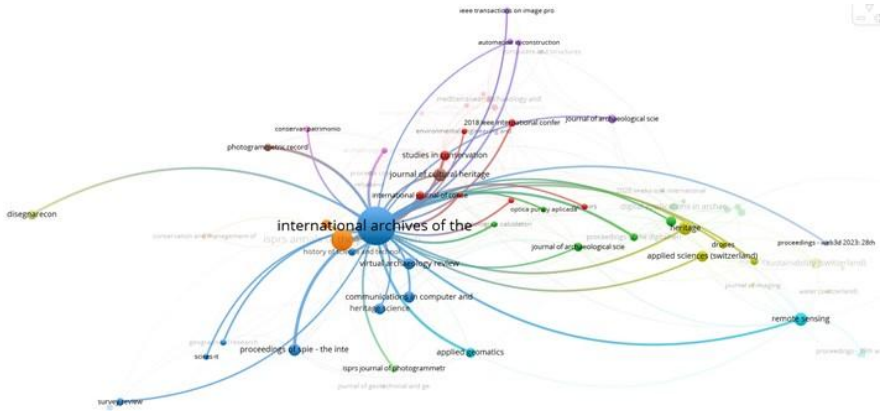


Figure 18: Network map of citation data by journals

Sources such as the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives), although with a lower impact value, stand out for their consistent publication output and have maintained a steady impact in this field. On the other hand, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences shows a recent increase in research related to the topic under investigation. These journals are dedicated primarily to disseminating news and publications of works related to this subject matter, continuously updating the scientific community with the latest advancements and practices carried out by researchers and specialists.

#### 2.1.4. Citations

The assessment of citations received by a publication is essential to determine its impact and relevance in the research field to which it relates. Documents with a high number of citations are considered important and influential in their field, due to their significant contribution to its development. This metric also serves to assess the quality of scientific production and identify emerging trends and patterns in the field of study (Miguel et al., 2007). Figure 19 presents the documents with the highest number of citations from the journal ISPRS

Annals of The Photogrammetry Remote Sensing And Spatial Information Sciences, as it has the highest average value of citations received (CiteScore: 2.9 until 2022) in the sample (ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, n.d.).

Authors	Title	Year	Subject	Cited by	Bibliographic reference
Musicco et al.	Automatic point cloud segmentation for the detection of alterations on historical buildings through an unsupervised and clustering-based machine learning approach.	2021	Chromatic alterations visible on material surfaces through photogrammetry.	15	(Musicco et al., 2021)
Clini P. et al.	The integrated survey of narrow spaces and underground architecture: The case study of campana caves Bas-Reliefs	2019	Data acquisition in complex spaces and virtual reconstruction.	10	(Clini et al., 2019)
Ebolese D. et al.	The integrated 3D survey for underground archaeological environment.	2019	Integrated survey using laser scanning, terrestrial photogrammetry and the use of UAVs for three-dimensional data acquisition, including the subway environments of the complex.	22	(Ebolese et al., 2019)
Mathys A. et al.	Exploiting 3D multispectral texture for a better feature identification for cultural heritage	2019	Reconstrucción fotogramétrica 3D e imagen multiespectral.	13	(Mathys et al., 2019)
Pamart A. et al.	A complete framework operating spatially-oriented RTI in a 3D/2D cultural heritage documentation and analysis tool.	2019	Close range photogrammetry (CRP) and reflectance transform imaging (RTI) fusion frame.	19	(Pamart et al., 2019)
Shrestha S. et al.	Digital recording and non-destructive techniques for the understanding of structural performance for rehabilitating historic structures at the Kathmandu Valley after Gorkha earthquake 2015.	2017	Non-destructive evaluation techniques: terrestrial and aerial photogrammetry, laser scanner, georadar and dynamic microtremor analysis.	11	(Shrestha et al., 2017)
Aiello D. et al.	The virtual Batcave: A project for the safeguard of a UNESCO WHL fragile ecosystem.	2019	3D scanning and creation of a virtual environment of a natural environment.	11	(Aiello et al., 2019)

Figure 19: Documents with the highest number of citations in the sample

A sketch of these publications shows the versatility of photogrammetry technique from its use as an innovative method for three-dimensional analysis of deterioration in ancient structures, using machine learning for point cloud segmentation, which facilitates chromatic diagnosis and monitoring of alterations on masonry surfaces. This

methodology incorporates color segmentation through hierarchical clustering in the HSV space and geometric segmentation of 3D reconstructions to identify and link main architectural features with observed defects, applicable to buildings with geometric and chromatic complexities.

In other cases, for the creation of high-resolution 3D models for the proper protection of heritage sites of great fragility, facing challenges in data acquisition due to adverse conditions such as lack of illumination and geometric complexity. In this case, photogrammetry was used as a complementary technique for generating reliable models as foundations for consolidation and for creating immersive virtual reality experiences for effective dissemination and conservation of inaccessible spaces. Similarly, in the case of the underground hypogeum of Sybil and the related church located in the Archaeological Park of Lilibeo, in southern Italy, where a combination of different geomatic techniques was used, combining process automation and obtaining precise results through combined technologies. The study demonstrates an integrated approach that combines laser scanning and terrestrial and aerial photogrammetry to 3D record the complex, seeking to archive a detailed model for the informative preservation of the site. And indeed, photogrammetric 3D reconstruction has been established as a key tool for the documentation and conservation of cultural heritage, allowing the creation of detailed virtual replicas and multispectral evaluation for analysis and preservation, enhancing the detailed recording and understanding of artifacts, revealing hidden features, and improving the identification and conservative management of objects with complex geometries. Furthermore, close-range photogrammetry and image-based reflectance transformation imaging (RTI) have emerged as techniques for documenting Cultural Heritage, whose impact on conservative analysis is unlimited through effective data fusion and a viewer for combined visual analysis of 2D/3D images and RTI, within a collaborative web platform that facilitates the management and semantic enrichment of hybrid representations. Therefore, it can be seen how the combined action of different techniques works for the integrated evaluation of heritage environments, even in a state of emergency such as the Nyatapola Temple in the Kathmandu Valley, Nepal. In this case, the following were used: laser scanning: used to record and document historical

structures, terrestrial and aerial photogrammetry: applied in documenting the current state of historical structures, ground-penetrating radar: used for structural assessment, and microtremor dynamic analysis: employed to assess stability and seismic behavior of structures. It has even been used to document natural sites such as the Grotta dei Pipistrelli in the Pantalica Nature Reserve, recognized by UNESCO and highlighted for its beauty, cultural, and scientific importance. The interdisciplinary project focused on its 3D digitization and virtual exploration to create a detailed 3D model of the cave, providing a comprehensive database for future research and ecosystem preservation, while developing a virtual environment to reduce the anthropogenic impact of visitors on the real site.

The summary of the citation analysis shows the evolution of surface mapping techniques, specifically laser scanning and photogrammetry, and how they have made it possible to acquire data from inaccessible sites, in dangerous states of conservation, where traditional techniques would be impossible to reach. Likewise, they have facilitated the accurate surveying of large buildings and historic complexes, as cumbersome to perform and as simplified as carrying a mobile control device and a scanner to register precise geometry. These two techniques are optimal for data acquisition in any heritage scenario. For virtual modeling, allowing the creation of a historical record for the proper management of property conservation. Even, information models are the best basis for dissemination through virtual reality, as referenced in one of the citations, as it allows interaction at another level, without restrictions, and makes it accessible to all kinds of users, from experts to the curious.

### 3. CONCLUSIONS

Digital photogrammetry has taken on a central role in the conservation of cultural heritage, adapting to a variety of contexts to obtain precise and metric representations. This technique, essential in generating point clouds and photorealistic 3D models, allows for meticulous recording of different geometries, facilitating stratigraphic identification of surfaces and significantly contributing to restoration projects. Furthermore, its application in 3D printing for artifact reconstruction and restoration reflects its evolution and versatility. Despite certain current limitations, such as the need to improve metric

precision and the development of compatible materials for 3D printing, its ability to constantly update models and monitor structural damage, especially in combination with georeferenced systems, underscores its effectiveness and potential. Research on photogrammetry, as evidenced by a bibliometric study, shows a growing interest and application in countries with extensive cultural heritage, highlighting the importance of advancing the development of software and technologies that allow for more efficient and precise management of cultural heritage.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aiello, D., Basso, A., Spina, M. T., D'Agostino, G., Montedoro, U., Galizia, M., Grasso, R., & Santagati, C. (2019). The virtual batcave: a project for the safeguard of a unesco whl fragile ecosystem. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2), 17–24. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-17-2019>

Allen, P. K., Troccoli, A., Smith, B., Murray, S., Stamos, I., & Leordeanu, M. (2003). New Methods for Digital Modeling of Historic Sites. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 23(6), 32–41. <https://doi.org/10.1109/MCG.2003.1242380>

Base de datos de Scopus | Recursos Científicos. (n.d.). Retrieved November 14, 2023, from <https://www.recursoscientificos.fecyt.es/licencias/productos-contratados/scopus>

Carta de Venecia. (1964). Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios. II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de 1964•docomomoiberico.Com. [https://docomomoiberico.com/wp-content/uploads/2013/06/docomomo\\_pdfs\\_1964\\_carta\\_de\\_venecia\\_IPCE.pdf](https://docomomoiberico.com/wp-content/uploads/2013/06/docomomo_pdfs_1964_carta_de_venecia_IPCE.pdf)

Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO - Estadísticas de la Lista del Patrimonio Mundial. (2021). <https://whc.unesco.org/en/list/stat#d1>

Clini, P., Nespeca, R., Angeloni, R., & Mammoli, R. (2019). The integrated survey of narrow spaces and underground architecture: the case study of campana caves bas-reliefs. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*,

42(2), 277–282. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-277-2019>

Dorffner, L., Kraus, K., Tschannerl, J., Altan, O., Külür, S., & Toz, G. (2000). Hagia Sophia - Photogrammetric record of a world cultural heritage.

Ebolese, D., Lo Brutto, M., & Dardanelli, G. (2019). The integrated 3d survey for underground archaeological environment. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2), 311–317. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-311-2019>

Fangi, G., & Nardinocchi, C. (2013). Photogrammetric processing of spherical panoramas. *Photogrammetric Record*, 28(143), 293–311. <https://doi.org/10.1111/PHOR.12031>

Fernández, G. (2013). Interpretation of topographic data from «shape from shading» method, application in villagarcía de campos castle.

Gagliolo, S., Fagandini, R., Federici, B., Ferrando, I., Passoni, D., Pagliari, D., Pinto, L., & Sguerso, D. (n.d.). Uso de UAS para la conservación de edificios históricos en caso de emergencias. *Archivos Internacionales de Fotogrametría, Teledetección y Ciencias de La Información Espacial - Archivos ISPRS*, 42(5W1), 81–88. <https://doi.org/10.5194/isprs-Archives-XLII-5-W1-81-2017>

Georgopoulos, A., & Ioannidis, C. (2004). *Photogrammetric and Surveying Methods for the Geometric Recording of Archaeological Monuments*

Gómez-Tena, M. P., Fabuel, C., Máñez, M. J., Martínez-Moya, J. A., & García, E. (2020). Adaptación de las técnicas de fabricación aditiva a la restauración del patrimonio con materiales cerámicos. <http://www.3drestauram.es>

Hassani, F. (2015). Documentation of cultural heritage; techniques, potentials, and constraints. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 207–214.

Jan van Eck, N., & Waltman, L. (2020). *VOSviewer Manual*.

Kölbl, O., Cherradi, F., & Hostettler, H. (2000). SIG integrado para adquisición de datos primarios y gestión de datos; aplicado a un inventario de monumentos históricos. *Archivos Internacionales De...*  
[https://www.isprs.org/proceedings/Xxxiii/congress/part5/446\\_XXXIII-part5.pdf](https://www.isprs.org/proceedings/Xxxiii/congress/part5/446_XXXIII-part5.pdf)

Li, Y., Du, Y., Yang, M., Liang, J., Bai, H., Li, R., & Law, A. (2023). A review of the tools and techniques used in the digital preservation of architectural heritage within disaster cycles. *Heritage Science*, 11(1), 199. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01035-x>

Losè, L. T., Sammartano, G., Chiabrando, F., & Spanò, A. (2020). Challenging multi-sensor data models and use of 360 images. The Twelve Months Fountain of Valentino park in Turin. You may also like Challenging multi-sensor data models and use of 360 images. The Twelve Months Fountain of Valentino park in Turin. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/949/1/012060>

Maldonado Ruiz, A. (2020). La Aplicación de la Fotogrametría (SfM) y las Nuevas Tecnologías para la Mejora de la Documentación, Difusión y Divulgación del Patrimonio Arqueológico. <http://hdl.handle.net/10481/62261>

Malzbender, T., Gelb, D., & Wolters, H. (2001). Polynomial texture maps. *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 519–528.

Manea, G., & Alexandru, C. (2012). Architectural photogrammetry an extension of conventional surveying.

Mathys, A., Jadinon, R., & Hallot, P. (2019). Exploiting 3D multi-spectral texture for a better feature identification for cultural heritage. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(2), 91–97. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W6-91-2019>

Miguel, S., Moya-Anegón, F., & Herrero-Solana, V. (2007). El análisis de co-citas como método de investigación en Bibliotecología y Ciencia de la Información. *Investigación Bibliotecológica: Archivonomía, Bibliotecología e Información*, 21(43). <https://doi.org/10.22201/IIBI.0187358XP.2007.43.4129>

Ministerio de Industria, C. y T. (2020). Industria Conectada 4.0 - España e Italia fomentan la cooperación en la transición digital y ecológica de la industria. <https://www.industriaconectada40.gob.es/difusion/noticias/Paginas/espana-e-italia-fomentan-la-cooperacion-en-la-transicion-digital-y-ecologica-de-la-industria.aspx>

Mistry, K. (2018). Photogrammetric Stereoplotting of the Theodosian Palace at the Ancient Site of Stobi, Republic of Macedonia: Reviving a 20th Century Technique for the 21st Century. *Inquiry@Queen's Undergraduate Research Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.24908/IQRCP.10308>

Monzón Gasca, J. (2016). Aplicación de técnicas de ingeniería inversa para la documentación gráfica y geométrica del patrimonio en un proyecto de realidad aumentada: un producto museográfico para la catedral de la Seo de Zaragoza. 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation, 32–43.

Mozas-Calvache, A. T., Pérez-García, J. L., Cardenal-Escarcena, F. J., Delgado, J., & Mata-Decastro, E. (2012). Comparison of low altitude photogrammetric methods for obtaining dems and orthoimages of archaeological sites.

Muoz-Pandiella, I., Akoglu, K., Bosch, C., & Rushmeier, H. (2017). Towards Semi-Automatic scaling detection on flat stones. *GCH 2017 - Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage*, 49–58. <https://doi.org/10.2312/GCH.20171291>

Musicco, A., Galantucci, R. A., Bruno, S., Verdoscia, C., & Fatiguso, F. (2021). Automatic point cloud segmentation for the detection of alterations on historical buildings through an unsupervised and clustering-based machine learning approach. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 5(2), 129–136. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-2-2021-129-2021>

Ortiz, P., Sánchez, H., Pires, H., & Pérez, J. A. (1980). Experiences about fusioning 3D digitalization techniques for cultural heritage documentation. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:7702109>

Pamart, A., Ponchio, F., Abergel, V., Alaoui M'Darhri, A., Corsini, M., Dellepiane, M., Morlet, F., Scopigno, R., & De Luca, L. (2019).

A complete framework operating spatially-oriented rti in a 3d/2d cultural heritage documentation and analysis tool. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2), 573–580. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-573-2019>

Perfetti, L., & Fassi, F. (2022). Handheld fisheye multicamera system: surveying meandering architectonic spaces in open-loop mode - accuracy assessment. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 46(2/W1-2022), 435–442. <https://doi.org/10.5194/ISPRS-archives-XLVI-2-W1-2022-435-2022>

Perfetti, L., Spettu, F., Achille, C., Fassi, F., Navillod, C., & Cerutti, C. (2023). multi-sensor approach to survey complex architectures supported by multi-camera photogrammetry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1209-2023>

Rahrig, M., Herrero Cortell, M. Á., & Lerma, J. L. (2023). Multiband Photogrammetry and Hybrid Image Analysis for the Investigation of a Wall Painting by Paolo de San Leocadio and Francesco Pagano in the Cathedral of Valencia. *Sensors*, 23(4), 2301. <https://doi.org/10.3390/s23042301>

Ringle, K., Nutto, M., Voegtle, T., Pfannerb, M., & Maischbergerb, M. (2004). 3D modelling of the market gate of miletus developed from photogrammetric evaluations. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:9797731>

Robson, S., Bucklow, S., Woodhouse, N., & Papadaki, H. (2004). Periodic photogrammetric monitoring and surface reconstruction of a historical wood panel painting for restoration purposes. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:15001584>

Rossi, M., & Bournas, D. (2023). Structural Health Monitoring and Management of Cultural Heritage Structures: A State-of-the-Art Review. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(11), 6450. <https://doi.org/10.3390/app13116450>

Sáez Vacas, F. (1997). La era digital. Del Cobre a Las Plataformas Digitales, 1997, Págs. 131-143, 131–143. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6394720>

Santana Moncayo, C. A. (2020). Breve análisis bibliométrico sobre patrimonio, arquitectura y turismo.

