

Registro y análisis mediante la Fotogrametría digital de la bóveda de cañón en la arquitectura tradicional de piedra seca. Las “cabanes” de la Fatarella (Tarragona)

Register and analysis using digital photogrammetry of barrel vault in traditional dry stone architecture. The shacks of Fatarella (Tarragona)

Cèlia Mallafrè-Balsells (*), Agustí Costa-Jover (**), Sergio Coll-Pla (***)

RESUMEN

La técnica constructiva de la piedra seca, declarada Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad por la UNESCO el 2018, se ha utilizado para resolver las necesidades vinculadas con el trabajo en el campo. Mediante herramientas de captura masiva de datos se ha analizado una variedad tipológica característica del altiplano de la Terra Alta (Tarragona). Concretamente, la investigación se ha centrado en el levantamiento y el análisis de las “cabanes de volta” de la Fatarella. Se trata de una tipología singular de construcciones de bóveda de cañón. La investigación ha tenido como objetivo utilizar la técnica de la Fotogrametría digital para analizar 30 “cabanes de volta” mediante modelos tridimensionales virtuales. Esta investigación ha permitido registrar y analizar desde un punto de vista constructivo y dimensional las muestras significativas. Los resultados y aprendizajes desarrollados al respecto han sido fruto de la observación, del proceso analítico de los modelos tridimensionales y de la combinación de ambos. El análisis técnico ha permitido incidir en aspectos vinculados a la materialización de la técnica mediante las “cabanes” que se han preservado hasta el día de hoy.

Palabras clave: Arquitectura vernácula; piedra seca; bóveda de cañón; fotogrametría.

ABSTRACT

The dry stone technique, declared Intangible Cultural Heritage of Humanity by UNESCO in 2018, has been used to solve the needs related to fieldwork. Using massive data capture techniques, a typological variety characteristic of the Terra Alta plateau (Tarragona) has been analyzed. Specifically, the investigation has focused on the survey and analysis of the “cabanes de volta” of Fatarella. It is a unique typology of barrel vault constructions. The main of the research is to use the technique of digital Photogrammetry to analyze 30 “cabanes de volta” through virtual three-dimensional models. This research has made it possible to register and analyze the significant examples from a constructive and dimensional point of view. The results and learning developed in this regard have been the result of observation, the analytical process of three-dimensional models and the combination of both. The technical analysis has made it possible to influence aspects related to the materialization of the technique through the “cabanes” that have been preserved to this day.

Keywords: Vernacular architecture; dry-stone; barrel vault; photogrammetry.

(*) PhD. Universidad Rovira y Virgili, Reus (España).

(**) PhD. Lector Serra Hunter. Universidad Rovira y Virgili, Reus (España) - Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona (España).

(***) PhD. Lector Serra Hunter. Universidad Rovira y Virgili, Reus (España).

Persona de contacto/Corresponding author: celia.mallafre@urv.cat (C. Mallafrè)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4332-0090> (C. Mallafrè); <https://orcid.org/0000-0002-6194-3243> (A. Costa); <https://orcid.org/0000-0002-4718-5810> (S. Coll)

Cómo citar este artículo/Citation: Cèlia Mallafrè-Balsells, Agustí Costa-Jover, Sergio Coll-Pla, (2023). Bóveda de cañón en la arquitectura tradicional de piedra seca. Las “cabanes” de la Fatarella (Tarragona). *Informes de la Construcción*, 75(571): e508. <https://doi.org/10.3989/ic.6286>

Copyright: © 2023 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 09/09/2022
Aceptado/Accepted: 14/06/2023
Publicado on-line/Published on-line: 16/08/2023

1. INTRODUCCIÓN

Las construcciones de piedra seca son un claro ejemplo de la arquitectura vernácula, descrita por Rudofsky (1), como una arquitectura anónima en la que se desdibuja la figura del arquitecto o maestro de obras y se pone en valor la herencia de la construcción transmitida de generación en generación, de la que no hay ningún registro en los tratados arquitectónicos.

La arquitectura vernácula es la combinación de construcciones y técnica de un lugar en concreto que se caracterizan por compartir los rasgos que tradicionalmente son propios de este lugar y son el resultado de un conocimiento empírico (2), siendo el testimonio material vinculado a una sociedad y un lugar determinado (3).

En noviembre del 2018, la técnica constructiva de piedra en seco fue declarada por la UNESCO Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad (4). Este reconocimiento avala el estudio y valoración de la técnica vinculada con la tradición constructiva.

Las construcciones de piedra en seco son propias de cada zona, aunque los principios técnicos sean los mismos. En la península Ibérica, la mayor parte de estas construcciones datan entre finales del siglo XVIII y principios del siglo XX. Las distintas tipologías son el resultado de la resolución de las necesidades que requiere la agricultura, las condiciones climatológicas, los recursos naturales, las características de las piedras propias del territorio y la herencia constructiva. Estas forman parte del patrimonio construido que define el paisaje agrario y se destacan como

representación de la identidad de un lugar. A pesar del valor de estas construcciones, el último siglo ha visto como el abandono progresivo del trabajo en el campo ha supuesto un deterioro acelerado.

Por otra parte, en la última década se ha producido un auge importante de las nuevas tecnologías de registro topográfico, en las que técnicas de captura masiva de datos como la Fotogrametría digital y el escáner laser terrestre se han vuelto habituales en los procesos de conservación patrimonial.

En este contexto, el objetivo de la investigación plantea el uso de la Fotogrametría digital basada en la Structure From Motion (SFM) para registrar y analizar construcciones de piedra en seco. Para ello, se ha seleccionado una tipología específica, las “cabanes de volta”, localizadas en el municipio de la Fatarella (Tarragona).

