PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

***“La Cubierta Plana de Tierra en la
Arquitectura Vernácula Mediterránea.
Estudio Constructivo y de su
Comportamiento Frente al Agua.”***

AUTORA:

ARQUITECTA DOÑA MARÍA EUGENIA ESCUDERO
LAFONT

DIRECTORA DE TESIS:

DOCTORA ARQUITECTA DOÑA SOLEDAD GARCÍA
MORALES

2019

TRIBUNAL:

Presidente:

Doctor don Fernando Vela Cosio

Secretario:

Doctora doña María del Mar Barbero Barrera

Vocal 1:

Doctor don Ignacio Oteiza San José

Vocal 2:

Doctora doña Ana Sánchez-Ostiz Gutiérrez

Vocal 3:

Doctor don Félix Jové Sandoval

Suplente 1:

Doctor don Fernando da Casa Martín

Suplente 2:

Doctor don Francisco Javier Castilla Pascual

ÍNDICE:

RESUMEN	3
ABSTRACT:	6
INTRODUCCIÓN.....	7
1.- ARQUITECTURA EN TIERRA.....	9
1.1.- Arquitectura en tierra: Muros.....	10
1.2.- Arquitectura en tierra: Cubiertas.....	12
1.3.- Arquitectura en tierra: Cueva.....	13
1.4.- Discusión:.....	14
Bibliografía Capítulo 1.....	15
2.- LA CUBIERTA PLANA DE TIERRA.....	23
2.1.- Extremo Este de la cuenca mediterránea:.....	24
2.1.1.- Grecia:.....	24
2.1.2.- Chipre.....	26
2.1.3.- Turquía.....	26
2.1.4.- Palestina.....	27
2.1.5.- Jordania.....	28
2.1.6.- Líbano.....	29
2.1.7.- Egipto.....	29
2.2.- Extremo Oeste de la Cuenca Mediterránea.....	30
2.2.1.- África: Túnez, Argelia, Marruecos y Mali.....	30
2.2.2.- España:.....	32
2.3.- Discusión:.....	41
Bibliografía Capítulo 2.....	44
3.- Hipótesis, Objetivos y Metodología	47
3.1.- Objetivo	47
3.2.- Hipótesis.....	48
3.3.- Metodología.....	49
4.- Estudio de Campo de la Cubierta Plana en Ibiza.....	51
4.1.- Zonas de Extracción de Material para Cubiertas.....	51
4.1.1.- Fichas de Campo de “Zonas de Extracción”	52
4.2.- Edificaciones.....	77
4.2.1.- Fichas de Campo de “Edificaciones Vernáculas”	88
4.3.- Conclusiones Constructivas.....	129

4.4.- Comparativa de Secciones con la Sección de Ibiza.....	129
4.5.- Conclusiones sobre el Patrimonio Arquitectónico de Ibiza	134
Bibliografía Capítulo 4.....	135
5.- ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CAPA EXTERIOR DE LA CUBIERTA PLANA DE TIERRA.....	137
5.1.- Determinación de las cualidades características de la capa exterior.....	138
5.2.- ENSAYOS.....	141
5.3.- Ensayos en laboratorio.....	141
5.3.1.- Metodología.....	141
5.3.2.- Materiales para el ensayo.....	142
5.3.3.-Diseño de las probetas.....	146
5.3.4.-Descripción del ensayo.....	147
5.3.5.- Resultado de Ensayos de Laboratorio.....	148
Bibliografía Capítulo 5.....	156
6.- ENSAYOS EN CUBIERTA	167
6.1.- Metodología:.....	168
6.2.- Ensayos previos:.....	168
6.3.- Hipótesis de Comportamiento de la Cubierta plana.....	176
6.4.- Construcción de La Cubierta plana de tierra:.....	181
6.5.- Calibración de sensores:.....	186
6.6.- Descripción de Ensayos:.....	190
6.7.- Resultados del ensayo:.....	192
7.- CONCLUSIONES.....	201
BIBLIOGRAFÍA:	203

RESUMEN:

Los estudios de la cubierta plana de tierra están integrados en trabajos más amplios sobre arquitectura en tierra o arquitectura vernácula. En ellos se describe la sección constructiva de forma somera y no siempre se indican espesores o identifican las tierras utilizadas. En la actualidad no hay trabajos de caracterización y cuantificación de la respuesta hídrica ni térmica de la misma.

Esta tipología de cubierta se localiza principalmente en ambos extremos de la cuenca mediterránea. En la isla de Ibiza todavía se conservan algunos ejemplares, aunque en mal estado muchos de ellos. Se han dejado de utilizar desde la primera mitad del siglo XX y el ritmo de desaparición se ha acelerado, lo que implica un riesgo real de pérdida de este patrimonio construido.

El presente trabajo de investigación aborda primero un marco general de estudio de las cubiertas planas de tierra, para centrarse después en el estudio de las de Ibiza, por su facilidad de acceso, por la posibilidad de recoger información oral de constructores locales y por la posibilidad de obtener material del que se utiliza para la capa exterior, (supuestamente la capa cuya función principal sería la de impermeabilizar), para su posterior ensayo en laboratorio.

El primer objetivo de la tesis es determinar los materiales, dimensiones y detalles constructivos de la cubierta de Ibiza, de la que se han visitado un amplio número de la mano del arquitecto local don Salvador Roig Planells.

En la isla, donde queda aproximadamente un 7,5% de las cubiertas originales, se ha realizado un estudio de las mismas, confirmando que están constituidas por una capa exterior de margas o margo calizas de espesor medio de 10 cm, una capa intermedia de tierra carbonera (resto de hornos de cal o carbón vegetal) de 8 a 10 cm, sobre una capa de algas (posidonia) recogidas de las calas, prensadas por el propio peso de las capas superiores con un espesor final de 2 a 3cm aproximadamente; todo ello apoyado sobre una estructura adintelada de troncos de sabina local, cubiertas por tablillas de sabina, cañizo, ramas de sabina y lajas de piedra de marés. Se describen los detalles constructivos de borde, encuentros con las gárgolas y salida de humos, y se ha estudiado la coherencia de estos con el comportamiento de los materiales utilizados.

El segundo objetivo es la confirmación de la hipótesis de que la capa exterior de las cubiertas planas de tierra es la capa impermeable y cuya función es llevar el agua por escorrentía hasta la gárgola reduciendo la infiltración.

Para ello se han desarrollado ensayos en el laboratorio para cuantificar y determinar el grado de impermeabilidad de las tierras, mediante la determinación de las siguientes características: Capacidad de Campo, Capacidad de Infiltración, Escorrentía e Infiltración para una lluvia dada, cuyos datos se incorporan a unas hojas de cálculo que nos darán los valores teóricos límites de escorrentía e infiltración para una cubierta de 3 x 3 m, dimensión característica de una cubierta plana de tierra.

Posteriormente se ha construido un modelo a escala real para confirmar la validez de los ensayos previos y se han desarrollado las hojas de cálculo para caracterizar y prever el comportamiento de cualquier tierra que se use en la capa exterior impermeable de una cubierta.

Los resultados con las margas y margo calizas de Ibiza demuestran que se trata de materiales impermeables, con un comportamiento muy bueno ante el secado y una mínima fisuración ante este.

Sería adecuado estudiar en trabajos posteriores como mantener el buen comportamiento de la cubierta ante la lluvia a pesar de la presencia de plantas, o como evitar el crecimiento de estas. Y también completar los ensayos para determinar la curva de identificación de la sección mínima de la tierra para resistir la precipitación máxima de la zona climática.

ABSTRACT:

The studies of the flat roof of land (terraces) are integrated in more extensive works on architecture in earth or vernacular architecture. They describe the construction section briefly and not always indicate thicknesses or identify the lands used. At present there are no works of characterization and quantification of the hydric or thermal response of this type of roof.

This type of cover is located mainly at both ends of the Mediterranean basin. Some samples are still preserved on the island of Ibiza, although many of them are in poor condition. They have been discontinued since the first half of the 20th century and the rate of disappearance has accelerated, which implies a real risk of loss of this architectural heritage.

This research paper first addresses a general framework for the study of earth flat roofs, to focus later on the study of those of Ibiza, for its ease of access, for the possibility of collecting oral information from local builders and for the possibility to obtain material that is used for the top layer of the cover, (supposedly the layer whose main function would be to waterproof), for subsequent laboratory testing.

The first objective of the thesis is to determine the materials, dimensions and construction details of the roof of Ibiza. To this end, many roofs have been visited with the help of the local architect Don Salvador Roig Planells, who accompanied and guided us.

On the island, where approximately 7.5% of the original roofs remain, a study of them has been carried out, confirming that they are constituted by an outer layer of marl or marl limestone of average thickness of 10 cm, an intermediate layer of coal earth (rest of lime kilns or charcoal) of 8 to 10 cm, on a layer of algae (posidonia) collected from the coves in the coast, pressed by the weight of the upper layers with a final thickness of approximately 2 to 3cm; all this supported on a vaulted structure of trunks of local sabina, covered by tablets of sabina, hurdle, branches of sabina and slabs of stone of "mares". They have been described: the construction details of the edge, the encounters with the gargoyles and smoke outlet, and it has been studied the coherence of these with the behavior of the materials used.

The second objective is the confirmation of the hypothesis that the outer layer, or top layer, of the flat earth covers is the impermeable layer and whose function is to run the water through runoff to the gargoyle reducing infiltration.

To this end, tests have been carried out in the laboratory to quantify and determine the degree of impermeability of the land, by determining the following characteristics: Field Capacity, Infiltration Capacity, Runoff and Infiltration for a given rain, whose data is incorporated into some spreadsheets that will give us the theoretical runoff and infiltration limits for a 3 x 3 m roof, characteristic dimension of a flat land cover.

Subsequently, a full-scale model has been constructed to confirm the validity of previous tests and spreadsheets have been developed to characterize and anticipate the behavior of any soil used in the impermeable outer layer of a roof.

The results with the marl and marl limestone of Ibiza show that it is waterproof materials, with a very good behavior before drying and minimal cracking before it.

It would be appropriate to study in later works how to maintain the good behavior of the roof in the rain despite the presence of plants, or how to avoid the growth of these. And complete the tests to determine the identification curve of the minimum section of the earth to resist the maximum precipitation of the climatic zone.

.-INTRODUCCIÓN

Con el surgimiento a lo largo del siglo XIX de los estudios arqueológicos, el interés por las construcciones populares se incrementó, no solo por su valor intrínseco cultural de cada nación, sino por ser la evolución natural de la forma de vivir y construir de nuestros más alejados antepasados.

La presente investigación se centra en el estudio de las cubiertas que retienen el agua, por una reducción de la escorrentía al ser de geometría plana y por estar formadas por materiales naturales utilizados a lo largo de la historia del hombre y que su efectividad no está directamente relacionada con su total impermeabilización. Estudiaremos las cubiertas tradicionales planas o de pendiente mínima para poder identificar su comportamiento y las razones de su actual tendencia al desuso.. Identificaremos su evolución y relación con las cubiertas contemporáneas, que nos permitan realizar paralelismos de caracterización y respuesta técnica. Uniéndonos a la declaración de principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del Patrimonio Arquitectónico, de ICOMOS¹, en el que recoge en su punto 1.3 “el valor del patrimonio arquitectónico no reside únicamente en su aspecto externo, sino también en la integridad de todos sus componentes como producto genuino de la tecnología constructiva propia de su época.” Por ello, en la recopilación del conocimiento sobre estas cubiertas tradicionales, no solo tomaremos referencias a su estructura constructiva y modo de ejecución, sino a sus características esenciales de respuesta a la protección del ambiente interior que protege.

En todo acercamiento al edificio histórico, debemos comprender que la manera de responder de este a las necesidades de protección que el hombre le ha exigido son diferentes al edificio actual. El tipo de respuesta del edificio depende del modo constructivo y los materiales utilizados. En el edificio antiguo, la respuesta está basada en un equilibrio de fuerzas entre agentes climáticos y la capacidad de retener y devolver al ambiente exterior –amortiguar- de los cerramientos, los cuales mantienen un equilibrio de condiciones ambientales internas, en contraposición al modo de construcción actual tendente a aislarse e independizarse del exterior. El edificio histórico es “permeable” frente al edificio contemporáneo que es “estanco”. Por ello es necesario conocer cómo responde el edificio antiguo antes de plantear modificaciones de uso o soluciones a sus problemas mediante la incorporación de un material moderno, sin comprender como podría alterar el funcionamiento del edificio en su conjunto.

Si bien se sabe que el edificio antiguo crea un equilibrio ambiental interior mediante los materiales que lo conforman, el uso de los espacios y la interrelación de intercambio con el exterior utilizando la inercia del espesor de los materiales que lo conforman, vamos a recopilar el conocimiento existente y los estudios realizados sobre su comportamiento, lo que sería la base teórica del comportamiento del edificio histórico frente al ambiente que le circunda.

¹**ICOMOS:** Consejo Internacional de Monumentos y Sitios Histórico-Artísticos. Fundado en 1965 en Varsovia (Polonia) tras la elaboración de la conocida como “Carta de Venecia” –Carta Internacional sobre Conservación y Restauración de los Monumentos y los Sitios Históricos Artísticos- Es una organización no gubernamental que tiene como cometido promover la teoría, la metodología y la tecnología aplicada a la conservación, protección, realce y apreciación de los monumentos, los conjuntos y los referidos sitios.

1.- ARQUITECTURA EN TIERRA.

La arquitectura en tierra es aquella que, como su nombre indica, utiliza como materia prima principal la tierra. El uso de ésta puede ser para la construcción tanto de muros, forjados o cubiertas y se obtiene tanto del terreno próximo como de lugares de explotación del entorno.

La arquitectura de tierra está extendida por todos los continentes y está ligada al hombre desde los comienzos de la civilización, debido en gran parte a que es el material más accesible y asequible.

Dentro de las arquitecturas en tierra se encuentran aquellas que la utilizan para la ejecución de muros con distintos formatos: tepe (pieza cortada del suelo), adobe (pieza realizada con molde) y tapial (tierra apisonada, compactada entre encofrados que se retiran con posterioridad). Se incluye también otras técnicas como la “quincha” o “bahareque”(torta de barro sobre caña en rollizos) que se utiliza tanto para cerramientos y en algunas zonas para cubiertas planas o abovedadas; Las cubiertas de tierra plana o inclinada, e incluso las construcciones, ya sean viviendas o bodegas, excavadas en la tierra.

La arquitectura en tierra forma parte de la arquitectura vernácula e histórica, tanto civil como militar. Desde principios del siglo XX ha ido creciendo progresivamente el interés hacia ella, debido a la revalorización de esta última, (Violet-le-Duc,1875) (1) (Baeschlin, 1934) (2) (Hausmann, 1936) (3), (Flores, 1973) (4), (Feduchi, 1976) (5)(García Mercadal, 1984) (6)y a partir de los años 70 por sus características ecológicas, de eficiencia energética y de sostenibilidad(Watson, 1977) (7), (Alves et al., 1978) (8), (Butti et al., 1980) (9). Sin embargo sigue siendo minoritario en países industrializados: en el sur de Europa por considerarla una arquitectura pobre, de zona rural;en el norte de Europa y América, aun sin dichos prejuicios y valorando sus características ecológicas y de inercia térmica, sigue siendo minoritaria por el alto coste de la mano de obra y la pérdida de formación en dicha técnica. Para valorar el crecimiento en el interés por esta arquitectura, es muy representativa la bibliografía cronológica, realizada por Jean Dethier en su libro: *Arquitecturas de terra. Ou o Futuro de uma tradição milenar Europa-Terceiro mundo -Estados Unidos*. (10)El autor destaca las tres recopilaciones bibliográficas realizadas hasta la fecha: (Wolfskill, et al., 1962) (11) (Hopson, 1979) (12)y (Miller et al., 1982) (13), las tres norteamericanas, y las dos revistas especializadas en arquitectura en tierra en el mundo: “Earthbuilder” (ex Adobe Today) desde 1973 de Nuevo México (USA) redactada en inglés y “BauenMitLehm” desde 1984,Kassel R.F.A. redactada en alemán.

La bibliografía recopilada es mayormente francesa, Inglesa, alemana, americana, tanto de Estados Unidos como de Iberoamérica y australiana entre otras. (Tabla 1)

Tabla 1: Evolución de número de publicaciones en Arquitectura en tierra, según Jean Dethier.

Década	1772-1789	1790-1802	1803-1815	1816-1828	1829-1841	1842-1854	1855-1867	1868-1880	1881-1893	1894-1906	1907-1919	1920-1933	1934-1946	1947-1959	1960-1972	1973-1986
Nº publicaciones	2	11	7	5	6	0	0	2	2	2	5	19	27	43	20	147

En España, los trabajos realizados durante las décadas de los 80 y 90, fueron escasos y muy poco divulgados, redactándose tres monografías y a lo tocante a congresos siempre relacionado con actuaciones en arquitectura militar sin consideración a la arquitectura vernácula por considerarla menor. (Maldonado et al. 1997) (14) En el siglo XXI es cuando se incrementan los estudios sobre esta arquitectura y comienza a recuperarse tanto para la restauración de la arquitectura existente como para la nueva arquitectura.

1.1.- Arquitectura en tierra: Muros.

En la bibliografía sobre este tema encontramos libros que recogen el saber de la técnica, nomenclaturas y características constructivas, (Maldonado et al., 2003) (15), Como los que analizan sus características y modos constructivos incorporando ejemplos de arquitectura contemporánea de tierra, (Graham, P. 1984) (16) (Minke, G, 2010) (17), o valoraciones de la labor de arquitectos como Hassan Fathy por recuperar y revalorizar esta arquitectura (Steele, 1997) (18). Estas publicaciones muestran el interés que existe por el uso de este sistema constructivo actualmente y no sólo como elemento del pasado; La querencia por esta arquitectura, que inicialmente se valoraba por su bajo coste para países en vías de desarrollo (García Verduch, 1987) (19), ha ido evolucionando de manera que se promueve su estudio para mejorar los procesos y calidades, en la formación de todos los profesionales involucrados, (Maldonado et al., 2011) (20), (Esperanza et al.,2007) (21)y por lo que se integra como asignatura propia en algunas universidades (por ejemplo, las mejicanas) por su transcendencia en la región.(Roux, et al., 2016) (22). Aunque la arquitectura en tierra sigue siendo minoritaria en la actualidad, en las últimas décadas en su resurgiendo, se están realizando obras nuevas con esta tipología, principalmente de tapial, y con técnicas modernas basadas en el procedimiento constructivo tradicional, que permite una ejecución más rápida y con menor cantidad de mano de obra. (Guerrero Baca, L, 2007) (23)(Font, et al., 2011) (24) (Watson et al., 2011) (25)

Los estudios sobre esta tipología constructiva se realizan en todos los continentes y desde diferentes perspectivas. Si se habla de muros en tierra podemos destacar:

- La relación histórica y cultural con diferentes y numerosas áreas geográficas: El tapial surge como técnica constructiva en China y en la cuenca del Mediterráneo y se extiende por todo el mundo como consecuencia del movimiento de personas (Jaquin et al., 2008) (26): la Ruta de la Seda, (Meraz Quintana, 2011) (27)Italia (Galdieri, 1986) (28), Colombia (Rivero Bolanos, 2011) (29) o España (Jiménez Delgado et al., 2006) (30); o el análisis de sus características sociales, culturales y tipológicas, incidiendo en su valor como patrimonio cultural (Baglioni, 2010) (31). Todo ello, como parte del patrimonio arquitectónico, requiere una conservación tal que implica un análisis de los planteamientos de rehabilitación específicos para esta arquitectura (Warren, 2001) (32). Junto con este planteamiento general de intervención particular, se incorpora un estudio sistematizado de las patologías propias (Correia, M, 2007) (33), se realiza trabajos de recuperación de yacimientos arqueológicos que incorporan al conocimiento técnicas de restauración (Pujal, 1993) (34), métodos de evaluación de patologías (Ramos et al., 2004) (35), recomendaciones de intervención (Rodríguez et al., 2011) (36), criterios de fabricación para la rehabilitación (Fodde, 2009) (37) o análisis del proceso de lesiones (Gómez Patrocinio et al., 2016) (38).
- En la investigación de sus características constructivas podemos recoger estudios realizados como la recopilación de los procesos usados en Colombia y su uso en arquitectura actual (Sánchez Goma, 2007) (39),estudios de la evolución constructiva basados en el método estratigráfico (Rolón et al., 2010) (40).Y referido al análisis tipológico de murallas y estructuras de fortificaciones.(Muñoz García et al., 2012) (41).
- Esta arquitectura sigue siendo habitada en la actualidad en numerosos países por lo que es importante revitalizar sus características y volver a poner en valor y uso, (Domínguez Vega, 2010) (42), potenciando su valor social y económico entre otros (Guerrero et al., 2014) (20).
- Un área importante de estudio es la relativa al análisis de las características hídricas y térmicas:
 - Caracterización de su respuesta ante el agua (Salas Serrano, 2002) (43). la influencia del modo de construir los adobes en su respuesta a la humedad (Maillard et al., 2014) (44), la capacidad de regulación de la humedad ambiental (Cagnon et al., 2010) (45), mejoras mediante la incorporación de sustancias que mejoren sus

- cualidades (Eires et al., 2017) (46) o la incorporación de cal para amortiguar la humedad (Liuzzi et al., 2013) (47).
- Desarrollo de métodos matemáticos para cuantificar las transferencias de calor, (Suarez-Domínguez et al., 2014) (48), se determina la sección mínima para garantizar una resistencia térmica efectiva (Heathcote, 2011) (49) se compara la inercia térmica con la de otros materiales de construcción (Roux et al., 2015) (50) o la influencia de la incorporación de fibras naturales en su respuesta hídrica y térmica (Palumbo et al., 2016) (51).
 - Existe un ámbito de trabajo centrado en la búsqueda de modos de incrementar su durabilidad: se investiga la mejora de la respuesta ante el agua, mediante acabados superficiales (Stazi et al., 2016) (52) o tratamientos en superficie con la bacteria *Bacillus Pasteurii*, que combinada con urea, transforma la arena en tierra caliza aumentando su dureza superficial (Ruiz Plaza, 2011) (53) y facilitar su conservación estudiando sus características físicas (Alam et al., 2015) (54), (Fratini et al., 2011) (55); trabajos experimentales como las tesis “La arquitectura de tierra, su consolidación a través de la utilización de hidrofugantes: Experimentación sobre el centro histórico de Alcalá de Henares” (Nava Hung et al., 1996) (56) y “Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra.” (Castilla Pascual et al., 2004) (57). Y el estudio realizado de análisis y posibles soluciones con menor deterioro de los detalles constructivos de encuentros de los muros de adobe con terreno, entre muros, vanos y otros. (Rodríguez Díaz, et al., 2014) (58)
 - La baja resistencia a compresión de este material suscita estudios de mejora de dicha resistencia y de sus propiedades estructurales, (Miccoli et al., 2004) (59) o el estudio de refuerzos con bloque de tierra compactados en edificios preexistentes (Juárez et al., 2010) (60); mejoras en el procedimiento de cálculo (Miccoli et al., 2016) (61) o se estudia la influencia del secado de la tierra en su respuesta estructural (Schoroeder, 2011) (62). Dentro de la capacidad estructural de la arquitectura en tierra, se analiza su comportamiento ante el sismo de los muros de adobes o tapial analizando su vulnerabilidad y buscando modos de mejora de su respuesta (Yamin Lacouture et al., 2007) (63) (López Pérez et al., 2007) (64). También existen publicaciones que se refieren a la respuesta a estas solicitaciones que mejoren sus características estructurales, tracción y cortante, (Bui, 2014) (65) (Hurtado et al., XX) (66) muy relacionados con los estudios que se realizan principalmente en Chile y Perú donde su patrimonio arquitectónico sufre fuertes terremotos por lo que se estudia desde diversas perspectivas el acrecentar la resistencia al sismo: (Hurtado, XX) (67) o (Blondet et al., 2011) (68).
 - Otra área de desarrollo se centra en la comprobación y puesta en valor de las características medioambientales de la arquitectura de tierra, dado el mínimo impacto de estas edificaciones sobre el medio ambiente por su bajo consumo energético, baja producción de escombros y por su potencial ecológico (Guerrero, 2013) (69), (Zulueta, 2011), (70), (Pacheco-Torga et al., 2012) (71), (Gálvez Huerta, 2002) (72) (Martínez Gaytán, 2012) (73).
 - La consideración de estos valores “ecológicos” ha cambiado la forma de apreciación de esta arquitectura, que ha pasado de ser vista solo como arquitectura popular (pobre), a ser considerada en su aportación al confort térmico y ambiental. Están apareciendo ejemplos de arquitecturas contemporáneas construidas con este material, y se innova en nuevas tecnologías de puesta en obra y de mecanización (Rotondoro, 2007) (74), buscando la adaptación a la metodología de trabajo actual (VonMag et al., 2011) (75), mejora ambiental y tecnológica mediante mejoras en los bloques de tierra, (Yepes Gaviria, et al., 2012) (76) u obras que se han realizado en distintas zonas en la primera década de este siglo (Bestraten et al., 2011) (77).