Scimago Journal & Country Rank. (n.d.). Retrieved July 3, 2025, from <https://www.scimagojr.com/>

Shrestha, S., Reina Ortiz, M., Gutland, M., Napolitano, R., Morris, I. M., Santana Quintero, M., Erochko, J., Kawan, S., Shrestha, R. G., Awal, P., Suwal, S., Duwal, S., & Maharjan, D. K. (2017). Digital recording and non-destructive techniques for the understanding of structural performance for rehabilitating historic structures at the kathmandu valley after gorkha earthquake 2015. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(2W2), 243–250. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W2-243-2017>

Suryana, I., Chaerani, D., Muslihin, K. R. A., Irmansyah, A. Z., Hadi, S., & Prabuwo, A. S. (2024). Systematic literature review on optimization and exploration of retrieval methods digital image of ancient manuscript as an attempt conservation of cultural heritage. *International Journal of Data and Network Science*, 8(1), 453–462. <https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2023.9.010>

Zvirb1is, R. (1980). Fotogrametrinių matavimų taikymas ruošiant dokumentaciją kultūros paminklų restauravimo-konservavimo tikslams. *Geodezijos Darbai*, 10(1), 110–114. <https://doi.org/10.1080/13921843.1980.10553202/asset//cms/asset/fa6af23f-7c61-432f-b6b8-598c02d086f5/13921843.1980.10553202.fp.png>

## ANÁLISIS PRELIMINAR DE VIVIENDAS A SER REHABILITADAS CON FONDOS PÚBLICOS EN LA CIUDAD DE MADRID

---

SILVANA MALLOR HOYA

*Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC, España*

FERNANDO MARTÍN-CONSUEGRA

*Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC, España*

LUCAS ÁLVAREZ

*Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC, España*

CARMEN ALONSO RUIZ-RIVAS

*Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC, España*

BORJA FRUTOS

*Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC, España*

IGNACIO OTEIZA

*Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC, España*

FERNANDO DE FRUTOS

*Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, CSIC, España*

### RESUMEN

Improving energy efficiency and comfort in urban dwellings is a significant yet essential challenge for modern cities, especially in the context of climate change and rising environmental awareness. A promising strategy to address this challenge is the refurbishment of the exterior facade of buildings, which can not only significantly enhance thermal insulation and energy efficiency but also optimize indoor comfort conditions by mitigating extreme temperature fluctuations. Detailed monitoring of dwellings through advanced sensors presents a unique opportunity to assess the actual impact of these refurbishments on energy consumption and indoor environment quality. By analyzing data collected before and after interventions, it is possible to precisely quantify the benefits of facade refurbishments, providing a solid empirical foundation for the development of public policies and the allocation of subsidies

This study presents a preliminary analysis of 46 dwellings in Madrid slated for refurbishment with public funds from the city council, aimed at understanding their current energy consumption and comfort levels. The dwellings were equipped with sensors to monitor electricity and gas usage (where applicable), as well as indoor

environmental quality indicators such as temperature, humidity, and CO2 levels. The purpose of this monitoring was to gather data to inform the house conditions. The methodology involved the installation of sensors in each dwelling for a continuous period, capturing data across different seasons to account for variations in energy use and comfort levels. The analysis focused on identifying patterns of energy consumption, particularly in relation to heating in winter and cooling needs during summer months.

Preliminary findings indicate a moderate use of heating during the winter months across the median of the monitored homes. However, a significant concern arose with the high indoor temperatures experienced during the summer, particularly in July. This finding highlights a critical area for intervention, where house insulation would prevent this summer overheating issue.

The implications of these findings are twofold. Firstly, they underscore the necessity of a refurbishment that considers both energy efficiency and thermal comfort. This is particularly relevant in the context of climate change, where rising temperatures are likely to exacerbate the problem of indoor overheating. Secondly, the study highlights the potential for using real-time monitoring data to inform and tailor refurbishment strategies to the specific needs of each dwelling.

This preliminary analysis sheds light on the current state of the dwellings in Madrid that are to be refurbished with public funds, revealing critical insights into their energy consumption patterns and comfort levels. The findings suggest a pressing need for refurbishment strategies that address both energy efficiency and thermal comfort, with a particular emphasis on mitigating high indoor temperatures during the summer months.

## **PALABRAS CLAVE.**

Energy simulation, monitoring, energy rehabilitation, social housing, building diagnostics

## INTRODUCCIÓN.

Con la idea de registrar y analizar datos relativos a la eficiencia energética de edificios de viviendas en la ciudad de Madrid, el Ayuntamiento de Madrid, en colaboración con el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IETcc-CSIC), concibieron en el año 2020 la Estrategia de Monitorización HABITA MADRID, dentro de las medidas de del Plan TRANSFORMA Madrid, para impulsar la Rehabilitación, la Regeneración Urbana y la Vivienda en el municipio (<https://tansforma.madrid.es/>). La estrategia pretende monitorizar ciertas viviendas dentro de los edificios que han sido subvencionados para su mejora energética bajo el marco de los planes Rehabilita Madrid 2020, 2021, 2022 y 2023 [1].

La estrategia aquí presentada se fundamenta en precedentes de investigación desarrollados por el grupo de investigación en Sistemas Constructivos y Habitabilidad en la Edificación (giSCHE-CSIC) y basados en la monitorización de la eficiencia energética en el ámbito constructivo. Destaca el proyecto REFAVIV del IETcc-CSIC, que formuló la metodología de evaluación energética en edificios de construcción previa a 1979 mediante análisis in situ en el Poblado Dirigido de Manteras **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**[3]. Se siguió con el proyecto HABITA\_RES, ampliando la escala de monitorización a 22 hogares de edificios energéticamente ineficientes en 6 barrios situados en la periferia del municipio de Madrid (<https://proyctohabita.res.ietcc.csic.es/>) [4] , que facilitó un diagnóstico de la situación inicial [5] y estimaciones sobre el ahorro energético y de confort tras las rehabilitaciones y mejoras en la envolvente térmica [6]. Adicionalmente, a nivel nacional, se consolidó un foro de discusión e intercambio de conocimiento en las iniciativas de investigación en esta materia con la Red de Excelencia MONITOR ([https://redmonito.ietcc.csic.es](https://redmonito.ietcc.csic.es/)) [7].

En el marco de las políticas públicas, este proyecto se basa en la Orden del 12 de junio de 2019 del Consejero de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda, que promueve el Programa Renove para la rehabilitación eficiente de viviendas e inmuebles en la Comunidad Autónoma del País Vasco, que exige que los proyectos contemplen la instalación de un sistema de monitorización del confort interior y del consumo energético en una “muestra representativa de

viviendas” de cada edificio rehabilitado. Esta normativa muestra la importancia de comprobar y verificar la eficacia de las intervenciones en eficiencia energética mediante el análisis y seguimiento de los datos de consumo y condiciones ambientales, para el Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda [8].

Con estos antecedentes, el propósito principal de este estudio es profundizar en la sensibilización de los habitantes de la ciudad de Madrid sobre las posibles mejoras que se pueden apreciar en el confort higrotérmico, la optimización de la calidad del aire interior de la vivienda y la reducción del consumo energético y su consecuente disminución de gasto económico cuando se realiza una rehabilitación energética de la vivienda. Se aspira a suministrar al Ayuntamiento de Madrid datos fiables y concretos como fundamento científico para el fomento de las políticas públicas de regeneración urbana promovidas por la Unión Europea, desde el Pacto Verde Europeo, en el marco de la “Ola de Rehabilitación” [9] a través de la “Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el sector de la Edificación en España” [10]. Este enfoque, no solo se asienta en una mejora del parque urbano residencial desde el punto de vista económico y ambiental, sino también para que sea más eficiente y habitable en un futuro marcado por el cambio climático.

Para lograr este propósito, se dirigen los esfuerzos hacia la evaluación de las mejoras pasivas de eficiencia energética que tienen como objetivo disminuir la demanda energética en las construcciones residenciales mediante la optimización de la envolvente del edificio. La idea es llevar a cabo una monitorización de bajo impacto y con pocas molestias para los vecinos, tanto antes como después de la rehabilitación para poder medir el impacto real conseguido.

Los datos aquí expuestos son los de 46 viviendas monitorizadas durante el año 2022, antes y durante las obras de renovación.

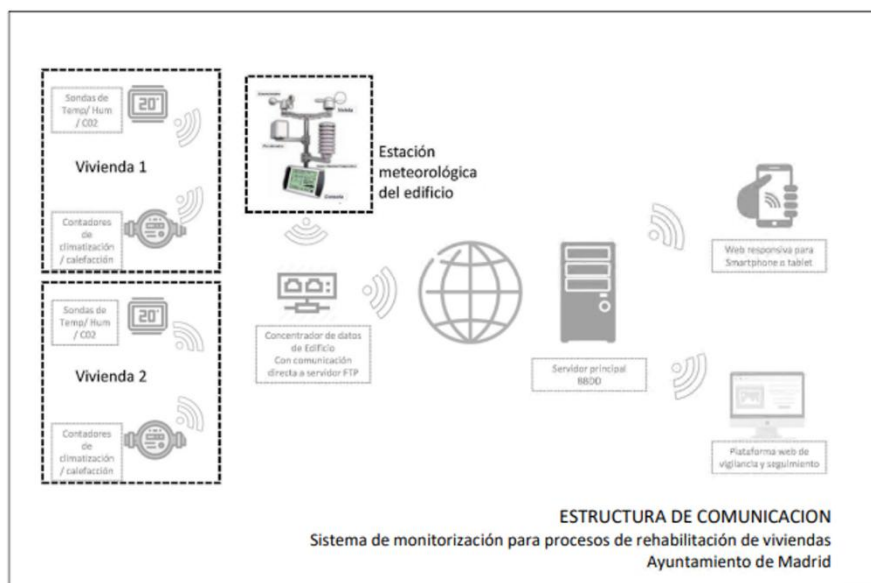
## 1. MONITORIZACIÓN Y GESTIÓN.

Durante el año 2022, en el que se basa este trabajo, se han monitorizado 46 viviendas, de un total de 12 edificios, la mayoría de los cuales, aún no han terminado las obras de rehabilitación.

## 1.1. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS.

Los trabajos de monitorización son responsabilidad de las comunidades de propietarios que contactan con empresas especializadas para que instalen los aparatos de medición en las viviendas y envíen los datos recogidos para su posterior análisis por el equipo del proyecto. El envío de los datos se hace a través de una plataforma web ad-hoc a la que tienen acceso tanto instaladores, como investigadores del CSIC, vecinos y técnicos de obras. En este apartado se describen las prescripciones técnicas que deben cumplir las empresas.

La monitorización se ha basado en la recogida de datos dentro de las viviendas con la mínima intervención y molestias dentro de los hogares, siempre evitando posibles interferencias con las obras de rehabilitación. Se han tomado mediciones de confort interior de las viviendas (temperatura y humedad relativa) y de calidad del aire (a través de la concentración de CO<sub>2</sub>). Además, se registran datos de consumo energético, eléctrico y de gas. El propósito es contar con datos antes y después de las intervenciones realizadas, para poder medir cuantitativamente las mejoras en consumo y calidad ambiental.



**Figura 1:** Sistema de medición, transmisión y recopilación de datos.

Fuente: Documento de especificaciones técnicas del sistema de monitorización del Ayuntamiento de Madrid - IETcc-CSIC, 2022

La medición se realiza de manera continua y se registra en intervalos de 10 minutos con aparatos con las siguientes características:

- Para la calidad de ambiente interior (temperatura, humedad relativa y nivel de CO<sub>2</sub>), se instalan sensores integrados con sistema de transmisión inalámbrico y alimentación energética propia (priorizando aquellos que hacen uso de baterías, para no importunar a los vecinos). Se instala uno por cada 100 m<sup>2</sup> construidos, en la estancia principal de la vivienda y a 1,7 m de altura aproximada desde el suelo. La precisión de los sensores es de  $\pm 0.5$  °C para la temperatura para la humedad de  $\pm 5$  % y para el CO<sub>2</sub>  $\pm 50$  ppm.
- Para la medición de consumos energéticos, se colocan pinzas amperimétricas en el cuadro eléctrico y, en las viviendas que cuenten con suministro de gas natural, medidores de consumo integrados en el contador u otro sistema que permita obtener estos datos, como por ejemplo, a través de capturas de imágenes.

## 1.2. PLATAFORMA DE MONITORIZACIÓN.

Desde el giSCHE-IETcc-CSIC, con la colaboración de la empresa de gestión energética STECHOME, se ha desarrollado una plataforma web para almacenar, gestionar y visualizar los datos recogidos por la monitorización (<https://habitamadrid.ietec.csic.es>). El objetivo principal de esta plataforma es evaluar de forma gráfica y visual las mejoras alcanzadas a través de la rehabilitación, alimentada con la información recogida directamente desde la monitorización de las viviendas.

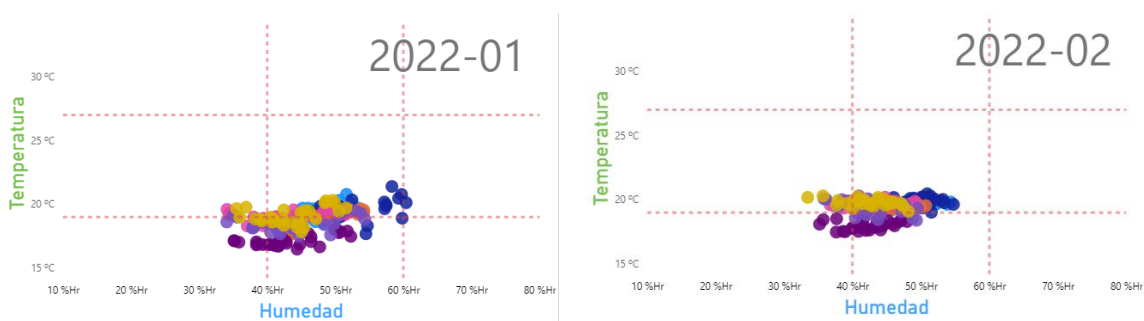
El proceso de uso de esta plataforma viene dado por la contratación de las comunidades de vecinos de la monitorización de sus hogares por parte de las empresas especializadas en gestión energética. Una vez se haga esto, se incorporan estos edificios y viviendas a la base de datos y se prepara la plataforma para la recogida de datos. En la aplicación, se ha creado una plataforma para que los instaladores, una vez colocados los equipos, puedan cargar semanalmente los ficheros de la vivienda en su carpeta correspondiente. Así, tanto los vecinos pueden visualizar los datos recogidos de su vivienda como los investigadores del CSIC, pueden descargarse los datos para su análisis.

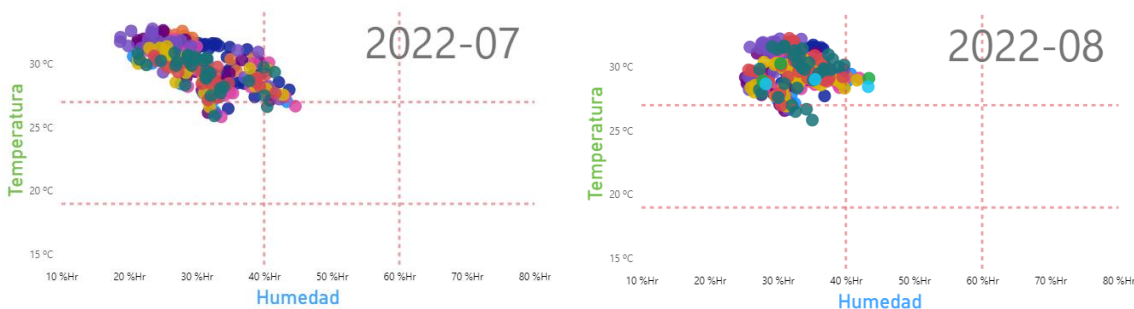


**Figura 2:** Portal del Plan de Monitorización: ejemplo de organización de la información de una vivienda.

Fuente: captura de pantalla de la web <https://habitamadrid.ietcc.csic.es/>

La plataforma también cuenta con un sistema de visualización de datos recogidos, a través del programa *Microsoft Power Bi*. Esto permite la carga de información en gráficos sencillos y comprensibles a todos los niveles de uso de la web. Desde los mismos hogares, tienen acceso para la visualización personal de sus datos, además de una plataforma de comparación de viviendas, edificios y distritos.





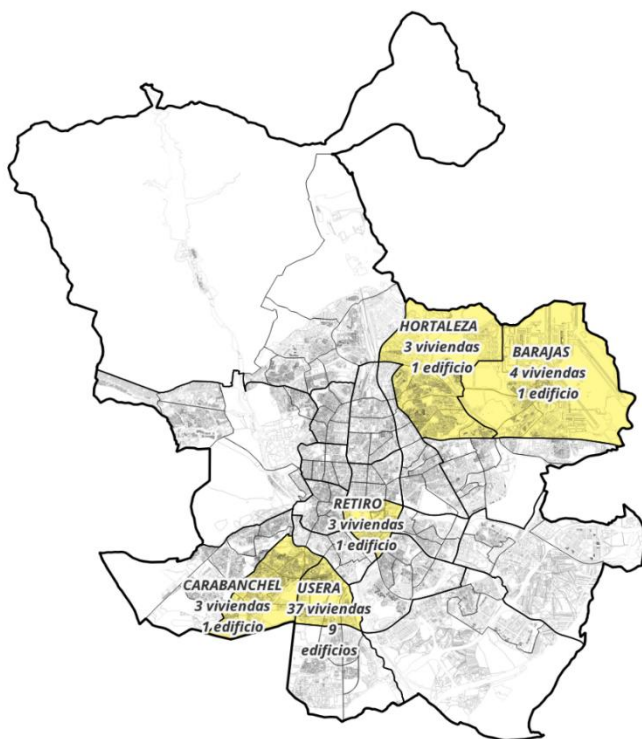
**Figura 3:** Ejemplo de visualización de la base de datos del Portal del Plan de Monitorización, con un diagrama de temperatura y humedad para medir el comportamiento de las viviendas a lo largo de cada mes entre enero y agosto.

Fuente: captura de pantalla de la web <https://habitamadrid.ietcc.csic.es/>

### 1.3. MUESTRA DE VIVIENDAS MONITORIZADAS.

Previa a la instalación de los equipos de monitorización en las viviendas, se han realizado unas encuestas en los hogares sobre hábitos de consumo y de uso de la vivienda, para poder realizar en un futuro estudios de correlación entre las características del hogar y los hábitos energéticos de los habitantes con el posible ahorro energético y la mejora del confort que se va a obtener tras las obras de rehabilitación. En total, para este proyecto, se hicieron 52 encuestas, aunque solo 46 viviendas han terminado siendo monitorizadas en el año 2022, por diferentes motivos.