Las “cabanes de volta” de la Fatarella es la terminología que se emplea para describir las construcciones de piedra en seco cubiertas con una bóveda de cañón. En la zona sud de la provincia de Tarragona, estas construcciones predominan de una forma significativa alrededor del término municipal de la Fatarella y su límite con el término municipal de Ascó y Villalba. La función de estas “cabanes” es resguardar personas y animales de las condiciones meteorológicas, secar o almacenar las cocechas o los utensilios de trabajo en el campo.

Este tipo de construcciones se localiza en áreas donde la piedra de la zona es la adecuada para obtener geometrías regulares. En el ámbito de estudio, la piedra predominante

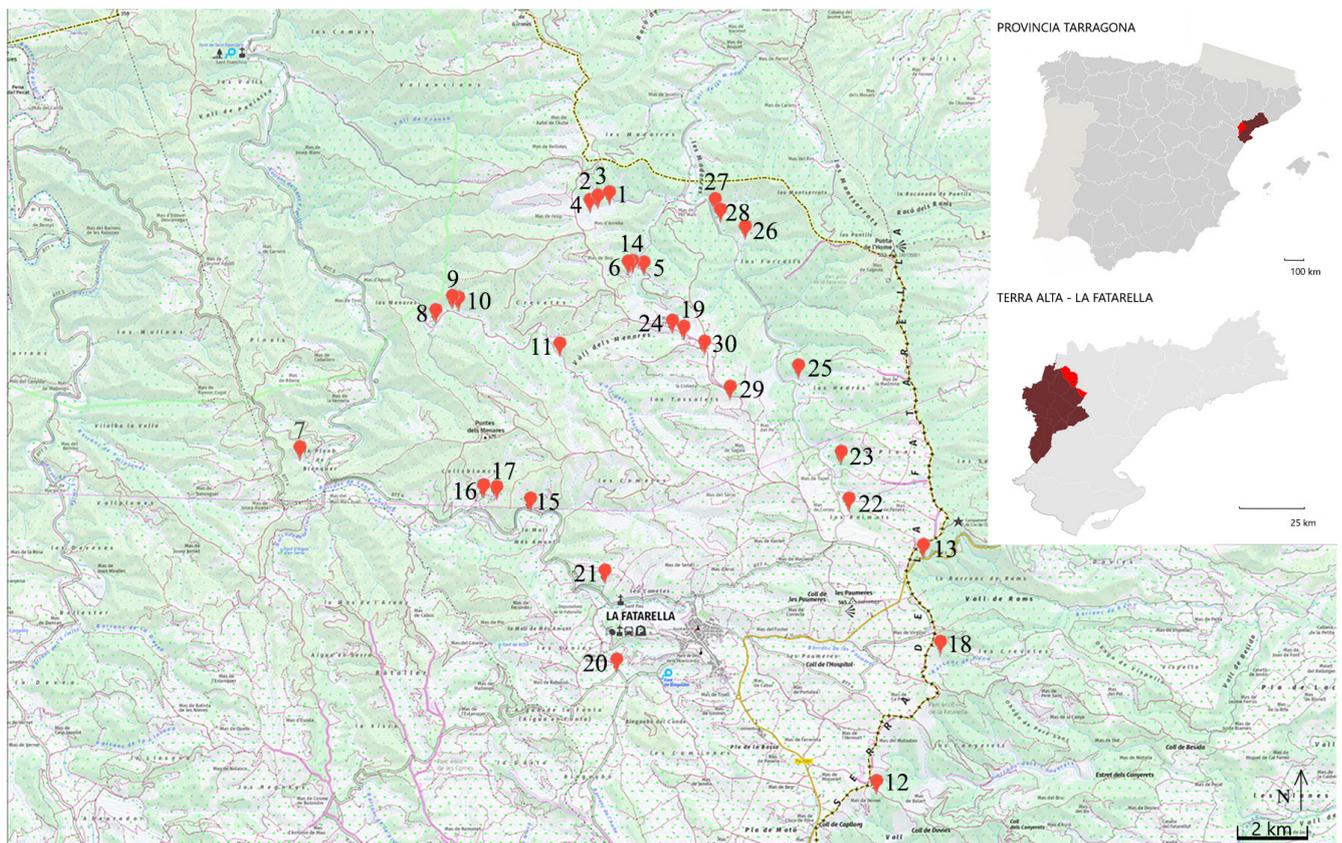


Figura 1. Ubicación de las “cabanes” analizadas.



Figura 2. Vista frontal de una “cabana” abierta y una de cerrada.

es la piedra caliza. Esta piedra permite la construcción de estructuras complejas utilizando únicamente, como material de construcción, la piedra (5). Según fuentes orales eran los propios campesinos los encargados de la ejecución de las “cabanes”. Dependiendo de la herencia constructiva, los campesinos que tenían un mayor conocimiento ayudaban a los vecinos de la zona que lo necesitaban.

En la misma zona, además de las “cabanes”, hay una amplia variedad de construcciones que utilizan la técnica de la piedra en seco como: caminos, muros, masías, “perxes”, minas, pozos, balsas, cisternas, molinos de harina, hornos de cal y de enebro, tejerías, entre otras (6). Estas se pueden encontrar de forma individual o como conjuntos en una misma finca.

El presente artículo muestra los resultados obtenidos del estudio de 30 “cabanes” (Figura 1). La distinción más significativa es que según el uso, son abiertas, cuando todo el frontal es una única abertura, o cerradas, cuando el frontal está tapado por un muro con una abertura para acceder al interior. Los modelos tridimensionales obtenidos han permitido estudiar las dimensiones y la presencia o no de proporciones entre los casos analizados.