- La garantía y seguridad de una norma técnica en la construcción actual, también se demanda en la arquitectura en tierra. Se incide en la necesidad de normativa y de revitalizar la formación en dichas técnicas (Jiménez Delgado; Cañas Guerrero, 2006) (30) y como recoge en su trabajo, Cid, Mazarrón y Cañas, (Cid et al, 2011) (78) en el mundo existen una deficiencia en la normativa, tanto por la cantidad como por la limitación del material normalizado, los parámetros y la homologación entre las distintas normas existentes. De los 55 documentos referidos a este material, ya sea para adobe, tapial o bloque comprimido (BTC), estas normas se centran de forma general (79%) en una única tipología: el BTC. Los países con normativa, en español, francés o inglés son: Brasil, con 13 normas desarrolladas entre 1986 a 1996 para BTC estabilizado, métodos de ensayo, procedimientos de fabricación Bloques de suelo –cemento recogiendo sus especificaciones y métodos de ensayo y una norma de tapia con cemento. Colombia tiene una norma publicada en 2005 para BTC resultante de la traducción de la norma experimental francesa. EEUU tiene su norma actualizada en 2010 donde trata las tres técnicas. En España, AENOR redacta la primera norma europea de construcción en tierra no experimental de BTC en 2008. Francia, mantiene desde 2001 una norma experimental provisional de BTC a la espera de la redacción definitiva. India ha redactado tres normas entre 1987 y 2007 (Para BTC, Tapial y directrices para resistencia a terremotos para adobe y tapial), Kenia y Nigeria tienen su norma para BTC redactada en 1999/1997, Nueva Zelanda redactó en 1998/99 sus tres normas existentes, Perú tiene 4 normas para adobe de 1979 y 2000. En esta nación se percibe la necesidad de una norma específica para las zonas sísmicas y se realizan trabajos que sirvan de base para dicha normativa, (Ruiz Valencia et al., 2012) (79). En la región de África existen 14 normas para BTC de 1996, Sri Lanka tiene tres normas sobre BTC de 2009, Túnez tiene dos normas para BTC de 1996, Turquía tiene tres normas en turco para el adobe y Zimbabwe en 2001 redacta su norma para tapial. La norma de Nueva Zelanda, junto con la estadounidense, es la más completa, recoge normas tanto para adobe, BTC y tapial, así como recomendaciones para *cob* y adobe in-situ. Conteniendo requisitos para el material, construcción, diseño estructural y durabilidad. Aunque trata de manera reducida la fabricación. Italia tiene leyes para la conservación de la arquitectura en tierra. Los ensayos que más se citan en las distintas normas son los de resistencia a la erosión, ciclos de humectación y secado, resistencia a compresión y caída de agua, o pulverización a presión, sin embargo, sería preciso un acuerdo en la similitud de dichos ensayos y valores de aceptación.

1.2.- Arquitectura en tierra: Cubiertas.

Respecto a las publicaciones que se refieren específicamente a las cubiertas de tierra, conviene primero distinguir que no estamos hablando de las cubiertas contemporáneas ajardinadas o verdes, de las que existe una profusa cantidad de publicaciones. Lo que se busca son las referidas a cubiertas acabadas en tierra como material impermeabilizante, y en este sentido podemos destacar las siguientes:

- Los trabajos de recopilación de tipologías locales, dentro del estudio de la arquitectura vernácula, incluyen la descripción de la cubierta de tierra en Almería (España) (Gil Albarracín, 1992) (80), en Granada (Ortiz Moreno, 2005) (81), (Sorroche Cuerva, 2004) (82), (López Osorio, 1998) (83), en el Campo de Cartagena (Murcia) (Mas Hernández, 1987) (84), en Ibiza (Serra Rodríguez, 2000) (85) (Blackstad, 2012) (86) (Joachim et al., 2013) (87) (Verdera et al., 2002) (88). En otros países mediterráneos se realizan trabajos similares como en Grecia, (Maleka, 2013), en el Oasis de Skohura en Marruecos (Soriano, 2006) (89), o (López Osorio et al., 1990) (90), en Mali (Gibbert, 1982) (91), en Sudán (Jové et al., 2016) (92) o en Yemen (Varanda, 2009) (93). Se describe la “quincha”, como “torta de barro” sobre estructura de cañizo en el Perú, (Marussi et al., 1987) (94) o como

parte característica de la casa virreinal limeña (Velasco, 2016) (95). El proyecto CORPUS, (96) realiza el trabajo sobre el área de la cuenca mediterránea, haciendo una recopilación de datos locales referidos a la sección característica local, sus materiales, procesos constructivos, personas o profesionales intervinientes en la construcción, mantenimiento requerido, patologías más probables, evolución constructiva y modificaciones sufridas, así como la vigencia de su uso actual.

- El Plan Nacional de Arquitectura Tradicional (97), recoge las tipologías de esta arquitectura en España, así como los materiales con sus principales características, su localización en el territorio nacional, empresas y artesanos que tienen explotaciones, minas o que los trabajan; sin embargo en referencia a las cubiertas de tierra, el Plan se centra exclusivamente en las “cubiertas de Launa”; las localiza (Granada, Almería y Murcia), incluye la sección tipo de la zona de Granada, pero no incorpora canteras ni artesanos que las ejecutan.
- Se transmite, dentro de un estudio completo de los elementos que conforman la arquitectura en tierra, el uso antiguo de incorporar algún tipo de material que mejoraba el comportamiento de las cubiertas, como ocurre en Pueblo Nuevo en México o en Anatolia en Turquía. (Minke, 2010) (17). O se indica la efectividad conforme a su bajo coste, (Graham, 1984) (16).
- Se realizan reconstrucciones de cubierta en base a los resultados arqueológicos, por interés histórico al reconstruir el templo ibérico en Alcuña de Elche (Alicante) (Peña Domínguez, 2016) (98) o prototipos de viviendas sobre bóvedas nubias (Jové et al., 2016) (99).

1.3.- Arquitectura en tierra: Cueva.

El tercer componente de la arquitectura de tierra es la cueva, como tierra excavada tanto como vivienda como bodega:

- Tiene estudios históricos como primera vivienda de la humanidad que ha estado en uso hasta nuestros días. Se incorpora esta tipología dentro de la arquitectura popular, presente en toda la geografía mundial, siendo recogidas en los trabajos de recopilación y caracterización de la misma, en Benimant y Paterna (Valencia) (Feduchi, 1976) (5), en Sayalonga (Málaga), Guadix en Granada, Puerto de Sta. María en Cádiz (Lasaosa et al., 1989) (100) o en Cartagena o Águilas de Murcia (Flores, 1973) (4), La Mármola y La Rabita de Almería (Gil Albarracín, 1992) (80), (García Grinda, 2007) (101) o (Ben M'Barek, 2007) (102), estudios realizados sobre las viviendas de la riera del Loira, (Baring-Gould, 1911) (103), las viviendas de Aguilar de campos (Valladolid) (Jové, 2006) (104) Así como las recogidas en Matmala de Túnez, Yemen o el Tibet, como ejemplo de su extensión geográfica.
- Se han estudiado por sus condiciones ambientales como adaptación geográfica (Piedecausa García, 2011) (105), o en el caso de las cuevas en Andalucía, se han catalogado y estudiado su evolución en el uso, las características de localización, de la geología y la orientación (Urdiales Viedma, 87) (106) y como lugar de conservación de vinos, bodegas, estudio de sus características hídricas y térmicas, tanto en Castilla y León, (Ruíz Mazarrón et al., 2011) (107), (Jové et al., 2011) (108), como de Castilla-La Mancha (García Martín, 2001) (109)
- En la década de los 70, con la crisis del petróleo se realizaron publicaciones con propuestas de arquitectura enterrada y criterios para su ejecución (Wampler, 1978) (110), (Universidad de Minesota, 1983) (111).

1.4.- Discusión:

El estado del conocimiento actual sobre la arquitectura en tierra, sin incluir valor histórico, podemos diferenciar dos situaciones:

Respecto a la arquitectura en tierra referida a muros, ya sean de cerramiento o estructurales, hay numerosos profesionales que estudian de cada técnica los siguientes campos: análisis y cuantificación de su respuesta estructural, hídrica, térmica y de durabilidad; así como métodos para la mejora en dicha respuesta. Y universidades que han incorporado a su temario dichos conocimientos. El número de publicaciones se va incrementando en el tiempo y se desarrollan tesis doctorales en este campo científico.

Respecto a las cubiertas en tierra, se han realizado trabajos de identificación y definición constructiva e incluso se han reconstruido pero no hay profesionales en la actualidad que realicen estudios equivalentes sobre las mismas de análisis cualitativo, de cuantificación ni por supuesto de mejora en su respuesta, ni universidades que las incluyan en el temario. El número de publicaciones es reducido, siendo un máximo del 18% de las publicaciones las que incluyen la cubierta de tierra y se reduce al 1% cuando la trata de forma principal.

Es de destacar que en el Plan Nacional de Arquitectura Tradicional no se menciona las cubiertas planas de Ibiza, elemento fundamental de su arquitectura local y que tuvo una gran influencia en la arquitectura internacional del siglo XX. M(González –Varas, 2017) (112) (Rodríguez, 2017) (113)

Bibliografía Capítulo 1:

1. **Violet-Le-Duc, Eugenio Manuel.** *Historia de la Vivienda Humana*. s.l. : Victor Leru, 1945, 1875.
2. **Baeschlin, A.** *Cuadernos de arquitectura popular. Ibiza*. Valencia : Ediciones Vilanova, 1934.
3. *Elementos de la arquitectura rural en la isla de Ibiza.* **Hausmann, R y Broner, E.** 21, Barcelona, Madrid, San Sebastian : GATEPAC., 1936, A.C., Vol. VI, págs. 11-25.
4. **Flores, Carlos.** *Arquitectura Popular Española Tomo IV*. s.l. : Aguilar, 1973.
5. **Feduchi, Luís.** *Arquitectura Popular Española*. s.l. : BLUME, 1976/1979.
6. **García Mercadal, Fernando.** *La Casa Mediterránea*. Madrid : Museo Español de Arte Contemporáneo, 1984.
7. **Watson, D.** (*Designing and building a solar house*) *La casa solar*. Madrid : Hermann Blume, 1977/1985.
8. **Alves, Ronald; Mlligan, Charles.** *Energía para la Vida*. Madrid 1985 : Hermann Blume, 1978.
9. **Butti, K y Perlin, J.** *Un hilo dorado (A golden Thread)*. 1 Esp. Madrid : Hermann Blume, 1980/1985.
10. **Dethier, J.** *Arquitecturas de terra ou o futuro de ama tradição milenar Europa-Terceiro Mundo-Estados Unidos*. Lisboa : Fundação Caouste Gulbenkia. Centro de arte moderna José de Azeredo Perdigão., 1993.
11. **Wofskill, L, Dunlap, W y Gallaway, B.** *Earthen home construction a field and library compilation with an anotated bibliography*. Texas : Texas Transport Institute, 1962.
12. **Hopson, R.** *Adobe: a compresive bibliography*. Santa Fé : The Lightning Tree, Jene Lyon Publ., 1979.
13. **Miller, L y Miller, D.** *Rammed Earth: a selected bibliography*. Greeley : Rammed Earth Institute Internacional, 1982.
14. *La Técnica del tapial en la Comunidad Autónoma de Madrid. Aplicación de nuevos materiales para la consolidación de muros de tapial.* **Maldonado Ramos, L, Castilla Pascual, FJ y Vela Cosio, F.** 452 (27-37), Madrid : Informes de la Construcción, 1997, Vol. 49.
15. **Maldonado Ramos, Luís; Vela Cossío, Fernando; Hoz Onrubia Jaime de.** *Diccionario de Construcción Tradicional. Tierra*. San Sebastián : Nerea, 2003.
16. **Graham McHenry, P jr.** *Adobe and rammed earth buildings. Design and construction*. USA : John Wiley and Sons. Inc., 1984.
17. **Minke, G.** *Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Teruel : Ecohabitar, 2010.
18. **Steele, James.** *An Architecture for People. The Complete Works of Hassan Fathy*. s.l. : Thames and Hudson, 1997.

19. *Materiales de construcción para viviendas de bajo coste*. **García Verduch, A.** Madrid : Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación., 1987. Navapalos. III Encuentro de trabajo sobre "La tierra como material de construcción". págs. 117-140.
20. *El patrimonio arquitectónico construido con tierra. Las aportaciones historiográficas y el reconocimiento de sus valores en el contexto de la arquitectura popular española*. **Maldonado, L y Vela-Cossío, F.** 523(71-80), s.l. : Informes de la Construcción, 2011, Vol. 63.
21. *Investigar, formar, capacitar y transferir. Los grandes desafíos de la arquitectura y construcción de tierra*. **Esperanza Garzón, L y Martínez Neves, CM.** 2 (324-335), s.l. : Apuntes, 2007.
22. *Justificación curricular de la asignatura Arquitectura de Tierra. Caso: Tamaulipas, México*. **Roux Oropeza, D.L. y Roux Gutierrez, R.** 30; 242-255, s.l. : Educación y Humanismo, 2016, Vol. 18.
23. *Arquitectura en Tierra. Hacia la recuperación de una cultura construida*. **Guerrero Baca, L.** 2 (182-201), s.l. : Apuntes, 2007, Vol. 20.
24. *La tapia en España. Técnicas actuales y ejemplos*. **Font, F y Hidalgo, P.** 452 (27-37), Madrid : Informes de la Construcción, 2011, Vol. 49, págs. 27-37.
25. *The cob building technique. Past, present and future*. **Watson, L y McCabe, K.** 523 (59-70), Madrid : Informes de la Construcción, 2011, Vol. 63.
26. *Cronological description of the spatial development of rammed earth techniques*. **Jaquin, P.A., Augarde, C.E. y Gerrard, C.M.** 2(377-400), s.l. : International Journal of Architectural Heritage, 2008.
27. **Meraz Quintana, Leonardo.** Patrimonio en la ruta de la Seda. [aut. libro] Félix Jové Sandoval y José Luís Sáinz Guerra. *Construcción en Tierra. Tecnología y Arquitectura*. Valladolid : Cátedra Juan de Villanueva E.T.S. Arquitectura de Valladolid, 2011, págs. 383-396.
28. *Arquitectura de tierra histórica y moderna en Italia*. **Galdieri, E.** 523(97-106), s.l. : Informes de la Construcción, 1986, Vol. 37.
29. *El uso masivo de tierra como material de construcción en Colombia*. **Rivero Bolaños, S.** 2 (354-383), s.l. : Apuntes - Journal of Cultural Heritage Studies, 2007, Vol. 20.
30. *Earth building in Spain*. **Jimenez Delgado, M.C. y Cañas Guerrero, I.** 29 (512-519), s.l. : Construction and Building Materials, 2006.
31. **Baglioni, Eliana.** Il Patrimonio Architettonico in Terra Cruda Nella Valle del Drâa Marocco. [aut. libro] Felix Jové Sandoval y José Luís Sáinz Guerra. *Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura*. Valladolid : Cátedra Juan de Villanueva E.T.S. Arquitectura de Valladolid, 2010, págs. 77-88.
32. *Forma, significado y propuesta: Objetivos éticos y estéticos en la conservación de la arquitectura de tierra*. **Warren, J.** 12 (10-19), s.l. : Loggia, 2001.

33. *Teoría de la conservación y su aplicación al patrimonio en tierra.* . **Correia, M.** 2 (202-219), s.l. : Apuntes, 2007, Vol. 20.
34. *Restoration techniques for earthen buildings of historical value. Actual case.* **Pujal, A.J.** Silves (Portugal) : 7ª Conferencia Internacional sobre o Estudo e Conservacao da arquitectura de terra, Oct. 1993. (244-249).
35. *Diseño y aplicación de métodos para evaluar patologías constructivas en el habitat rural. Arquitectura de tierra en el noroeste argentino.* **Ramos, A.R., Rotondo, R y Monk, F.** 51 (108-127), s.l. : INVI, 2004, Vol. 19.
36. *Aproximación a la patología presentada en las construcciones de tierra. Algunas recomendaciones de intervención.* **Rodríguez, M.A., y otros.** 523 (97-106), s.l. : Informes de la Construcción, 2011, Vol. 63.
37. *Traditional Earthen building techiques in central Asia.* **Fodde, E.** 3 (145-168), s.l. : International Journal of Architectural Heritage, 2009.
38. *Procesos patológicos en muros de adobe: Panorama general de los mecanismos de degradación del adobe en la arquitectura tradicional española.* **Gómez Patrocinio, FJ, Mileta, C y García Soriano, L.** [ed.] F Jové Sandoval y JL. Sainz Guerra. Valladolid : Cátedra Juan de Villanueva. ETSAV, 2016. Arquitectura en tierra. Historia y renovación. III CIATTI.
39. *La arquitectura de tierra en Colombia. Procesos y culturas constructivas.* **Sánchez Gama, C.E.** 2 (242-274), s.l. : Apuntes, 2007, Vol. 20.
40. *Empleo del método estratigráfico en el estudio de la vivienda rural vernácula construida con tierra. Un caso de aplicación en la Rioja, Argentina.* **Rolón, G. y Rotondoro, R.** 7 (213-222), s.l. : Arqueología de la Arquitectura, 2010.
41. **Muñoz García, Michel y David Domínguez-Solera, Santiago.** Arqueología en las Fortificaciones de Alarcón (Cuenca): La Puerta del Bodegón como excusa. [aut. libro] Gonzalo López-Muñiz Moragas y Francisco García Riesco. *Cuadernos de Arquitectura y Fortificación 0.* Madrid : Ediciones de la Ergástula, S.L., 2012, págs. 77-122.
42. *La Arquitectura de tierra es una herencia humana.* **Dominguez Vega, W.** 1 (1-7), Cuba : Ciencias Holguín, 2010, Vol. XVI.
43. **Salas Serrano, J.** La arquitectura de tierra frente al agua y la humedad. [aut. libro] L Maldonado Ramos, D Rivera Gómez y F. Vela Cosio. [ed.] L Maldonado Ramos, D Rivera Gómez y F. Vela Cosio. *Arquitectura y construcción con tierra. Tradición e innovación.* Madrid : s.n., 2002, págs. 33-52.
44. *Effects of the anisotropy of extruded earth bricks on the hygro thermal properties.* **Maillard, P. y Aubert, J.E.** 523 (159-169), s.l. : Informes de la Construcción, 2011, Vol. 63.
45. *Higrotermal properties of earth bricks.* **Cagnon, H, y otros.** 80 (208-217), s.l. : Energy and Building, 2014.

46. *Enhancing water resistance of earthen buildings with quicklime and oil.* **Eires, R, Camões, A y Walter, P.** 142 (245-252), s.l. : Journal of Cleaner Production, 2017.
47. *Higrotermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in mediterranean climate.* **Liuzzi, S, y otros.** 61 (82-92), 2013.
48. *Método matemático para la descripción de la transferencia de calor para tierra vertida.* **Suarez-Dominguez, E.J, y otros.** 12 (379-390), s.l. : Nova Sciencia, 2014, Vol. 6.
49. *The thermal performance of earth buildings.* **Heathcote, K.** 523 (117-126), Madrid : Informes de la Construcción., 2011, Vol. 63.
50. *Construcción sustentable, análisis del retraso térmico a bloques de tierra comprimidos.* **Roux Gutiérrez, R y Gallegos Sánchez, D.P.** 11 (55-68), s.l. : Revista Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nueva León., 2015, Vol. 9.
51. *The influence of two crop by-products on the hygrotermal properties of earth plasters.* **Palumbo, M, y otros.** 105 (245-252), s.l. : Building and Enviroment, 2016.
52. *An experimental study on earth plasters for earthen buiding protection: The effects of differents admixtures and surface treatments.* **Stazi, F, y otros.** 17 (27-41), s.l. : Journal of Cultural Heritage, 2016.
53. **Ruiz Plaza, Á.** Habitar el desierto. La nueva arquitectura en tierra para el desarrollo sostenible del oasis de M'Hamid. [aut. libro] VII Congreso de Tierra en Cuenca de Campos. Valladolid : s.n., 2011.
54. *Economical stabilization of clay for earth buildings construction in rainy and flood prone areas.* **Alan, I, Naseer, A y Shah, A.A.** 77 (154-159), s.l. : Construction and Building Materials, 2015.
55. *The earth in the architecture of the historical centre of Lamezia, Terme (Italy) Charecterization for restoration.* **Fratini, F, y otros.** 53 (509-516), s.l. : Applied Clay Science, 2011.
56. **Nava Hung, M y Monjo Carrió, J.** La arquitectura de tierra, su consolidación a través de la utilización de productos hidrofugantes: Experimentación sobre el centro histórico de Alcalá de Henares. Madrid : UPM ETSAM, 1996. TE-428.
57. **Castilla Pascual, FJ y Maldonado Ramos, L.** Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra. *Tesis.* Madrid : Dto. Construcción y Tecnicas Arquitectónicas. ETSAM, 2004.
58. *Some recommendations for the construction of wall using adobe bricks.* **Rodríguez Díaz, MA, y otros.** 185 (145-152), Medellín : Dyna, 2014, Vol. 81.
59. *Mechanical behaviour of earthe materials: A comparison between earthe block masonry, rammed earth and cob.* **Miccoli, L, Muller, U y Fontana, P.** s.l. : Construction and Building Material, 2004, Vols. 61 (327-339).