Las 46 viviendas monitorizadas se distribuyen en: 36 viviendas de nueve edificios, en el Distrito de Usera; cuatro viviendas de un edificio, en el Distrito de Barajas; tres viviendas de un edificio, en los Distritos de Retiro y Carabanchel. Tres viviendas más están a la espera de empezar la monitorización en el mismo edificio del Distrito de Hortaleza.



**Figura 4:** Distribución por distritos de las viviendas analizadas por el Plan de Monitorización

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del Plan de Monitorización

Con respecto a los edificios, podemos hacer una categorización dependiendo del rango de antigüedad en la construcción, basado en la propuesta de Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España – ERESEE 2020 y según la investigación sobre clústeres tipológicos de vivienda en España [11], podemos caracterizar la ciudad de Madrid por:

- Antes de 1940 (edificación tradicional): 12,8% de la vivienda madrileña
- 1941-1960 (primer ciclo de expansión urbana con tipologías de bloques): 15,9% de la vivienda madrileña
- 1961-1980 (segundo ciclo de expansión urbana con cambios en los sistemas constructivos): 38,4% de la vivienda madrileña

- 1981-2007 (nuevos cambios técnicos y periodo de aplicación de la NBE-CT/79 que demandaba un mínimo aislamiento térmico en cerramientos): 27,7% de la vivienda madrileña
- Después de 2008 (implementación del Código técnico de Edificación CTE que exige condiciones de eficiencia energética al edificio): 5,3% de la vivienda madrileña

**Tabla 1.** Cantidad de viviendas estimadas y porcentaje por ciudad y rango de antigüedad para nueve ciudades y en total

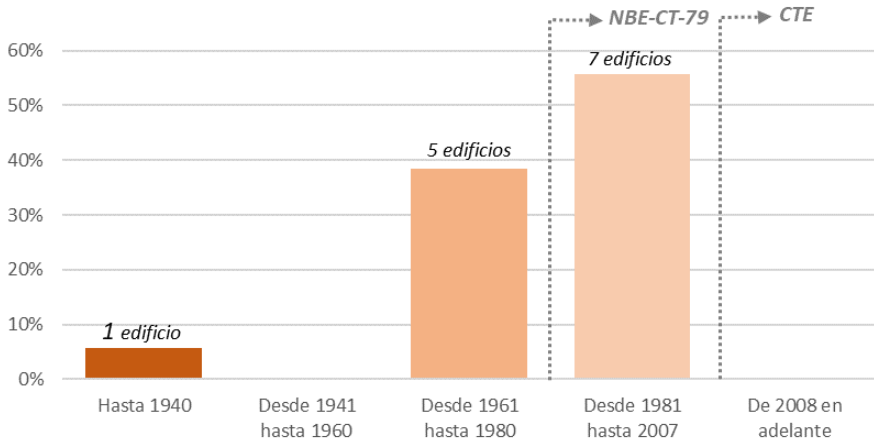
Ciudad	RANGO DE ANTIGÜEDAD* (TOTAL)										Total	% parque
	antes de 1940		1941-1960		1961-1980		1981-2007		desde 2008			
01_Madrid	197.274	12,8%	245.355	15,9%	594.110	38,4%	428.351	27,7%	81.766	5,3%	1.546.975	36,0%
02_Barcelona	204.992	25,9%	99.224	12,6%	365.159	46,2%	100.438	12,7%	20.310	2,6%	790.247	18,4%
03_Valencia	43.455	10,4%	50.570	12,1%	193.596	46,4%	115.805	27,8%	13.739	3,3%	417.250	9,7%
04_Sevilla	21.881	6,4%	36.912	10,9%	153.746	45,2%	110.601	32,5%	16.724	4,9%	339.865	7,9%
05_Zaragoza	21.649	6,3%	38.704	11,3%	137.254	40,2%	116.697	34,2%	27.212	8,0%	341.659	8,0%
06_Málaga	10.970	4,1%	15.866	5,9%	124.876	46,4%	99.245	36,9%	17.863	6,6%	268.849	6,3%
07_Murcia	7.585	3,4%	25.553	11,3%	59.243	26,3%	106.414	47,2%	26.789	11,9%	225.668	5,3%
08_Palma	23.884	12,8%	20.406	11,0%	76.477	41,1%	55.588	29,9%	9.586	5,2%	185.949	4,3%
09_Las Palmas G.C.	11.477	6,4%	19.659	11,0%	80.129	45,0%	59.914	33,6%	6.892	3,9%	178.075	4,1%
<b>Total</b>	<b>543.167</b>	<b>12,6%</b>	<b>552.249</b>	<b>12,9%</b>	<b>1.784.590</b>	<b>41,6%</b>	<b>1.193.053</b>	<b>27,8%</b>	<b>220.881</b>	<b>5,1%</b>	<b>4.294.537</b>	

\*Total de inmuebles de uso residencial

NOTA: Se ha graduado el fondo de las casillas de % para resaltar el rango de antigüedad en función de su peso dentro de cada ciudad y para el total

Fuente: (Hernández Aja et al., 2022)

Con respecto a los 13 edificios de los cuáles se tienen datos de encuestas, sólo el edificio del distrito de Retiro es anterior a 1940, cinco están en el periodo 1961-1980 y los siete restantes son del periodo 1981-2007. no se cuenta con la monitorización de ningún edificio del periodo comprendido entre 1941 y 1960



**Figura 5:** Porcentaje de viviendas según rango de antigüedad

Fuente: encuestas realizadas por el proyecto

En cuanto a los tipos de edificaciones, caracterizadas según la clasificación propuesta por las Normas Técnicas de Valoración de Catastro [12], 46 de ellas, 11 edificios, pertenecen al tipo vivienda colectiva de edificación abierta y el resto, seis de ellas, dos edificios, al tipo vivienda colectiva de manzana cerrada.

**Tabla 1.** Nº de viviendas por tipología de la edificación y modalidad del uso residencial clase vivienda colectiva de Catastro

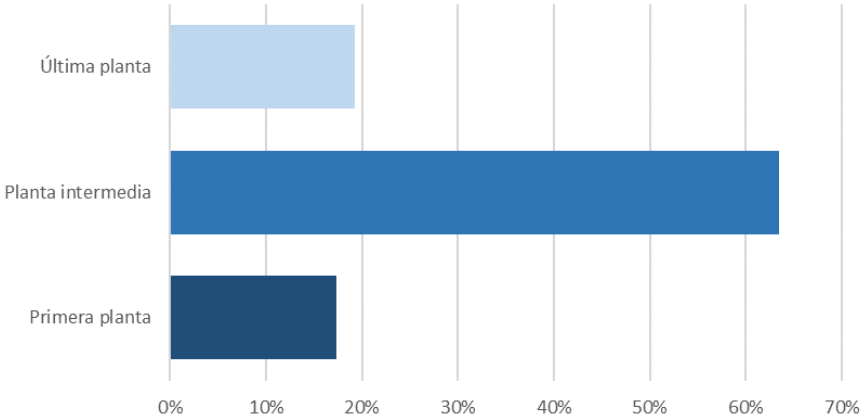
	Tipología edificación				Total general
	Bloque lineal de 1 vivienda por planta	Bloque lineal de 2 viviendas por planta	Bloque de 3 viviendas por planta	Bloque de 4 viviendas por planta	
<b>Modalidad Catastro</b>					
Vivienda colectiva en edificación abierta	1	42	3	-	46
Vivienda colectiva en manzana cerrada	-	-	-	6	6
<b>Total general</b>	<b>1</b>	<b>42</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>52</b>

Fuente: (elaboración propia a partir de datos de Catastro y proyectos de rehabilitación de cada edificio)

Si se analizan por tipología edificatoria, las viviendas en edificios de la modalidad edificación abierta tienen todas una morfotipología de bloque lineal, siendo la gran mayoría de 2 viviendas por planta, aunque existen de uno y de tres viviendas por planta. En cambio, las seis viviendas ubicadas en edificios de la modalidad manzana cerrada pertenecen a construcciones con de cuatro viviendas por planta.

A la hora de caracterizar las viviendas, podemos hacer distinciones por altura y orientación.

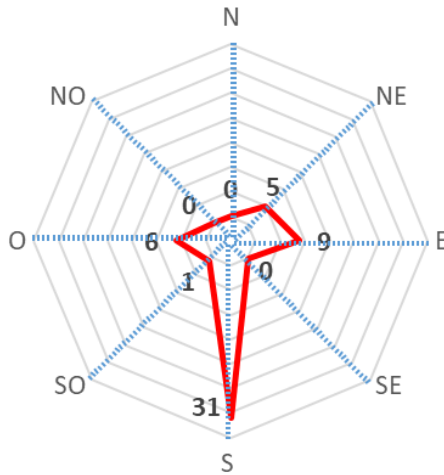
De las 52 viviendas encuestadas, un 63% están en una planta intermedia, un 19% en la última planta (sin distinguir las que tienen una cámara bajo cubierta encima y las que no) y un 17% en la primera planta (entendidas como la primera planta calefactada del edificio)



**Figura 6:** Porcentaje de viviendas según ubicación dentro del edificio

Fuente: encuestas realizadas por el proyecto

En cuanto a la orientación de su estancia principal, el salón, 31 viviendas están orientadas al Sur, seguidas de nueve al Este, seis al Oeste, cinco al Noreste y una al Suroeste.



**Figura 7:** Distribución de las viviendas por orientación del salón

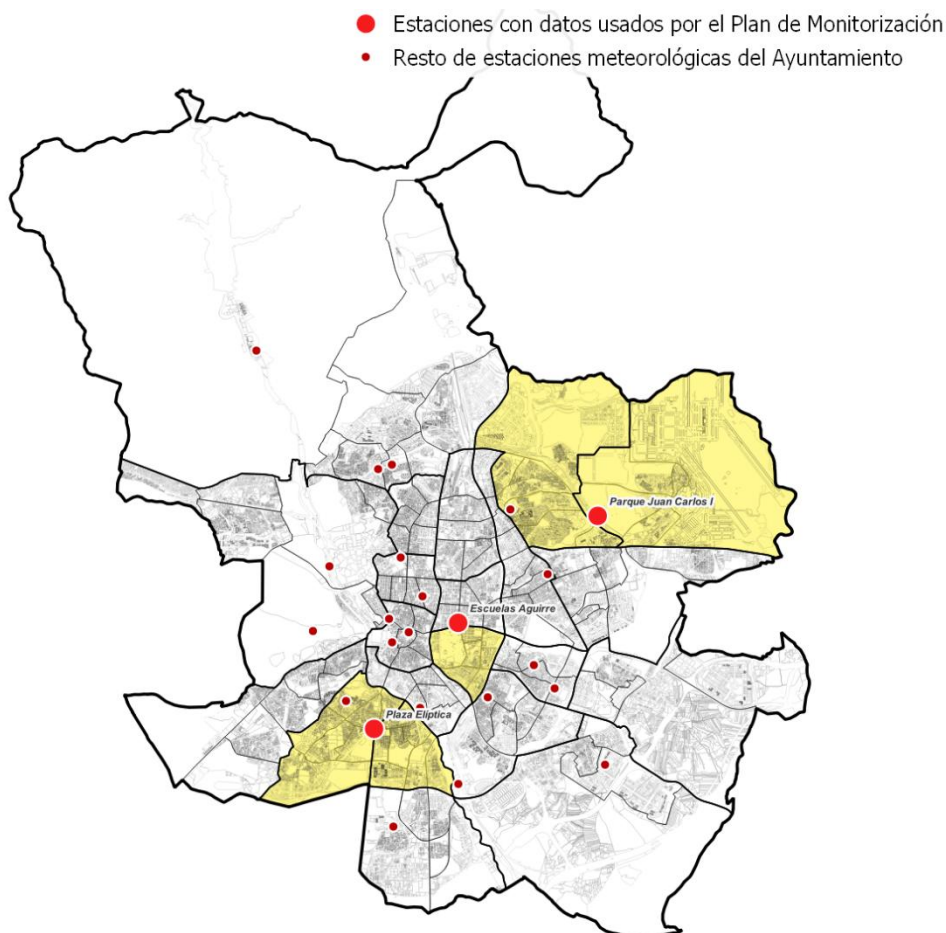
Fuente: encuestas realizadas por el proyecto

## 1.4. METODOLOGÍA.

### 1.4.1. Datos climáticos

Se ha hecho uso de la información proporcionada por la red abierta de meteorología municipal del Sistema Integral de la Calidad del Aire del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, s.f.). Se trata de una red de estaciones calibradas que registran temperatura y humedad exterior, soleamiento, dirección e intensidad del viento y precipitaciones.

Se han elegido las estaciones meteorológicas cercanas geográficamente a los edificios monitorizados. En total, se han usado 3: la de Escuelas Aguirre (código 28079008) para el Distrito de Retiro, la de Plaza Elíptica (código 28079056) para los Distritos de Carabanchel y Usera y la del Parque Juan Carlos I (código 28079059) para los distritos de Hortaleza y Barajas.



**Figura 8:** Estaciones meteorológicas seleccionadas para los distritos incluidos en el Plan de Monitorización (en amarillo)

Fuente: encuestas realizadas por el proyecto

Para poder evaluar la severidad climática del año medido (2022) y poder comparar en un futuro con otros periodos de tiempo, se ha utilizado la metodología del cálculo de los Grados Día para caracterizar la severidad climática durante el periodo en el que se tratan los datos. Esta medida se usa en meteorología para cuantificar el frío o calor acumulados en un periodo de tiempo. Para ellos, se han usado los promedios de temperatura exterior diaria recogidos por las estaciones meteorológicas. Se ha utilizado la base GD15/15 para calefacción y

la base GD25/25 para refrigeración, para realizar los cálculos de forma anual. La metodología utilizada aparece descrita en (NBE-CT-79, 1979) [13].

#### 1.4.2. Recogida de datos de consumos energéticos

El consumo energético monitorizado ha sido recogido a través de dos conjuntos de datos: los proporcionados por las facturas de las empresas de suministro energético y los obtenidos gracias a los sensores instalados en los contadores de las viviendas. En este estudio, se han usado principalmente los provenientes de los datos de facturación, ya que proporcionan datos históricos de los últimos años. Para ello, los vecinos deben autorizar el acceso a esta información a través del número de punto de consumo de sus hogares (CUPS).

Las lecturas desde los puntos de consumo de las viviendas monitorizadas tienen una precisión mensual o incluso bimensual (según se cobren las facturas). Así pues, para hacer una estimación diaria, se han hecho cálculos de uso diario a través de una división proporcional del dato en los días que comprende la lectura. Como en los demás casos analizados en este trabajo, se han usado los datos del año 2022.

Con respecto al acceso a los datos, hemos podido obtener información de consumo eléctrico de las 46 viviendas monitorizadas. En referencia a los consumos de gas natural, 40 de las viviendas tienen suministro de este combustible, pero ha habido una vivienda (con código RHM12-0005-00015) de la cual no se dispone de lecturas en los registros de la empresa distribuidora, con lo que no se han podido visualizar.

Toda esta información ha sido procesada gracias a un código propio escrito en lenguaje de programación Python, usando para ello las librerías NumPy y Pandas para el procesado de datos y la librería Matplotlib para su visualización.

#### 1.4.3. Calidad ambiental

La monitorización de confort y calidad del aire (humedad relativa, temperatura y CO<sub>2</sub>) se ha hecho a través del sensor instalado en el interior de la estancia principal de las viviendas, dando varias medidas por hora. Los datos registrados, todos del año 2022, se han procesado con un código propio escrito en Python. Al igual que para el

consumo, as librerías utilizadas han sido NumPy y Pandas para el procesado y Matplotlib para la visualización.

## 2. RESULTADOS.

### 2.1. SEVERIDAD CLIMÁTICA

Los resultados obtenidos para el año 2022 se pueden dividir en datos climáticos de la ubicación de los edificios rehabilitados, los datos de consumo energético de las viviendas y los datos de monitorización de confort ambiental interior.