A lo largo del siglo XX, distintos arquitectos e historiadores han estudiado, clasificado e inventariado las construcciones de piedra en seco en España. Concretamente, en Cataluña, el arquitecto Joan Rubió i Bellver (1870 – 1952) realizó el estudio titulado *Construccions de pedra en sec* (7) donde se clasifican las construcciones y analiza los comportamientos estructurales de las cúpulas. Recientemente, los arquitectos Miguel García Lisón y Arturo Zaragoza Catalán, publican *Arquitectura rural primitiva en secà* (8). En este documento amplían la cantidad de tipologías constructivas nombradas por Joan Rubió y detallan los procesos constructivos empleados. Otros autores (9) también han revisado los orígenes de la técnica constructiva en la península Ibérica, donde se detallan algunas como los chozos, barracas, pozos, puentes, entre otros.

Los distintos tipos de construcciones se han estudiado en una escala local, *Les barraques de Lluçmajor, una arquitectura popular* (10), regional, *La pedra seca. Evolució, arquitectura i restauració* (11) *La construcció de pedra en sec a Mallorca* (12), mediante congresos nacionales, I

Congreso Nacional de Arquitectura Rural en Piedra Seca (13), y mediante congresos internacionales, *Actes del 1r Col·loqui Internacional de Construcció de pedra seca* (14).

Los métodos utilizados para registrar y catalogar las construcciones de piedra en seco apenas han evolucionado desde los primeros estudios de principios del siglo XX. En el ámbito del patrimonio arquitectónico construido, la técnica digital de la Fotogrametría (SFM) usada como una herramienta de captura masiva de datos, ha tenido un considerable impacto en los procesos de registro y representación. Esta técnica se ha utilizado para el registro y el estudio geométrico de distintas construcciones. En este contexto, la Fotogrametría digital permite una rápida representación de las características colorimétricas en 3D del objeto estudiado y es un método útil para edificios de piedra en seco, que a menudo tienen una geometría irregular con un acceso complejo. Otra técnica de captura masiva de datos muy extendida ha sido el escáner láser terrestre siendo compatibles y complementarias entre sí. Un ejemplo son las diversas investigaciones recientes del campo científico que han registrado y analizado geométricamente y constructivamente construcciones de piedra seca utilizando el escáner láser terrestre (15). El estudio de Rossi y Lesse- rri (16) profundiza en la dificultad que supone realizar un levantamiento preciso de las construcciones de piedra en seco, y tantean diferentes aproximaciones gráficas basadas en técnicas de captura masiva de datos en diferentes tipos de construcciones en Italia (pagghiaras y trullos) y ponen de manifiesto la importancia de estas bases gráficas para su conservación. Además, la fotogrametría se ha utilizado para permitir el estudio geométrico (17, 18). Por otro lado, el estudio encabezado por Barroso (19) propone el uso del escáner láser terrestre de construcciones de piedra en seco de falsa cúpula localizadas en la zona de Geres-Xurés entre España y Portugal, donde esta técnica de registro es muy útil debido a la gran irregularidad de las construcciones.

En el contexto de los estudios citados anteriormente y en base a las investigaciones recientes, el estudio desarrollado sobre las “cabanes” de bóveda de la Fatarella permite registrar de forma sistemática una construcción de piedra en seco y extraer datos precisos sobre las características formales. La metodología aplicada ante las “cabanes” se podría utilizar para el registro y estudio de cualquier otro tipo de construcción extendida a lo largo de un territorio.

2. “CABANES” DE LA FATARELLA

2.1. Descripción

Una “cabana” de bóveda es, según su uso, un refugio para las personas o un espacio para secar y guardar la cosecha. Se trata de una estructura compuesta por una bóveda de cañón realizada mediante un arco generatriz de medio punto. El centro del arco generatriz se localiza por debajo del arranque de la bóveda.

Mayoritariamente están adosadas a un desnivel y según el uso mencionado anteriormente pueden estar cerradas o abiertas (Figura 2). Según fuentes orales a lo largo del término municipal de La Fatarella puede haber aproximadamente unas 900 “cabanes” de bóveda. El desarrollo de estas dependía de la cantidad de piedra y de las posibilidades que ofrecía el terreno para poder construirla. El territorio se fragmenta en pequeñas parcelas que pertenecen a un propietario. En un 80% de las parcelas o fincas hay una “cabana” y, en algunos casos, más de una. Es por este motivo que se calcula que pueden haber alrededor de 900.

En general las “cabanes” en el ámbito de estudio se encuentran en buen estado de conservación y se han localizado pocos casos que hayan colapsado. Aunque casi todas las “cabanes” son de bóveda de cañón, hay algunos casos que son de falsa cúpula construidas por aproximación de hiladas.

En relación al contexto antropológico e histórico de las “cabanes” se observa que la complejidad de la propia construcción dependía de los conocimientos y la destreza de ejecución del campesino. Según el conocimiento se pedía ayuda a familiares o vecinos. La construcción de la “cabana” se realizaba en el mínimo tiempo posible. El tiempo de ejecución era aproximadamente de unas 3 o 4 semanas según las dimensiones y del saber de los constructores.

2.2. Técnica constructiva

La técnica utilizada para la construcción de las “cabanes” es la piedra en seco (11). Para la construcción de las “cabanes” se utilizaba la piedra obtenida de la misma finca o de fincas cercanas. Esta piedra o bien se obtenía al labrar el campo o de paramentos rocosos calcáreos cercanos. Es una tipología que para favorecer su construcción y su estabilidad está vinculada al desnivel del terreno. El resultado de la construcción se puede dividir en cinco fases: los muros laterales, la bóveda de cañón, el frontal, el cerramiento trasero y la cavidad interior (Figura 3).