60. *Ventajas del refuerzo de muros de bloque de tierra compactado (BTC) como opción para el rescate de viviendas rurales.* **Juarez, LA, Caballero, T y Morales, V.** 518 (25-32), s.l. : Informes de la Construcción, 2010, Vol. 62.
61. *In-Plane behaviour of rammed earth under cyclic loading. Experimental testing and finite element modelling.* **Miccoli, L, Drougkas, A y Müller, U.** 125 (144-152), s.l. : Engineering Structures., 2016.
62. *Moisture transfer and change in strength during the construction of earthen building.* **Schroeder, H.** 523 (107-116), s.l. : Informes de la Construcción, 2011, Vol. 63.
63. *Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas de adobe y tapia picada.* **Yamin Lacouture, LE, y otros.** 2 (286-377), s.l. : Apuntes, 2007, Vol. 20.
64. *Rehabilitación sísmica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero.* **López Pérez, C, y otros.** 2 (304-317), s.l. : Apuntes, 2007, Vol. 20.
65. *Adobe estructural reforzado con gramíneas de tallos con tejido leñoso.* **Hurtado Figueroa, O.** (237-248), s.l. : Grupo de investigación GINDET.
66. *Failure of rammed earth walls: obsevation and quantifications.* **Bui, T-T, y otros.** 51 (295-302), s.l. : Construction and Building Materials., 2014.
67. *La restauración de edificios construidos con tierra en zonas sísmicas: La experiencia peruana.* **Hurtado Valdez, P.** (99-114), s.l. : Técnica BIA.
68. *Construcción sismorresistente en tierra: La gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica de Perú.* **Blondet, M, y otros.** 523 (41-50), s.l. : Informes de la Construcción, 2011, Vol. 63.
69. *Ecological potencial of mud brick block.* **Guerrero Baca, LF.** 1 (23-35), s.l. : restauro, 2013.
70. *La arquitectura en tierra: Una alternativa para la construcción sostenible.* **Zulueta Roa, G.** 1, s.l. : Habitat Sustentable, 2011, Vol. 1.
71. *Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction.* **Pacheco-Torgal, F y Jalali, S.** 29 (512-519), s.l. : Constructions and Building Materials., 2013.
72. **Gálvez Huerta, MA.** Bioclimatismo y construcción con tierra en la obra de Hassan Fathy: El ejemplo de Nueva Gourná. [aut. libro] D Rivera Gómez, L Maldonado Ramos y F. Vela Cossío. *Arquitectura y construcción en tierra. Tradición e innovación.* Madrid : Mairéa, 2002, págs. 33-52.
73. *Hacia la determinación de la viabilidad ambiental de los sistemas constructivos: el caso de los BTC en la zona central de la República Mexicana.* **Martínez Gaytán, I.** 2 (248-257), s.l. : Apuntes, 2012, Vol. 25.
74. *Arquitectura de tierra contemporánea: Tendencias y desafíos.* **Rotondoro, R.** 2 (342-353), s.l. : Journal of Cultural Heritage Studies., 2007, Vol. 20.

75. *Paredes de tapial y su industrialización. (Encofrados y sistemas de compactación).* **von Mag, A y Rauch, M.** 523 (35-40), Madrid : Informes de la Construcción, 2011, Vol. 63.
76. *Hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción con tierra como patrimonio futuro. Del bloque de suelo cemento(BSC) al bloque de tierra con geopolímeros (BTG).* **Yepes Gaviria, O.N., Bedoya Montoya, C.M. y Gómez Eusse, D.** 2 (240-247), s.l. : Apuntes, 2012, Vol. 25.
77. *Construcción con tierra en el S.XXI.* **Bestraten, S, Hormías, E y Altemir, A.** 523 (5-20), Madrid : Informes de la Construcción, 2011, Vol. 63.
78. *Las normativas de construcción con tierra en el Mundo.* **Cid, J y Mazarrón, F.R.: Cañas, I.** 523 (159-169), Madrid : Informes de la Construcción, 2011, Vol. 63.
79. *Propuesta normativa para la rehabilitación sísmica de edificios patrimoniales en tierra.* **Ruiz Valencia, D, López Pérez, C y Rivera, J.C.** 2 (226-239), Colombia : Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural, 2012, Vol. 5.
80. **Gíl Albarracín, Antonio.** *Arquitectura y Tecnología Popular en Almería.* Almería : Griselda Bonet Girabet GBG, 1992.
81. **Ortiz Moreno, Eduardo.** *Utopía. Márgenes. Apuntes de Arquitectura en La Alpujarra.* s.l. : TESIS DOCTORAL. ETSAM, 2005.
82. **Sorroche Cuerva, Miguel Ángel.** *Poblamiento y Arquitectura Tradicional en Granada. Patrimonio de las Comarcas de Guadix, Baza y Tierra de Huéscar.* Granada : Universidad de Granada, 2004.
83. **Soriano Alfaro, Vicent.** *Arquitectura de Tierra en el Sur de Marruecos; EL Oasis de Skoura.* Barcelona : Fundación Caja de Arquitectos, 2006.
84. **Más Hernández, Ana.** *Arquitectura Popular del Campo de Cartagena.* [ed.] Antonio Cea Gutierrez, Matilde Fernández Montes y Luís Ángel Sánchez Gómez. *Arquitectura Popular en España.* Madrid : CSIC, 1987, págs. 541-550.
85. **Serra Rodríguez, JJ.** *Fortificacions Rurals a l'illa d'Eivissa.* Ibiza : Mediterrànea-Eivissa; Consell Insular d'Eivissa i Formentera, 2000.
86. **Blakstad, Rolph.** *La Casa Eivissenca.* Ibiza : J.J. de Olañeta, 2013.
87. **Joachim, F; Rotthier, P.** *Eivissa. El Palau Pagès.* [trad.] B Marí y N Ribas. San Josep : TEHP, 2013.
88. **Verdera, Catalina y Lenaerts, Cis.** *Detalles de Arquitectura Rural Ibicenca.* [aut. libro] Félix Julbe y Rafael Pascuet. *Arquitectura y Espacio Rural en Ibiza.* Ibiza : Colegio Oficial d'Arquitectes Illes Balears; Demarcació d'Eivissa i Formentera, 2002.
89. *Principio de la arquitectura griega.* **Maleka, K.** [ed.] JL Sainz Guerra y F. Jové Sandoval. Valladolid : Junta Castilla-León. Univ. de Valladolid, 2013. X CIATTI. La Arquitectura construida en tierra. Patrimonio y Vivienda. págs. 65-72.

90. *Cuevas, cubiertas y muros de tierra en la provincia de Granada*. **López Osorio, JM y Abadía Molina, J.** Madrid: Ministerio de Fomento, 1998. Encuentro Internacional Centro de Investigación Navapalos. págs. 267-278.
91. **Guibbert, J.J.** The ecology and Ideology of cities on the Edge of the Desert. [aut. libro] The Aga Khan Award for Architecture. *Reading the Contemporary African City*. 1982, págs. 9-26.
92. *Vivienda tradicional a lo largo del Nilo en Sudán. Análisis tipológico y constructivo*. **Jové, F, Ramón Martínez, L y Hernando Andrés, D.** [ed.] F Jové Sandoval y JL. Sainz Guerra. Valladolid : Cátedra Juan de Villanueva. ETSAV, 2016. Arquitectura en tierra. Historia y renovación. III CIATTI. págs. 35-44.
93. **Varanda, Fernando.** *Art of building in Yemen*. [ed.] Fernando Varanda y Francis Molley. Segunda Edición. Lisboa : Argumentum, 2009. primera edición 1981.
94. **Marussi Castellan, F y Martínez Tercero, E.** El adobe y la Quincha. *Navapalos III Encuentro de Trabajo sobre "La Tierra como Material de Construcción"*. Madrid : Ministerior de Agricultura, Pesca y Alimentación., 1987.
95. *La casa virreinal limeña*. **Velasco García, MR.** [ed.] F Jové Sandoval y JL. Sainz Guerra. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. ETSAV, 2016. Arquitectura en tierra. Historia y renovación. págs. 81-86.
96. CORPUS. *www.meda-corpus.net*. [En línea] MEDA, EUROMED HERITAGE. [Citado el: 19 de enero de 2015.]
97. PLAN NACIONAL DE ARQUITECTURA TRADICIONAL. s.l. : Ministerio de Educación, Cultura y Deporte., 2015.
98. *Nueva hipótesis de reconstrucción virtual del alzado de adobes del templo ibérico de la Alcudía de Elche: Aparejo, vanos y sistemas de cubierta*. **Peña Domínguez, P.** [ed.] F Jové Sandoval y JL. Saínz Guerra. Valladolid : Cátedra Juan de Villanueva. ETSAV, 2016. Arquitectura en tierra. Historia y renovación. III CIATTI.
99. *Bóveda nubia aplicada a la construcción de un prototipo de vivienda de crecimiento progresivo*. **Jové, F, Ramón Martínez, L y Hernando Andrés, D.** [ed.] F Jové Sandoval y JL. Sainz Guerra. Valladolid : Cátedra Juan de Villanueva. ETSAV, 2016. Arquitectura en tierra. Historia y renovación. III CIATTI. págs. 87-96.
100. **Lasaosa Castellanos, Mª José; Ron Cáceres, Amalia; Santiago Lardón, José Ángel; Torres López-Muñoz, Ramón.** *Arquitectura Subterránea 2 Cuevas de Andalucía. Conjuntos Habitados*. s.l. : Junta de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transportes., 1989.
101. **García Grinda, José Luís.** L'architecture traditionnelle méditerranéenne. Territoire, paysage et architecture traditionnelle. [aut. libro] Méthode REHABIMED. [trad.] Michel Levailant. *Architecture Traditionnelle Méditerranéenne. II. Réhabilitation Bâtiments*. Barcelona : CAIAT de Barcelona, 2007, 1, págs. 49-66.

102. **Ben M'barek, Radhia.** *Architecture Traditionnelle et Climat en Tunisie.* [aut. libro] VVAA. *Méthode RehabiMed. Architecture Traditionnelle Méditerranéenne.* Barcelona : COAIAT Barcelona - RehabiMed, 2007, Vol. II. Réhabilitation Bâtiments, págs. 87-89.
103. **Baring-Gould, Sabine.** *Cliff Castle and Cave Dwellings of Europe.* 1911.
104. **Jové Sandoval, Félix.** *La Vivienda Excavada en Tierra. El Barrio del Castillo en Aguilar de Campos: Patrimonio y Técnica Constructiva.* Valladolid : COACYLE Valladolid y Universidad de Valladolid, 2006.
105. *La Vivienda Excavada: Evolución tipológica, Condiciones Ambientales y Adaptación Geográfica. El caso de Crevillente (Alicante).* **Piedecausa García, Beatriz.** Valladolid : Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid, 2011. Construcción con Tierra. Tecnología y Arquitectura. págs. 397-414.
106. **Urdiales Viedma, M^a Eugenia.** *Cuevas de Andalucía. Evolución, Situación y Análisis Demográfico en la Provincia de Granada.* Granada : Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía., 1987.
107. **Ruiz Mazarrón, Fernando; Cid Falceto, Jaime; Cañas Guerrero, Ignacio.** *Uso de Bodegas Subterráneas Tradicionales y Modernas Excavadas en Tierra para la Crianza de Vino.* [aut. libro] Félix Jové Sandoval y José Luis. Saínz Guerra. *Construcción en Tierra. Tecnología y Arquitectura.* Valladolid : Cátedra Juan de Villanueva. E.T.S.Arquitectura de Valladolid, 2011, págs. 29-32.
108. **Jové, Félix; Saínz Guerra, José L.; Fombellida, Ángel; Bautista L, Juan; Olmos, Pedro J; Sainz, Alicia; Rio, Mónica del; Sánchez, Elena; López, Gabriel; Sanz, Javier.** *El Barrio de Bodegas de Baltanás. Caracterización del espacio Excavado y su Relación con el Medio Exterior.* Baltanás. Palencia. [aut. libro] Félix Jové Sandoval y José Luís. Saínz Guerra. *Construcción en Tierra. Tecnología y Arquitectura.* Valladolid : Cátedra de Juan de Villanueva. E.T.S. de Arquitecta de Valladolid., 2011, págs. 17-28.
109. **García Martín, Francisco.** *Cuevas y Silos. Viviendas subterráneas en Castilla-La Mancha.* Madrid : Celeste Ediciones, 2001.
110. **Wampler, Louis.** *Underground homes.* Gretna : Pelican Publishing Company, 1978.
111. **Minesota, Centro de Espacios Subterráneo de la Universidad de.** *Conjunto de Viviendas Semienterradas. Comportamiento energético y Aspectos Urbanísticos.* Barcelona : GG, 1983.
112. *Fernando García Mercadal. Arquitectura.* **González-Varas Ibáñez, Ignacio.** Madrid : Academia de Bellas Artes de San Fernando, 2017, Academia. Boletín de la Academia de Bellas Artes de San Fernando., Vol. 120 Anexo III, págs. 161-184.
113. *Popular, Regional y Mediterráneo. Fernando García Mercadal y su tiempo.* **Rodríguez García, Ana.** 120. Anexo III., Madrid : s.n., 2017, Academia, Boletín de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando., págs. 185-220.

2.- LA CUBIERTA PLANA DE TIERRA.

La cubierta de tierra tradicional, es una cubierta plana, con bajas pendientes del 1 al 5%, cuyo aislamiento e impermeabilización se realizan mediante distintas capas de tierras, generalmente arcillosas, con la existencia de alguna capa vegetal o tierras mezcladas en ocasiones con otros materiales vegetales. Esta definición de la cubierta responde a la descripción de su forma y partes y en ella convergen las definiciones de diferentes autores (Nourissier et al., 2002) (1), (Gil Albarracín, 1992) (2).

Esta tipología de cubierta, por la descripción que realizan de la arquitectura vernácula diferentes autores, (Guibbert, 1982) (3) (Gil Albarracín, 1992) (2), parece la adaptación de un forjado a su nueva ubicación, ya que al describir no solo la cubierta, sino los forjados intermedios característicos de sus zonas de estudio, se ve que se mantienen los mismos componentes: estructura adintelada de madera principalmente, sobre la que apoya una capa de tablazón, cañizo o ramas, en la que se coloca una capa de tierra limpia compactada a modo de capa de compresión sobre la que se apoyaría el acabado del suelo, y que en el caso de la cubierta se completaría con una capa impermeable y se formarían pendientes para dar salida al agua.

Esta capa incorporada cuyo fin es la impermeabilización de la cubierta, será de tierra especialmente escogida o tratada con aditamentos naturales, mortero de cal, lajas de piedra o cerámicas o una yuxtaposición de varias de ellas.

Debido a estas variaciones en el acabado, en la capa de terminación, el proyecto Meda Corpus en sus trabajos de clasificación de las cubiertas planas, las diferencia en distintas tipologías, mientras que Antonio Gil Albarracín, en su estudio de la arquitectura vernácula de la provincia de Almería las interpreta como variaciones locales de la misma cubierta. Otros autores interpretan este hecho como la evolución natural de la cubierta de tierra, como ocurre en el caso de la arquitectura cúbica de Castellón en la ciudad de Peñíscola (Flores, 1974) (4).

La presencia de la cubierta plana de tierra está más limitada geográficamente que la arquitectura en tierra referida a muros o cerramientos. Violet-le-Duc, en su *Historie de L'habitation humaine* (Violet-le-duc, 1845) (5) identifica y define las secciones de sus cubiertas planas de las zonas del delta del Nilo (Capítulo VIII), el área del monte Meru hasta el mar Caspio (capítulo XI), la arquitectura de los semitas (Cap. XII), de los asirios (Cap. XIII) y de Siria septentrional (Cap. XVIII) e incluso en la zona desértica del Tibet (Cap. XX); toda ella, a excepción de la zona del Tibet, es el lado oriental de la cuenca mediterránea, limitada hacia el este por Irán, por Etiopía al sur y por el mar Caspio al norte.

También se encuentran localizadas estas cubiertas en América en la zona de Nuevo México (EE.UU.) como parte característica de la arquitectura de los indios Pueblo.

La arquitectura de la zona definida por Violet-Le-Duc está especialmente estudiada para Yemen en la península Arábiga por Fernando Varanda, (Varanda, F., 1981/2009) (6).

En esta aproximación al conocimiento que se tiene sobre la cubierta en tierra, nos centraremos en la cuenca mediterránea, al ser ésta una de las dos áreas donde nace la arquitectura en tierra y a la que pertenecemos cultural y geográficamente. Centraremos el enfoque de la investigación en España, y en Ibiza de forma específica, al ser la isla uno de los lugares donde todavía es

posible encontrar este tipo de cubiertas originales y ha sido posible la visita a algunos de estos edificios de la mano del arquitecto ibicenco don Salvador Roig Planells. La presente tesis doctoral desearía de alguna manera poner en valor esta característica cubierta, y que así pueda ser recuperada.

Los estudios de la cubierta plana de tierra realizados por diferentes autores se engloban en trabajos realizados sobre la arquitectura vernácula de un área concreta o de tipologías arquitectónicas determinadas, como la arquitectura defensiva.

El trabajo más amplio realizado geográficamente, que abarca la cuenca mediterránea, fue realizado por el Proyecto Meda Corpus (7), mediante diferentes grupos nacionales de trabajo de catalogación, durante 3 años, de 1998 a 2001. Parte del trabajo que desarrollaron recoge las secciones de las cubiertas de la mayoría de las zonas, su localización, materiales empleados, dimensiones, tipos de capas que los componen, estructura asociada, modo de evacuación del agua, personal que la ejecuta, uso, evolución y la transformación que sufre dicha cubierta en el área de estudio. A pesar de la heterogeneidad de los distintos grupos de trabajo implicados, con resultados de calidad variable, gran parte de esta información es aprovechable y útil para la presente investigación.

2.1.- Extremo Este de la cuenca mediterránea:

2.1.1.- Grecia:

Las cubiertas de tierra tradicionales en Grecia las encontramos en las islas de Creta, Cárpatos, Rodas y las islas Cícladas. Están formadas sobre estructura adintelada de vigas de madera cubriendo los espacios de dos posibles maneras: una de ellas utiliza lajas de pizarra apoyadas de viga a viga y sobre las que se extiende una capa de tierra arcillosa de 20 a 25 cm (fig. 2.1); la segunda forma usa tablas de madera, y en este caso se añade una capa de algas cuyo principal objetivo es primero aislar las tablas de la humedad que contiene la tierra y después aislar del calor y el frío (fig. 2.2). (Maleka, 2013) (8).

Figura 2.1: Sección cubierta de tierra arcillosa sobre lajas de pizarra en Grecia (Maleka, 2013)

Figura 2.2: Sección de cubierta de tierra arcillosa sobre tablillas de madera con capa intermedia de algas. (Maleka, 2013)

Los trabajos de Meda Corpus discriminan más en las tierras que se utilizan y sus capas, estableciendo que la cubierta tiene una pendiente que oscila entre el 1% y el 3%, y está soportada por un piso formado por tablas clavadas o cañas atadas, descansando sobre vigas de ciprés redondas o cuadradas; también pueden ser las vigas de madera de pino o abeto. También explica que la primera capa (la que se utiliza como soporte para la capa de tierra) puede ser de algas secas (cuando se está cerca de la costa) o mortero de arena y cal.

En la isla de Rodas (Lindos y alrededores), la tierra se aplica en dos pasos: sub-base (de 5 cm a 8 cm de espesor) cubierta con una capa de tierra negra (de *Archangelos* o Lardos ciudades en situadas en el centro de la costa oriental de la isla de Rodas) o de arcilla de color verde grisáceo (“patelia”), la cual se asocia a la puzolana de la isla volcánica de Santorini (situada al sur de las islas Cícladas). El espesor total varía de 20 cm a 40 cm. (Fig. 2.3.)

Figura 2.3: Sección de cubierta de tierra negra o *patelia* (Meda Corpus)

En el perímetro de la cubierta y distribuidos por la superficie, se disponen pequeños montones de tierra, asegurando el mantenimiento y relleno de las pequeñas fisuras que puedan surgir en la cubierta por la erosión de la lluvia.

En las islas Jónicas (Corfú, Paxos, Laúcade, Ítaca, Cefalonia y Zante) especialmente en el área norte de la isla de Corfú, en las islas de Creta, con mayor presencia en la costa norte alrededor de la bahía de Almyros, Cárpatos y al norte de la isla de Rodas, las cubiertas planas tienen el acabado de piedra porosa procedente de Malta, o bien de terracota. En cualquiera de los dos casos bajo ellas se mantienen las capas de tierra de puzolana procedente de Santorini (antigua Isla de Thera, al sur de las islas Cícladas), y la capa de algas, con una sección que alcanza los 40

cm de espesor (Fig. 2.4). La respuesta de este acabado es buena, resistente a las condiciones del clima de la zona. La respuesta térmica del interior depende de las capas de tierra y algas.

Figura 2.4: Sección de tierra negra o *patelia* con acabado con lajas de piedra (Meda Corpus)

2.1.2.- Chipre

En Chipre, según los datos recogidos por el grupo de trabajo de Meda Corpus, el espesor total de la cubierta varía entre 20 y 40 cm, con pendientes entre el 1 y 5%.

La capa impermeable está formada por arcilla mezclada con paja para evitar su fisuración por retracción en el secado. Y se le agrega sal, en ocasiones, para evitar el desarrollo de vegetación que dañe la superficie. La capa se compacta con un rodillo. La salida del agua se resuelve formando unos meones realizados en cerámica vitrificada curva o piedra. Se protege el perímetro de la cubierta con losas de piedra. (Fig. 2.5)

El mantenimiento requiere la colocación de una nueva capa de tierra, una vez al año, en septiembre, tras el momento de máxima fisuración y antes de las lluvias, para garantizar la impermeabilidad.

Figura 2.5: Sección de cubierta de tierra según Meda-Corpus

2.1.3.- Turquía

Las cubiertas de tierra en Turquía, anteriores al siglo XVIII, se encuentran en tres áreas: En la península de Bodrum, antigua Halicarnaso, en el eje de las ciudades de Bodrum, Milas y Muga así como en la ribera del río Göksu, entre las ciudades de Aydicik y Silifke y la costa, encontramos viviendas con cubierta de tierra. La vivienda característica de Turquía denominada “Musandirali”, cúbica de una planta, se encuentra en la península de Bodrum. Ésta es origen de la tipología denominada “Kule”, la cual crece en altura, y se encuentra en todo el tramo de costa desde la península de Bodrum hasta la península de Karaburum.