**Tabla 2.** Tabla comparativa de los Grados Día de las estaciones meteorológicas seleccionadas para cada Distrito, su promedio y el de todas las estaciones de Madrid en 2022

Mes	Promedio Madrid		Promedio Distritos Monitorizados		Estación Retiro		Estación Carabanchel/Usera		Estación Hortaleza/Barajas	
	GD Cal.	GD Ref.	GD Cal.	GD Ref.	GD Cal.	GD Ref.	GD Cal.	GD Ref.	GD Cal.	GD Ref.
Enero	279	0	288	0	216	0	353	0	298	0
Febrero	182	0	160	0	114	0	197	0	171	0
Marzo	177	0	150	0	146	0	135	0	176	0
Abril	103	0	91	0	86	0	84	0	106	0
Mayo	4	0	2	4	2	8	1	8	5	1
Junio	0	34	0	42	0	55	0	58	0	29
Julio	0	107	0	147	0	156	0	155	0	126
Agosto	0	76	0	96	0	101	0	110	0	83
Sep-tiembre	2	5	4	5	11	8	0	7	2	0
Octubre	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0
No-viembre	100	0	106	0	110	0	89	0	115	0
Diciem-bre	174	0	210	0	291	0	158	0	187	0
<b>TOTAL</b>	<b>1,022</b>	<b>222</b>	<b>1,012</b>	<b>294</b>	<b>976</b>	<b>328</b>	<b>1,017</b>	<b>338</b>	<b>1,062</b>	<b>239</b>

Se han resaltado las celdas por filas. Cuántos más GD, más oscuro, en azul los grados de calefacción y en rojo los de refrigeración

Fuente: (elaboración propia a partir de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid)

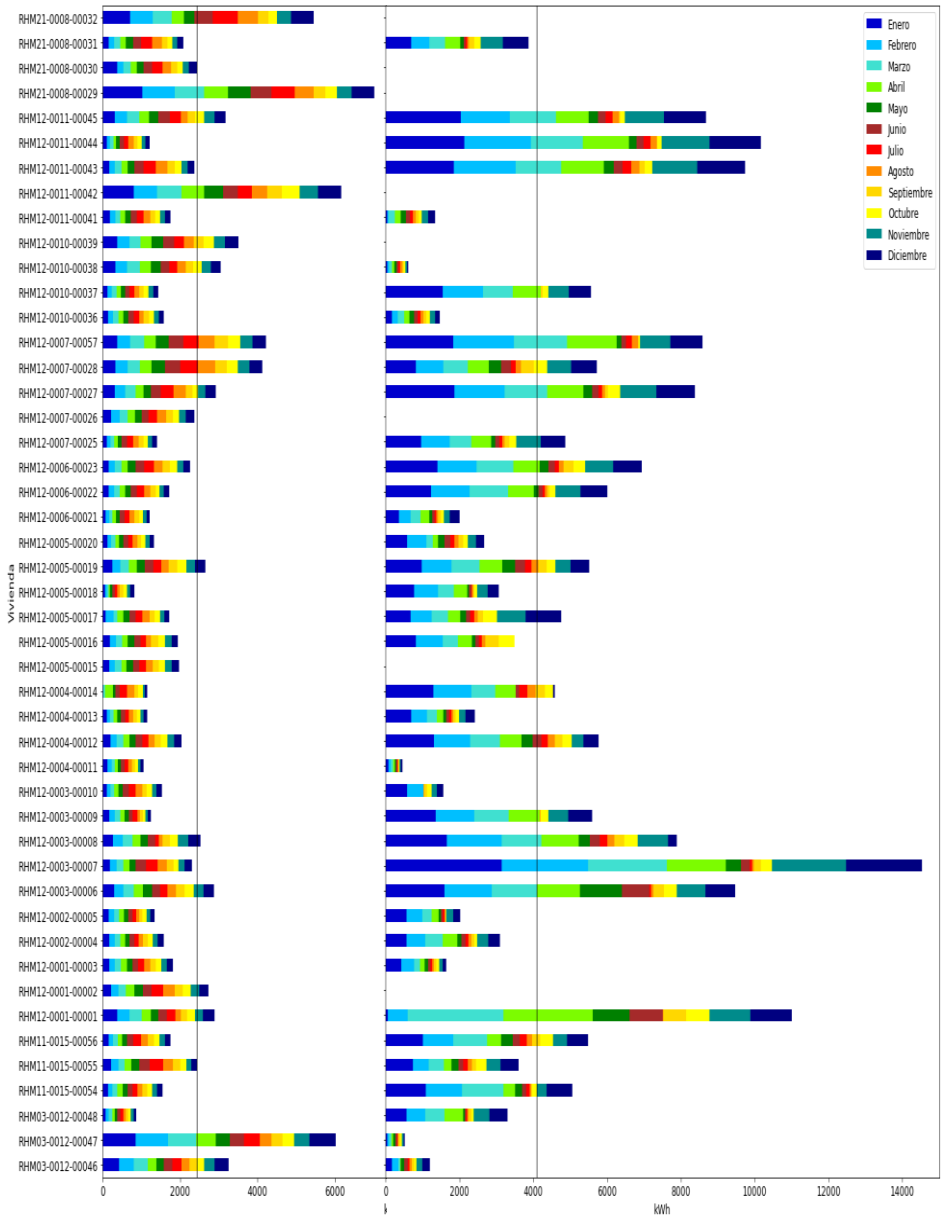
Para el cálculo del promedio de Madrid, se han usado los datos de todas las estaciones meteorológicas de las que dispone la red del Ayuntamiento con resolución horaria en todos los puntos de la ciudad. El promedio por distritos ha hecho uso de las tres estaciones usadas, promediadas juntas. Por último, se ha calculado la severidad en cada uno de los distritos por separado.

Como se puede observar en la

Tabla 2, la temperatura promedio de invierno de los tres distritos analizados es similar al de la ciudad de Madrid. Sin embargo, estos distritos sufren veranos más calurosos. Con respecto a cada uno de los tres distritos promediados, se observa que la severidad del invierno es menor en Retiro que en el resto de las estaciones, y cuando se trata del verano, el calor es mucho menor en el Distrito de Hortaleza/Barrajas que en los otros dos distritos. Esto podría explicarse por encontrarse en localizaciones en la zona sur de la ciudad que están más afectadas por el fenómeno de la Isla de Calor Urbana, como se puede ver en los trabajos que se han realizado para el análisis de esta [14].

## 2.2. RESULTADOS DE CONSUMOS

La Figura 9 muestra, para cada una de las viviendas monitorizadas (cada fila, una vivienda), su consumo anual diferenciado por meses (cada color, un mes). A la izquierda de la tabla, está el consumo eléctrico y a la derecha, el consumo de gas, todo ello medido en kilovatios hora de energía consumida. El gasto medio de todas las viviendas, en el año 2022 de energía eléctrica, representado por la recta vertical de color negro que atraviesa el gráfico, es de 2.423 kWh, mientras que el gasto medio de gas ha sido de 4.101 kWh. Como información extra, se pueden ver ciertas viviendas sin fila de consumo de gas, estas son las viviendas sin suministro de este tipo de energía, salvo en el caso de la vivienda RHM12-0005-00015, que como ya se ha comentado antes, las lecturas que se tienen de su CUPS son de 0 kWh por error de lectura en la plataforma distribuidora de gas.



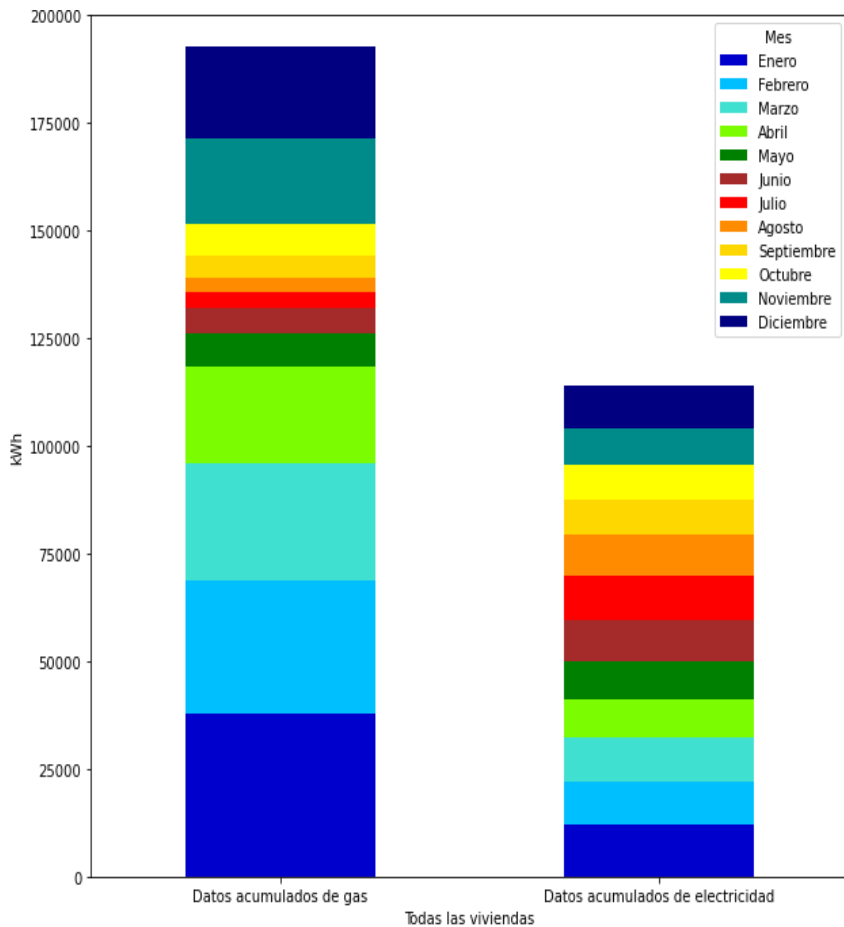
**Figura 9:** Acumulado mensual de consumo de electricidad y gas por vivienda a lo largo de 2022

Fuente: elaboración propia a partir de datos de consumo facturados

La Figura 10 muestra el consumo acumulado de todas las viviendas monitorizadas acumulado por meses. A la izquierda, se encuentra el consumo eléctrico y a la derecha, el consumo de gas. Se puede apreciar, en la columna derecha, que el consumo se dispara los meses de frío, en especial el mes de enero, el más frío de 2022

(

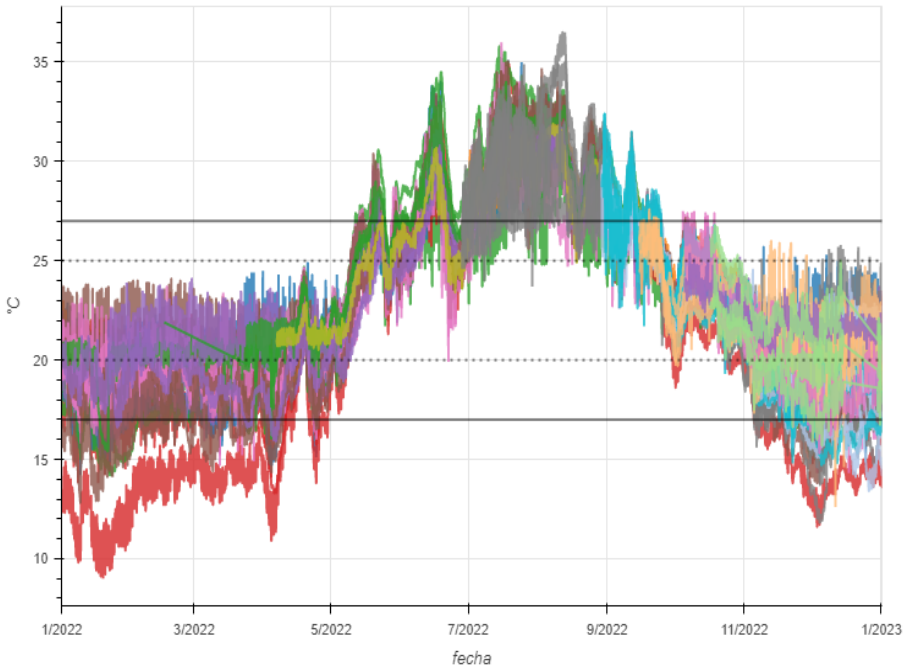
Tabla 2). Este mayor consumo se debe a la mayor demanda de calefacción. En concreto, en enero hay un consumo total de 37.829 kWh cuando el consumo mediano mensual de todas las viviendas ha sido de 13.634 kWh. Por el contrario, el consumo eléctrico se mantiene bastante constante durante todos los meses del año, exceptuando dos pequeños picos, en los meses más fríos (en especial, enero) y en los más calurosos (en concreto, julio). Siendo el gasto eléctrico mediano mensual de todas las viviendas de 9.548,5 kWh, en enero se tiene un gasto de 11.936 kWh, que se puede explicar por el uso en varias viviendas de sistemas de calefacción eléctricos y en julio, se tiene un gasto de 10.525 kWh, explicado por el uso de equipos de refrigeración por el calor.



**Figura 10:** Acumulado mensual de consumo de gas del total de viviendas monitorizadas a lo largo de 2022

Fuente: elaboración propia a partir de datos de consumo facturado

### 2.3. CALIDAD AMBIENTAL REGISTRADA EN LAS VIVIENDAS

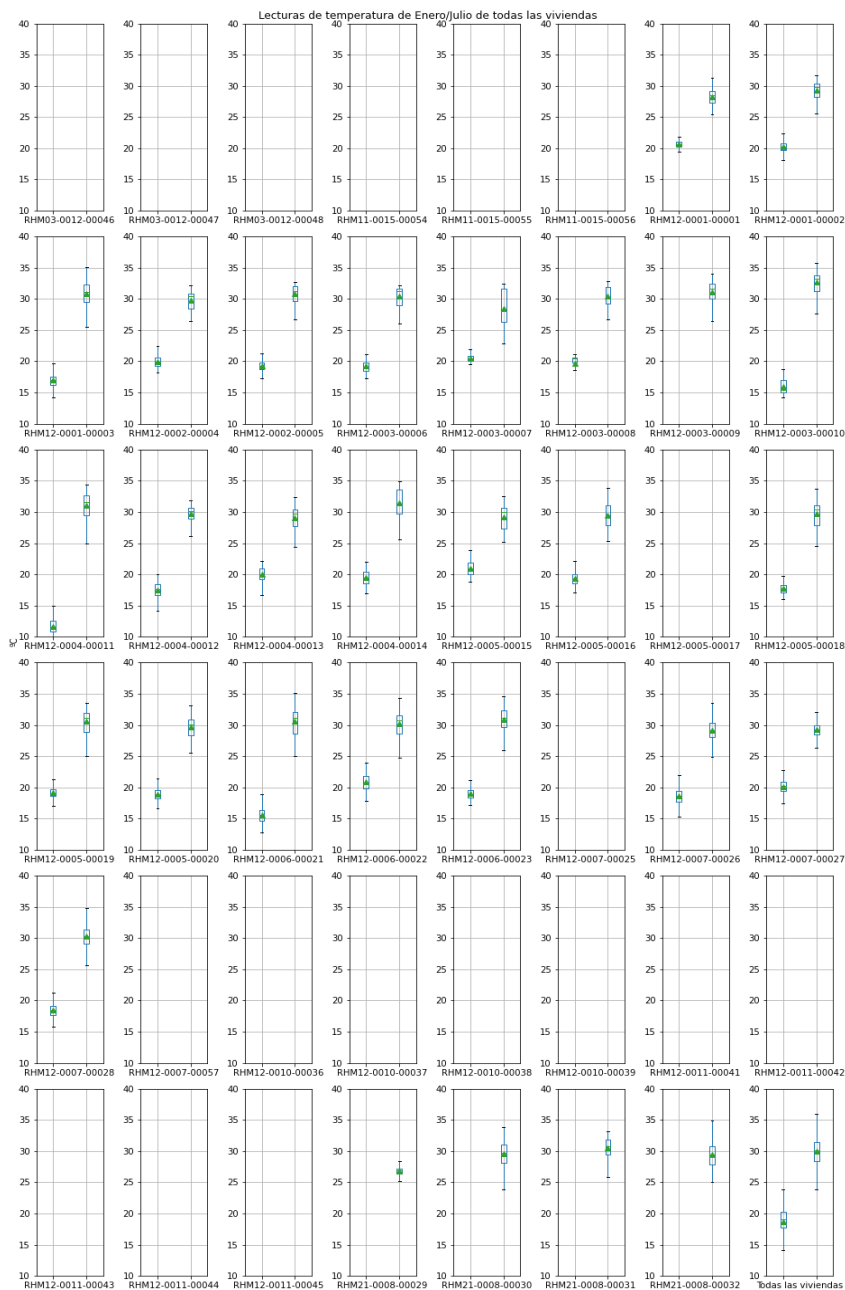


**Figura 11:** Datos registrados de temperatura para el año 2022.

Fuente: sensores\_data\_temperatura.html

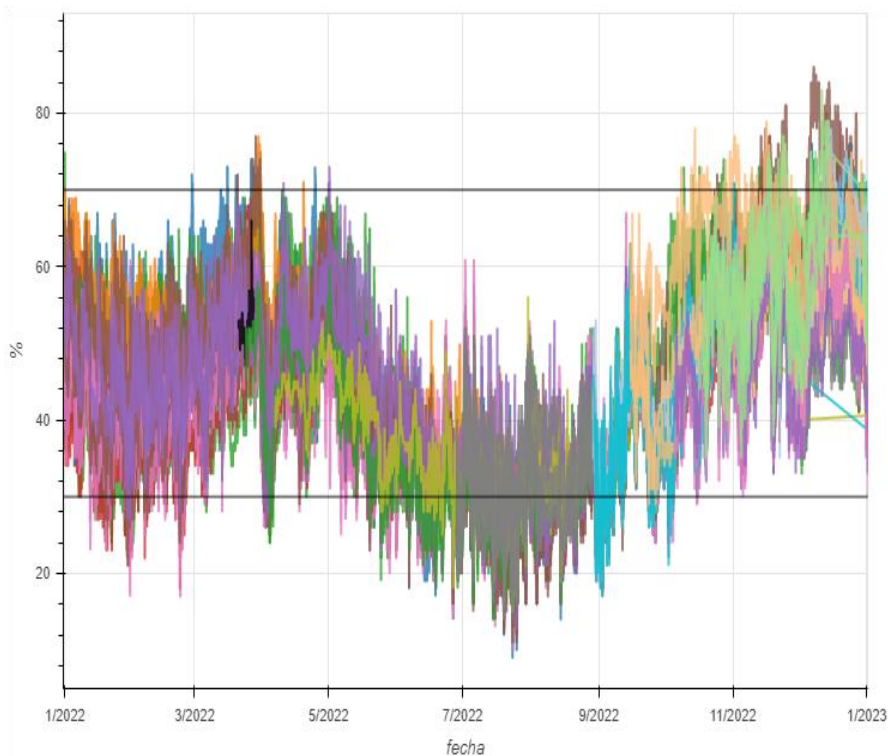
En la Figura 11 se muestran todos los datos registrados de temperatura en todas las viviendas durante el año 2022. Las rectas horizontales continuas de color negro marcan los rangos extremos de confort de temperatura durante la noche (mínimo de 17°C y máximo de 27°C) mientras que las rectas horizontales discontinuas marcan las temperaturas de confort durante el día (mínimo de 20°C y máximo de 25°C). Sabiendo que la temperatura mediana de la muestra completa es de 22,9°C, podemos observar que, durante el invierno, la mayoría de las viviendas monitorizadas se encuentran dentro de los rangos de confort, aunque existen casos extremos, en los que se llegan a alcanzar las mínimas de 9°C. Sin embargo, en los meses de verano, todas las viviendas están por encima de los umbrales superiores, llegando a máximas de 36,5°C. Se puede inferir que, en el caso del confort climático, los veranos en la ciudad de Madrid son muy acusados para estas viviendas.