La ubicación de la “cabana” dentro de la finca no es aleatoria. Para su construcción, se elige la orientación más al sur posible y se ubica en un lugar donde haya un desnivel en el terreno. Cuando se ha determinado la ubicación de la “cabana”, se construyen los muros laterales perpendiculares a la cara frontal. Posteriormente se rellena el espacio entre los dos muros laterales con tierra aprovechada del mismo desnivel y se compacta hasta dar la forma de bóveda de cañón. En tercer lugar, se completa la bóveda. En cuarto lugar, se construyen y compactan los estribos de los dos lados de la “cabana” que deberán asumir los empujes de la

bóveda. En quinto lugar, se quita la tierra del interior de la “cabana” y se vierte en la parte superior de la misma. En algunos casos sobre la bóveda, antes de verter la tierra en la parte superior, se ponía lechada de cal o argamasa para dar más solidez e impermeabilizar el interior (Figura 3).

3. ANÁLISIS GEOMÉTRICO

3.1. Metodología

Para realizar el análisis geométrico se han analizado 30 “cabanes” (Figura 5). El criterio de análisis se ha basado en el buen estado de conservación de las mismas.

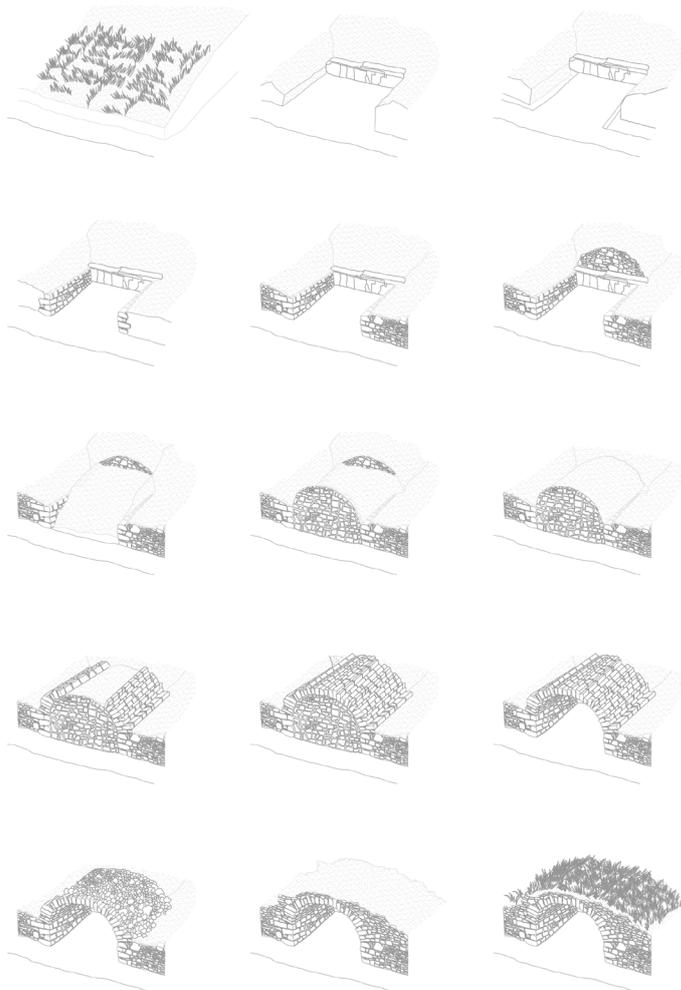


Figura 3. Proceso constructivo de la “cabana”.

El análisis se ha desarrollado bidimensionalmente y tridimensionalmente. Las “cabanes” se han registrado mediante la técnica de la Structure From Motion, con el objetivo de poner en práctica una metodología fácil y ágil en un contexto donde la situación de las construcciones, en la mayoría de casos, es de difícil acceso. La Fotogrametría digital supone un método de medición indirecto en el que el modelo resultante se recompone a partir de fotografías y referencias o medidas tomadas in situ. Es un sistema que necesita disponer de referencias adecuadas y medidas de control para garantizar que el modelo obtenido es preciso. En esta aplicación en concreto, se trata de una metodología adecuada ya que se pueden asumir desviaciones milimétricas entre la construcción y el modelo obtenido.

La cámara utilizada en el levantamiento ha sido una cámara NikonD7000 con un objetivo Tamron LD XR DI AF 17–50 mm lens. Para establecer la escala y el eje vertical se ha utilizado un jalón de 1,40 metros con mediciones cada 20 centímetros, que permite además tomar puntos de control. Se han georreferenciado mediante coordenadas GPS. Una vez establecido el sistema de coordenadas, se ha utilizado el programa Agisoft Metashape Profesional de 64 bits con un sistema operativo Windows 10 para obtener los modelos tridimensionales con precisión milimétrica.

El análisis bidimensional se ha realizado mediante cuatro proyecciones en dos dimensiones de cada una de las “cabanes”: alzado, sección vertical transversal, sección vertical longitudinal y sección horizontal. Se ha establecido como eje de coordenadas XY el paramento frontal de la obertura de la “cabana”. La sección longitudinal vertical se ha realizado por la mitad de la obertura de la “cabana” (Figura 4). La sección transversal vertical se ha realizado a 90 grados de la sección longitudinal y a la mitad de su profundidad (Figura 4). La sección horizontal se ha realizado a 40 centímetros de la parte interior de la sección longitudinal vertical (Figura 4). La representación bidimensional es la herramienta que ha permitido obtener el conjunto de medidas de las “cabanes”, con el objetivo de poder establecer criterios comparativos mesurables. El programa informático utilizado para representar las “cabanes” en dos dimensiones y medir ha sido el AutoCAD. El análisis tridimensional se ha realizado mediante la malla de la superficie interior de la “cabana”. La superficie exterior se ha descartado debido que la tierra y la vegetación impiden obtener una malla completa y precisa.