En las anteriores edificaciones la cubierta plana está construida con estructura de madera, formada por vigas de 10 x 12 cm, ripias o lajas de madera de 2 cm de espesor y sobre éstas arbustos secos (*acı çalısı / kuvalık*), sobre los que se dispone una capa de de 10 a 15 cm de *erişte*, una capa de tierra de 5 a 7 cm y sobre ésta, la tierra de color púrpura (*geren*) con un espesor de 5 a 7 cm (Fig. 2.6); Esta tierra se extiende y después se moja, produciéndose una capa maleable e impermeable que proporciona protección contra la lluvia. Los aleros se realizan con estructura de madera y lajas de piedras.

Según este mismo estudio, estas cubiertas se encuentran desde el neolítico en Jordania y en Palestina desde la época Otomana (Siglo XVII).

Figura 2.6: Sección de tierra en Turquía según Meda-Corpus.

2.1.4.- Palestina

La presencia de estas cubiertas es mayor en la ribera del río Jordán, y en Palestina está presente en toda su geografía actualmente, pero no se construye nuevos edificios desde la década de los sesenta del siglo pasado. La presencia en el Líbano es en toda su geografía pero de forma excepcional y en proceso de desaparición.

La sección de la cubierta Palestina está formada por un piso de vigas redondas sobre el que apoya un lecho de juncos; Esta estructura se cubre con una capa de hojas de palmera sobre la que descansa una capa de arcilla mezclada con agua y paja, junco, hojas, escombros, ceniza o pelo de cabra, para reducir la fisuración. Está cubierta con una capa de cal que garantiza la impermeabilización. Su espesor varía entre 15 y 20 cm y la pendiente oscila entre el 2 y el 5%. (Fig. 2.7)

El perímetro de la cubierta está rematado con una acumulación de tierra recubierta con el mortero de fachada de 20 a 30 cm de altura.

Figura 2.7: Sección de cubierta de tierra en Palestina según Meda-Corpus

La nieve acumulada en cubierta es el principal problema de entrada de agua; por otro lado, tienen muy buen comportamiento ante la erosión del viento y la lluvia, y buena respuesta térmica.

El mantenimiento de la cubierta, por su descamación superficial, requiere incorporar una nueva capa para garantizar la impermeabilización cada dos años, lo que supone para la estructura original una sobrecarga por acumulación.

Los techos de tierra están siendo actualmente reemplazados por capas de hormigón o techos inclinados cubiertos con tejas.

2.1.5.- Jordania

Este tipo de cubierta es característico de las zonas rurales tanto de valle como de montaña. La cubierta se realiza sobre una estructura adintelada de madera o sobre bóvedas de cañón, que se protege con una capa de ramas y hojas sobre las que se extiende en tres tongadas una mezcla de arcilla, paja, raíces, grava y cal, formando la pendiente del 2 al 3%. El espesor de esta capa es de 10 a 15 cm en la parte superior, aumentando desde este punto hacia las partes inferiores del techo en forma parabólica en las bóvedas. (Fig. 2.8)

El comportamiento de la cubierta ante la lluvia es bueno, tanto en el valle que es extremadamente seco; como en las áreas de montaña, por la incorporación de cal a la arcilla y cuidar su mantenimiento. La respuesta térmica es favorable por la inercia del espesor como el valor del albero por ser tierra de color claro.

Figura 2.8: Sección de cubierta de tierra en Jordania con las dos opciones estructurales según Meda-Corpus

En la zona este del país, se remata con una capa de mortero de cal que mejora la impermeabilización.

2.1.6.- Líbano

Como en el caso anterior, en el Líbano la estructura puede ser de bóveda de cañón o de estructura adintelada formada por vigas de diámetro de 15 a 20 cm de enebro, álamo, pino o de árboles frutales y correas de 9 cm de diámetro cubriéndose con tablillas y sobre éstas, ramas de retama, piornos o zarza. Se forma una capa de 25 cm formada por tierra arcillosa mezclada con paja picada, zarza o grava, rematada por una capa de 2 cm de arcilla y paja compactada. (Fig. 2.9)

La pendiente varía entre el 1 y el 4%. El perímetro de la cubierta sobresale de los muros 60 cm y tiene un borde del mismo material sobre elevado con salidas de agua interiores. El mantenimiento de la capa superior se realiza cada año o dos años.

La cubierta requiere la retirada de la nieve para su buen funcionamiento hídrico y es bueno su comportamiento térmico por la inercia de la misma.

Figura 2.9: Sección de cubierta de tierra en el Líbano según Meda-Corpus

Esta cubierta que se mantuvo hasta los años cuarenta del siglo XX, sufre desde entonces modificaciones que son fundamentalmente: la sustitución por cubierta de hormigón o la incorporación de una capa fina de mortero sobre la cubierta existente o la colocación sobre ella, de una capa de plástico-nailon.

2.1.7.- Egipto

En Egipto, estas cubiertas están presentes en las zonas rurales comprendidas entre el desierto del Libia al oeste, la línea que une el oasis de Farafra con el Cairo y desde El Cairo toda la cornisa mediterránea.

El estudio realizado por Meda-Corpus es muy somero, determinan el uso de una capa de 7 a 12 cm de arcilla mezclada con paja y estiércol de pendiente del 1 al 3 % y cuya respuesta es deficiente. Es más habitual que la cubierta se termine con una capa de cal mezclada con arena, asegurando una mejor respuesta hídrica de forma similar a lo que pasa en la zona de Israel.

2.2.- Extremo Oeste de la Cuenca Mediterránea.

El extremo oeste de la cuenca está formado por España y los países del norte de África: Túnez, Argelia y Marruecos, descenderemos para recoger las características cubiertas de Mali.

2.2.1.- África: Túnez, Argelia, Marruecos y Mali.

Esta tipología de cubierta se encuentra de forma habitual en zonas rurales y llanas, principalmente en toda la franja de Ar Rif en Marruecos, en el norte de Argelia en la zona comprendida entre el mediterráneo, el Atlas Sahariano al sur, la línea que une las ciudades de Mustaghanam con Al-Jilfah⁽²⁾, al oeste y Túnez al este.

Marruecos

En el estudio realizado sobre la arquitectura de tierra del valle del Dra, al sur de Marruecos (Baglioni, 2011) (116), la sección de la cubierta de la zona indica que sobre la estructura de madera se ponían hojas de palma, para evitar la caída de polvo al interior, se colocan tres capas de 5 cm, una primera de arcilla seca, para absorber la infiltración; otra capa de arcilla húmeda y la tercera formada por arcilla mezclada con cal, como material estabilizante e impermeable o arcilla con paja como material que mejora la resistencia. Afirma que necesita un mantenimiento frecuente debido al desgaste que sufre por la lluvia, el viento y el polvo. Lo que requiere cada 4 o 5 años incorporar una nueva capa de tierra y cal o tierra y paja, es decir, una renovación de la última capa, lo que conlleva un crecimiento del espesor de la cubierta progresivo.

Según los estudios realizados por Vicent Soriano (Soriano, 2004) (10), en el oasis de Skoura, situado entre el gran Atlas oriental y el AntiAtlas, la arquitectura bereber, se realiza con cubiertas planas de tierra: sobre muros de tapia y alguna viga, grueso tronco de álamo o tarisco, generalmente sin escuadrar sobre las que apoyan las viguetas, que están formadas por troncos más delgados de álamo o por cuartos de tronco de palmera, en sentido perpendicular se coloca un cañizo o trenzado de ramas de adelfa o palma de palmera sobre el que se colocan telas viejas con el fin de impedir el desprendimiento de la tierra que se apisona en una capa superior de 20cm, formando las pendientes hacia la ubicación de las gárgolas formadas por medios troncos de palmera vaciadas. Se cubre con una capa prensada de barro fino mezclado con paja a la que a veces se le añade excrementos de animales para mejorar la impermeabilización. (Fig. 2.10)

Figura 2.10: Sección de cubierta de tierra según V. Soriano en el Oasis de Skoura

Argelia

En el trabajo realizado por Guibbert, (Guibbert, 1992) (3) describe el modo de construir en el valle de Mzab (Argelia) y en la ciudad de Jenné (Mali). En el primer caso, la estructura está formada por troncos de palmera cubierta con el peciolo o nervadura de la palma, piedras planas, vainas de palma yuxtapuestas o bovedillas de piedra. Se cubre con 30 cm de tierra apisonada, añadiendo otra capa de tierra compostada, mezclada con cenizas (Fig. 2.11). La salida del agua de la cubierta se realiza a través de medios troncos de palma tallados. La última capa de tierra, es la que diferencia la cubierta de los forjados interiores de la construcción local.

Figura 2.11: Sección de cubierta de tierra en el valle de Mzab, según Guibbert.

Las cubiertas argelinas terminadas con una capa de mortero de arena y cal que se extiende en capas gruesas de 3 a 5cm, están formadas por tres partes de cal por una de arena fina sobre los 30 cm de tierra de la cubierta y que precisan de una renovación anual de la capa. Estas cubiertas se localizan en cuatro áreas, tres costeras: en la provincia de Tremecén junto a la frontera con Marruecos y el eje formado por las ciudades de Ghazaouet, Nedroma u Maghnia; el área formada por las provincias de Tipasa, Argel, Blida, Bumerdés y Ain Defla; en el área de la costa noreste: la bahía entre Bugía y Jijel, y y la cuarta área en el interior en el norte de la provincia de Djelfa.

Mali

En el caso de la cubierta de tierra en Jenné, Mali, Guibbert indica que estaría formada también por troncos de palma cubiertos, en éste caso, por una celosía de madera, en el que apoya una cama de adobe y otra capa de 20 a 30 cm de tierra rica en materia orgánica (abono), impermeabilizando con una capa de tierra recogida del fondo de las charcas, denominada “podrido”, mezclada con paja de arroz. En éste caso, el drenaje de la cubierta se realiza con trombas de troncos de palma cortados o hechos de cerámica. (Fig. 2.12)

Figura 2.12: Sección de la cubierta de tierra en Djené, según Guibbert.

2.2.2.- España:

En España hay constancia de su uso desde la Edad Media. Antonio Gil Albarracín, se basa para su estudio en el Catastro del Marqués de la Ensenada del siglo XVI, que enumera nominativamente los bienes existentes en cada uno de los municipios almerienses.

Esta tipología de cubierta de tierra (terrado) ha caracterizado la arquitectura de zonas concretas de España y según Torres Balbás: “....estas casas de terrado tienen un radio de extensión muy amplio, ya que se encuentran en la faja costera de las provincias de Cádiz, Almería, Málaga, Granada, Murcia y Alicante, en algunos pueblos marinos de Valencia, Castellón, Tarragona, y Barcelona y la totalidad de La Alpujarra de Granada.”(pag. 465) (Torres Balbás, 1930) (11) Es en las zonas de Las Alpujarras y el Marquesado de Zenete en Granada y Almería, Campo de Cartagena en Murcia o la ciudad de Peñíscola junto con las casas cúbicas agrícolas de la provincia de Castellón y la isla de Ibiza donde la cubierta plana han sido su quinta fachada y elemento singular y configurador de la arquitectura de dichas zonas, aunque el modo constructivo haya sufrido una evolución evidente.

En el Plan Nacional de Arquitectura tradicional se habla de la cubierta de launa como elemento característico de la arquitectura vernácula, localizándose en Las Alpujarras de Granada, Almería y Murcia. Sin embargo no se recoge la cubierta plana de la isla de Ibiza, elemento diferenciador de la arquitectura de ésta frente a la arquitectura vernácula de las otras islas del archipiélago.

Figura 2.13: Plano de localización de la Cubierta de Launa. (Plan Nacional de Arquitectura Tradicional)

De las lecturas de entrevistas que se realizaron a maestros albañiles tanto por Gil Albarracín (Gil Albarracín, 1995) (2) cómo por Blakstad (Blakstad, 2013) (12), como de las propias conversaciones mantenidas con algunos constructores especializados², se observa que en la construcción tradicional los maestros tenían modos de hacer propios, como la incorporación de materiales en determinadas proporciones que mejoraban los resultados, bien en resistencia o en durabilidad y que mantenían para sí, como secretos de buena construcción. Por lo que muchas de estas mejoras no han llegado hasta nosotros.

La Alpujarra y El Marquesado de Zenete (Granada).

En La Alpujarra, ya esta descrita por Torres Balbás: *“Para la cubierta de este piso alto, o del bajo si la casa no tiene más que una planta, colócanse vigas análogas-tres por vara-, cañizo también sobre ellas y encima, en la zona media, en la que suele abundar el monte, ramas de volina, retama o el arbusto que allí exista; en la zona alta, lajas o losas de pizarra. Tanto sobre una como sobre otra extiéndese por último, cubriéndolo todo, una pasta de color pardo a la 'que llaman los naturales launa y que forma el suelo del terrado. Es una arcilla magnesiana, gris azulada, trabajada con agua, producto de la descomposición de las pizarras, de la cual hay criaderos en las vertientes de los barrancos. Fortificada y endurecida a la intemperie, hácese relativamente*

² Carlos Martín Constructor de bóvedas, maestro yesero y profesor en distintos másteres universitarios de restauración. Ha intervenido en la construcción y rehabilitación de más de 300 bóvedas hasta la fecha. Es director de CREA Restauración de Bienes Culturales S.L., desde la que ha trabajado en numerosas obras de rehabilitación.

impermeable."(Pag 472-473)(Torres Balbas 1930) (11) Y posteriormente queda descrita por Eduardo Ortiz Moreno (Ortiz Moreno, 2005) (13) como: "La cubierta plana de La Alpujarra está formada por las vigas o *madres*, rollizos sin desbistar de morera o de castaño, muy próximos entre sí (del orden de 50 a 60 cm entre ejes) para crujías muy próximas también (entre líneas de carga, no más de 4 m y a veces menos de 3 m)."El entrevigado se forma con las "*alfanjías*"³, se obtienen por lo común, "*a rajas de las raberas*"⁴ de vigas menores" (cortes longitudinales de zoquetes de madera) sobre ellas se colocan lajas de piedra solapadas entre sí, y se cubre con el "*malhecho*" que no es sino tierra y piedras pequeñas sin especial selección del material. Esta última capa da las pendientes y el aislamiento, a la par que sella los huecos entre lajas. La cobertura es la *launa*, material complejo que se obtiene en determinados puntos del territorio, en superficie, y que resulta impermeable una vez seleccionados sus finos y extendido en sucesivas capas muy delgadas "bailando" (esto es, con movimiento de los pies). El perímetro lo vuela un potente alero de lajas de gran dimensión "aleras" que se llaman, en éste uso, *beriles*; las imperfecciones del contorno o de junta se regularizan superponiendo otra laja menor, la *hijuela*, y todo el cordón se lastra con piedras mayores, ya redondeadas, que son las *castigaderas* responsables últimas de la estabilidad de éste borde de protección. Las aguas se evacúan a la calle, patio o huerto, directamente o a través de otra cubierta: la gárgola se llama aquí *meón*."

La cita anterior describe muy bien los distintos componentes de la cubierta de tierra, pero no da dimensión del espesor de las distintas capas que la forman. Otros autores si dan éste tipo de información.

Otra descripción de las cubiertas de la provincia de Granada (Fig. 2.14) la recogen José Manuel López Osorio y Javier Abadía Molina describiéndola como: "... entrevigado de lajas de pizarra, que conforman una superficie horizontal donde se extiende una capa de tierra húmeda mezclada con paja que se denomina *malhecho* que ayuda a nivelar el forjado y que actúa como aislante térmico. La capa final de acabado se realiza con una tierra característica de la región, denominada *launa* (arcilla magnésica de origen metamórfico) que se extiende en una capa de 15cm de espesor añadiendo finalmente una capa de launa cernida de acabado..."(López Osorio, et al., 1998) (14)

Figura 2.14: Sección de la cubierta de tierra de La Alpujarra según Osorio y Molina

³ Alfarpjía: (Del ár. hisp. *alfaršíyya, adj. de alfarš'alfarje) Cada uno de los maderos que se cruzan con las vigas para formar la armazón de los techos.

⁴ Rabera: Zoquete de madera que se pone en los carros de labranza, con que se une y traba la tablazón de su asiento.

Para la zona de la Alpujarra y la zona de influencia en el Marquesado del Zenete, Granada (Andalucía) Se describe una cubierta de tierra compuesta por varias capas: primero un lecho de piedras planas que descansan en el forjado formado por vigas de castaño; sobre las piedras, una primera capa de tierra y paja entre 5 y 10 cm de espesor, cubierta con una capa de 15 cm de arcilla magnésica impermeable (Launa); a continuación, se dispone una fina capa de acabado de arcilla apretada. El espesor total de la cubierta varía entre 20 y 30 cm. (Sorreche Cuerva, 2004) (15) (Fig. 2.15)

Figura 2.15: Cubierta de tierra del Marquesado de Zenete según Sorreche Cuerva.

El problema fundamental de esta tipología de cubierta es el deterioro que sufre el material superficial y que es el que impermeabiliza (arcilla “*Launa*” o “*Láguena*”) por la erosión del agua de lluvia, lo que requiere un mantenimiento anual o incluso la reposición del extendido de nuevas capas tras fuertes lluvias para la reposición de capas de arcilla o el extendido de nuevas capas.

El obligado mantenimiento anual “unido a la alta edad de los habitantes de estas viviendas hace que en el momento en el que su estado lo exige, se sustituya por modernas cubiertas de fibrocemento que, pese a la pérdida de unidad y calidad estética evidente le contrarrestan el no necesitar ese mantenimiento anual del que estamos hablando” pág. 149 (15)

En la actualidad, la Alpujarra alta granadina, conserva en varios municipios las cubiertas, pero al hablar con los albañiles de la zona informan, que bajo las tierras hay plástico o impermeabilización, y se coloca la tierra por estética. Que antiguamente la cubierta era de 45 cm de tierra y que había que subir varias veces a retirar la nieve porque calaba en el interior.

Almería

Antonio Gil Albarracín, en su estudio de la tipología en la provincia de Almería (2), detecta hasta diez variaciones en la cubierta de tierra, más dependientes del entorno inmediato que de diferencias culturales. Los terrados en esta provincia se realizan sobre estructura de rollizos de madera, que soporta una base continua realizada con caña tejida con esparto o rajas de madera, *taillos*, que se pudrían menos pero que tenían el peligro de su falseamiento en la resistencia, o lajas de pizarra, pero que implicaba mayor sobrecarga.

Sobre esta estructura, para protegerla de la humedad y evitar la pudrición del cañizo o zarzo, que tenía una durabilidad de 30 años, se colocaba una capa de baladre (adelfas) o retama, denominando a esta capa *chasca*, *matiana* o *malhecho*. En la zona del levante almeriense, se colocaba una capa de yeso o cal o con barro.

Encima se coloca una capa de entre tres a diez centímetros de *Launas*⁵, *laúna* o *roya*. Entre la chasca y la Launa aparece en varios casos una capa de barro, yeso o cal, según las zonas. La launa, para su puesta en obra, se maceraba previamente hasta formar granos de un centímetro como máximo, formando al humedecerse una pasta impermeable. (Fig. 2.16)

Figura 2.16: Sección tipo de cubierta de tierra en la provincia de Almería según Gil Albarracín.

Las pendientes estaban entre el 2 y el 5%, para evitar encharcamientos y arrastre de material.

El repaso del terrado tras las fuertes lluvias generaba unos recrecidos que hacían que el espesor total pudiera alcanzar espesores de medio metro.

Las cubiertas con acabado en piedra en Almería, pero con la misma estructura y capas intermedias, ya no las consideramos planas por tener pendientes de 10% o superiores.

En los pueblos de Pulpi y en el entorno de Guazamara, se localizan viviendas con bóvedas de cañón, construidas con piedra y yeso o cal. El espacio entre cimbres y el muro se rellena con ripio para formar un paseo con corriente para las aguas se recubría con un encalado toda la superficie. En Turre se recubría con tierra de roya. Estas construcciones se generalizan a partir del siglo XVIII, sin gran extensión geográfica por su alto coste de construcción, por lo que se limitaba a estancias especiales.

Campo de Cartagena (Murcia)

La exposición de la sección de la cubierta en las casas del Campo de Cartagena realizada por Ana Más Hernández es: “Las casas de *terrado* llegan a una altura de 3 m, dejando un poco de pendiente para que resbalen las aguas de la lluvia. Una vez igualado el muro se colocan las *colañas* de maderas resistentes, generalmente pino rojo. Sobre ellas se dispone el *cañizo*, cañas entretejidas con esparto, formando una cama sobre la que se esparcía una capa de tierra bien limpia de piedras y sobre ella, otra de paja o algas secas en el caso de estar cerca de la costa, que servía de aislante. Por último, la capa exterior de tierra de *láguena*, arcilla de color gris azulada que se endurecía en contacto con la intemperie. Esta tierra se obtenía de unas canteras denominadas “laguinetas”, muy abundantes en la zona. La *láguena* se iba echando en pequeñas

⁵ Launa: Arcilla magnésica de color gris-verdoso-azulado-amorado.

cantidades para poder extenderla bien, cuidando que quedara totalmente cubierta la capa inferior. Entonces se procedía al pisado, primero en una dirección, se volvía a echar otra capa de *láguena* y vuelta a pisar en dirección contraria. Durante esta operación se iba rociando la tierra con un poco de agua, de manera que se “*hiciera costra*” evitando así la aparición de goteras. A la semana se subía de nuevo al *terrado* y en caso de que no hubiese llovido, se rociaba y reparaba en aquellas zonas que se hubiese producido algún fallo, volviendo a pisar de nuevo en una dirección y otra dirección con paso corto.” Pag. 544-545 (Más Hernández, 1987) (16). (Fig. 2.17)

Figura 2.17: Sección de cubierta del Campo de Cartagena (Murcia) según Más Hernández

Sobre esta descripción básica, Ana Más encuentra numerosas variaciones. En general, la cubierta consta de una manta compactada de una o más capas de tierra arcillosa, a veces mezclada con elementos orgánicos (vegetales o animales) o con cal. La tierra (o mezcla) se compacta para asegurar la impermeabilización de la manta, sin definir espesores. Como base para las arcillas se pueden encontrar lechos de ramas, hojas o algas, o directamente sobre la piedra.

La definición de esta cubierta en el Plan Nacional de Arquitectura Tradicional (17) recogida en el Documentación e investigación para el conocimiento de la situación de los sistemas tradicionales de construcción así como de la extracción, utilización y puesta en obra de los materiales tradicionales en España; es “Las cubiertas de las viviendas tradicionales en la Alpujarra son denominadas popularmente “*terraos*” y son elementos planos y accesibles desde la vivienda o desde la propia calle utilizados como lugar de encuentro o como secadero de alimentos.

La solución habitual la compone una estructura de rollizos de madera apoyada sobre muros de mampostería y sobre la que se formaliza el plano de cubierta mediante lascas de pizarra o mediante un manto de cañizo en aquellas zonas donde la piedra escasea.

Sobre ella se extiende una capa vegetal con tierra denominada “*chasca*” o “*malhecho*” cuya misión es impedir que el cañizo se pudra por el efecto de la humedad de la launa.

Finalmente se remata el conjunto extendiendo la launa sobre la chasca impermeabilizando así el conjunto.” Describe la launa como “un tipo de arcilla con un alto contenido en magnesio, de color grisáceo, cuya principal característica es su elevada impermeabilidad al mezclarse con agua.”