La Figura 12, muestra los diagramas de bigotes y cajas de las distribuciones de datos de los meses más extremos, enero y julio, como comparativa. Se puede observar que faltan bastantes bigotes, pues hay viviendas que no tienen datos de enero (empezaron a monitorizarse después) en incluso viviendas sin datos (empezaron a monitorizarse después de julio). Es interesante observar que los casos de datos más extremos en un mes parecen coincidir con datos también extremos en el otro mes. Las viviendas más templadas, parece que son así tanto en invierno como en verano. También se muestra en la gráfica vacía la vivienda RHM12-0007-00057, aunque su monitorización no comenzó hasta 2023 y no se ha utilizado en este trabajo.



**Figura 12:** Gráfico de bigotes de datos de temperatura por mes de frío y calor de cada una de las viviendas monitorizadas en 2022.

Fuente: sensores\_data\_temperatura.csv

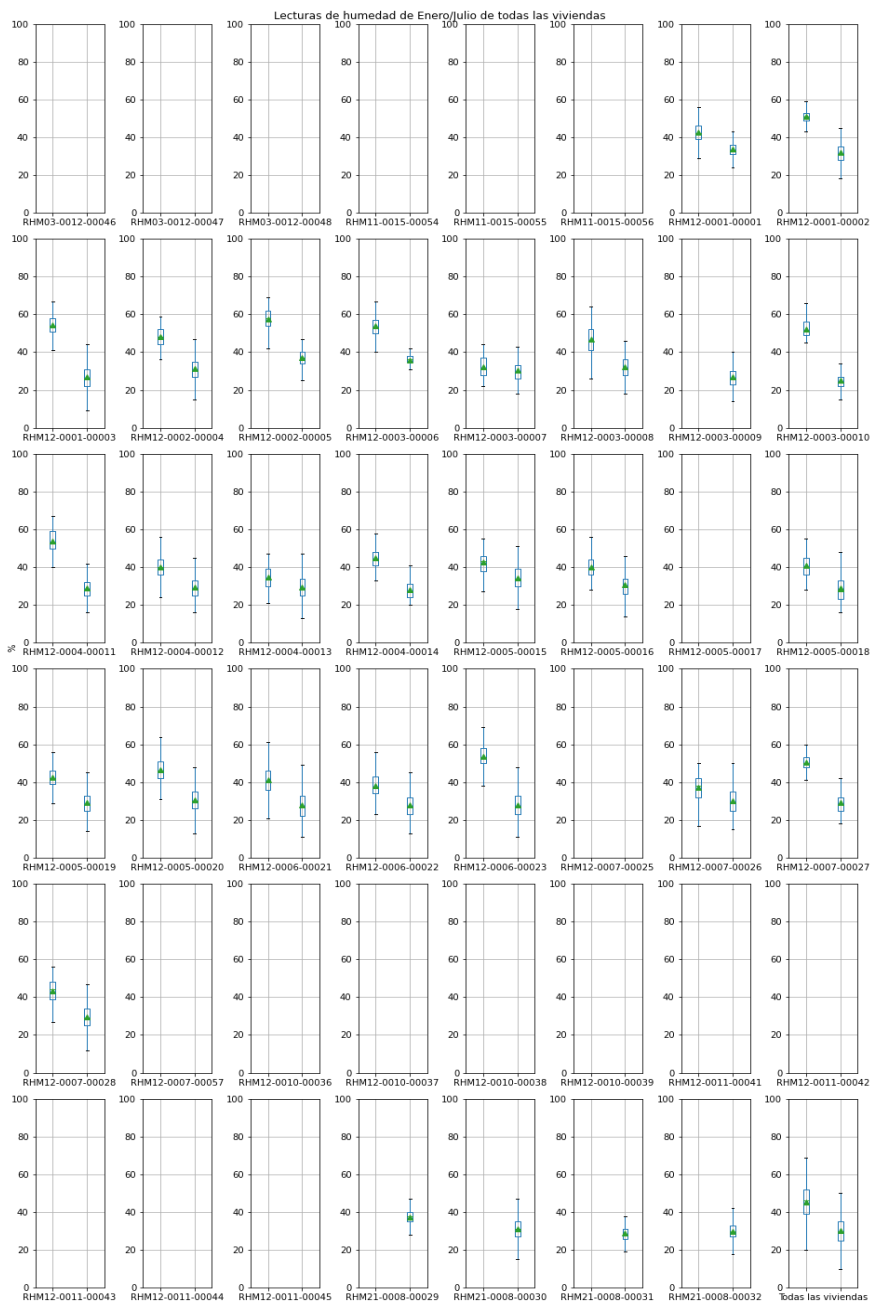


**Figura 13:** Datos registrados de humedad relativa para el año 2022.

Fuente: sensores\_data\_temperatura.html

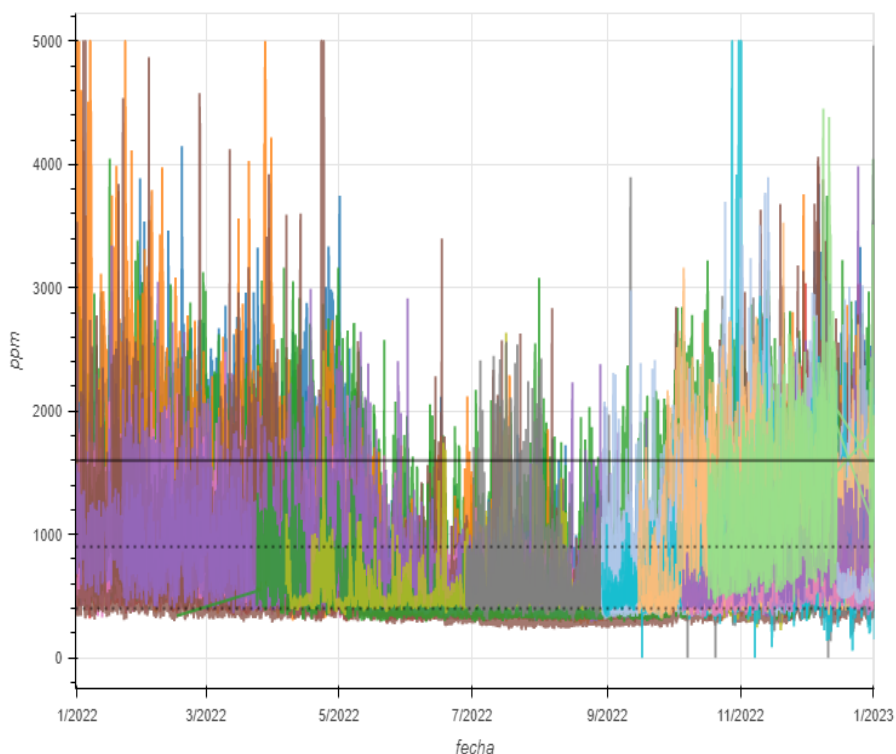
Con respecto a la humedad, la Figura 13 muestra todos los datos recogidos durante el año 2022. Las rectas negras horizontales muestran el máximo y mínimo del rango de confort, entre 30% y 70%. La humedad mediana de todas las distribuciones unidas es de 44,9%. Se puede observar que la mayoría de las viviendas se mantienen a lo largo del año dentro de esos rangos de confort, aunque hay un número de ellas que en verano caen por debajo de ese 30% mínimo. El dato mínimo que se ha obtenido ha sido de un 9%, así como en los meses de frío, se ha recogido un dato máximo de 86%, pero se tratan de casos excepcionales que se tratarán de manera individual. En general, se puede inferir que no hay unos problemas evidentes de humedad en las casas monitorizadas.

Como en el caso de la temperatura, gráfica anterior, la Figura 14 muestra cada uno de los diagramas de cajas y bigotes, dos por vivienda, uno por la distribución del mes de enero y otro por la del mes de julio. Solo se muestran datos si han sido monitorizados, en caso de que falte la distribución de ese mes (se haya empezado a monitorizar después), ese diagrama no se muestra. La vivienda RHM12-0007-00057, que se empezó a monitorizar a partir de 2023, no se tiene en cuenta para este trabajo. Se puede apreciar que los gráficos se mantienen dentro de los rangos de confort, tendiendo más hacia la falta de humedad antes que el exceso.



**Figura 14:** Gráfico de bigotes de datos de humedad de los meses de enero y julio de cada una de las viviendas monitorizadas en 2022.

Fuente: sensores\_data\_humedad.csv



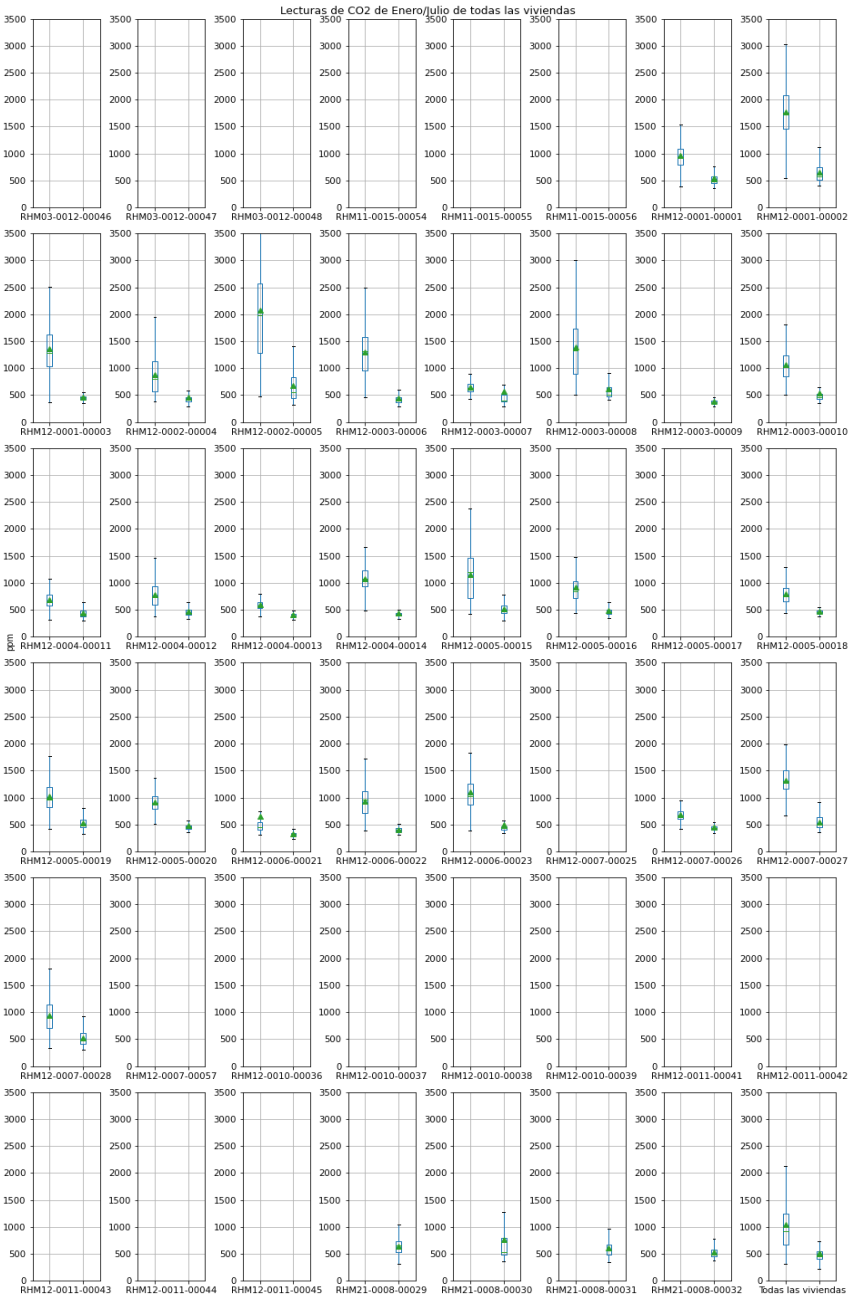
**Figura 15:** Datos registrados de CO2 acumulado para el año 2022 en 46 viviendas.

Fuente: sensores\_data\_co2.html

En la Figura 15 representa todos los datos recogidos de concentración de CO2 en el ambiente interior durante todo el año 2022. Las dos líneas horizontales discontinuas, representan los límites aconsejables de concentración de CO2 en espacios cerrados, que son entre 400ppm y 900ppm. La línea horizontal negra continua representa el límite de salubridad del aire que no se debería sobrepasar, de 1600ppm. La concentración mediana total es de 763ppm, una mediana dentro de los rangos salubres. En la gráfica se aprecian múltiples momentos a lo largo del año en los que las viviendas sobrepasan este límite superior, en especial durante los meses de frío, cuando las viviendas suelen bajar la frecuencia y tiempo de ventilación de las casas por el frío exterior, aunque en los meses de verano también sucede, en especial durante olas de calor, debido a las medidas de

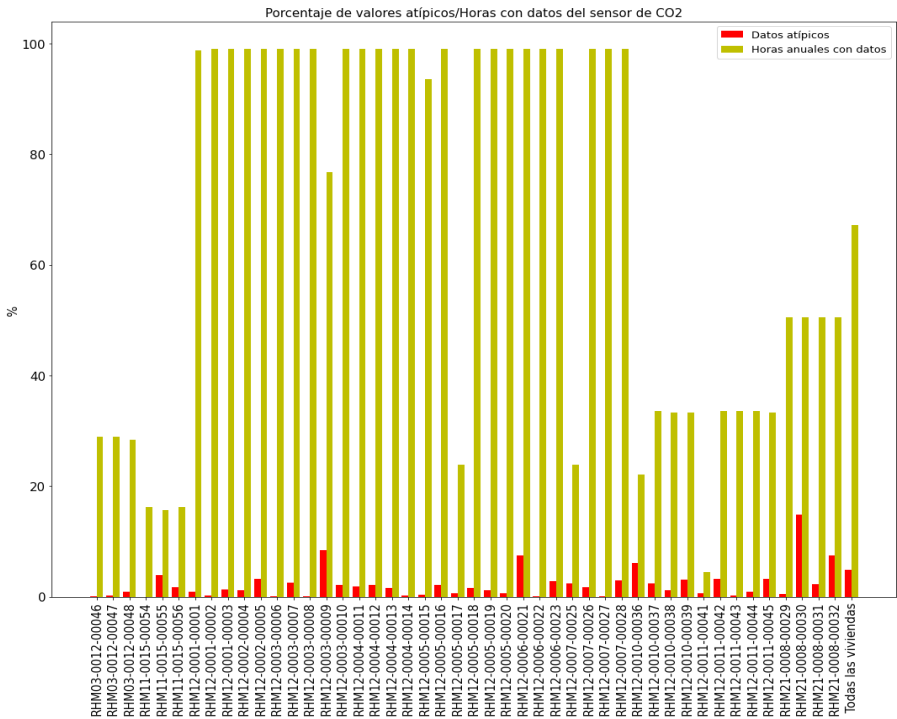
protección contra el calor, como pueden ser cerrar las ventanas y bajar las persianas durante el día.

En la Figura 16 se ven las disparidades en la concentración de CO<sub>2</sub> en las viviendas durante el verano y el invierno. Manteniendo las mismas condiciones que los gráficos de temperatura y humedad anteriores, allá donde hay datos, hay gráficos. Se verifica que en invierno la ventilación es peor y las concentraciones de CO<sub>2</sub> son mucho mayores que en verano, que se mantienen en general más bajas, gracias a la apertura de ventanas, en especial durante la noche.



**Figura 16:** Gráfico de bigotes de datos de CO2 de los meses de enero y julio de cada una de las viviendas monitorizadas en 2022.

Fuente: sensores\_data\_co2.csv



**Figura 17:** Gráfico de barras con los porcentajes de valores atípicos y horas con datos de CO2 de cada una de las viviendas monitorizadas en 2022.

Fuente: sensores\_data\_co2.csv

El porcentaje de horas anuales monitorizadas por vivienda se ve en la Figura 17. Como el CO2 se mide con el mismo aparato que la temperatura y la humedad relativa, solo se visualiza el generado con uno de los tipos de datos. En amarillo se puede apreciar que hay un 50% de viviendas (26 en total) que tienen prácticamente el 100% de las horas anuales monitorizadas, un 15% (7 viviendas) tienen entre 50% y 90% de las horas de 2022 con datos y el 35% restante, tienen menos del 40% de los datos anuales. Algunas de las viviendas empezaron a monitorizarse a pocas semanas de terminar el año y prácticamente no se tienen datos de ellas este año. Las barras rojas, muestran el porcentaje de datos atípicos registrados en las distribuciones. Solo se muestran los de CO2, porque su lectura muestra más inestabilidad

por su requerimiento un mayor suministro de energía que los sensores de temperatura y humedad, con lo que hay mayor porcentaje de error. En los sensores de temperatura, todas las viviendas tienen menos de un 2% de datos atípicos, que son prácticamente despreciables y en los sensores de humedad, la vivienda con mayor porcentaje de datos atípicos es de 3,13%, también se puede considerar trivial. Sin embargo, en el CO<sub>2</sub>, la mediana de datos atípicos registrados en total es de 4,9%, bastante superior que, en las dos medidas anteriores, llegando a un máximo de datos atípicos de 14,9% (vivienda RHM21-0008-00030). Esta información explica la robustez de los datos por vivienda: cuanto más datos anuales y menos atípicos tenga una casa, más fiables serán sus datos y al revés.

### 3. RESULTADOS.

Esta investigación, presenta unas metodologías y unas herramientas de monitorización que permiten observar y analizar el consumo energético y la calidad ambiental interior de una muestra del parque residencial madrileño sujeto a procesos de rehabilitación energética a través de subvenciones municipales, a fin de poder llegar a analizar las mejoras en los parámetros analizados una vez concluida dicha rehabilitación. Debido a las distintas fechas en las que se comienzan y finalizan las obras en cada edificio, se ha optado por establecer un marco comparativo entre viviendas y anualidades, cuando se tengan más datos de años sucesivos. La previsión es que estos datos vayan mejorando con el tiempo y que, al incorporarlos en el modelo, este vaya ganando robustez y sea capaz de predecir las mejoras esperables tras las reformas. Este modelo está preparado para incorporar, además de datos de los siguientes años, nuevas viviendas que hayan sido seleccionadas para participar en el programa de monitorización. De momento, otras 164 están en el proceso de inclusión.