3.2. Medidas y proporciones

Las “cabanes” se pueden dividir en 7 partes: el paramento frontal lateral, el paramento frontal central, la cavidad interior, los muros laterales perpendiculares al paramento frontal, el paramento posterior, la bóveda de cañón y el terreno superior. Geométricamente son de planta rectangular. Los muros laterales son paralelos entre sí y se construyen previos al arranque de la bóveda. La bóveda de cañón se traza mediante un arco de medio punto definido geoméricamente en el paramento posterior. Esta bóveda reposa sobre los muros laterales.

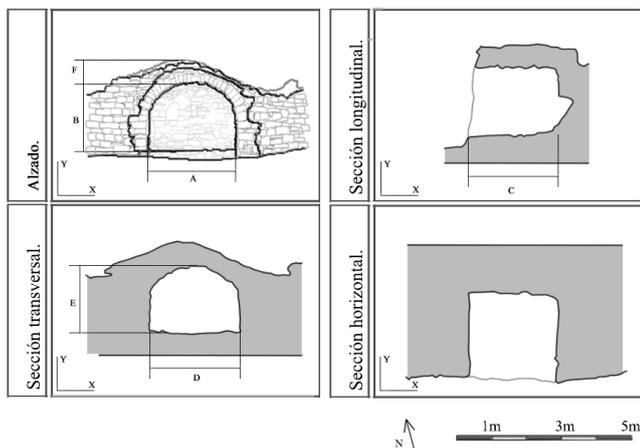


Figura 4. Muestra de secciones de las “cabanes”.

Mediante las secciones bidimensionales de 30 “cabanes” se han obtenido 6 medidas. De cada una se ha medido la anchura (A) y la altura (B) del paramento frontal de la bóveda, la profundidad (C), la anchura (D) y la altura (E) en medio de la bóveda, el grosor de la bóveda en la parte central (F). Mediante el volumen tridimensional de cada una de las “cabanes” se ha obtenido el volumen interior (G) y el radio del arco de circunferencia que forma la bóveda de cañón (H). Las medidas obtenidas expresadas en metros se muestran en la Tabla 1.

Los resultados obtenidos se han analizado para comprobar si hay medidas estandarizadas o si son proporcionales entre ellas. Previamente al análisis se debe establecer el nivel de tolerancia entre los resultados obtenidos. Hay tres consideraciones, la primera es que se trata de una técnica de transmisión oral realizadas sin planimetría. La segunda consideración es que se utilizaba la piedra del entorno y que esta era tratada el mínimo para su colocación (6). Por lo tanto, las diferencias obtenidas entre los resultados se deben relacionar con las características de la técnica constructiva y el material utilizado. La tercera consideración es que dentro de un tipo hay construcciones singulares que no representan la globalidad de las “cabanes”, por este motivo se han descartado las dos muestras extremas de dimensiones, la mayor, “cabana” 12, y la menor, “cabana” 21. Considerando estos tres factores, se establece una precisión de centímetros. Se ha establecido la unidad de medida de la zona en palmos con un valor de 0,224 metros (20). Analizado las dimensiones de la anchura del paramento frontal de la “cabana” (A), se observa que las 28 “cabanes” analizadas tienen una anchura media de 3,02 metros, de las cuales el 28,57% de las “cabanes” su anchura mide entre 2,60 y 2,80 metros. La altura media interior de la “cabana” en medio de la bóveda (E) es de 2,38 metros, de las cuales el 32,14% miden entre 2,20 y 2,40 metros. El grosor de la “cabana” en la parte central (F) tiene una media de 0,45 metros, de las cuales el 46,43% mide entre 0,40 y 0,60 metros.

Las medidas obtenidas mediante el modelo tridimensional son el radio de la bóveda y el volumen interior. Se observa que el radio medio es de 1,56 metros. En relación a los volúmenes se han dividido en tres grupos: el 53,57% de las “cabanes” el volumen interior de aire es entre 10,00 y 19,99 m³, el 25,00% de las “cabanes” el volumen interior de aire es entre 20,00 y 29,99 m³ y el 17,86% de las “cabanes” el volumen interior de aire es de 30,00 o más m³.

Analizando la proporcionalidad entre las medidas obtenidas se observa que dividiendo la altura (E) entre la anchura (D) se obtiene una media de 0,8 donde el 39,30% de las “cabanes” están formadas por esta proporción (Figura 6). Si se divide la anchura (D) entre la profundidad (C) se obtiene una media de 0,9 donde el 25,00% de las “cabanes” están formadas por esta proporción.

Analizando la relación entre la altura interior (E) y la anchura (D) se observa que hay una relación directamente proporcional comprendida entre unos valores mínimos y máximos y correspondiente con la expresión $y = 0,5123x + 0,8098$, y con un coeficiente de determinación (R²) de 0,6422 (Figura 7).



Figura 5. Vista exterior de las 30 “cabanes” analizadas.

4. DISCUSIÓN

El análisis geométrico se ha desarrollado mediante el análisis bidimensional y tridimensional. A través de la observación realizada durante el proceso de registro se ha detectado que, aunque no hay dos construcciones que sean iguales, sí que se repiten patrones comunes entre las “cabanes”. Por este motivo, en primer lugar, se ha analizado y comparado las medidas entre sí y, en segundo lugar, se han analizado las proporciones.