Y se refiere a la localización de estas cubiertas indicando “la launa es empleada para la construcción de cubiertas y azoteas en Andalucía y más concretamente en la comarca de la Alpujarra, aunque también se encuentra este tipo de solución en algunas zonas de Murcia donde a la arcilla se le denomina *láguena*.” (Fig. 2.18)

Figura 2.18: Sección de la Cubierta de Launa recogida en P.N.A.T.

Castellón

La arquitectura cúbica de Castellón la recogen tanto Luis Feduchi (Feduchi, 1976) (18) como Carlos Flores (Flores, 1973) (19), localizando esta arquitectura en la zona comprendida entre los pueblos de Vinaroz, Benicarló, San Mateo y San Jorge, haciendo mención especial a Peñíscola. Ya advierten de que el desarrollo de la zona lleva a la desaparición de esta arquitectura y de la necesidad de proteger algunas de las construcciones más representativas.

Carlos Flores describe la cubierta como: "... se realiza con la técnica del *trespol*, consistía en un aglomerado de grava de playa con fango o, en otros casos, mortero de cal y arena. A veces el fango amasado era el único componente de la capa inferior, situándose sobre ella la capa de grava. El forjado se componía de un envigado de rollizos sobre el que podía colocarse, o bien cañizo trenzado, o tablazón, o un tablero de rasilla. El "*trespol*" se vertía y apisonaba sobre este delgado piso, constituyéndose con todo ello una capa de 15 cm de espesor, la cual descansaba sobre los rollizos o "*cabirons*" situados bastante próximos entre sí." También comunica que desde antes de la guerra, 1936, se va sustituyendo el "*trespol*" por baldosín.

Luis Feduchi, lo define como: "el "*trespol*" es una mezcla de grava de los barrancos y de las playas del norte de Peñíscola, con un mortero de cal, aquí llamado "*grassa*".

Las vigas de madera que soportan las terrazas son varios "*cabirons*", con distancias entre ejes que llegan a veces hasta el medio metro, que se cubren con un entablado de 2cm de grueso sobre el que va el "*trespol*", con un espesor entre 12 y 14 cm apisonado y alisado.

La cubierta de piedra o terracota, se estudia por el Proyecto CORPUS (1), y (Flores, C 1973) (4) recoge esta tipología como característica de Peñíscola (Castellón) como variante evolutiva de la cubierta de tierra, "*trespol*" del entorno agrícola de la ciudad. La misma percepción transmite (Gil Albarracín, 1992) (2) al incorporar esta técnica como variante de la cubierta plana de tierra, refuerzo o protección.

Ibiza

La cubierta de la arquitectura rural ibicenca está descrita por numerosos autores:

Raoul Haussmann, (Haussmann, 1936) (119) en su artículo describir las características constructivas de la arquitectura ibicenca: "Las paredes tienen un grueso de 60 a 80cm, sobre éstas se apoyan las vigas del techo, formadas por troncos de árboles (pino o sabina), de unos 15cm de diámetro y separados entre sí 40 o 50 cm, los cuales sirven de soporte al forjado del

techo, formado por tablas estrechas y delgadas de madera de sabina. Éstas se cubren con una capa de algas y otra de arcilla. Generalmente, como refuerzo, se coloca debajo de los troncos otro transversal” "... y tiene un grueso total aproximado de 60cm, con una ligera pendiente hacia sus bordes para facilitar el desagüe.”

Gabriel Alomar Esteve, arquitecto e historiador, describe y valora las cubiertas ibicencas diciendo: “La terraza se construye con entramado de rollizos, generalmente del arbusto llamado sabina (*Juniperus Sabina*), una conífera muy abundante en la isla y cuya madera es imputrescible. Sobre estos rollizos, separados entre sí y de escuadría relativamente grande otro piso de rollizos delgados y juntos, los cuales sostienen directamente una capa de 20 0 30cm de tierra arcillosa apisonada. Esta capa de arcilla es lo suficientemente compacta para resultar impermeable, pero tiene el inconveniente de que las semillas que el viento deposita sobre la azotea no tardan en germinar, desvirtuando su impermeabilidad, por lo cual se hace necesario cambiar la capa superior, indefectiblemente, cada año. Salta a la vista que el sistema no es práctico, y, a pesar de esto, ha persistido durante siglos y todavía se sigue usando, lo cual es una prueba más de la fuerza de la tradición en los usos y en las técnicas populares.” (Alomar, 1953) (21).

Carlos Flores, (Flores, 1973) (22) relaciona la casa popular de Ibiza con la almeriense y con otras zonas del levante español, especialmente con Peñíscola. Advierte de que “ha sufrido tal deterioro y destrucción durante los últimos lustros, que la ha situado al borde de la casi total desaparición.”

De su descripción de la cubierta (pag. 276) resaltamos: “...sobre esta viguería apoya tablazón del mismo origen (pino o sabina), situándose encima de ella una delgada capa de algas. Una capa arcillosa de unos 20cm de espesor se extiende sobre ella, y a veces, entre la cama de algas y arcillas, se incluye otra tercera capa, construida con carbón, que juega el papel de elemento aislante.”

Luis Feduchi (Feduchi, L. 1976) (18) en su trabajo sobre la arquitectura popular española, refiriéndose a la arquitectura de Ibiza la relaciona con la arquitectura de la cuenca mediterránea: “...lo que es evidente es que es plenamente mediterránea, con una relación más clara con el norte de África, de tradición púnica y fenicia a su vez y que responde perfectamente a sus necesidades”. Más tarde insiste en esta idea diciendo: “Tampoco podemos dejar de citar las semejanzas con la casa africana de terrado sobre todo con la de los cinco villas mozabitas argelinas (Valle M’Zab) que, como las de Ibiza, tanto sedujeron a Le Corbusier”.

La descripción que hace resulta completa e indica: “La cubrición de estos cuadrados o rectángulos se hacen con vigas de madera, en general de madera de sabina, porque las crujías suelen tener poca luz; muchas veces otra viga, también de madera o jácena, cruza de una pared a la opuesta bajo la viguería general y sirve para aliviar el peso de aquella, si las luces de crujía obligan a ello; los espacios entre vigas, que son de 30 o 40 cm, se cubren con tablas de sabina o de marés en placas muy delgadas; sobre éste forjado elemental se extiende una capa de algas que aísla e impermeabiliza la cubierta y sobre ella se cubre con carbonilla y con una capa de arcilla o tierra de alfar de más de 20cm de espesor que una vez mojada y apisonada es prácticamente impermeable. Los muros se elevan sobre la superficie unos 20cm con unas salidas protegidas por una teja canal que sirve para evacuar el agua.”

Eric Muhle, (Muhle, E. 1982) (23) entiende que Ibiza colonizada por distintos pueblos del entorno del Mediterráneo, además de incorporar su organización político social, introdujeran su forma propia de construir.

La descripción que realiza de la cubierta no varía en esencia de las anteriores: “una estructura de vigas de sabina o de pino directamente apoyadas en los muros, separadas de 30 a 40cm y con jácenas transversales más gruesas que acortan la luz de las vigas. Entre las vigas se sitúan tablas de madera de sabina o de pino. Sobre éstas, se coloca una capa de algas secas, otra de restos de carbón mezclado con barro y una final de tierra arcillosa...”

Catalina Verdera y Cis Lenaerts, (Verdera, C. et al, 1982) (24) también hacen su estudio de esta cubierta, definiendo espesores y diámetro de vigas: 25cm de diámetro para la jácena principal, “*perllongas*”, sobre éstas cada 40 o 50 cm apoyan las vigas “*fustos*” que serían de 8cm de diámetro. Se cubre toda la superficie con tablillas de madera de sabina estrechas y delgadas, “*tegell*”⁶, luego una capa de algas de 10cm para impermeabilizar, siendo la función de aislamiento y de absorción la capa intermedia de cenizas y residuos de carbón de espesor 20cm, acabada la cubierta con tierra de alfarero en seco y con un espesor de 10cm; indicando que como la arcilla se resquebrajaba se colocaban montones para su corrección. Afirmando: “... no es práctico y a pesar de esto, ha persistido durante siglos demostrando la fuerza de la tradición en las costumbres de la isla.”

En el trabajo de estudio realizado por F. Joachim y PH. Rotthier en 1984, (Joachim, F. et al, 2013) (123) de Ibiza en su tradición arquitectónica, histórica y de tradiciones, hablan de la cubierta con gran detalle: Sobre las vigas se disponen sucesivamente, cuatro materiales.

“Un primer material es el sostenimiento de los estratos superiores. Se trata, según el destino o finalidad del local, de ripia de madera, *tegell*, producido a partir de sabina, olivo, almendro o también de algarrobo o con lajas de piedra de marés; en las habitaciones o cámaras, *cambres* y en el porche, *porxo*, lugar de reunión de la familia y galería, *porxada*. En ocasiones se utiliza cañizo o simplemente ramas en la cocina y sistemáticamente en los corrales.

El segundo estrato es realizado con algas, material que no se pudre, las cuales retienen el material y aseguran una función de aislamiento térmico. Las algas protegen el entablado, *tegell*, de la humedad de los estratos superiores y le permite una cierta evaporación a fin de mantenerles siempre secos.

La tercera capa es una mezcla de cenizas, carbón vegetal y cal, recogido del fondo del horno de cal. Su función es absorber la humedad de infiltración de la arcilla y de entregarla luego para su evaporación.

Finalmente, la cuarta capa, está formada por arcilla extraída del subsuelo, que asegura la impermeabilización del terrado. No obstante, la impermeabilización no siempre es absoluta; la arcilla tiende a agrietarse por la acción del sol y de la sequedad, producidas tras las primeras lluvias.”

⁶ En los corrales esta capa se realiza con ramas de sabina, “*verduc*” y en las habitaciones secundarias para matanza con cañas formando esteras.

Juan Manuel Valiente Soler, en su trabajo sobre el hábitat rural de Ibiza, (Valiente Soler, JM. 1998) (26) indica para la cubierta de Ibiza: “La cubierta “es terrat” plantea un lecho de algas marinas, bajo otra de carbón vegetal, no solo alivia el peso propio de la cubierta, sino aporta un bajo coeficiente de conductividad térmica, y por densidad, se presenta como óptimos materiales de aislamiento. La impermeabilización queda relegada a otro material autóctono por excelencia: la arcilla... los agrietamientos propios de la retracción, secado, se reparan periódicamente con la agregación de nuevas capas de arcilla tras la temporada estival”.

Antoni Ferrer (Ferrer Abúrzuza, A., 1998) (27) analiza la organización de la vivienda ibicenca desde una perspectiva histórica y recopila hipótesis de diferentes autores, dándonos información de gran interés:

La primera referencia escrita donde se estipula la forma del terrado es de 1715, e indica: “Vigas redondas de buena calidad, *polichó*, alga, tierra y arcilla” y confirma que muchos de los contratos de arrendamiento del siglo XVII, estipulan entre sus cláusulas que el inquilino ha de acarrear con las reparaciones de los terrados, indicando que “tendrá obligación de echar arcilla en los techos de las casas y *truy* una vez al año”

En su trabajo sobre torres prediales ibicencas, Joan Josep Serra, (Serra Rodríguez, 2000) (28) indica que la forma de solucionar la impermeabilización y la evacuación del agua era similar al resto de las construcciones rurales. “El terrado, se formaba con faldones sencillos de poca pendiente, hechos con arcilla que evacuan el agua a través de un sumidero practicado en la parte inferior del paramento, a un caño de madera formado por una rama vaciada que sacaba el agua al exterior.” Sobre las bóvedas acabadas en tierra apisonada o sobre la estructura formada por vigas de sabina y entrevigado de ripia “*teggell*” se colocaba una capa de algas posidonia, una capa de carbón “*carbonell*” y una capa de arcilla “*capa d’argila*”.

Ralph Blakstad (Blakstad, R., 2013) (12) realiza un estudio de la arquitectura existente en Ibiza y en el capítulo 6, sobre métodos constructivos, incluye una entrevista a Josep Marí Torres de Can Pen de Pla (1888-1990) en la que define y explica la ejecución de la cubierta característica de Ibiza: “...traían algas marinas en carretillas para ponerlas sobre las ripias para impedir que la arcilla se escurriese a través de éstas y dañar el techo de dentro. Después de las algas se aplica una capa de tierra de carbonilla (tierra tomada de los hogares donde se preparaba carbón vegetal o de los hornos de cal después de quitar la cal viva también es bueno para éste propósito también repele la humedad. Se extenderá una capa de 3 dedos de espesor sobre las algas y luego, finalmente, se extiende una capa de arcilla... la arcilla viene de una cuevas de Can Costa. Si la arcilla es buena no hay que ocuparse de ella al final de cada verano, solo hay que barrer la arcilla con una escoba allá en el techo donde se junta con los muros porque a veces en estas zonas el techo se abre.”

2.3.- Discusión:

El estado actual de la cubierta en tierra se puede analizar desde dos perspectivas: respecto a su presencia arquitectónica, y respecto al conocimiento de sus partes, características y propiedades:

Referido a su presencia en la arquitectura y conservación, se advierte que a partir de mediados del siglo XX, deja de utilizarse esta tipología constructiva para las nuevas edificaciones, y las existentes van desapareciendo paulatinamente por abandono o por transformación de su estructura primaria, sin producirse una evolución natural, sino por inclusión de los nuevos materiales. La principal causa de este hecho deriva, según los autores citados, de la necesidad de mantenimiento que requiere la capa exterior de impermeabilización: “El problema fundamental de esta cubierta es el deterioro que sufre dicha capa (arcilla, “Launa” o “Láguena”) por la erosión del agua de lluvia, lo que requiere un mantenimiento anual o incluso la reposición del extendido de nuevas capas tras fuertes lluvias” (Sorroche Cuerva, 2004) (Verdera, y otros, 2002) “El repaso del terrado tras las fuertes lluvias generaba unos recrecidos que hacían que el espesor total pudiera alcanzar alturas de medio metro.” (Gíl Albarracín, 1992) El obligado mantenimiento anual “unido a la alta edad de los habitantes de estas viviendas hace que en el momento en el que su estado lo exige, se sustituya por modernas cubiertas de fibrocemento que, pese a la pérdida de unidad y calidad estética evidente terminan siendo preferidas por no necesitar ese mantenimiento anual del que estamos hablando” (Sorroche Cuerva, 2004)

El proyecto Meda Corpus analiza la evolución histórica de estas cubiertas y detecta variaciones según las zonas. Afirma que la evolución de esta cubierta, por la necesidad del mantenimiento del que venimos hablando, tiende al cambio de la arcilla por un recrecido de hormigón en masa de 3 a 5cm sobre la misma estructura de madera (lo que supone en ocasiones una sobrecarga y una reducción de la capacidad aislante), o bien a la inclusión de una lámina impermeable entre el soporte y las capas de tierra, (principalmente en Grecia y España), como sustitución de la capa vegetal. En otras ocasiones, se produce un cambio radical por otro tipo de cubierta inclinada con terminación en azulejo lo que supone un deterioro estético de la cubierta. En el oasis de Skoura, las telas viejas se sustituyen por plásticos, para asegurar menor caída de tierra.

Carlos Flores (Flores, 1973) ya aprecia cambios en las cubiertas de Peñíscola, donde el acabado de tierra se sustituye por un solado de baldosín. En el caso de Ibiza, las modificaciones sufridas en la primera mitad del siglo XX, fueron, en su caso, la incorporación de la capa de hormigón en masa de 3 a 5 cm. En la segunda mitad, las tradicionales se sustituyeron por cubiertas planas con impermeabilización bituminosa o similar. El cambio de los materiales de la zona implica variaciones en los espesores de las capas y de la cubierta.

La realidad es que las cubiertas planas de tierra están prácticamente desaparecidas. En La Alpujarra granadina, aunque desde el exterior se ve el acabado en launa, no deja de ser un acabado estético, pues bajo ella, existe una cubierta moderna, y la colocación de la misma es de manera basta sin seguir el procedimiento tradicional de colocación: limpieza y extendido. En Castellón, Carlos Flores ya advertía en 1973 que la casa cúbica de Castellón estaba desapareciendo y de la necesidad de conservar alguna de las construcciones más representativas como legado histórico. (Flores, C 1973) (19).

De todo esto se puede concluir que el ritmo de desaparición de estas cubiertas es rápido por la aparición de nuevos materiales que requieren menos mantenimiento y que permiten conservar en muchas ocasiones una fisonomía similar de la edificación vernácula.

Respecto al conocimiento de estas cubiertas, salvo en el caso de Granada, donde se define la arcilla respecto a su origen geológico o en zonas puntuales de Grecia, donde están indicadas las

zonas de extracción, hasta ahora ninguna de las tierras empleadas está caracterizada en su respuesta hídrica ni térmica, ni se han cuantificado las proporciones de las mezclas con elementos vegetales u otros. Y por tanto se desconoce su respuesta real. Las afirmaciones que se hacen en la bibliografía se apoyan en el sentido común o en el conocimiento transmitido por tradición oral, pero no están demostradas.

Hasta el momento, los estudios realizados describen secciones características, dentro de un planteamiento cultural, social o como último elemento de caracterización de la arquitectura vernácula sin llegar a profundizar en las razones de buenas prácticas constructivas, que definieran los detalles de ejecución de la sección general, de encuentro con paramentos o de salidas de agua.

No existen estudios para analizar la respuesta hídrica, térmica ni de durabilidad; ni estudio de métodos para la mejora en dicha respuesta.

Bibliografía Capítulo 2:

1. **Nourissier, Gilles; Reguant, Joan; Casanovas, Javier; Graz, Christophe.** *Arquitectura Tradicional Mediterránea*. Barcelona : Grup 4, 2002.
2. **Gíl Albarracín, Antonio.** *Arquitectura y Tecnología Popular en Almería*. Almería : Griselda Bonet Girabet GBG, 1992.
3. **Guibbert, J.J.** The ecology and Ideology of cities on the Edge of the Desert. [aut. libro] The Aga Khan Award for Architecture. *Reading the Contemporary African City*. 1982, págs. 9-26.
4. **Flores, Carlos.** *Arquitectura Popular Española Tomo IV*. s.l. : Aguilar, 1973.
5. **Violet-Le-Duc, Eugenio Manuel.** *Historia de la Vivienda Humana*. s.l. : Victor Leru, 1945, 1875.
6. **Varanda, Fernando.** *Art of building in Yemen*. [ed.] Fernando Varanda y Francis Molley. Segunda Edición. Lisboa : Argumentum, 2009. primera edición 1981.
7. CORPUS. *www.meda-corpus.net*. [En línea] MEDA, EUROMED HERITAGE. [Citado el: 19 de enero de 2015.]
8. *Principio de la arquitectura griega*. **Maleka, K.** [ed.] JL Sainz Guerra y F. Jové Sandoval. Valladolid : Junta Castilla-León. Univ. de Valladolid, 2013. X CIATTI. La Arquitectura construida en tierra. Patrimonio y Vivienda. págs. 65-72.
9. **Baglioni, Eliana.** Il Patrimonio Architettonico in Terra Cruda Nella Valle del Drâa Marocco. [aut. libro] Felix Jové Sandoval y José Luís Sáinz Guerra. *Construcción con Tierra. Tecnología y Arquitectura*. Valladolid : Cátedra Juan de Villanueva E.T.S. Arquitectura de Valladolid, 2010, págs. 77-88.
10. **Soriano Alfaro, Vicent.** *Arquitectura de Tierra en el Sur de Marruecos; EL Oasis de Skoura*. Barcelona : Fundación Caja de Arquitectos, 2006.
11. **Torres Balbas, Leopoldo.** *La Vivienda Popular en España*. s.l. : Alberto Martín, 1930.
12. **Blakstad, Rolph.** *La Casa Eivissenca*. Ibiza : J.J. de Olañeta, 2013.
13. **Ortiz Moreno, Eduardo.** *Utopia. Márgenes. Apuntes de Arquitectura en La Alpujarra*. s.l. : TESIS DOCTORAL. ETSAM, 2005.
14. *Cuevas, cubiertas y muros de tierra en la provincia de Granada*. **López Osorio, JM y Abadía Molina, J.** Madrid : Ministerio de Fomento, 1998. Encuentro Internacional Centro de Investigación Navapalos. págs. 267-278.
15. **Sorroche Cuerva, Miguel Ángel.** *Poblamiento y Arquitectura Tradicional en Granada. Patrimonio de las Comarcas de Guadix, Baza y Tierra de Huéscar*. Granada : Universidad de Granada, 2004.
16. **Más Hernández, Ana.** *Arquitectura Popular del Campo de Cartagena*. [ed.] Antonio Cea Gutierrez, Matilde Fernández Montes y Luís Ángel Sánchez Gómez. *Arquitectura Popular en España*. Madrid : CSIC, 1987, págs. 541-550.

17. PLAN NACIONAL DE ARQUITECTURA TRADICIONAL. s.l. : Ministerio de Educación, Cultura y Deporte., 2015.
18. **Feduchi, Luís.** *Arquitectura Popular Española*. s.l. : BLUME, 1976/1979.
19. **Flores López, Carlos.** *Arquitectura Popular Española, I*. Madrid : Aguilar, 1973. págs. 360-375. Vol. 1.
20. *Elementos de la arquitectura rural en la isla de Ibiza.* **Hausmann, R y Heilbronner, E.** 21, Barcelona : GATEPAC., 1936, A.C., Vol. VI, págs. 11-23.
21. *Valor actual de las arquitecturas populares.* **Alomar Esteve, Gabriel.** mayo 1953, Madrid : Dirección General de Arquitectura, mayo de 1953, Revista Nacional de Arquitectura, págs. 35-42.
22. **Flores, Carlos.** La arquitectura popular en el archipiélago balear. [aut. libro] C. Flores. *Arquitectura popular española*. s.l. : Aguilar, 1973, Vol. V, Parte 3, págs. 187-293.
23. **Muhler, Eric.** La Arquitectura Rural de Ibiza com Forma de Construcción Aglutinada. [aut. libro] Félix Julbe y Fafael Pascuet. *Arquitectura y Espacio Rural en Ibiza*. Ibiza : Colegio Oficial d'Arquitectes Illes Balears; Demarcació d'Eivissa i Formentera, 2002.
24. **Verdera, Catalina y Lenaerts, Cis.** Detalles de Arquitectura Rural Ibicenca. [aut. libro] Félix Julbe y Rafael Pascuet. *Arquitectura y Espacio Rural en Ibiza*. Ibiza : Colegio Oficial d'Arquitectes Illes Balears; Demarcació d'Eivissa i Formentera, 2002.
25. **Joachim, F; Rotthier, P.** *Eivissa. El Palau Pagès*. [trad.] B Marí y N Ribas. 3 edición en ibicenco. San Josep : TEHP, 2013. primera edición 1984.
26. **Valiente Soler, JM.** El habitat rural de la isla Blanca. Ibiza. *Arquitectura de Tierra. Encuentros Internacionales Centro de Investigación Navapalos*. Madrid : Ministerio de Fomento, 1998.
27. **Ferrer Abarzuza, Antonio.** Torres e Iglesias Rurales de Ibiza: Fortificaciones para la Defensa de una Población Dispersa. [aut. libro] Pedro Luis Huerta Huerta y Miguel Ángel García Guinea. *La Fortificación Medieval en la Península Ibérica*. Aguilar de Campoo (Palencia) : Fundación Sta María La Real, 2001.
28. **Serra Rodríguez, JJ.** *Fortificacions Rurals a l'Illa d'Eivissa*. Ibiza : Mediterrànea-Eivissa; Consell Insular d'Eivissa i Formentera, 2000.
29. **Maldonado Ramos, Luís; Vela Cossío, Fernando; Hoz Onrubia Jaime de.** *Diccionario de CONstrucción Tradicional. Tierra*. San Sebastián : Nerea, 2003.
30. **Balaguer Dexcallar, Pepa; Vicén Banzo, Luis.** *La Arquitectura Popular de Peñíscola*. Benicarló : Onada Edicions, 2010.
31. **Ribas, JM; Roig, S.** *Païses. Un món per a no oblidar*. Ibiza : Mediterrània Eivissa, 2014.
32. **Joachim, F y Rotthier, PH.** *Eivissa. El Palau Pagès*. Bruxelles (Belgium)/Sant Josep (Eivissa) : TEHP, 1984/1991.