La idea principal es poder interpretar estos datos de manera individual, explotando y cruzando los datos que se han obtenido de las encuestas realizadas y hacer un trabajo de control y seguimiento de las obras de rehabilitación. También de manera global, se pretende demostrar que estos trabajos efectivamente mejoran las condiciones de habitabilidad de las viviendas, para concienciar a la ciudadanía y a

los poderes regionales y estatales de que es una opción para la transición ecológica de las ciudades.

Por el momento y hasta disponer de datos después de la rehabilitación energética de las viviendas, se puede comprobar que el conjunto de viviendas analizado tiene un problema más acusado de calor durante los meses de verano y se pueden identificar posibles casos de pobreza energética. Para ello, se seguirá trabajando en el cruce de datos con los recogidos en las encuestas, para contextualizar estas variables medidas según los hábitos de cada una de las viviendas.

El año analizado en este trabajo es el 2022, pero ya se tienen datos del 2023 y se podrá empezar a completar, en especial para el análisis de los meses de frío (enero, por ser el más extremo) y de los meses de verano (julio, por ser el más extremo), con los datos extras de las estaciones meteorológicas de la red del Ayuntamiento de Madrid.

El futuro análisis de evolución anual permitirá un hito extra de acompañamiento a los vecinos donde se les podrá hacer recomendaciones personalizadas sobre hábitos de mejora del confort y eficiencia energética, como tiempos y horarios de ventilación en invierno, temperaturas de consigna de la calefacción y refrigeración, uso de protectores solares y ventiladores, etc.

#### 4. AGRADECIMIENTOS.

Nos gustaría agradecer su participación a los vecinos que están permitiendo que se monitoricen sus viviendas; al Ayuntamiento de Madrid, Área de Gobierno de Políticas de Vivienda; a Manuela Navarro por su labor en la Asociación Vecinal Guetaria, promoviendo este proyecto entre los vecinos; al equipo de la empresa Stechome; y al equipo de informática del IETcc- CSIC. Asociación Vecinal Guetaria promoviendo este proyecto entre los vecinos; al equipo de la empresa Stechome; y al equipo de informática del IETcc- CSIC.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ayuntamiento de Madrid, 2021. Area delegada de Vivienda. *Rehabilitación: accesibilidad, conservación y eficiencia energética* [WWW Document]. URL <https://transforma.madrid.es/rehabilitacion/> (accessed 9.5.22).

- [2] Oteiza, I., Alonso, C., Martín-Consuegra, F., Blazquez, A., Cuervo, T., Monjo, J., González, M., Sendra, J. J., Fernández, J., Domínguez, S., & Escandón, R. (2016). Proyecto REFAVIV. *Rehabilitación energética de la fachada de viviendas sociales, con productos innovadores con Documento de Idoneidad Técnica (DIT, DITE)*. Impacto económico, social y ambiental.
- [3] Alonso, C., Oteiza, I., Martín-Consuegra, F., Frutos, B., 2017. *Methodological proposal for monitoring energy refurbishment. Indoor environmental quality in two case studies of social housing in Madrid, Spain*. *Energy Build.* 155, 492–502. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.042>
- [4] Oteiza, I., 2018. Proyecto Habita\_res – (2018-2021) Proyecto de investigación BIA2017-83231-C2-1-R. *Nueva herramienta integrada de evaluación para áreas urbanas vulnerables. Hacia la autosuficiencia energética y a favor de un modelo de habitabilidad biosaludable*. URL <https://proyectohabita.res.ietcc.csic.es/> (accessed 2.15.20).
- [5] de Frutos, F., Cuervo-Vilches, T., Alonso, C., Martín-Consuegra, F., Frutos, B., Oteiza, I., Navas-Martín, M.Á., (2021). *Indoor Environmental Quality and Consumption Patterns before and during the COVID-19 Lockdown in Twelve Social Dwellings in Madrid, Spain*. *Sustainability* 13, 7700. <https://doi.org/10.3390/sui3147700>
- [6] Martín-Consuegra, F., de Frutos, F., Oteiza, I., Alonso, C., Frutos, B., (2021). *Minimal Monitoring of Improvements in Energy Performance after Envelope Renovation in Subsidized Single Family Housing in Madrid*. *Sustainability* 13, 235. <https://doi.org/10.3390/sui3010235>
- [7] Oteiza, I., Alonso, C., Martín-Consuegra, F., Serrano-Lanzarote, B., de los Ríos, I., Alonso, M. (Eds.), (2020). *MONITORIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA HABITABILIDAD, CALIDAD DEL AIRE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS. EXPERIENCIAS ESPAÑOLAS*. Instituto Valenciano de la Edificación, Valencia.
- [8] BOLETÍN OFICIAL DEL PAÍS VASCO, 2019. *ORDEN de 12 de junio de 2019, del Consejero de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda, por la que se convoca y regula, para el año 2019, el Programa de ayudas en materia de rehabilitación eficiente de viviendas y edificios (Programa Renove) para la elaboración de*

*proyectos de intervención en el patrimonio edificado de la Comunidad Autónoma del País Vasco, y la ejecución de las obras derivadas de los mismos.*

- [9] Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, *por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética* (Texto pertinente a efectos del EEE), 32018L0844, CONSIL, EP, OJ L 156 (2018). <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj/eng>
- [10] Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura (2019), *Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España* (ERESEE 2020). Madrid: Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. Disponible en: [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/paginabasica/recursos/es\\_ltrs\\_2020.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/es_ltrs_2020.pdf)
- [11] Hernández Aja, Agustín; Rodríguez Suárez, Iván; Álvarez del Valle, Lucas; Martínez Solano, Ainara; Viedma-Guiard, Andrés y Díez Bermejo, Ana (2022). *Informe sobre la localización espacial de clústeres tipológicos de vivienda en las grandes ciudades españolas y su relación con la vulnerabilidad urbana*. Informe Técnico. Madrid: Instituto Juan de Herrera (UPM). Disponible en: <https://oa.upm.es/71912/>
- [12] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, 1993. *Real Decreto 1020/1993, de 25 de junio, por el que se aprueban las normas técnicas de valoración y el cuadro marco de valores del suelo y de las construcciones para determinar el valor catastral de los bienes inmuebles de naturaleza urbana*. <https://www.boe.es/boe/dias/1993/07/22/pdfs/A22356-22366.pdf>
- [13] NBE-CT-79. (1979). NBE-CT-79. Condiciones Térmicas de los Edificios (Presidencia del Gobierno). Madrid.
- [14] Neila, F. J., Sánchez-Guevara, Román López, López Moreno, Núñez Peiró, Redondas Marrero, de Luxán, & Gómez Muñoz. (2017). Proyecto MODIFICA. Modelo predictivo – edificios – Isla de Calor urbanA. <http://abio-upm.org/project/modifica/>

## STUDY ON THE IMPACT AND CAUSES OF FIRES IN PROMINENT HERITAGE BUILDINGS IN VALPARAÍSO, CHILE, IN THE 21ST CENTURY<sup>1</sup>

---

DRA. M<sup>a</sup> PAZ SÁEZ-PÉREZ  
*Universidad de Granada, España*

D<sup>a</sup>. DANICA JAVIERA MAZUELA OYARZO  
*Universidad de Granada, España*

### ABSTRACT

During the nineteenth and early twentieth centuries, Valparaíso emerged as Chile's most advanced city, thriving as the country's principal maritime gateway. Its prominence as a port attracted numerous traders from Europe and North America, many of whom established permanent residence in the city. The exchange between these foreign settlers and the local population gave rise to a rich cultural blend, particularly evident in the city's eclectic architectural landscape. Remnants of this prosperous era can still be observed throughout Valparaíso, embedded in its urban layout and in a multitude of buildings with considerable historical, architectural, and heritage significance. However, these structures face ongoing threats from fire-related incidents—a central focus of this study. While such events are not a recent phenomenon, their recurrence has intensified in recent years, aggravating the vulnerability of these heritage assets. This deterioration is mirrored in the current state of the affected buildings: a total of 30 properties have been documented for this research, each presenting varying degrees of damage and degradation.

### KEYWORDS

Adaptative reuse; Building heritage; Fire damage; Deterioration; World Heritage Site; architectural rehabilitation.

---

<sup>1</sup> This chapter was funded by the Pre-competitive Research Projects Programme of the University of Granada (PP2022.PP.27) and supported by Horizon 2020 Marie Skłodowska-Curie Actions through the REMINE, WARMEST (RISE), and RRRMaker projects. It was conducted under the Scientific Unit of Excellence "Ciencia en la Alhambra" (ref. UCE-PP2018-01), Research Group RNM 0179 of the Junta de Andalucía, and the MARA Master's programme (University of Granada)

## INTRODUCTION

In recent years, there has been a growing academic and professional interest in the safeguarding of both historic and contemporary structures of artistic and cultural significance (Theocharis et al., 2018). Built heritage, as a key element of cultural identity, contributes significantly to the shaping of urban environments and the evolution of cities.

Simultaneously, one of the foremost global challenges is the pursuit of sustainable development, which influences every sector, including heritage conservation. This has prompted the emergence of integrated approaches that blend preservation with sustainability strategies (Huynh et al., 2020; Rodrigues et al., 2018; Ruggiero, Marmo & Nicoletta, 2021), acknowledging the plurality of values—historic, social, and environmental—attributed to heritage sites (Chaves et al., 2017; Mardones, 2018; Rey, Vegas & Ruiz, 2018; Sampaio et al., 2021), and thereby supporting the ecological and cultural resilience of urban areas (Onecha, Dotor & Marmolejo, 2021; Salman & Hmood, 2019).

Within this framework, it is vital to ensure the protection and active promotion of cultural heritage, which directly impacts the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs). Cultural heritage plays a cross-cutting role in promoting safer and more sustainable urban areas, reducing environmental degradation, encouraging renewable energy use, and fostering collaboration to meet global objectives (UNESCO, 2023), thus contributing to the development of inclusive and peaceful communities (Hosagrahar, 2017). Consequently, heritage-related research is increasingly aligning with sustainability agendas (Sáez & Marín, 2023; Marín & Sáez, 2022). In keeping with this outlook, the European Union has outlined as a strategic priority the conservation and revitalisation of built heritage throughout the 21st century (eur-lex.europa.eu, 2023).

In the current context, the appropriate care of historic buildings has become essential not only for their continued use and public appreciation but also for their contribution to tourism, cultural identity, and community development. The maintenance of architectural heritage is now a key factor in enhancing residents' well-being and strengthening the cultural and economic fabric of cities and towns (Borri & Corradi, 2019; Du et al., 2016).

Nevertheless, ensuring the integrity and longevity of these structures often entails adapting them to new functions, regulatory standards, and safety requirements. This process requires addressing outdated construction methods while mitigating damage and environmental risks that threaten their survival. Interventions must preserve the original identity of each site (Yi et al., 2013; Balayssac & Garnier, 2017; Ramesh et al., 2021), with efforts directed at controlling decay and limiting the impact of ageing materials (Nowogóńska, 2020; Drobiec, Grzyb & Zaja, 2021).

Since ancient times, urban settlements have been vulnerable to various forms of disaster—seismic activity, volcanic eruptions, flooding, and fire. Cities have historically rebounded from such events, often reconstructing with improved designs and updated building methods, and reshaping the urban layout to respond to emerging needs and risks.

While it is inevitable that such occurrences will continue, strategic planning and preventative actions can significantly reduce their long-term impact. This raises the question: what measures are taken when only individual buildings, rather than whole cities, are affected? And specifically, in the case of fire damage, how can we regenerate a site that still retains architectural value despite being partially destroyed?

There are numerous examples worldwide of fire-damaged buildings of significant cultural value being restored. However, the frequency and scale of such incidents continue to rise. As one 2021 study noted: “Despite current technology in fire prevention and extinguishing science, we have watched with despair as some heritage buildings have fallen victim to flames. From 1975 to 2005, the number of disasters has increased by around 400%...” (Venegas et al., 2021).

The case of Valparaíso, examined in this paper, is illustrative of this phenomenon. The number of architecturally and historically important properties affected by fires has risen markedly in the 21st century. Yet, post-fire recovery efforts remain limited or undefined, even within areas designated for heritage protection.

From its foundation, Valparaíso has been subjected to a wide range of natural disasters, including earthquakes, landslides, floods, and fires. Regarding seismic events, at least seven major earthquakes have occurred, with the 1906 quake being the most consequential. It

triggered a thorough urban redesign, incorporating earthquake-resistant construction techniques—many of which are still evident in the city's buildings today (Sánchez & Jiménez, 2011)—and played a role in its 2003 designation as a UNESCO World Heritage Site.

Fires, in particular, have a deep-rooted presence in the city's history. As early as 1840, documented accounts of such incidents began to appear (Arango, 2019). In fact, the area had been prone to fire even before the city was formally established; in 1536, the region was already known for its fires. Local inhabitants referred to it as "Alimapu," an Araucanian term meaning "scorched earth," though this label described the occurrence of fires in dry grasslands rather than any prophetic insight (Vela-Ruiz, 2018).

The frequency of large fires in Valparaíso intensified from 1843 onwards (Arango, 2019), with notable blazes recorded in the years 1843, 1850, 1852, 1856, 1858, 1862, 1936, and 1953. As the city expanded, so too did the scope of the damage. Figure 1 features an engraving illustrating the 1843 fire, one of the earliest significant disasters to affect the port city.

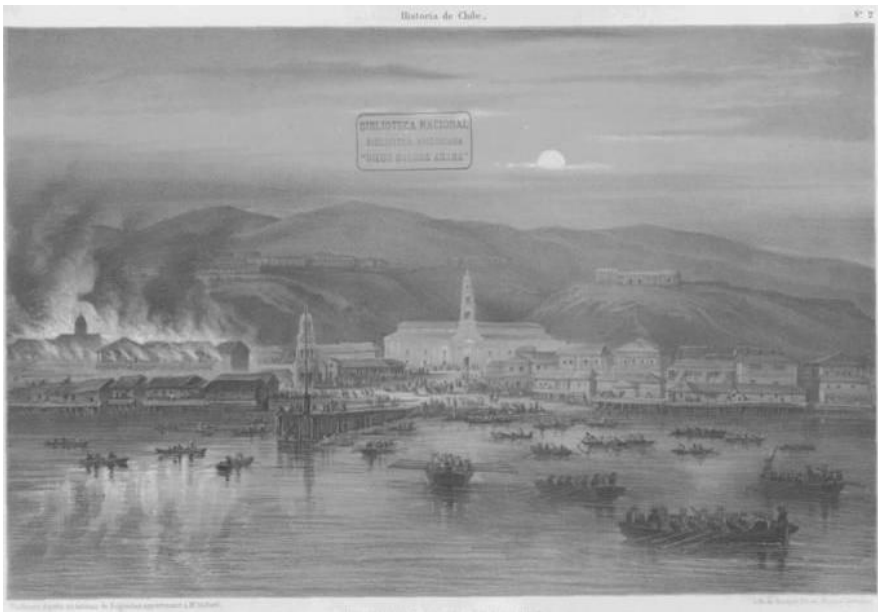


Figure 1: An engraving by Claudio Gay depicting the Valparaíso fire, dated 1843.  
Source. [www.memoriachilena.gob.cl](http://www.memoriachilena.gob.cl)

Urban planning measures and inspection frameworks were introduced to regulate construction practices, with particular attention paid to building materials and everyday functional uses. The persistent threat of fire was a major driver behind the founding of Chile's first fire brigade, established in Valparaíso. Despite these early initiatives, the city continues to face challenges related to fire incidents.

At present, there is no established emergency protocol for dealing with listed buildings that have been affected by fire. Legislative protection for historic structures began with the enactment of the "National Monuments Law" in 1970 (Ley N° 17.288, 1970), which set out guidelines for the conservation and maintenance of culturally significant buildings and sites.

Following Valparaíso's inscription as a UNESCO World Heritage Site in 2003, a range of new planning and territorial management instruments were introduced to enhance preservation efforts.

Figure 2 illustrates a case study in which buildings are shown before and after reconstruction following fire damage.



Figure 2: Pre- and post-fire comparison of the property.  
Source. Left [www.bbc.com](http://www.bbc.com). BBC, 2019. Right. Author, 2023

Although Valparaíso has long contended with urban disasters, fire remains a persistent threat, as evidenced by the thirty heritage properties identified in this study—each now exhibiting varying degrees of post-fire deterioration. In light of this, our principal objective was to survey those architecturally, historically and culturally significant buildings in Valparaíso that have been struck by fire since the turn of the twenty-first century and to assess both the causes of these incidents and the present state of their preservation.

To achieve this, we first catalogued every fire-affected property built before 2001, constructing a comprehensive dossier for each that includes its historical background, architectural classification, fire chronology and pre- and post-fire condition. We then evaluated their current structural integrity and legal status to understand the challenges and opportunities for their future safeguarding.

By producing detailed visual records and systematically compiling key data for each site, this research aims to support targeted conservation measures—both for formally listed monuments and for other at-risk heritage assets—thereby helping to arrest the erosion of Valparaíso’s irreplaceable cultural fabric.

## METHODOLOGY

To carry out the study, a comprehensive inventory was compiled of all buildings in Valparaíso that have been affected by fire, with the aim of analysing the frequency and nature of such incidents, as well as the responses—or lack thereof—implemented in their aftermath. The research process began with the development of a model data sheet, used to collate bibliographic and contextual information for each case as an initial analytical step. A second template was then designed to gather information on the current physical condition of the fire-impacted properties. In terms of the study’s scope, the primary focus was placed on fires occurring within the 21st century. Nonetheless, two additional cases—dating from 1983 and 1996—were included due to their temporal proximity and relevance, providing a broader perspective on the phenomenon. Only buildings for which adequate documentation was available to support a case study were incorporated into the analysis.

A further selection criterion involved the inclusion of properties with recognised cultural status—those formally designated or acknowledged as having notable architectural and historical significance—particularly when located within officially protected areas of the city.