La repetición de las medidas de anchura (D) y altura (E) tomadas en el interior de la “cabana” son más comunes que las medidas tomadas en la parte frontal. Esto es debido a que la parte frontal es la más expuesta y la que mayor de-

terioro tiene con el paso del tiempo. Durante las campañas de toma de datos se han identificado “cabanes” que han colapsado debido a la pérdida de tierra de consolidación del terreno adyacente.

Aunque no hay estudios específicos de las medidas antropomórficas del ámbito de estudio, hay investigaciones que han analizado la evolución de la estatura media en España (21). Considerando que se trata de una hipótesis y con el objetivo de comparar distintas posiciones corporales humanas se toman las medidas antropomórficas de Le Corbusier (22) como instrumento comparativo.

La altura en el interior de la “cabana” (E), con una media de 2,38 metros, debe permitir el acceso de personas, ani-

Tabla 1. Tabla con las medidas obtenidas.

“cabana”	Medida A (m)	Medida B (m)	Medida C (m)	Medida D (m)	Medida E (m)	Medida F (m)	Medida G (m ³)	Medida H (m)
1	3,60	2,75	4,67	3,67	2,69	0,56	39,44	1,95
2	2,49	2,00	2,65	2,62	1,99	0,59	11,10	1,35
3	3,29	2,05	3,22	3,22	1,97	0,39	15,24	1,63
4	3,94	2,98	2,96	3,95	2,85	0,69	28,40	1,98
5	3,07	2,40	4,37	2,99	2,32	0,35	21,75	1,60
6	2,90	2,72	3,95	2,98	2,40	0,25	22,99	1,54
7	2,77	1,96	2,83	2,74	2,09	0,32	12,46	1,40
8	3,23	2,10	4,18	3,17	2,14	0,56	23,08	1,67
9	3,35	2,45	3,37	3,39	2,40	0,37	25,55	1,73
10	2,87	2,47	3,13	2,86	2,46	0,34	17,52	1,51
11	3,08	2,18	2,65	3,08	2,17	0,41	16,10	1,60
12	4,42	2,85	6,63	4,33	3,51	0,41	74,75	2,16
13	2,75	2,32	2,56	2,73	2,39	0,44	16,73	1,43
14	2,79	2,77	3,13	2,72	2,59	0,42	17,06	1,45
15	2,84	2,04	3,75	2,97	2,23	0,32	19,53	1,49
16	3,93	3,02	4,30	3,92	3,10	0,55	44,14	2,02
17	4,23	3,18	4,72	4,25	3,01	0,42	57,74	2,16
18	2,27	1,42	2,79	2,17	1,84	0,58	8,52	1,11
19	3,59	2,65	6,47	3,92	3,12	0,38	56,19	1,91
20	2,80	2,21	3,49	2,74	2,26	0,61	15,13	1,42
21	1,99	1,76	3,37	2,11	2,07	0,48	9,96	1,14
22	2,42	2,46	2,78	2,77	2,30	0,60	10,82	1,18
23	2,74	2,47	3,17	2,86	2,48	0,39	18,15	1,45
24	2,74	2,13	3,35	2,76	2,02	0,33	15,83	1,41
25	2,19	1,96	2,98	2,29	2,11	0,36	11,09	1,19
26	2,92	2,70	3,39	2,98	2,64	0,64	22,89	1,50
27	2,48	2,01	3,36	2,51	1,95	0,56	12,21	1,28
28	2,77	2,34	4,19	2,71	2,24	0,50	20,45	1,40
29	3,85	2,87	4,82	3,99	2,57	0,26	37,28	1,98
30	2,71	2,03	3,09	2,83	2,26	0,47	13,78	1,43

males y un correcto almacenaje de alimentos. Si se analiza la altura mínima, esta no es inferior a 1,84 metros, que según las medidas anatómicas desarrolladas en el libro *El Modulor* de Le Corbusier puede entrar una persona. Si se comparan las alturas interiores (E) con la medida de una persona con el brazo levantado (22) correspondiente a 2,16 metros, se observa que el 71% de las “cabanes” tienen una altura interior máxima comprendida entre los 2,16 metros y los 3,12 metros, siendo esta última medida la altura de mayor tamaño registrada contabilizada.

Comparando la media de anchura (D) con la medida de anchura propuesta por Le Corbusier, 1,08 metros (22), se observa que esta medida como mínimo es doblada en todas las “cabanes” y como máximo se multiplica por 3,9 veces. Estos rangos indican que las medidas interiores de las “cabanes” siguen un patrón regido por unas dimensiones mínimas y máximas relacionadas con la anatomía humana y el desempeño de una construcción manual sin la utilización de elementos de soporte costosos de localizar en el entorno próximo.

Independientemente de las dimensiones interiores, el grosor de la cubierta (F), formado por las piedras de la bóveda de cañón y la tierra, deben asegurar estabilidad estructural y evitar la entrada de agua en el interior. Además, el peso propio de cada una de las piedras debe ser el adecuado para ser manipulado para su correcta colocación.

El modelo tridimensional ha permitido obtener el volumen interior y el radio del cilindro que mayor aproxima a la bóveda de cañón. En relación al volumen se observa que un 53,57% de las “cabanes” tienen un volumen interior de entre 10 i 20 metros cúbicos. Con volúmenes inferiores no sería posible resolver las necesidades requeridas de las “cabanes” y, con volúmenes superiores implica invertir más tiempo en la construcción y mayor cantidad de piedra. En relación al radio, se observa que la media es de 1,56 metros. Si se compara el radio con la anchura (D) y la altura (E), se puede deducir que la mayoría de las “cabanes” antes del arranque de la bóveda están compuestas por un muro lateral y que la proyección de la bóveda se trata de un segmento de circunferencia.