3.- HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.

Como ha quedado dicho antes, (cfr Cap. 2, pag.19) hasta el momento, los estudios realizados sobre las cubiertas de tierra describen secciones características, dentro de un planteamiento cultural, social o como último elemento de caracterización de la arquitectura vernácula, pero no se profundiza en las razones de las respuestas constructivas que determinan los detalles de ejecución de la sección general, de encuentro con paramentos o de salidas de agua.

También ha quedado claro que no existen estudios que analicen la respuesta hídrica, térmica ni de durabilidad; ni estudios de métodos para la mejora en dicha respuesta, ni análisis de las características de los detalles constructivos. En algún caso de estudio ya citado (de Granada o de Grecia), se ha caracterizado someramente la tierra utilizada; en la mayoría de las zonas el material se ha designado como “arcilla”, y no se han estudiado sus propiedades hídricas ni térmicas.

La ausencia de estudios sobre la cubierta de tierra conlleva el riesgo inminente de la pérdida de este patrimonio cultural constructivo y del patrimonio arquitectónico vernáculo debido al desconocimiento del adecuado mantenimiento, y a no poder mejorar su respuesta inicial hídrica o térmica ni su durabilidad, como sí se está haciendo con los muros de la arquitectura en tierra.

3.1.- Objetivo

El **objetivo** de esta investigación es contribuir al conocimiento del patrimonio constructivo de la cubierta histórica plana de tierra: tanto en sus formas como en su respuesta ante el agua de lluvia, y determinar los ensayos precisos de caracterización de la capa exterior para poder anticipar su comportamiento ante el agua, y establecer la viabilidad de cualquier material que pueda utilizarse para este fin. Todo esto como primer paso, para el análisis en trabajos futuros en los que se complete el análisis de las capas intermedias e interiores de las cubiertas y de sus variaciones locales.

El estudio se va a centrar en los siguientes objetivos concretos:

1. Identificar el sistema constructivo de la cubierta plana de la isla de Ibiza, donde existen algunos estudios de recopilación de arquitectura vernácula, (toda ella con cubierta de tierra plana) y algunos de estos edificios todavía en pie y accesibles.
 - Determinar el número de capas, sus espesores y los detalles constructivos de los distintos encuentros.
 - Identificar y caracterizar los materiales utilizados, especialmente de la capa exterior.
2. Desarrollar el proceso para determinar el comportamiento de la capa exterior respecto al agua de lluvia, mediante ensayos de laboratorio y hojas de cálculo, que permitan determinar la idoneidad de los distintos materiales utilizados para dicha capa.

3.2.- Hipótesis

Para concretar la hipótesis se puede seguir el siguiente razonamiento:

Si la cubierta plana de tierra se ha utilizado durante siglos, entonces las cubiertas de tierra han sido aptas para resistir las solicitaciones del agua de lluvia.

Si las salidas de agua de estas cubiertas se sitúan en superficie, en la capa exterior, entonces la capa exterior tiene el papel principal de conducir el agua por escorrentía a las gárgolas y reducir la infiltración y por tanto, ser la capa impermeable de la cubierta.

Si la capa exterior de la cubierta es la capa principalmente impermeable, entonces la capa intermedia tendría o un papel de seguridad ante el riesgo de cierta infiltración de agua (causado por fisuras por cambios térmicos o de humedad, plantas, etcétera) o su función sería distinta, pudiendo ser la protección térmica del interior o una capa de reparto de cargas o ambas. Dependiendo del comportamiento real de la capa exterior.

Si las cubiertas consiguen la misma efectividad ante las precipitaciones y el aislamiento térmico, entonces la sección de espesor menor sería la más eficiente de ellas.

Si la cubierta de Ibiza está entre las que tienen menor espesor total, esta cubierta es de las más eficientes.

Si la capa intermedia de la cubierta de Ibiza es de las de espesor menor, entonces la capa superior debe actuar de forma eficaz como cubierta impermeable ya que no requiere apoyo de la capa intermedia.

Conforme a lo anterior, nuestra hipótesis es:

La capa exterior de la cubierta plana de Ibiza es impermeable y conduce al agua de escorrentía hacia la gárgola, con una infiltración pequeña.

La hipótesis para nuestro segundo objetivo se basa en los siguientes razonamientos:

Si en hidrología se analiza la **Capacidad de Infiltración** del terreno para determinar el caudal de una cuenca hidrográfica, conocer la **capacidad de infiltración** de una cubierta permitiría determinar el agua que saldría por la gárgola.

Si en hidrología se mide la **Capacidad de Campo** de un terreno para cuantificar el agua que llegaría a los acuíferos tras las lluvias, medir la **Capacidad de Campo** de una cubierta de tierra permitiría determinar el agua que podría producir goteras.

En hidrología se utilizan infiltrómetros y ensayos in situ para determinar la Capacidad de Infiltración y la Capacidad de Campo del terreno. Considero que es posible adaptar dichos ensayos para medir coeficientes análogos en los materiales de las cubiertas planas de tierra.

Con los coeficientes obtenidos para los materiales de la cubierta se debe poder prever el comportamiento del material colocado en una cubierta plana si se desarrolla un método de cálculo adecuado.

En resumen: gracias a los ensayos que se han diseñado para probetas se obtendrán unos coeficientes que se pueden incorporar a una hoja de cálculo para la superficie completa de la cubierta, permitiendo determinar la escorrentía e infiltración que se producirá en ella para una lluvia dada y para cada material caracterizado. Y por lo tanto se podrá prever la idoneidad del material para su uso en la capa exterior de la cubierta, que es la que cumple el papel de impermeabilización.

3.3.-Metodología

Las fases del estudio con sus objetivos parciales son las siguientes:

1. Localizar, en la isla de Ibiza, cubiertas de tierra originales mantenidas en uso hasta el momento actual.
2. Identificar los materiales utilizados en la construcción de sus cubiertas, y las canteras de donde se extrajeron, identificando y caracterizando los materiales.
3. Fotografiar, medir y dibujar los detalles constructivos de dichas cubiertas.
4. Construir probetas con los materiales originales de cantera y las dimensiones de detalles.
5. Diseñar los ensayos específicos para la caracterización del comportamiento hídrico de la capa exterior de la cubierta.
6. Desarrollar las hojas de cálculo para determinar el comportamiento teórico de una cubierta realizada con cualquier material previamente ensayado.
7. Realizar los ensayos en las muestras de tierra utilizados en cubiertas de Ibiza y Granada y otros materiales que podrían utilizarse en las mismas condiciones.
8. Realizar una prototipo con una tierra local para la capa impermeable de ensayado y confirmar la coherencia entre los resultados teóricos obtenidos de los ensayos de laboratorio con los obtenidos en la cubierta en condiciones naturales y reales.

4.- ESTUDIO DE CAMPO DE LA CUBIERTA PLANA EN IBIZA.

La sección de la cubierta de la arquitectura rural ibicenca conforme a las descripciones realizadas por los distintos autores, quedaría conformada de la siguiente manera:

“Las paredes tienen un grueso de 60 a 80cm, sobre éstas se apoyan las vigas del techo, formadas por troncos de árboles, rollizos (pino o sabina (*Juniperus Phoenicea*) principalmente), de unos 8 a 15 cm de diámetro y separados entre sí 40 o 50 cm, los cuales sirven de soporte al forjado del techo, formado por tablillas de madera de sabina, cañizo, ramas o lajas de piedra de marés según la estancia que cubre. Sobre ésta se sitúa una primera capa, la capa inferior, de 10 cm de algas, una manta intermedia de tierra, procedente de horno de carbón vegetal o de residuos de horno de cal de 10 a 20cm y otra de arcilla, tierra arcillosa o tierra de alfarero de 10, 20 o 30 cm.”

Realizamos con el arquitecto ibicenco Salvador Roig Planells (de la familia Cardonet), quien nos guió y nos transmitió sus conocimientos de la isla, de su arquitectura y evolución, en el recorrido en el que localizamos y analizamos el estado de las construcciones más singulares y características de la misma, tomamos datos del estado de numerosas edificaciones, de la sección de la cubierta, del material utilizado, visitamos lugares de extracción de material para la cubierta, conocidas como “covas” (cuevas) por el aspecto resultante de la excavación, y conversamos con propietarios y personas relacionadas con la construcción de las cubiertas. La existencia y la localización de algunos de estos edificios estaban recogidas en una publicación anterior. (Ribas, JM. Et al. 2013) (1)

4.1.- Zonas de extracción de material para las cubiertas:

El material exterior de las cubiertas de tierra de Ibiza, designada con arcilla (*argila*), se obtiene de distintas ubicaciones por numerosas zonas de la isla. Vistamos algunas de ellas, recogiendo muestras de material para su posterior caracterización geológica y ensayo. De cada una de ellas se hizo una ficha que se presenta más adelante.

Las cuevas visitadas fueron:

En la zona noreste de la isla: las denominadas *Cova de Can Miquelet*, Venda des Figueral del pueblo de Sant Carles de Peralta perteneciente a Santa Eulalia del Rio, de la que se extrae muestra, *Cova Sa Font en Can Pere de Blai en sa Font*, en Sant Vicent de sa Cala de San Juan Bautista y la situada en el Núcleo de Atzaró perteneciente a Santa Eulalia del Rio.

En la zona noroeste, la situada junto a la carretera de Dalt perteneciente a Can Coroner y en la carretera PMV-812-1 en su kilómetro 10, Dalt de ses Amarrades en Santa Agnés de Corona del municipio de San Antoni de Portmany.

Al suroeste de la isla, tomamos muestras de la cueva situada en la carretera de Sant Josep de sa Talaia a Sant Antoni de Portmany por San Agustí PM-803, la zona de extracción de material de Ca na Rosa, de Es Cubells y la situada junto a la carretera PMV 803-1 todas en el municipio de Sant Josep de sa Talaia.

Las zonas de extracción se caracterizan por ser cortes naturales del terreno, extrayéndose el material por debajo de la capa superior. El material de extracción tiene color blanco amarillento,

y en ocasiones tonalidades azuladas. A pesar del aspecto compacto de los muros de la cueva, al extraer el material no se obtienen terrones sino finos, polvo de textura muy fina que se pega a los dedos. La extracción resulta fácil y la accesibilidad a las cuevas es fácil en todos los casos puesto que se encuentran junto a un camino, o próximas a la vivienda.

Se recogieron seis muestras, que se llevaron al geólogo ibicenco Luis Alberto Tostón⁷, para un primer reconocimiento visual. En dicho examen el geólogo dictaminó que el material recogido de las cuevas y cubiertas, por su aspecto y textura, se corresponde con margas o margo calizas (material que está formado por el 50% de arcilla y el otro 50% de carbonato cálcico u otros materiales). Tras este primer examen visual, se hicieron ensayos de caracterización en el laboratorio de CAI de Técnicas Geológicas (UCM) de dos de las muestras, extraídas de la Can Miquelet y San Agustí. En estos ensayos se ha confirmado que los materiales son margas y margo calizas respectivamente.

4.1.1.- Fichas de Campo de “Zonas de Extracción”:

Tal y como se indicó antes, se confeccionó una ficha para cada lugar visitado. En ellas se recoge la ubicación de dónde se tomaba la arcilla de la última capa de las cubiertas de tierra, su denominación, localización física y geológica y fotografías.

Las fichas elaboradas se agrupan por su localización en los mapas geológicos de España, que son:

- 1e: SANT JOAN DE LABRITJA (773 I-III 35-30)
 - 1e1 Cova de Can Miquelet
 - 1e2 Cova de sa Font
 - 1e3 Cova de Núcleo de Atzaró.
- 2e: ES CUBELLS (798-III 34-31 III)
 - 2e4 Cova PMV 803.1
 - 2e5 Cova Can na Rosa
- 3e: SANT ANTONI DE PORTMANY (798-I 34-31 I)
 - 3e6 Cova PM 803 Sant Josep
- 4e: SANT MIQUEL DE BALASANT (772 II-III-IV 34-30)
 - 4e7 Cova PMV 812-1
 - 4e8 Cova Can Coroner

⁷ profesor de geología del I.E.S. Sa Blanca Dona en la ciudad de Ibiza, divulgador y estudioso de la geología local, uno de los responsables del área de geología de la Enciclopèdia d'Eivissa i Formentera y comisario de exposiciones divulgativas

773 I-III 35-30 (Escala 1:25.000)

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA

JURÁSICO
Dolomías y calizas

TRIÁSICO
Dolomías y arcillas

[illegible]

1e1

FICHA DE CAMPO

(2/3)

ZONA DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL:

SANT JOAN DE LABRITJA

773 I-III 35-30 (Escala 1:25.000)

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA
Escala 1:25.000 Instituto Geológico
y Minero de España

SANT JOAN DE LABRITJA

773 I-III
35-30

LOCALIZACIONES:

- 1e1 Cova de Can Miquelet de Sant Leó
- 1e2 Cova de sa Font
- 1e3 Cova en Núcleo de Atzaró

1e1**FICHA DE CAMPO****(3/3)**

FECHA DE VISITA:	21 de abril de 2016
DENOMINACIÓN:	Cova de Can Miquelet
LOCALIZACIÓN:	Venda des Figueral del pueblo de Sant Carles de Peralta, municipio de Santa Eulàlia del Riu.
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	39.037956 , 1.581400 ó 39° 2'16" , 1°34'53"
DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA:	(16) Margas, areniscas y Conglomerados.

DESCRIPCIÓN: Cueva como resultado de la extracción material de un corte natural del terreno, situada bajo la capa superior del terreno de un espesor de 0,50 m aproximadamente. El material que se obtiene con tonalidad azulada. La textura una vez extraído el material es de granulometría fina.

FOTOGRAFÍAS:

773 I-III 35-30 (Escala 1:25.000)

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA

CUATERNARIO	CRETÁCICO INFERIOR	JURÁSICO
Arcillas, arenas y gravas	Calizas y dolomías	Dolomías y calizas
Mioceno
Conglomerados y margas	Margas	Triásico
Dolomías y arcillas
Cretácico Superior
Calizas		

TRIÁSICO		JURÁSICO		CRETÁCICO										NEÓGENO			CUATERNARIO													
														MIOCENO																
														INFERIOR	MEDIO	SUPERIOR														
																			PLISTOCENO	PLEISTOCENO	HOLOCENO									
MEDIO	SUPERIOR	Lias	MALM	INFERIOR	VALANGINENSE	HAUTERIVENSE	BARREMENSE	ALBIENSE	TUPONENSE	SENONENSE	BURDIGALENSE	LANGHESE	TORTONENSE	21	24	26	28	29	30			31								
																				F.MUSC.	F.KEUP.		OPALINOENSE	KIMMERIDGENSE	TITONICO	BERGASSENSE	APTENSE	ALBIENSE	TUPONENSE	SENONENSE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1. Olitas, fluoritas y tranquilitas	2. Dolomías	3. Dolomías	4. Dolomías y calizas tableadas	5. Margas y calizas nodulosas rojas	6. Calizas tableadas	7. Dolomías y brechas masivas	8. Dolomías y calizas tableadas	9. Margas blancas	10. Margas y margalcalizas nodulosas	11. Calizas	12. Dolomías	13. Calizas con Rudistas	14. Calcarenitas, margas y areniscas	15. Calizas blancas	16. Margas, Areniscas y conglomerados	17. Conglomerados	18. Calcarenitas	19. Arcillas y bloques	20. Calizas y margas	21. Areniscas. Playa y dunas antiguas, "narés"	22. Gravas, arcillas y arenas con encostramientos a techo. Glaci antiguo	23. Arcillas de descalcificación. Fondo de Polje y dolina	24. Gravas, arcillas y arenas con encostramientos carbonatados a techo. Cono de deyección intermedio	25. Gravas, arcillas y arenas con encostramientos carbonatados a techo. Glaci moderno	26. Gravas, arenas y arcillas. Terraza	27. Gravas, arenas y arcillas con encostramientos carbonatados a techo. Cono de deyección moderno	28. Arcillas, gravas y arenas. Aluvial-columbial	29. Bloques, gravas y arcillas con encostramientos carbonatados a techo. Columbial	30. Gravas, arenas y arcillas. Fondo de valle	31. Arenas y gravas. Playa.

ZONA DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL:

SANT JOAN DE LABRITJA

773 I-III 35-30 (Escala 1:25.000)

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA
Escala 1:25.000
Instituto Geológico
y Minero de España

SANT JOAN DE LABRITJA

773 I-III
35-30 **LOCALIZACIONES:**

- △ 1e1 Cova de Can Miquellet de Sant Leó
- ▲ 1e2 Cova de sa Font
- ▲ 1e3 Cova en Núcleo de Atzaró

1e2**FICHA DE CAMPO****3/3)**

FECHA DE VISITA:	21 de abril de 2016
DENOMINACIÓN:	"Cova d'argila de sa Font"
LOCALIZACIÓN:	Can Pere de Blai en sa Font, San Vicent
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	39.076288, 1.563996 / 39° 4' 34,64" , 1° 33' 50"
DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA:	(9) Margas blancas

DESCRIPCIÓN: Cueva como resultado de la extracción material en un corte natural del terreno, situada bajo la capa superior del terreno de un espesor de 1,50 m aproximadamente. El material que se obtiene tiene tonalidad blanca amarillenta. La textura una vez extraído el material es de granulometría fina.

FOTOGRAFÍAS:

773 I-III 35-30 (Escala 1:25.000)

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA

1e3

FICHA DE CAMPO

(2/3)

ZONA DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL:

SANT JOAN DE LABRITJA

773 I-III 35-30 (Escala 1:25.000)

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA
Escala 1:25.000

Instituto Geológico
y Minero de España

SANT JOAN DE LABRITJA

773 I-III
35-30

LOCALIZACIONES:

- 1e1 Cova de Can Miquelet de Sant Leó
- 1e2 Cova de sa Font
- 1e3 Cova en Núcleo de Atzaró

1e3**FICHA DE CAMPO****(3/3)**

FECHA DE VISITA:	21 de abril de 2016
DENOMINACIÓN:	Cova del Núcleo de Atzaró.
LOCALIZACIÓN:	Núcleo de Atzaró, Entre Sant Llorenç de Balafia y Sant Carlos de Peralta en el municipio de Santa Eulalia del Rio.
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	39.023625, 1.519198 / 39° 4'10,50" , 1° 31'9"
DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA:	(16) Margas, areniscas y conglomerados, colindante con (8) Calizas tableadas.

DESCRIPCIÓN: Cueva como resultado de la extracción material en un corte natural del terreno, situada bajo la capa superior del terreno de un espesor de 1,50 m aproximadamente. El material tiene un aspecto más pétreo. (No extraemos material)

FOTOGRAFÍAS:

798-III 34-31 III (Escala 1:25.000)

798-III
34-31 III

2e4**FICHA DE CAMPO****(3/3)**

FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016
DENOMINACIÓN:	Cova de Carretera PMV 803-1
LOCALIZACIÓN:	(Venda de sa Talaia, San Josep de sa Talaia).
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	38.880094 , 1.256033 / 38° 52'48" , 1° 15'22"
DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA:	(10) Calizas blancas

DESCRIPCIÓN: Cueva como resultado de la extracción material en un corte natural del terreno, situada bajo la capa superior del terreno de un espesor de 0,50 a 1 m aproximadamente. El material tiene un aspecto más pétreo. (No extraemos material)

FOTOGRAFÍAS:

ZONA DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL:

ES CUBELLS

798-III 34-31 III (Escala 1:25.000)

MAPA UBICACIÓN

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA

CUATERNARIO	CRETÁCICO INFERIOR	JURÁSICO
Arcillas, arenas y gravas	Calizas y dolomías	Dolomías y calizas
MIOCENO	Margas	TRIÁSICO
Conglomerados y margas		Dolomías y arcillas
CRETÁCICO SUPERIOR		
Calizas		

CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA

TRIÁSICO	JURÁSICO		CRETÁCICO								TERCIARIO		CUATERNARIO											
											NEÓGENO													
											MIOCENO													
SUPERIOR	Lias	MALM	INFERIOR				SUPERIOR				INFERIOR	MEDIO	PLEISTOCENO	HOLOCENO										
			OPPELSENSE	KIMMERIDGENSE	TITHONICO	VALANGINENSE	HAUTERIVENSE	Gargasense	APURGENSE	ALBERGENSE	CONCOMITANTE	TURONENSE			SAVOIENSE	BURGUNDIENSE	LANGHEENSE							
F. K.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

1 Arcillas abigarradas y yesos 2 Dolomías masivas y en bancos 3 Calizas nodulosas blancas y margas rojas 4 Calizas tableadas con intercalados de niveles margosos 5 Calizas en bancos 6 Dolomías masivas 7 Margas con intercalaciones rítmicas de calizas margosas 8 Calizas fosilíferas 9 Dolomías blancas 10 Calizas blancas 11 Margas 12 Conglomerados 13 Calcarenitas 14 Gravas, arcillas y arenas con encostramientos carbonatados a techo. Glacis antiguo. 15 Gravas, arcillas y arenas con encostramientos carbonatados a techo. Conos de deyección intermedio. 16 Areniscas. Playas y dunas antiguas. "Marés" 17 Gravas, arcillas y arenas con encostramientos carbonatados a techo. Glacis modernos. 18 Gravas, arenas y arcillas. Terrazas 19 Arcillas, gravas y arenas. Aluvial-coluvial. 20 Gravas, arenas y arcillas con encostramientos carbonatados a techo. Coluviones. 21 Gravas, arcillas y arenas. Conos de deyección modernos. 22 Gravas, arenas y arcillas. Fondos de valle. 23 Arenas y gravas. Playas. 24 Arenas. Dunas.