Once the cases were identified, the city was subdivided into six sectors to facilitate spatial analysis. These zones—defined by both geographic layout (city plan and hillside areas) and common usage or historical identity—were: Playa Ancha Sector, Port Sector, Cerro Alegre/Concepción Sector, Bellavista Sector, Pedro Montt Sector, and Almendral/Barón Sector. Figure 3 presents a map illustrating the

spatial distribution of the fire-damaged buildings across these defined sectors.

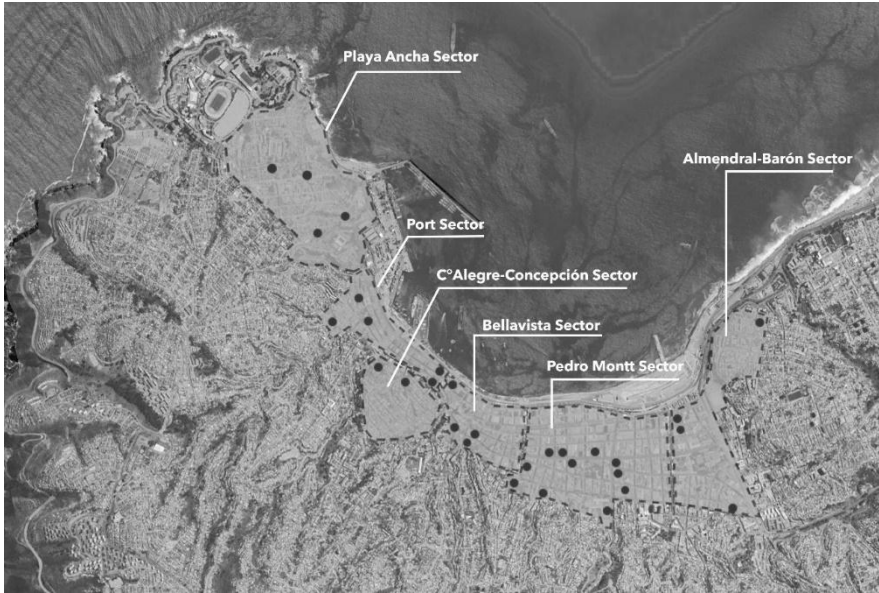


Figure 3: Map illustrating the city of Valparaíso, showing the six defined sectors along with the locations of fire-damaged properties.  
Source. Authors, 2023

Following the identification and documentation of the buildings, detailed case study sheets were created, integrating findings from the earlier research phases. The initial type of sheet compiled key information related to each property's historical background, architectural features, construction methods and materials, heritage classification, and documented fire incidents.

Once this preliminary research was complete, a second type of sheet was developed. This version incorporated data collected through fieldwork and on-site assessments, supplemented by photographic evidence illustrating the current state of each structure. The sheets also included details such as the year of the fire(s), construction date, original and post-fire usage, geographical location, and the architectural typology represented by the building, among other relevant aspects.

In organising the analysis, the buildings were categorised chronologically based on the most recent fire event affecting each one. This

approach was adopted due to the fact that several properties had experienced multiple fire incidents over time.

Finally, all data from the two types of case sheets were compiled into structured tables, allowing for sorting and cross-referencing to extract meaningful patterns. These results were then visualised through a series of graphs, which provided statistical insights into the different variables recorded on the study sheets.

It is important to highlight that each of the fire-damaged buildings examined in this study reflects distinct characteristics tied to their location in Valparaíso. The city's unique topography and historical evolution have significantly influenced the development and identity of these properties over time.

## RESULTS

Based on the information obtained through the two previously described data collection methods, the properties were categorised to establish connections between their respective conditions following fire incidents. One of the first classifications was temporal, using the "year of construction" for each of the 30 recorded buildings. This allowed the grouping of properties according to key phases of urban development in Valparaíso, with the aim of evaluating the potential architectural and historical loss.

Two distinct periods were identified: the latter half of the 19th century (1845–1899), and the early decades of the 20th century, marked by the 1906 earthquake, which played a decisive role in transforming local building techniques. Emphasising these timeframes is essential due to the significance of the buildings that may have been lost, as it helps to assess their current conditions in light of their historic relevance.

As illustrated in Figure 4, the analysis revealed that 20% of the studied buildings date from the second half of the 19th century, while 70% were constructed in the early 20th century. This reflects a substantial loss of structures that featured distinctive and historically important construction systems.

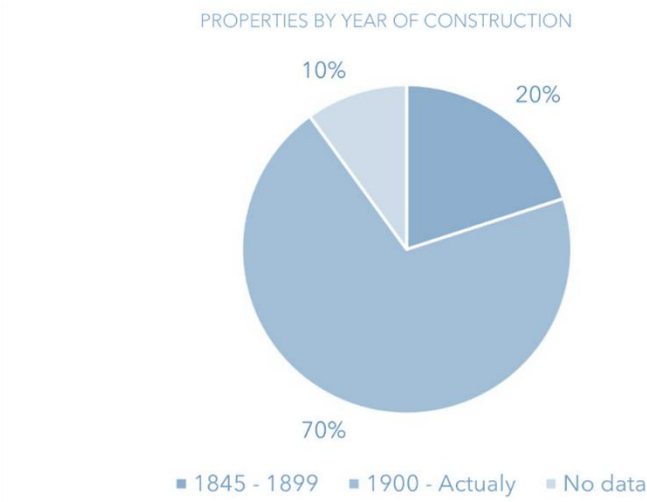


Figure 4: Construction periods of properties damaged by fire.

Based on the "Year of Fire" data, the highest concentration of incidents took place in 2019, during which 9 properties were affected. This was followed by 2016 with 4 recorded cases, while both 2017 and 2020 each registered 3 fire-damaged properties (see Figure 5).

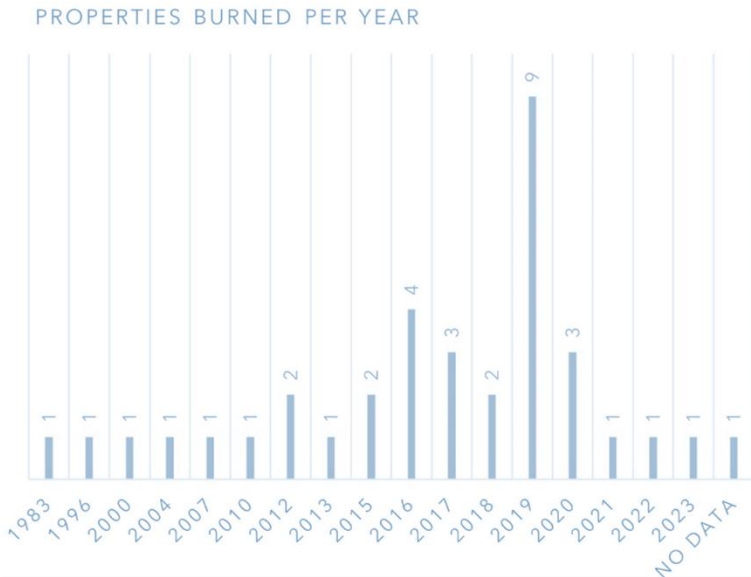


Figure 5: Years of fire and number of properties affected.

A total of 36 fire incidents have been documented across the case studies, spanning 17 different years. Notably, several properties experienced more than one fire, highlighting the recurring nature of this hazard in the city. These incidents are detailed in Table 1, which illustrates the distribution of fires over time and the frequency with which individual properties were affected

Table 1. Properties Affected by Multiple Fires and Corresponding Years

Building	years in which they were set on fire		
Building N°6 Iglesia y convento San Francisco	2013	2010	1983
Building N°18 Comercio calle Victoria	2019	2020	
Building N°24 Casa subida Ferrari	2019	2015	
Building N°26 Casa Maria Luisa Bombal	2020	2016	

Although this study focuses on individual fire-damaged properties, the collected data reveal that in numerous cases, fires extended beyond a single structure, affecting adjacent buildings as well. As a result, the 30 recorded properties were categorised based on whether the fire damage was confined to a single building or whether it occurred in conjunction with surrounding structures.

According to the data illustrated in Figure 6, 60% of the cases—equivalent to 18 properties—suffered isolated fire damage, with no spread to neighbouring buildings. Conversely, 40% of the properties were part of larger fire events where the blaze extended to adjoining constructions, leading to a broader loss of the urban and architectural fabric. This highlights not only the vulnerability of the city’s built heritage but also the potential for greater cultural loss when fires are not contained swiftly.

## FIRE DAMAGE

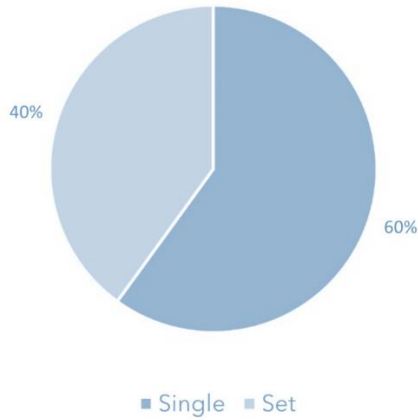


Figure 6: Extent of the Fires: Type of Impact – Individual vs. Collective.

Table 2 below classifies all the case studies, detailing the number of buildings affected in each incident and identifying the extent of the fire's reach.

Among the 18 cases where the damage was confined to a single property, it is notable that in 11 of these, the fire resulted in either the complete destruction of the interior or the total loss of the building. This highlights the severity of the impact even in situations where the fire did not spread beyond the initial structure, underlining the vulnerability of heritage buildings to fire damage regardless of scale.

On the other hand, of the 30 case studies analysed, 57% suffered either total destruction or complete interior loss.

Table 2. Affected property count and ownership classification for each case study

Number of properties affected by fire		Entity (fire severity)
Building N°1 Luis Cousiño	1	Total interior loss
Building N°2 Comisaría de Carabineros	1	Total interior loss
Building N°3 Palacio Subercaseaux	4	Total interior loss
Building N°4 Teatro IPA	3	Partial loss
Building N°5 Teatro Imperio	1	Partial loss
Building N°6 Iglesia y convento San Francisco	2	Total interior loss
Building N°7 Casa calle Las Heras	1	Total interior loss
Building N°8 Casa sector Márquez	1	Total interior loss
Building N°9 Farmacia Av.Pedro Montt	1	Partial loss
Building N°10 Casa Gran Bretaña	2	Partial loss
Building N°11 Residencial Av.Francia con calle Victoria	2	Partial loss
Building N°12 Mercado Cardonal	1	Partial loss
Building N°13 EdificioTottus	2	Total interior loss
Building N°14 Instituto Keller	2	Partial loss
Building N°15 Casa el Peral	1	Partial loss
Building N°16 Esquina frente Imperial	2	Total interior loss
Building N°17 Comercial Fruna	2	Partial loss
Building N°18 Comercio calle Victoria	2	Total interior loss
Building N°19 Banco Estado Condell	1	Total interior loss
Building N°20 El Mercurio	1	Partial loss
Building N°21 Farmacia esquina Edwards	1	Total interior loss
Building N°22 Comercial Din	2	Partial loss
Building N°23 Farmacia esquina Condell	2	Total interior loss
Building N°24 Casa subida Ferrari	1	Total loss
Building N°25 Casa ascensor Villaseca	1	Total loss
Building N°26 Casa María Luisa Bombal	1	Total loss
Building N°27 Residencia Ancianos	1	Partial loss
Building N°28 Feria artesanías Parque Italia	1	Total interior loss
Building N°29 Cité Av. Independencia	1	Partial loss
Building N°30 Casa pasaje Gálvez	1	Total loss

The scale of these fires highlights the devastating impact a single incident can have on the city. Beyond the destruction of properties with high architectural, historical, and heritage significance, there is also a profound loss of urban fabric, with a substantial portion of the built environment disappearing. This, in turn, gives rise to further urban and territorial challenges.

When classified by their 'Initial Use' prior to the fire (Figure 7), it is observed that 80% of these buildings were either residential—accounting for 10 properties—or mixed-use (residential-commercial), comprising 14 properties.

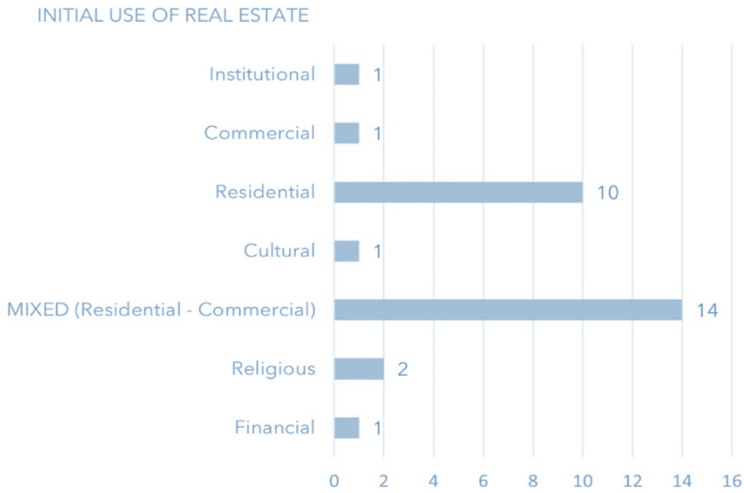


Figure 7: Initial building programme.

On the other hand, in order to assess potential changes resulting from the fires, data on the 'Post-incident use of the properties' have been collected. As shown in Figure 8, 50% of the affected properties have lost their original architectural function, remaining in a state of ruin following the incident.

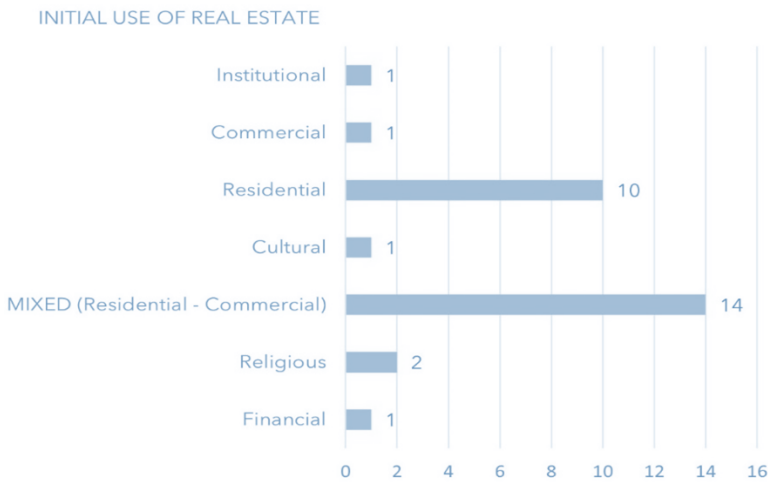


Figure 8: Post-fire use of the properties.

Table 3 presents information on the aforementioned uses. It confirms that, following the fire, a significant number of properties underwent

a radical shift in their programme. The detailed changes in use for the 50% of properties currently in ruins are highlighted in grey, while the remaining half either retains its original pre-fire use or has adopted a new programme as a result of reconstruction or rehabilitation works.

Table 3. Comparative analysis of the initial, prior, and post-fire uses of the properties. Those currently in a ruined state are indicated in grey

	Intended use	Pre-fire use	Use after fire
Building N°1 Luis Cousiño	Financial	Financial	Mixed (Educational - Cultural)
Building N°2 Comisaría de Carabineros	Religious	Institutional	Ruins
Building N°3 Palacio Subercaseaux	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Residential - Commercial)	Ruins
Building N°4 Teatro IPA	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Commercial-Cultural)	Mixed (Commercial-Cultural)
Building N°5 Teatro Imperio	Cultural	Commercial	Commercial
Building N°6 Iglesia y convento San Francisco	Religious	Religious	Not used
Building N°7 Casa calle Las Heras	Residential	Residential	Ruins
Building N°8 Casa sector Márquez	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Residential - Commercial)	Ruins
Building N°9 Farmacia Av.Pedro Montt	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Commercial-Office)	Mixed (Commercial-Office)
Building N°10 Casa Gran Bretaña	Residential	Residential	Residential
Building N°11 Residencial Av.Francia con calle Victoria	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Residential - Commercial)
Building N°12 Mercado Cardonal	Commercial	Commercial	Commercial
Building N°13 EdificioTottus	Residential	Residential	Commercial
Building N°14 Instituto Keller	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Educational-Commercial)	Mixed (Educational-Commercial)
Building N°15 Casa el Peral	Residential	Residential	Ruins
Building N°16 Esquina frente Imperial	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Residential - Commercial)	Ruins
Building N°17 Comercial Fruna	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Residential - Commercial)
Building N°18 Comercio calle Victoria	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Residential - Commercial)	Ruins
Building N°19 Banco Estado Condell	Mixed (Residential - Commercial)	Financial	Ruins
Building N°20 El Mercurio	Institutional	Institutional	Institutional
Building N°21 Farmacia esquina Edwards	Residential	Mixed (Commercial-Office)	Mixed (Commercial-Office)
Building N°22 Comercial Din	Mixed (Residential - Commercial)	Commercial	Commercial
Building N°23 Farmacia esquina Condell	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Commercial-Office)	Ruins
Building N°24 Casa subida Ferrari	Residential	Residential	Ruins
Building N°25 Casa ascensor Vilaseca	Residential	Residential	Ruins
Building N°26 Casa María Luisa Bombal	Residential	Institutional	Ruins
Building N°27 Residencia Ancianos	Residential	Residential	Ruins
Building N°28 Feria artesanías Parque Italia	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Residential - Commercial)	Ruins
Building N°29 Cité Av. Independencia	Mixed (Residential - Commercial)	Mixed (Residential - Commercial)	No data
Building N°30 Casa pasaje Gálvez	Residential	Residential	Ruins

According to the 'Recovery Status' of the properties, they are assessed based on five criteria: Rehabilitated, With Rehabilitation Project, Reconstructed, Not Rehabilitated, and Under Rehabilitation.

Table 4 presents a comparison of the recovery statuses, the number of years elapsed since each fire, and the time taken between the incident and the start of reconstruction or rehabilitation efforts.