Analizando las relaciones de proporcionalidad, se observa que hay proporcionalidad entre la altura (E) y la anchura (D) de 0,8 en un 39,30% de los casos, una relación de 0,7 en un 25% de los casos y una relación de 0,9 en un 21,4% de los casos. Las relaciones de proporcionalidad indican que las “cabanes” son más anchas que altas.

5. CONCLUSIONES

Analizados los resultados obtenidos se puede afirmar que las “cabanes” siguen estándares en relación a sus medidas y proporciones, aunque son adaptadas a las características de su entorno: la orientación, el desnivel y la cantidad de piedra en lugares próximos. El constructor, que en la mayoría de los casos es el campesino, conoce la técnica constructiva de la piedra en seco y es capaz de diseñar y construir “cabanes” para resolver las necesidades vinculadas en el trabajo en el campo. El conjunto de construcciones de piedra en seco está desarrollado a partir de la herencia constructiva adquirida generacionalmente, de la observación y análisis visual de construcciones similares, del conocimiento del territorio y el entorno, de las propiedades de la piedra y de la habilidad en trabajarlas. Los conocimientos de medidas, proporciones y tipos originariamente no han sido plasmados en ningún soporte gráfico.

No disponer de planimetría ni de estudios geométricos previos ha llevado a realizar un análisis arquitectónico a partir de las muestras constructivas que han permanecido hasta el día de hoy. El deterioro y el abandono de este conjunto de construcciones, puede llegar a significar una pérdida de conocimientos estructurales y constructivos que son capaces de resolver de forma muy intuitiva, práctica, anatómica, económica y ecológica distintas necesidades relacionadas con la agricultura.

La aproximación al análisis dimensional de las construcciones de piedra en seco mediante la Fotogrametría, permite establecer una metodología y un punto de partida a la aplicación de esta técnica de captura masiva de datos a otras muestras constructivas. Los datos obtenidos permiten reconstruir, mantener y proyectar de nuevo, construcciones de piedra seca con las características geométricas tradicionales del ámbito de estudio.

Las dimensiones anatómicas influyen en el diseño y en el proceso constructivo de las “cabanes”. Esta restricción anatómica se ve en la anchura donde de las 28 muestras contabilizadas ninguna supera dos veces la medida estándar de una persona con el brazo estirado. Durante la construcción de la cubierta de bóveda de cañón se empieza de forma paralela desde el arranque de la bóveda hacia el centro, por este motivo la luz de media bóveda será la dimensión de una persona con el brazo estirado.

Las dimensiones de las “cabanes” no dependen de lo cerca o lejos que estén del núcleo de población. De forma indistinta se encuentran “cabanes” de mayor o menor tamaño. Del mismo modo, las “cabanes” próximas entre ellas no se rigen por el mismo patrón de proporcionalidad. El hecho de no disponer de planimetría ni de datación de las construcciones, impide contrastar si las diferencias entre las proporciones están regidas por una época o período de construcción.

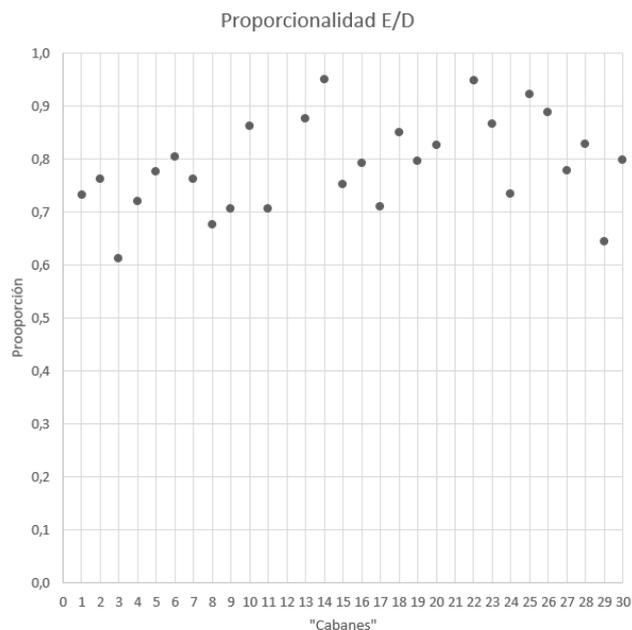


Figura 6. Gráfico de la proporcionalidad entre las medidas E y D.

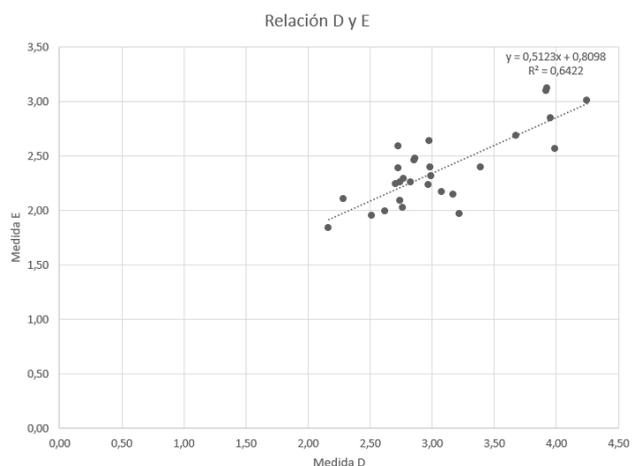


Figura 7. Gráfico de la relación entre las medidas D y E.

La observación de las “cabanes” y su registro ha permitido identificar distintos tipos y proceder a clasificarlas según características formales. Según la construcción de la cubierta en el ámbito de estudio se pueden clasificar en “cabanes” de bóveda de cañón y “cabanes” de falsa bóveda por aproximación de hiladas, estas últimas cuentan con muy poca presencia. Según el cierre frontal: abierta, cerrada o semicerrada. Según la vinculación con el muro: integrada en el muro, exenta o semiexenta. Según la relación con otras construcciones: singulares, gemelas, emparejadas.