ZONA DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL:

ES CUBELLS

798-III 34-31 III (Escala 1:25.000)

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA
Escala 1:25.000
Instituto Geológico
y Minero de España

ES CUBELLS

798-III
34-31 III **LOCALIZACIONES:**

- △ 2e4 Cova la carretera PMV 803-1
 ▲ 2e5 Cova de Can Na Rosa

2e5**FICHA DE CAMPO****(4/4)**

FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016
DENOMINACIÓN:	Cova de Can Na Rosa
LOCALIZACIÓN:	(Venda de sa Talaia, San Josep de sa Talaia).
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	38° 54' 29,10" , 1° 17' 29,10"
DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA:	(7) Margas con intercalaciones rítmicas de calizas margosas
DESCRIPCIÓN: Corte del terreno natural, en terrazas. Sin formación de cueva y fuera de uso desde mediados del siglo XX. Esta zona era de uso particular de la vivienda, la cual desde dicha época no realiza mantenimiento de su cubierta.	

FOTOGRAFÍAS:

ZONA DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL:

SANT ANTONI DE PORTMANY

798-I 34-31 I (Escala 1:25.000)

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA
Escala 1:25.000
Instituto Geológico
y Minero de España

SANT ANTONI DE PORTMANY

798-I
34-31 I

LOCALIZACIONES:

3e6 Cova PM 803 Sant Josep

3e6**FICHA DE CAMPO****(3/3)**

FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016
DENOMINACIÓN:	Cova de Carretera 803 (2km de Sant Josep cerca capella d'en Beia)
LOCALIZACIÓN:	Sant Josep de Sa Talaia
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	39.027220 , 1.336074 /39° 1' 38" , 1° 20' 10"
DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA:	(8) Margas con intercalaciones rítmicas de calizas margosas

DESCRIPCIÓN: Cueva como resultado de la extracción material en un corte natural del terreno, situada bajo la capa superior del terreno de un espesor de 2 a 2,50 m aproximadamente. El material que se obtiene tiene tonalidad blanca amarillenta, con betas blancas azuladas. La textura una vez extraído el material es de granulometría fina.

FOTOGRAFÍAS:

ZONA DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL:

SANT MIQUEL DE BALASANT
772 II-III-IV 34-30 (Escala 1:25.000)MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA
Escala 1:25.000 Instituto Geológico
y Minero de EspañaSANT MIQUEL DE BALASANT 772 II-III-IV
34-30

LOCALIZACIONES:

3e7 Cova de PMV 812-1

3e8 Cova de Coroner

4e7**FICHA DE CAMPO****(3/3)**

FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016
DENOMINACIÓN:	"Coll" junto carretera PMV-812.1 km 10, 44
LOCALIZACIÓN:	En Dalt de ses Amarrades, Sant Agnès de Corona.
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	39.025732, 1.337195/ 39º 1'32", 1º 20'13"
DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA:	(4) Margas

DESCRIPCIÓN: Corte del terreno natural. Sin formación de cueva y fuera de uso. El material se encuentra bajo una primera capa de terreno de 0,50 a 1 m aproximadamente de espesor. La tonalidad del material es blanco-amarillo.

FOTOGRAFÍAS:

ZONA DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL:

SANT MIQUEL DE BALANSAT
772 II-III-IV 34-30 (Escala 1:25.000)MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA
Escala 1:25.000 Instituto Geológico
y Minero de EspañaSANT MIQUEL DE BALANSAT 772 II-III-IV
34-30

LOCALIZACIONES:

3e7 Cova de PMV 812-1

3e8 Cova de Coroner

4e8**FICHA DE CAMPO****(4/4)**

FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016
DENOMINACIÓN:	Cova de Cas Coroner
LOCALIZACIÓN:	Camí corona de Dalt, al este del torrent de sa Tanca
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	39.042193, 1.359571 / 39° 2' 32" , 1° 21' 34"
DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA:	(4) Margas

DESCRIPCIÓN: Cueva como resultado de la excavación bajo una primera capa de 1m aproximado de espesor, del que se obtiene material de tonalidad amarillenta.

FOTOGRAFÍAS:

4.2.- Edificaciones:

En Ibiza la edificación es de origen agrícola y muy dispersa. Las viviendas principales de las fincas se denominan *casament* de modo genérico; cuando se identifican con el nombre de la familia propietaria se denominan: *can* “nombre de familia” (Can na Rosa). Se sitúan en la zona central de la isla, lejos de la costa, que hasta el siglo XVII sufría numerosos ataques de piratas y corsarios. Las edificaciones secundarias de las fincas, de apoyo al mantenimiento de las mismas, están más próximas a la costa y se denominan *païsses* (en singular, *Païssa*). Algunas viviendas tenían torres de defensa pasiva denominadas *pedriales*, donde se guarecían durante los ataques piratas. Estas torres mantienen características constructivas similares al resto de las viviendas. (Serra, 2000) (2).

La edificación de los *casament* y *païsses* se forma por la yuxtaposición de *casas*, volúmenes correspondientes a habitaciones y que poseen cubierta propia e independiente. Cada casa aloja un uso: la cocina, la sala abierta o cerrada denominada *porxo*, los dormitorios o los corrales.

Estas casas tienen tamaños de 3 x 3 m o 3 x 4 m y la altura de las mismas va variando, para que las cubiertas descarguen unas sobre otras, hasta recoger finalmente el agua en los aljibes, la mayoría de las veces.

4.2.1.- Fichas de Campo de Edificaciones Vernáculas:

Se presentan las fichas de campo de las edificaciones visitadas, con atención especial a sus cubiertas. Las fichas están ordenadas por municipios: Santa Eulalia del Rio, San Juan Bautista o Sant Joan de Labritja, Sant Antoni de Portmany y Sant Josep de sa Talaia.

En el recorrido de la isla, visitamos las siguientes construcciones:

- 1) del municipio de San Juan Bautista (*Sant Joan de Labritja*) inspeccionamos:
 - a) *Casament* situado en Venda de Porrals (Ficha 1a1).
 - b) en el pueblo de Sant Vicent de sa Cala: “sa Font”(Ficha 1b1) y “Can Lluquí de sa Cova”, Venda des Niu des Corbs (Ficha 1b2) y el Molino de sangre de Can Vicent de Serra (Venda de Cas Ripolls) (1b3).
 - c) En Sant Miquel de Balasant: “Can Miquel d’en Coves des Pont”(Ficha 1c1), can Pep Cova(1c2), Can Besora (1c3), Can Joan d’en Gall (1c4), Can Mariano Cova (1c5),
 - d) así como el conjunto de Balafia perteneciente al pueblo de Sant Llorenç de Balafia (Ficha 1d1) y el *casament* en Venda de Balafia de Dant (1d2)
- 2) En el municipio de Sant Antoni de Portmany,
 - a) Casament en carretera Placita de Albarca, San Mateo de Albarca (2a1) y Can Cirer en carretera placita de Albarca de San Mateo de Albarca (2a2).
- 3) En el municipio de Santa Eulalia del Rio,
 - a) revisamos el conjunto de Atzaró. (3a1)
- 4) En el municipio de Sant Josep de sa Talaia:
 - a) “Cas Orvais” del pueblo Sant Jordi de Salinas (4a1)
 - b) del pueblo Sant Josep sa Talaia: “Païssa de Camp Gran” (4b1), “Païssa d’en Ribes” (4b2) y “Ca na Rosa” de Es Cubells (4b3).
 - c) De Sant Agustí des Vedrà: “Païssa de Ca na Reiala” (4c1), “Païssa de na Marieta Pau” (4c2), “Païssa de Can Pou” (4c3), “Païssa den Guexó” (4c4), “Païsa de Can Mestre de la Bassa” (4c5) y “Païssa de Cas Catalá o cas Coroner” (4c6).

En el recorrido antes mencionado visitamos no solo viviendas que mantienen las cubiertas originales sino otras que no lo hacen así, y han incorporado materiales modernos, por lo que no las incluimos en las fichas de trabajo, al no poder obtener información relevante de las mismas.

Figura 1: Ejemplos de *casaments* con las cubiertas alteradas.

1a1	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/2
FECHA DE VISITA:	23 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Casament (A)		
LOCALIZACIÓN:	situada en Venda de Porrals, 27 de San Joan de Labritja (San Juan Bautista)		
MAPA UBICACIÓN:
ESTADO DE LA VIVIENDA:		Se encuentra abandonada y en ruina parcial, se están comenzando obras.	
En uso	x	Cerrada	Abandonada
			x
DESCRIPCIÓN:		FOTOGRAFÍAS:	
Estructura:			
La estructura es de sabina local; cubierto el entrevigado con "tegel" o "teixell", de tablillas de sabina:			
Capas de cubierta:			
Una capa de algas, posidonia, de; de tierra de carbonera, "terra de sitja" con su tonalidad negruzca; capa de "argilla" cuyo color predominante es amarillo.

1a1**FICHA DE CAMPO****CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA****2/2**

Borde de cubierta:

En el perímetro de la cubierta se observa la protección con la capa de mortero de cal y la reducción de altura del borde para las salidas de agua realizadas con tejas que no sobresalen de los muros.

1b1	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/2
FECHA DE VISITA:	21 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Can Sa Font		
LOCALIZACIÓN:	situada en Saguila, 3 PM-811 de San Joan de Labritja (San Juan Bautista)		
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Se encuentra abandonada y en ruina parcial.	
En uso	Cerrada	x	Abandonada
		x	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
Estructura: La estructura es de sabina local; cubierto el entrevigado con "tegel" o "teixell", de tablillas de sabina.

1b1**FICHA DE CAMPO****CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA****2/2**

Capas de cubierta:

Una capa de algas, posidonia, de 3 a 5cm; 5 a 10 cm de tierra de carbonera, “terra de sitja” con su tonalidad negruzca; capa de “argilla” cuyo color predominante es amarillo de espesor variable entre 5 y 15cm de espesor

Borde de cubierta:

En el perímetro de la cubierta se observa el recrecido del muro hacia el interior protegiendo el borde de la cubierta de tierra en su unión al muro.

Salidas de agua:

Se realiza con medio tronco de sabina horadado.

1b3	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/2
FECHA DE VISITA:	21 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Molino de Sangre comunitario.		
LOCALIZACIÓN:	situado en Cas Ripolls, 39 1,5km PM-811 de San Joan de Labritja		
MAPA UBICACIÓN:
ESTADO DE LA VIVIENDA:		En uso, buen estado y mantenido por los vecinos.	
☒	En uso	☐	Cerrada
☐	Abandonada	☐	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
Estructura: Al encontrarse cerrado, no puede observarse.			
Capas de cubierta: En la cubierta se observa la presencia de montoncitos de margas preparada sobre las zonas más altas de los paños de pendiente en espera a las próximas lluvias, para relleno de posibles fisuras de la superficie de la misma y sin plantas enraizadas.

Borde de cubierta: Sobresale sobre la cubierta y se protege con mortero de cal. Se abre en las salidas de agua.

1b3**FICHA DE CAMPO****CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA****2/2**

Salida de agua:

Presenta doble salida realizada con media rama de sabina ahuecada formando canal. Una de ellas rota sin sobresalir de fachada.

1b2	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/2
FECHA DE VISITA:	21 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Can Lluquí de sa Cova",		
LOCALIZACIÓN:	situada en Venda des Murdar, 29 de San Joan de Labritja:		
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Abandonada con caídas parciales de cubiertas y encalados de fachada.	
En uso	Cerrada	x	Abandonada
		x	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
<p>Estructura:</p> <p>La cubierta de rollos de sabina con vigas intermedias, está cubierta en porches con lajas de madera (Teixell o Teigell) y en el interior con esteras de cañizo cubierto con tendido de cal.</p>

<p>Capas de cubierta:</p> <p>Las zonas de caída de cubierta permiten observar la capa de algas, la tierra carbonera y la capa exterior y sus espesores.</p>

Borde de cubierta:

Se puede observar como el muro Sobresale sobre la cubierta y se protege con mortero de cal en algunos casos. Se abre en las salidas de agua. Podemos observar parte de la chimenea caída, y la pieza cerámica que resuelve el paso de humos y ventilación a través de la sección de la cubierta (1)

Salida de agua:

Presenta salida realizada con teja cerámica. Abriéndose un hueco el muro para la salida.

Elemento singular:

En algunos *casament* en esquinas de las casas destinadas a cocinas, se colocaban en la cubierta tinajas abiertas para facilitar la salida del humo de la cocina. En este caso se ve el arranque de la chimenea sobre la tinaja. “*forat per al fum realitzat amb una gerra sense fons*” (agujero para el humo realizado con una jarra sin fondo. pag. 95) (Joachim et al, 1984/1991) (3).

1c1	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/3
FECHA DE VISITA:	23 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Can Cova des Pons		
LOCALIZACIÓN:	Ubicada en carrer Port de Sant Miquel, 2. Sant Joan de Labritja.		
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Cerrada la vivienda, abandonado el entorno y los corrales en ruina.	
En uso	☒	Cerrada	☒
Abandonada	☒	En ruina	☒
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
<p>Estructura:</p> <p>La cubierta de viguetas de sabina con lajas de madera (Teixell o Teigel) (1)</p> <p>Los muros de piedra, formados por dos hojas con un mínimo atado claro entre ellos. (2)</p>			
(1)
(2)

Capas de cubierta:

La ruina de la cubierta nos permite observar la sección de la misma y sus capas: la capa de algas (2) con un espesor final de 3cm tras el prensado natural por el peso de las capas de tierras superiores, la tierra carbonera (3) y la capa exterior de margas con tonalidad amarilla (4).

Borde de cubierta:

Se puede observar como el muro Sobresale sobre la cubierta y se protege con mortero. Cubriendo el encuentro de cubierta con muro. Por la fachada sobresale una laja de piedra.

1c1**FICHA DE CAMPO****CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA****3/3**

Elemento singular:

En ocasiones en muros posteriores se colocan piedras sobresaliendo del muro, para permitir o facilitar la subida a cubierta y su mantenimiento.

1c2	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/2
FECHA DE VISITA:	23 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Can Pep Cova,		
LOCALIZACIÓN:	Can Besora, ubicado en carrer Port de Sant Miquel, 2. Sant Joan de Labritja.		
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Vivienda habitada y mantenida, con ampliaciones con cubierta actual.	
☒	En uso	☐	Cerrada
☐	Abandonada	☐	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
<p>Estructura: La estructura de la vivienda no la podemos ver, pero la de cobertizos, mantiene las características habituales: viguetas de sabina cubiertas con cañizo.(1)</p> <p>Se puede observar el detalle de apoyo de viguetas en muro, las lajas para la fijación perimetral de cañizo (2) y los espesores. En este caso no tiene la tierra de carbonera, al ser abierto, con un espesor de tierra de 15 cm.</p>

Capas de cubierta: Las cubiertas están mantenidas, con presencia de plantas controladas, que se arrancan cada temporada. Las cubiertas de corrales y auxiliares tienen un mantenimiento desigual. El propietario coloca en zonas altas de la cubierta, montoncitos de margas procedentes de una cova situada en carrer na Xamena.

Borde de cubierta: Se puede observar como el muro en la vivienda está protegido con una capa de mortero, mientras en los corrales los muros no tienen protección añadida. Se observa los montoncitos de margas distribuidas para las próximas lluvias.

Salidas de agua:

La salida está realizada con teja cerámica. Como en otros casos, el crecimiento de hierba se produce principalmente en el entorno de la salida de agua.

1c3	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/1
FECHA DE VISITA:	23 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Can Vicent den Gall,		
LOCALIZACIÓN:	Can en carrer Port de Sant Miquel 19, Sant Miquel de Balasant. Sant Joan de Labritja.		
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Vivienda habitada y mantenida, con ampliaciones con cubierta actual.	
En uso	☒	Cerrada	☐
Abandonada	☐	En ruina	☐
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
<p>Estructura: La estructura de la vivienda la podemos ver en sus porches: rollos de sabina con tablillas de sabina "tegel" y en los cobertizos mantiene las características habituales en corrales: viguetas de sabina cubiertas con ramas de sabina.</p>

<p>Capas de cubierta: Las cubiertas de la vivienda no podemos observarlas directamente, pero están modificadas. Los corrales mantienen las cubiertas originales sin mantenimiento, y en estado de ruina varios de ellos. Se puede observar las distintas capas: sobre las lajas de sabina(1): algas (2), tierra carbonera (3) y margas (4).</p>

1c4	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/1
FECHA DE VISITA:	23 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Can Mariano Cova.		
LOCALIZACIÓN:	Can en carrer Port de Sant Miquel, 18. Sant Miquel de Balasant. Sant Joan de Labritja.		
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Vivienda habitada.	
☒	En uso	☐	Cerrada
☐		☐	Abandonada
☐		☐	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
<p>La vivienda está muy modificada tanto la estructura como las cubiertas. Los corrales se mantienen pero muy alterados.</p>

1d1	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/2
FECHA DE VISITA:	12 de octubre de 2015		
DENOMINACIÓN:	Núcleo de Balafia (BIC 8) Bien Etnológico.		
LOCALIZACIÓN:	Venda de Balafia de Dalt, Sant Llorenç de Balafia. Sant Joan de Labritja.		
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Viviendas habitadas y mantenidas, con cubiertas modificadas y originales	
☒ En uso	☐ Cerrada	☐ Abandonada	☐ En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
<p>Estructura:</p> <p>La estructura tiene siempre las vigas de sabina, con vigas perpendiculares en sala de antiguo molino de sangre, cubierto con <i>tegel</i> (1), tablas de sabina en zonas vivideras, ramas de sabina (2) o cañizo en corrales o zonas auxiliares. (3)</p> <p>El conjunto tiene dos torres prediales, (defensivas pasivas) una de ella modificada para habitaciones con cubierta modificada. La segunda tiene perdida la cubierta desde hace varios años.</p>			
(1)
(2)
(3)

Cubierta:

Las cubiertas de las distintas casas están en diferentes estados: en la zona sur del complejo existen dos cubiertas originales y mantenidas en buen estado(a), otra casa está cubierto con uralita (b); con láminas de PVC sobre la cubierta original (c); capa de hormigón en masa (d) y solado y capa de cloro-caucho (e)

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

1d2	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/1
FECHA DE VISITA:	23 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Casament (B)		
LOCALIZACIÓN:	situada en Venda de Porrals, 27 de San Joan de Labritja (San Juan Bautista)		
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Se encuentra restaurada.	
En uso	☒	Cerrada	☐
Abandonada	☐	En ruina	☐
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
<p>Estructura:</p> <p>La estructura es de sabinas local; cubierto el entrevigado con “tegel” o “teixell”, de tabillas de sabinas. En el edificio se ha incorporado elementos estructurales nuevos. Los corrales tienen las cubiertas caídas o en muy mal estado y cubiertas por planchas de fibrocemento. Conserva la volumetría original.</p>

<p>Capas de cubierta:</p> <p>El casament está restaurado y modificada las cubiertas, se han solado las que se pueden ver.</p>

2a1	FICHA DE CAMPO		CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA		1/1
FECHA DE VISITA:		23 de abril de 2016			
DENOMINACIÓN:		Casament (C)			
LOCALIZACIÓN:		situada en Venda de Porrals, 27 de San Joan de Labritja (San Juan Bautista)			
MAPA UBICACIÓN:
ESTADO DE LA VIVIENDA:		Se encuentra restaurada.			
☐	En uso	☐	Cerrada	☒	Abandonada
☐		☐		☒	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:					
<p>Estructura:</p> <p>La estructura es de sabina local; cubierto el entrevigado con “tegel”o “teixell”, de tablillas de sabina. El edificio esta abandona y en avanzando el estado de ruina.</p> <p>Capas de cubierta:</p> <p>Las cubiertas a las que se les incorporaron una capa de hormigón, está arruinándose.</p> <p>Salidas de Agua:</p> <p>Se realizaron con tejas curvas sobresaliendo del muro, rebajando este.</p>

2a2	FICHA DE CAMPO		CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA		1/2	
FECHA DE VISITA:		23 de abril de 2016				
DENOMINACIÓN:		Cas Cirer				
LOCALIZACIÓN:		situada en Carretera placita d'Albarca, de San Mateo de Albarca, Sant Antoni de Portmany				
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Se encuentra restaurada.				
En uso		Cerrada	x	Abandonada	x	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:						
<p>Estructura:</p> <p>La estructura se realiza con vigas de gran porte apoyadas en los muros de fachada y paralelo, sobre la que apoya una viga que divide la luz de las viguetas de madera de sabina, cubriéndose el entrevigado con "tegel" o "teixell", de tablillas de sabina. El edificio esta abandona y en avanzando el estado de ruina.</p>

Capas de cubierta:

Las cubiertas a las que se les incorporaron una capa de hormigón, está arruinándose.

Se aprecia la capa de algas (5cm)(1), la tierra carbonera (10cm)(2) y las margas (10cm)(3) bajo la capa de hormigón en masa (4cm).

Capa de mortero:

Se puede observar que la capa de mortero al fisurarse, permite la entrada de agua y el crecimiento de plantas de mayor envergadura, produciéndose la caída de la cubierta completa.

Elemento singular:

En algunos *casament* en esquinas de las casas destinadas a cocinas, se colocaban en la cubierta tinajas abiertas para facilitar la salida del humo de la cocina. “*forat per al fum realitzat amb una gerra sense fons*” (agujero para el humo realizado con una jarra sin fondo. pag. 95) (Joachim et al, 1984/1991) (3)

3a1	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/2
FECHA DE VISITA:	21 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Núcleo de Atzaró		
LOCALIZACIÓN:	Can Negre. Santa Eularia del Rio.		
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Viviendas unas habitadas y otras abandonadas y en ruina.	
☒ En uso	☒ Cerrada	☒ Abandonada	☒ En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
<p>Estructura:</p> <p>Tienen un desigual mantenimiento los distintos <i>casaments</i> y la torre predial. La segunda torre del conjunto desapareció hace tiempo.</p> <p>La estructura de rollizos de sabina se puede apreciar en este paso cubierto en origen. Sobre ellos aún quedan tablas de sabina, una manta de posidonia y margas. No tiene capa de tierra carbonera en esta zona. Las cubiertas de las viviendas no se han podido estudiar.</p>

4a1	FICHA DE CAMPO		CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA		1/2
FECHA DE VISITA:		22 de abril de 2016			
DENOMINACIÓN:		Can Orvais			
LOCALIZACIÓN:		situada en San Jordi de Salinas, San Josep de sa Talaia			
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:			
		La vivienda está habitada y en uso. Los corrales parcialmente se encuentran abandonados y en ruina.			
☒	En uso	☐	Cerrada	☐	Abandonada
☐		☒		☐	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:					
<p>Estructura:</p> <p>La estructura es de sabina local; cubierto el entrevigado con “tegel” o “teixell”, de tablillas de sabina. Parte de los corrales están sin mantenimiento y con cubiertas caídas formado el entrevigado con ramas de sabina.</p>

<p>Capas de cubierta: Se aprecia los materiales que forman las cubiertas, conforme a la sección teórica: algas posidonia, tierra carbonera y margas.</p>

4a1	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	2/2
------------	-----------------------	---------------------------------------	------------

Borde de cubierta: En el perímetro de la cubierta se observa que sobre sale el muro de la cara superior de la cubierta y se protege con mortero de cal.

Salidas de agua:

La salida está realizada con teja cerámica. Sobresaliendo del muro.