It is initially observed that, out of the 30 case studies, 15 properties remain Not Rehabilitated—corresponding to the 15 cases previously identified as being in a state of ruin. Among the properties that have undergone or are undergoing reconstruction or rehabilitation—representing 12 buildings—only 4 have been fully rehabilitated; these are highlighted in grey in Table 4. Meanwhile, only one case is currently Under Rehabilitation: the Church and Convent of San Francisco (Building No. 6).

Table 4: Comparison of recovery status, years since fire, and duration to recovery.

	Years since the fire	Recovery status	Years until rehabilitation or reconstruction
Building N°1 Luis Cousiño	27	Rehabilitated	12
Building N°2 Comisaría de Carabineros	19	With rehabilitation project	
Building N°3 Palacio Subercaseaux	16	With rehabilitation project	
Building N°4 Teatro IPA	11	Rehabilitated	1
Building N°5 Teatro Imperio	11	Rebuilt	2
Building N°6 Iglesia y convento San Francisco	10	In Rehabilitation	2
Building N°7 Casa calle Las Heras	8	No rehabilitation	
Building N°8 Casa sector Márquez	7	No rehabilitation	
Building N°9 Farmacia Av. Pedro Montt	7	Rehabilitated	1
Building N°10 Casa Gran Bretaña	7	Rebuilt	
Building N°11 Residencial Av. Francia con calle Victoria	6	Rebuilt	1,5
Building N°12 Mercado Cardonal	6	Rebuilt	0,5
Building N°13 Edificio Tottus	6	Rebuilt	3
Building N°14 Instituto Keller	5	Rebuilt	0,5
Building N°15 Casa el Peral	5	No rehabilitation	
Building N°16 Esquina frente Imperial	4	No rehabilitation	
Building N°17 Comercial Fruna	4	Rebuilt	1
Building N°18 Comercio calle Victoria	4	No rehabilitation	
Building N°19 Banco Estado Condell	4	No rehabilitation	
Building N°20 El Mercurio	4	No rehabilitation	
Building N°21 Farmacia esquina Edwards	4	Rebuilt	2
Building N°22 Comercial Din	4	Rehabilitated	1
Building N°23 Farmacia esquina Condell	4	No rehabilitation	
Building N°24 Casa subida Ferrari	4	No rehabilitation	
Building N°25 Casa ascensor Villaseca	3	No rehabilitation	
Building N°26 Casa María Luisa Bombal	3	No rehabilitation	
Building N°27 Residencia Ancianos	2	No rehabilitation	
Building N°28 Feria artesanías Parque Italia	1	No rehabilitation	
Building N°29 Cité Av. Independencia	0,5	No rehabilitation	
Building N°30 Casa pasaje Gálvez	No data	No rehabilitation	

Finally, according to the 'Property Regime' data presented in Figure 9, 70% of the case studies are under private ownership. Of the remaining 30%, only one property—Building No. 2, the Carabineros

Police Station—is owned by the State of Chile. The ownership status of the other properties remains unknown.

PROPERTY REGIME OF THE REAL ESTATE

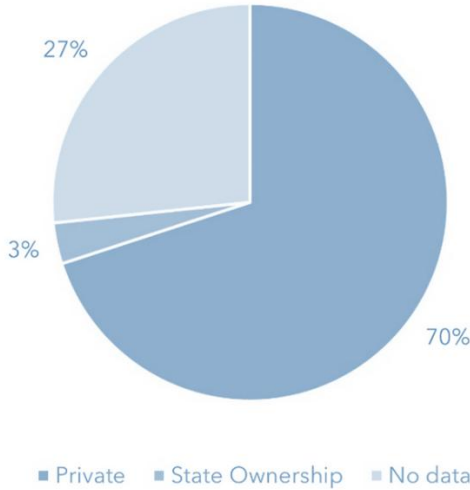


Figure 9: Ownership classification of the properties.

After collecting data on the 'Property Regime' of the buildings, these were compared with their current condition. Table 5 contrasts these parameters to examine the relationship between ownership type and the deterioration of the properties.

It was found that, among privately owned properties undergoing recovery, 2 have been rehabilitated, 6 reconstructed, 1 is currently under rehabilitation, and 1 has a rehabilitation project planned.

Conversely, among privately owned properties without intervention, 6 buildings remain in ruins and are at risk of collapse, 3 have been demolished, 1 is abandoned, and another is illegally occupied, with the vacant lot having been left unused for years following the fire.

Table 5: Analysis of the relationship between recovery status and property ownership regime.

	General Condition of the Property	Property Regime
Building N°1 Luis Cousiño	Rehabilitated	Private
Building N°2 Comisaría de Carabineros	In project	State Ownership
Building N°3 Palacio Subercaseaux	In project	Private
Building N°4 Teatro IPA	Rehabilitated	No data
Building N°5 Teatro Imperio	Rebuilt	Private
Building N°6 Iglesia y convento San Francisco	In rehabilitation	Private
Building N°7 Casa calle Las Heras	Abandoned	No data
Building N°8 Casa sector Márquez	Ruins-danger of collapse	Private
Building N°9 Farmacia Av.Pedro Montt	Rehabilitated	Private
Building N°10 Casa Gran Bretaña	Rebuilt	Private
Building N°11 Residencial Av.Francia	Rebuilt	No data
Building N°12 Mercado Cardonal	Rebuilt	Private
Building N°13 Edificio Tottus	Demolished	No data
Building N°14 Instituto Keller	Rebuilt	No data
Building N°15 Casa el Peral	Abandoned	Private
Building N°16 Esquina frente Imperial	Demolished	Private
Building N°17 Comercial Fruna	Rebuilt	No data
Building N°18 Comercio calle Victoria	Ruins-danger of collapse	Private
Building N°19 Banco Estado Condell	Ruins-danger of collapse	Private
Building N°20 El Mercurio	Rebuilt	Private
Building N°21 Farmacia esquina Edwards	Rebuilt	Private
Building N°22 Comercial Din	Rehabilitated	No data
Building N°23 Farmacia esquina Condell	Ruins-danger of collapse	Private
Building N°24 Casa subida Ferrari	Ruins-danger of collapse	No data
Building N°25 Casa ascensor Villaseca	Demolished	Private
Building N°26 Casa María Luisa Bombal	Ruins-danger of collapse	Private
Building N°27 Residencia Ancianos	Ruins-danger of collapse	Private
Building N°28 Feria artesanías Parque Italia	Demolished	Private
Building N°29 Cité Av. Independencia	Rebuilt	Private
Building N°30 Casa pasaje Gálvez	Illegal occupation	Private

## CONCLUSIONS

From the study analysing properties affected by fire in the city of Valparaíso, the following conclusions are drawn:

- Regarding the construction dates of the properties, it is evident that the loss caused by fire not only entails the destruction of the buildings themselves but also represents the disappearance of pioneering construction techniques for their time, notably the seismic-resistant features present in many buildings constructed during the first half of the 20th century.
- The analysis shows that fires have affected buildings of high historical, architectural, and heritage value over a period of 17 years, resulting in 36 recorded incidents. The absence of adequate action, supervision, and preventive measures has led to repeated fire events, sometimes impacting the same building multiple times.
- The significant impact of these fires has contributed to the gradual deterioration of the urban fabric, causing depopulation in various sectors of Valparaíso due to property abandonment and the loss of the city's characteristic block typology.
- A major obstacle to the recovery of these structures is their exclusive reliance on private ownership, with 70% of the affected properties privately owned. Legal constraints and bureaucratic processes linked to the property regime significantly delay recovery and rehabilitation efforts.

Responsibility for the progressive deterioration lies predominantly with the owners, as 80% of the properties are in a state of partial loss or total disappearance. Furthermore, the lack of clear intervention criteria within the law or local ordinances allows reconstruction to proceed without safeguarding the fundamental values of properties with exceptional qualities.

There is notable abandonment and deterioration of these structures, largely due to inaction by private owners and, to a lesser extent, the State over many years (Sáez & Mazuela, 2024).

Many properties could have been rehabilitated if prompt intervention had followed the fires. However, the average delay between the fire and intervention for rehabilitated properties is approximately three and a half years, and this only applies to four buildings.

The case studies confirm that the legal provisions and bureaucracy associated with the property regime impose extensive delays in recovery and rehabilitation. When fire is the cause of deterioration, the prospects for recovery are extremely limited.

The architectural characteristics, classification, use, and current condition of these buildings suggest that most fire-affected properties remain at risk of partial loss or total disappearance for many years to come.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BBC (2019). FIGURA 2. RECUPERADO EL 11 DE ABRIL DE 2023, DE [HTTPS://WWW.BBC.COM/MUNDO/NOTICIAS-AMERICA-LATINA-50643444](https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-50643444) ENDARA, V. (2019, febrero 3) El consumo de drogas es diferente en cada ciudad del país. *Diario El Telégrafo* Recuperado de <http://bit.ly/2NAPXkr>
- BORRI, A. Y CORRADI, M. (2019). ARCHITECTURAL HERITAGE: A DISCUSSION ON CONSERVATION AND SAFETY. *HERITAGE*, 2, 631–647. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/THH4OJ](https://acortar.link/THH4OJ)
- CHAVES MORENO, E.A., PACHÓN GARCÍA, P., CÁMARA PÉREZ, M. Y COMPÁN CARDIEL, V. (2017). CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE EDIFICIOS PATRIMONIALES MEDIANTE ANÁLISIS MODAL OPERACIONAL. V CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE DOCUMENTACIÓN, CONSERVACIÓN Y REUTILIZACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y PAISAJÍSTICO, GRANADA, 18 AL 21 DE OCTUBRE.
- DROBIEC, Ł., GRZYB, K. Y ZAJA, J. (2021). ANALYSIS OF REASONS FOR THE STRUCTURAL COLLAPSE OF HISTORIC BUILDINGS. *SUSTAINABILITY*, 13, 10058. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/KZGZ5I](https://acortar.link/kzGZ5I)
- DU, F., OKAZAKI, K., OCHIAI, C. Y KOBAYASHI, H. (2016). POST-DISASTER BUILDING REPAIR AND RETROFIT IN A DISASTER-PRONE HISTORICAL VILLAGE IN CHINA: A CASE STUDY IN SHANGLI, SICHUAN. *INTERNATIONAL JOURNAL OF DISASTER RISK REDUCTION*, 16, 142–157. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/8J37Z1](https://acortar.link/8J37Z1)
- HOSAGRAHAR, J. (2017). CULTURE AT THE HEART OF THE SDGs. *THE UNESCO COURIER*, 1, 12–14. RECUPERADO EL 20 DE DICIEMBRE DE 2023, DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/PRABB8](https://acortar.link/PRABB8)

- HUYNH, T., NGUYEN, B.-P., PRADHAN, A.M.S. Y PHAM, Q.-Q. (2020). VISION-BASED INSPECTION OF BOLTED JOINTS: FIELD EVALUATION ON A HISTORICAL TRUSS BRIDGE IN VIET NAM. VIETNAM JOURNAL OF MECHANICS, 36, 77. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/BQMN8Z](https://acortar.link/BQMN8Z)
- LEY N° 17.288 (1970). LEGISLA SOBRE MONUMENTOS NACIONALES.
- MARÍN-NICOLÁS, J. Y SÁEZ-PÉREZ, M.P. (2022). AN EVALUATION TOOL FOR PHYSICAL ACCESSIBILITY OF CULTURAL HERITAGE BUILDINGS. SUSTAINABILITY, 14, 15251. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/GMB38H](https://acortar.link/GMB38H)
- MARDONES, G. (2018). THE DEFENSE OF THE ARCHITECTURAL HERITAGE. THE CHILEAN CASE. ARQUITEXTOS, 25 (33), 73-86.
- MEMORIA CHILENA. (S.F.). FIGURA 1. RECUPERADO EL 4 DE JUNIO DE 2023, DE [HTTP://WWW.MEMORIACHILENA.GOB.CL/602/W3-ARTICLE-99714.HTML](http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-99714.html)
- NOWOGÓNSKA, B. (2020). CONSEQUENCES OF ABANDONING RENOVATION: CASE STUDY—NEGLECTED INDUSTRIAL HERITAGE BUILDING. SUSTAINABILITY, 12, 6441. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/Z4XUXK](https://acortar.link/Z4XUXK)
- ONECHA, B., DOTOR, A. Y MARMOLEJO-DUARTE, C. (2021). BEYOND CULTURAL AND HISTORIC VALUES, SUSTAINABILITY AS A NEW KIND OF VALUE FOR HISTORIC BUILDINGS. SUSTAINABILITY, 13, 8248. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/HmCBkD](https://acortar.link/HmCBkD)
- RAMESH, G., SRINATH, D., RAMYA, D. Y VAMSHI KRISHNA, B. (2021). REPAIR, REHABILITATION AND RETROFITTING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY USING NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS. MATERIALS TODAY: PROCEEDINGS, EN PRENSA. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/KZFLJz](https://acortar.link/KZFLJz)
- REY REY, J., VEGAS GONZÁLEZ, P. Y RUIZ CARMONA, J. (2018). STRUCTURAL REFURBISHMENT STRATEGIES FOR INDUSTRIAL HERITAGE BUILDINGS IN MADRID: RECENT EXAMPLES. HORMIGÓN Y ACERO, 69 (285), 91-99. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/k3UHXM](https://acortar.link/k3UHXM)
- RODRIGUES, F., MATOS, R., DI, M. Y COSTA, A. (2018). CONSERVATION LEVEL OF RESIDENTIAL BUILDINGS: METHODOLOGY EVOLUTION. CONSTRUCTION AND BUILDING

- MATERIALS, 172, 781–786. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/RZQFDZ](https://acortar.link/RZQFDZ)
- RUGGIERO, G., MARMO, R. Y NICOLELLA, M. (2021). A METHODOLOGICAL APPROACH FOR ASSESSING THE SAFETY OF HISTORIC BUILDINGS' FAÇADES. SUSTAINABILITY, 13, 2812. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/GXPxRI](https://acortar.link/GXPxRI)
- SALMAN, M. Y HMOOD, K. (2019). CONSERVATION OF HISTORIC DISTRICTS: CHALLENGES OF INTEGRATION IN MODERN CITIES WITHIN SUSTAINABLE PERSPECTIVE. EN XIII INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL CITY AND TERRITORY. BARCELONA, 2-4 OCTUBRE. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/H2xWQV](https://acortar.link/H2xWQV)
- SÁEZ-PÉREZ, M.P. Y MARÍN-NICOLÁS, J. (2023). DESIGN OF A SUPPORT TOOL TO IMPROVE ACCESSIBILITY IN HERITAGE BUILDINGS—APPLICATION IN CASE STUDY FOR PUBLIC USE. BUILDINGS, 13, 2491. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/PiBDEi](https://acortar.link/PiBDEi)
- SÁEZ-PÉREZ, M.P. Y MAZUELA, D. (2024). ANALYSIS OF THE PROBLEM OF THE FIRE IN BUILDINGS WITH PATRIMONIAL VALUE DURING THE 21ST CENTURY IN VALPARAÍSO, CHILE. IX CONGRESO INTERNACIONAL DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN EDIFICACIÓN (CITE2024), 13-15 MARZO, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. MADRID, ESPAÑA.
- SÁNCHEZ, A. Y JIMÉNEZ, C. (2011). VALPARAÍSO: LA CIUDAD-PUERTO MÁS IMPORTANTE DE CHILE Y LA VULNERABILIDAD DE SU PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO A LOS RIESGOS SÍSMICOS. ESTUDIOS GEOGRÁFICOS, 72 (271), 559-589. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/NHTFLA](https://acortar.link/NHTFLA)
- SAMPAIO, A.Z., PINTO, A.M., GOMES, A.M. Y SANCHEZ-LITE, A. (2021). GENERATION OF AN HBIM LIBRARY REGARDING A PALACE OF THE 19TH CENTURY IN LISBON. APPLIED SCIENCES, 11, 7020. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/W5GYOH](https://acortar.link/W5GYOH)
- SÁNCHEZ, A. (2018). ¿VALPARAÍSO O PIRÓPOLIS? HISTORIA DE UNA GESTIÓN INEFICAZ EN EL CONTROL DE LOS INCENDIOS. 1843-1927. REVISTA ARCHIVUM, AÑO VIII, 9, 279-295.
- THEOCHARIS KATRAKAZIS, T., HERITAGE, A., DILLON, C., JUVAN, P. Y GOLFOMITSOU, S. (2018). ENHANCING RESEARCH IMPACT IN HERITAGE CONSERVATION. STUDIES IN CONSERVATION, 63 (8), 450-465. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/YFLPMG](https://acortar.link/YFLPMG)

- UNESCO. (s.f.). OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE. RECUPERADO DE [HTTPS://ES.UNESCO.ORG/SDGS](https://es.unesco.org/sdgs)
- UNIÓN EUROPEA. (2019). INFORME SOBRE EL PAPEL DE LA CULTURA EN EL DESARROLLO SOSTENIBLE. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/HpRMRM](https://acortar.link/HpRMRM)
- VENEGAS, D., ERAZO, O., FARÍAS, O., AYABACA, C. Y MEDINA, A. (2021). FIRES IN WORLD HERITAGE BUILDINGS. ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 1, 1-15. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/IUoPIJ](https://acortar.link/IUoPIJ)
- VELA-RUIZ, A. (2019). VALPARAÍSO IGNÍFUGA. EL URBANISMO PARA LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS (1840-1906). XI SEMINARIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN URBANISMO, BARCELONA-SANTIAGO DE CHILE. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/xNHOQE](https://acortar.link/xNHOQE)
- YI, J., PARK, W., LEE, S., HUYNH, T., KIM, J. Y SEO, C. (2013). EVALUATION OF VIBRATION CHARACTERISTICS OF AN EXISTING HARBOR CAISSON STRUCTURE USING TUGBOAT IMPACT TESTS AND MODAL ANALYSIS. INTERNATIONAL JOURNAL OF DISTRIBUTED SENSOR NETWORKS, 2013, 1-II. RECUPERADO DE [HTTPS://ACORTAR.LINK/DIZLMI](https://acortar.link/DIZLMI)