Es evidente que la gran cantidad de patrimonio de piedra en seco localizado en el entorno rural no se puede conservar ni proteger en su totalidad, sin un uso vinculado o un mantenimiento constante. Con un análisis exhaustivo se pueden establecer protocolos de protección por las construcciones más representativas o características de un tipo en concreto o de conjuntos en general.

La mirada y la valorización del patrimonio vernáculo es una forma de contribuir a la sostenibilidad: favorece a la bio-

diversidad, minimiza la degradación y erosión del terreno, minimiza el riesgo de inundaciones y favorece el aprovechamiento del agua de lluvia y, finalmente contribuye a la conservación del paisaje, la ordenación del territorio y minimiza el riesgo de incendios forestales.

AGRADECIMIENTOS

La investigación se ha financiado mediante el proyecto de doctorado industrial 2018 DI 011. Agradecer a los estudiantes de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Rovira i Virgili Anna Boyer, Maria Segura y Ferran Modinos por su colaboración en el desarrollo del presente estudio.

REFERENCIAS

- (1) Rudofsky, B. (1976). *Arquitectura sin arquitectos*. Buenos Aires: Editorial Univerritaria de Buenos Aires.
- (2) Fundació Enciclopèdia (1980). Enciclopedia catalana. Retrieved from <https://www.enciclopedia.cat/ec-gec-0522021.xml>
- (3) Jimenez, P.M., Cirera, A. (2007). Más allá de identificación: interpretar la arquitectura vernácula. *Arquitectura Vernácula En El Mundo Ibérico: Actas Del Congreso Internacional Sobre Arquitectura Vernácula*, 120–122. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=2652559>.
- (4) Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage (2018). Retrieved from UNESCO website: <https://ich.unesco.org/en/13com>
- (5) Colombo, F., Franch, M., Vilarrasa, A. (2004). *La pedra de calar de la Fatarella*. La Fatarella: Fundació el Solà.
- (6) Rebés d’Areny-Plandolit, X. (2003). *La Pedra en Sec a La Fatarella* (2a ed.; Fundació el Solà, Ed.). La Fatarella.
- (7) Rubió, J. (1914). *Construccions de pedra en sec*. Barcelona: Col·legi d’arquitectes de Barcelona.
- (8) García, M., Zaragoza, A. (2000). *Arquitectura Rural primitiva en secà*. València: Generalitat Valenciana.
- (9) Vegas López-Manzanares, F., Mileto, C., Cristini, V. (2010). Corbelling domes and bridges in Spain and Portugal: a comparative study. *ARCH'10 - 6th International Conference on Arch Bridges*, 297–303.
- (10) Calviño, C., Clar, J. (1999). *Les barraques de Llucmajor, una arquitectura popular*. Palma: Consell de Mallorca.
- (11) Congost, R., Bover, A., Fèlix, J., Ripoll, R., Bellmunt, J., Sogbe, E., Reguant, J. (2010). *La pedra seca. Evolució, arquitectura i restauració*. El Brau edicions.
- (12) Reynés, A. (2000). *La construcció de pedra en sec a Mallorca* (Segona). Palma: Consell de Mallorca.
- (13) García Lanciano, J. (2003). I Congreso Nacional de Arquitectura Rural en Piedra Seca. In *Revista de Tradiciones Populares*. Zahora: Servicio de Educación, Cultura, Juventud y Deportes.
- (14) Tarragó, S. (2006). Actes del 1r. Col·loqui Internacional de construcció de pedra seca. Barcelona: Aguazul.
- (15) Restuccia, F., Fianchino, C., Galizia, M., Santagati, C. (2012). The stone landscape of the Hyblaen Mountains: the geometry, structure, shape and nature of the muraghgio.
- (16) Rossi, G., Massimo, L. (2013). Arquitecturas de piedra seca, un levantamiento problemático. *Expresión Gráfica Arquitectónica*, 18(22), 184–195. <https://doi.org/10.4995/ega.2013.1532>.
- (17) Chen, J.H., Su, M.C., Cao, R., Hsu, S.C., Lu, J.C. (2017). A self organizing map optimization based image recognition and processing model for bridge crack inspection. *Automation in Construction*, 73, 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.033>
- (18) Mineo, C., Pierce, S.G., Summan, R. (2019). Novel algorithms for 3D surface point cloud boundary detection and edge reconstruction. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(1), 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.02.001>
- (19) Barroso, C.E., Barros, F.C., Riveiro, B., Oliveira, D.V., Ramos, L.F., Lourenço, P.B., Do Vale, C P. (2018). The construction of the transhumance territory of the gerês-xurês: Vernacular heritage identification, analysis and characterization. *Rehabend*, 0(221479), 274–283.
- (20) Teixidó, F. (2008). Pesos, mides i mesures al principat de Catalunya i comptats de Rosselló i Cerdanya a finals del segle XVI (1587-1594). Barcelona: Pagès Editors, S L.
- (21) Martínez, JM., Puche, J. (2011). La evolución de la estatura en Francia y en España, 1770-2000. Balance historiográfico y nuevas evidencias. *Dynamis* [online]. 2011, vol.31, n.2, pp.429-452. ISSN 2340-7948. <https://dx.doi.org/10.4321/S0211-95362011000200009>.
- (22) Le Corbusier (1961). *El modulator. Ensayo sobre una medida armonica a la escala humana aplicable universalmente a la arquitectura y a la mecanica*. buenos aires: editorial poseidon.