Elementos singulares:

Se puede observar dos elementos característicos del uso de la sabina:

Apoyo de viguetas de madera en muro paralelo mediante modillón de madera, cuyo empotramiento de madera con talla en sierra se denomina *permòdol*. (pag. 106) (Joachim et al., 1984/1991) (3)

Puerta de acceso a los corrales, *barrera de fustes*, donde el pernio de madera de la puerta, se empotra en una base tallada de madera y en este caso de piedra, fijándose el extremo superior con una pieza de madera tallada o de hierro. (pag. 113) (Joachim et al., 1984/1991) (3)

4b1 FICHA DE CAMPO		CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA			1/3	
FECHA DE VISITA:		22 de abril de 2016				
DENOMINACIÓN:		Païssa de Camp Gran				
LOCALIZACIÓN:		situada en Venda de Davall sa Serra, Poble des Cubells, municipio de Sant Josep Atalaia				
MAPA UBICACIÓN:
ESTADO DE LA VIVIENDA:		Su estado es de ruina. Estuvo habitada en 1935. En 2013 abandonada ya pero en buen estado. En la actualidad se encuentran en ruina las cubiertas y parcialmente algunos muros.				
En uso		Cerrada	x	Abandonada	x	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:						
Estructura:						
La estructura es de sabina local; cubierto el entrevigado con ramas de sabina en corral y lajas de sabina, <i>tegel</i> . Se utilizan troncos de forma irregular, que requieren añadidos de piezas para la formación de la superficie plana de la cubierta. Las correas de sabina apoyan en los muros y en viga central reduciendo su luz.

4b1	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	2/3
------------	-----------------------	---------------------------------------	------------

Capas de cubierta: Se aprecia los materiales que forman las cubiertas, conforme a la sección teórica: algas posidonia (1), tierra carbonera (2) y margas (3).

Las capas de cubierta cubren la mitad del muro perimetral, con un espesor total de 20 a 25 cm. Se aprecia como las algas posidonias terminan formando una capa continua por la fibra vegetal en todas las direcciones y la presión superior de las tierras. (1*)

Borde de cubierta:

En el perímetro de la cubierta se observa que sobresale el muro de la cara superior de la cubierta y se protege con mortero. El muro que sobresale es la cara exterior con la mitad de espesor del muro, cubriendo la cubierta la parte interior del muro de cerramiento. Este borde se corta para permitir la salida de agua de la cubierta.

4b1	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	3/3
------------	-----------------------	---------------------------------------	------------

Salidas de agua:

Las salidas de agua se han realizado con piedras talladas, en la cara inferior de la cubierta.

4b2	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/2
FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Païssa d'en Ribes		
LOCALIZACIÓN:	ubicada en Cala D Hort 249, en Vènda de sa Talaia, poble de Sant Josep de sa Talaia		
MAPA UBICACIÓN:
ESTADO DE LA VIVIENDA:	Su estado es de abandono, pero desde abril de 2016 estaba en remodelación. Las cubiertas al estar abiertas en pequeñas zonas podemos caracterizar la sección de la cubierta.		
En uso	x	Cerrada	x
Abandonada			
En ruina			
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
<p>Estructura:</p> <p>La <i>païssa</i> ha tenido varias ampliaciones según las necesidades requeridas, en la sala, <i>porxo</i>, las vigas están resueltas de escuadría y en las casas de dormitorios son vigas formadas por los troncos limpios y apoyan sobre ellas piedras de mares, como en el balcón. La superficie de cubierta ha sido retirada en los trabajos que se están realizando en la misma.</p>

<p>Capas de cubierta: Las capas de la cubierta se mantienen muy claras, pudiendo observar sus dimensiones fácilmente:</p> <p>Las algas posidonias aplastadas por la tierra tienen un espesor final de 1 a 1,5 cm.</p> <p>La tierra de carbonera o <i>sitja</i>, tiene un espesor de 8 cm y las margas de 8 cm, que sería de 10 cm antes del deterioro superficial sufrido.</p>

Borde de cubierta:

En el perímetro de la cubierta se observa que sobresale el muro de la cara superior de la cubierta y se protege con mortero. La falta de mantenimiento permite observar como el mortero cubre la zona de contacto entre las capas de la cubierta con la cara interior del muro que sube.

Este borde se corta para permitir la salida de agua de la cubierta.

La cubierta cuando intercepta con un muro de cierre de segunda planta, igual que las vigas tiene una entrega directa al muro, la cubierta penetra en este, quedando protegida la junta entre ambos.

Salidas de agua:

Las salidas de agua se han realizado con tejas cerámicas, en corrales se rebaja el muro perimetral, mientras que en las casas se orada el mero pero no se rebaja.

4b3	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/2
FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Ca na Rosa		
LOCALIZACIÓN:	situada en PMV-803-1: en Davall sa Serra del municipio de San Josep de sa Talaia		
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:	La vivienda está cerrada. Se mantiene reponiendo anualmente el encalado de fachada.		
☒ En uso	☒ Cerrada	☐ Abandonada	☐ En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
<p>Estructura:</p> <p>La estructura es de rollos de sabina local; cubierto el entrevigado con cañizo en corrales y cubierta del <i>porxo</i> superior. El <i>porxo</i> de acceso está cubierto con piedras de marés.</p>

<p>Capas de cubierta:</p> <p>Desde mediados del siglo XX, tiene la cubierta una capa de hormigón en masa añadida.</p>

Bordes de cubierta:

Los bordes de cubierta son volados, sobre elevados de la cubierta, están protegidos con mortero de cal, en las casas vivideras. Las casas correspondientes a corrales o menores no tienen dicha protección. El borde del *porxo* está sobre elevado y rematado con teja curva característico desde el siglo XVIII. (3)

Salidas de agua:

Las salidas son de teja sobresaliendo de fachada y la mayoría están modificadas y realizadas con tubos de fibrocemento y PVC, quedando la salida de una casa sobre otra por reducción de altura de muro sin sobresalir y con encalado de la vertical para protección del muro.

Elementos Singulares:

Las puertas de los corrales conservan la fisonomía original de fijaciones y eje.

El encalado de la fachada del *porxo*, y de los elementos que requieren mayor protección al agua: bordes de cubierta y bajadas de agua por muros, se encalan anualmente.

4c1	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/2		
FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016				
DENOMINACIÓN:	Païssa de Ca na Reiala				
LOCALIZACIÓN:	situada en Venda de Dellà Torrent, Poble de Sant Agustí des Vedrà municipio de San Josep de sa Talaia				
MAPA UBICACIÓN:
ESTADO DE LA VIVIENDA:		Las cuatro casas que forman la païssa, están abandonadas y en ruina completa de cubierta dos de ellas, se han hecho reparaciones en los muros en zonas de jambas con bloques de hormigón.			
En uso	Cerrada	x	Abandonada	x	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:					
Estructura: La estructura es de rollos de sabina local; cubierto el entrevigado con ramas de sabina en corrales y cubierta tablas de sabina, <i>tegel</i> en las casas que probablemente se usaran de dormitorio.

Capas de cubierta: A mediados del siglo XX, se debió incorporar una capa de hormigón en masa que tras el abandono ha precipitado la ruina de la cubierta. Se constata la presencia de algas posidonia, tierra de sitja y la capa de margas.

Bordes de cubierta:

Los muros de apoyo sobresalen con un espesor menor, por lo que la cubierta cubre la mitad del espesor del muro. La salida del agua sale lateralmente, no sobre la siguiente casa y el muro mantiene la altura. Todo ello está cubierto con la capa de hormigón de 4cm.

4c2	FICHA DE CAMPO		CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA		1/1
FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016				
DENOMINACIÓN:	Païssa de Ca na Maria de sa Caseta o d'en Joan Sendic				
LOCALIZACIÓN:	situada en Carrer de la Curva a 80m carrer Cala Tarida 6, Venda de Dellà Torrent, Poble de Sant Agustí des Vedrà municipio de San Josep de sa Talaia				
MAPA UBICACIÓN:					
ESTADO DE LA VIVIENDA:		Las dos casas que forman la païssa, la primera cocina dormitorio y la segunda el corral, están abandonadas y en ruina completa de cubierta.			
☐ En uso	☐ Cerrada	☒ Abandonada	☒ En ruina		
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:					
<p>Estructura:</p> <p>La estructura es de rollos de sabina local; cubierto el entrevigado con cañizo. Interiormente, se puede ver lo que queda de la estructura de la litera y la cocina.</p> <div style="display: flex;"> </div>					
<p>Capas de cubierta:</p> <p>A mediados del siglo XX, se debió incorporar una capa de hormigón en masa que tras el abandono ha precipitado la ruina de la cubierta. Se constata la presencia de algas posidonia, la tierra de sitja o carbonera y la capa de margas.</p> <div style="display: flex;"> </div>					

4c3	FICHA DE CAMPO		CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA		1/2
FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016				
DENOMINACIÓN:	Païssa de Can Pou				
LOCALIZACIÓN:	situada a 2,1km de Cala Tarida por la Avda Cala Tarida camino izda 120m. Venda de Dellà Torrent, Poble de Sant Agustí des Vedrà municipio de San Josep de sa Talaia				
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Las tres casas que forman la païssa son dos corrales y un dormitorio con entrada independiente, una de los corrales es el que está en mejor estado.			
En uso	Cerrada	x	Abandonada	x	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:					
<p>Estructura:</p> <p>La estructura es de rollos de sabina local; cubierto el entrevigado con cañizo.</p> <p>Interiormente, se puede ver el pesebre del corral.</p> <p>En zonas ha caído la cubierta original quedando la capa de hormigón apoyada directamente en las viguetas.</p>

<p>Capas de cubierta:</p> <p>A mediados del siglo XX, se debió incorporar una capa de hormigón en masa que tras el abandono ha precipitado la ruina de la cubierta. Se constata la presencia de algas posidonia, la tierra de sitja o carbonera y la capa de margas.</p>

Bordes de cubierta:

El remate de muro superior sobresale con la piedra vista sin cubrir con la capa de hormigón en masa que termina en el encuentro con el muro. La estructura de madera queda vista apoyada sobre los dinteles de los corrales.

Salidas de agua:

Las salidas de agua se realizan con medios troncos de sabelina horadados y sobresaliendo del muro.

Elementos singulares:

La puerta de corrales tiene la configuración característica de la isla. El eje de la puerta está fijado en una madera empotrada en el muro.

4c4	FICHA DE CAMPO	CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA	1/2
FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016		
DENOMINACIÓN:	Païssa d'en Guarxó		
LOCALIZACIÓN:	situada en ctra. Cala Tarida del Embarcador c/v carrer Codola 15. Venda de Dellà Torrent, ses Roques Males-Sant Agustí, Poble de Sant Agustí des Vedrà municipio de San Josep de sa Talaia		
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		El estado de la païssa es de un avanzado estado de ruina.	
En uso	Cerrada	x	Abandonada
		x	En ruina
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:			
<p>Estructura:</p> <p>La estructura es de sabina local; cubierto el entrevigado con ramas de sabina. Se utilizan troncos de forma irregular, que requieren añadidos de piezas para la formación del plano de la cubierta.</p>
<p>Capas de cubierta:</p> <p>Se constata la presencia de algas posidonia y la capa de margas. La capa de tierra de sitja o carbonera, no se ve, probablemente no existió. La capa de posidonia forma una manta continua.</p>

Bordes de cubierta:

El remate de muro superior sobresale con la piedra vista cubriéndose la mitad de su espesor con la cubierta. La viguería queda por debajo de dicho plano horizontal empotrada en el muro.

4c5	FICHA DE CAMPO		CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA		1/1
FECHA DE VISITA:		22 de abril de 2016			
DENOMINACIÓN:		Païssa de Can Mestre de Massa			
LOCALIZACIÓN:		situada en ctra. De la Bassa. Venda de Dellà Torrent, La Bassa-Sant Agustí, Poble de Sant Agustí des Vedrà municipio de San Josep de sa Talaia			
MAPA UBICACIÓN:
ESTADO DE LA VIVIENDA:		Habitada, ampliada y modificada.			
☒	En uso	☐	Cerrada	☐	Abandonada
DESCRIPCIÓN:		FOTOGRAFÍAS:			
<p>Estructura:</p> <p>La estructura es de sabina local; cubierto el entrecigado tablillas de madera, <i>tegell</i>.</p>
<p>Capas de cubierta:</p> <p>No se puede observar. La cubierta está modificada.</p>					
<p>Bordes de cubierta:</p> <p>El remate de muro superior sobresale con la piedra recubierto con mortero de cal. La fachada del <i>porxo</i>, lleva remates de teja y vuelos característicos de épocas posteriores al siglo XVIII.</p>
<p>Salida de agua:</p> <p>Las salidas de aguas son distintas en cada casa, respondiendo a la época de construcción, piezas de piedra, cerámica, tubos...</p>

4c6	FICHA DE CAMPO		CUBIERTAS VERNÁCULAS DE TIERRA		1/2
FECHA DE VISITA:	22 de abril de 2016				
DENOMINACIÓN:	Païssa de Cas Catalá o Coroner				
LOCALIZACIÓN:	situada en Ctra Comte c/v carrer cala conta 7. Venda de Dellà Torrent, La Bassa-Sant Agustí, Poble de Sant Agustí des Vedrà municipio de San Josep de sa Talaia				
MAPA UBICACIÓN:

ESTADO DE LA VIVIENDA:		Habitada, ampliada y modificada.			
☐ En uso	☐ Cerrada	☐ Abandonada	☒ x	☐ En ruina	
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFÍAS:					
<p>Estructura:</p> <p>La estructura de los muros en ruina, permite ver la doble capa de piedras y el mortero interior con piedras menores. No hay piedras que aten las dos caras del muro.</p> <p>Las cubiertas están totalmente caídas.</p>

4.3.- Conclusiones constructivas:

Como quedó indicado en el comienzo del capítulo, la cubierta de tierra se compone de tres capas: una exterior de tierra, una intermedia de tierra carbonera y la interior de algas posidonia. Como resultado de los trabajos de campo, se ha comprobado que esa descripción se corresponde en la realidad con las siguientes capas (Fig. 4.2):

Figura 4.2: Encuentro de cubierta con muro perimetral

- Los materiales empleados en la capa exterior son tierras de colores blanco amarillentas, con tonalidades azuladas en algún caso. Se obtienen de zonas localizadas de la isla y no siempre en el entorno más próximo de la vivienda. El material, aunque localmente se denomina *argila* (arcilla), geológicamente se corresponde con margas o margo calizas.
- Esa capa exterior de margas tiene unos espesores de 10 cm, que pueden variar por las pendientes. Sorprende que esta dimensión sea bastante inferior a lo indicado por la bibliografía referida a las cubiertas de Ibiza (que habla hasta de 30cm), así como también a la de otras cubiertas de la cuenca mediterránea. (que podrían llegar a 40cm). Esto permite suponer que este material debe tener muy buen comportamiento hídrico, cosa que se ha buscado confirmar con los ensayos.
- La capa intermedia de tierra de "*sitja*" o carbonera, ya sea proveniente de los rescoldos de los hornos de cal o de carbón, tiene un espesor de aproximadamente 8 - 10 cm. El hecho de que en algunos corrales y casas abiertas esta capa no exista, podría querer decir que es innecesaria en edificios no vivideros, lo cual podría asociarse a una posible función de aumento de inercia térmica de esta capa. Esta afirmación requeriría un estudio que no se ha abordado en la presente investigación.
- La capa interior de alga posidonia tiene un espesor de unos 2 a 3 cm, aunque es muy probable que en el momento de su colocación, el espesor fuera mayor antes de sufrir la compactación por el peso de las capas superiores. La obtención de las algas (material arrancado por el mar en las calas), supone el aprovechamiento de materiales sin alterar ecosistemas, limpiando la costa. Además la colocación de las mismas tal cual son recogidas, con sal y enredadas las largas hojas de la posidonia, forma una capa entretejida y continúa en superficie que se mantiene en el tiempo.
- La estructura de rollizos de sabina local, el entrevigado se cubre con "*tegel*" o "*teixell*", tablillas de sabina, con tableros de marés en zona de viviendas y cañizo o ramas de sabina o brezo llamado "*sapell*" principalmente en corrales.

- Las capas que forman la cubierta, margas, tierra de carbonera, algas posidonia y elemento de apoyo superficial (tablillas, cañizo, ramas,...) cubren la mitad del muro perimetral de cada casa, la otra mitad del muro supera la altura de la cubierta y protege la unión de ambos cubriéndolo con la última piedra. (Fig. 4.2)
- La intersección de varias cubiertas con los muros centrales se producen a distintas alturas y siempre se mantiene el mismo criterio de protección de la junta de unión por el peto del muro. (Fig. 4.3)

Figura 4.3: Encuentro cubierta con muro central.

- Las salidas de agua tiene la misma solución utilizando distintos materiales, medio tronco de sabina horadado, teja curva o piedra tallada. Se apoyan a la altura de la cara superior de la capa intermedia de tierra carbonera, y la capa de margas avanza sobre el meón evitando juntas. Realizándose en la mitad exterior del muro. (fig. 4.4)

Figura 4.4: Salida de agua

- Las salidas de humo o ventilación se realizan con tinajas con el fondo roto, que facilita el montaje de las distintas capas de la cubierta. (Fig. 4.5)

Figura 4.5: Salida de humos.

4.4.- Comparativa de secciones con la sección de Ibiza

Las cubiertas planas de tierra tienen algunas características comunes, si se comparan diferentes ejemplos de zonas geográficas próximas entre sí, y con situaciones histórico-culturales similares, se aprecian variaciones de los materiales y de los espesores que las forman, aunque se mantienen siempre las mismas capas y su posición dentro de la sección de la cubierta. En el primer esquema comparativo (Fig. 4.6) se comparan las secciones de la zona oeste de la cuenca del Mediterráneo, recogiendo las dos variaciones de sección de Maleka y P. Meda Corpus para Grecia, y las definidas para Chipre, Turquía, Palestina, Jordania y Líbano.

Figuras (a) a (d): secciones de Grecia (cfr Fig 2.1 a 2.4); Figura (e): Chipre (cfr Fig. 2.5); Fig. (f): Turquía (cfr Fig.2.6); Fig. (g): Palestina(cfr Fig. 2.7); Fig. (h): Jordania (cfr Fig. 2.8); Fig. (i): Líbano (cfr Fig. 2.9).

Figura 4.6: Comparativa secciones de las cubiertas de la cuenca este del Mediterráneo.

La tierra, aunque próxima, se busca que tengan unas características concretas, como en Grecia, que se utilizan tierras de origen volcánico.

En la comparativa también podemos observar que las algas o plantas se colocan cuando sobre la estructura se crea la superficie con lajas de madera, o elementos de origen vegetal, en los casos que se utilizan lajas de piedra no se incorpora esta capa.

Los espesores totales de tierra están entre los 25 a 40cm, cuando son menores se cubren con una capa de mortero de cal, o es la zona superior de la bóveda que forma la cubierta, incrementándose su espesor según se llega a borde.

En la comparativa de las cubiertas del oeste de la cuenca mediterránea (Fig. 4.7) con tres secciones de África Bereber, tres de la península Ibérica e Ibiza, también se observa que sus espesores oscilan entre 20 a 40cm, aunque por incorporaciones anuales crecen de sección en algunas de ellas, hecho que se recoge en la bibliografía estudiada donde se transmite que estos crecimientos pueden llegar al medio metro (Gil Albarracín, 1992) (4) o necesidad de reconstruir las últimas capas como indica en los trabajos realizados por Meda Corpus; En la sección de Ibiza no sufre incrementos considerables de sus espesores, ya que los montoncitos incluidos son mínimos y con el objeto de rellenar las escasas fisuras por secado del material tras las lluvias.

(j): Djené(cfr fig. 2.12); (k): Mzab (cfr Fig. 2.11); (L): Sokoura (cfr Fig. 2.10); (m): Las Alpujarras (cfr Fig. 2.13); (n): Marquesado de Zenete (cfr Fig. 2.14); (ñ): Almería (cfr Fig. 2.15); (o): Ibiza

Figura 4.7: Comparativa secciones de las cubiertas de la cuenca oeste del Mediterráneo.

Mientras que en las cubiertas africanas, la tierra se mezcla con otros materiales y se simplifica las capas, en España se elige tierras arcillosas, limpias y cuidadas en su extendido. La presencia de la capa vegetal también se corresponde con la presencia de planos de apoyo de materiales vegetales: tablillas de madera, cañizos, ramas o brezos.

En el caso de Ibiza, aunque las cubiertas planas de tierra se realizan con los materiales presentes en el entorno de la construcción, estos son escogidos, localizándose el material que mejor responde para la impermeabilización; lo mismo ocurre en Granada, Almería o Grecia. Esta

afirmación no podemos hacerla de las otras secciones, por no tener información suficiente de la bibliografía consultada.

La falta de publicaciones sobre el comportamiento hídrico de estas cubiertas, ni de la respuesta de la sección ante las precipitaciones, obliga a realizar unas primeras hipótesis sobre dicho comportamiento, especialmente en lo que se refiere a la capa superior, cuya misión, y en conformidad a la bibliografía, sería la impermeabilización de la cubierta. Posteriormente se ha buscado confirmar dicha hipótesis mediante unos primeros ensayos. En la bibliografía se identifica la capa vegetal inferior como capa de protección de humedad de la estructura de madera o como aislamiento térmico. A la capa intermedia no se le asigna una función específica. Podría responder a una razón de aislamiento térmico, pero eso no explicaría las variaciones de espesor de dicha capa de unos ejemplos a otros. Si lo que determina el espesor de la capa intermedia es la necesidad de absorber el agua que se infiltra tras la escorrentía, cuanto más estrecha la capa indicaría menor infiltración a través de la capa exterior.

En el caso de las cubiertas de España se tiene tres secciones, cuya capa de impermeabilización es arcilla magnésica; esta capa superior varía de 2,5 a 10 cm, y la capa intermedia en dos de los casos, es del mismo material que la capa superior pero menos trabajada en su extendido.

Si se considera como hipótesis de partida que todas las cubiertas consiguen la misma efectividad ante las precipitaciones, la sección de espesor menor sería la más eficiente de ellas.

El papel de la capa exterior ante la precipitación debería ser conducir la escorrentía del agua hacia la gárgola, y reducir la infiltración. Si esta capa se deteriora, ya sea por las limitaciones del material o por los cambios físicos de la superficie por efectos externos (fisuras por cambios térmicos o de humedad, plantas, etcétera), se podría producir una infiltración de agua a través de ella, llegando a la capa intermedia, la cual debe retener ese agua infiltrada y evitar que alcance la capa interior.

Como ya queda dicho, el mayor espesor de esta capa intermedia indicaría o el temor al agua infiltrada o la necesidad de un mayor aislamiento térmico.

La Figura 4.4 muestra que las cubiertas de Ibiza tiene un espesor total claramente inferior a las africanas y entre las demás cubiertas españolas. La capa de acabado formada por las margas tiene un espesor mínimo de 5 cm y no se producen incrementos de los espesores a lo largo del tiempo por refuerzo o reparación. La capa intermedia se mueve en el entorno de los 10 cm. Esto podría significar una mayor eficiencia de esta cubierta.

Para comprobar esta hipótesis de la mayor eficiencia de las margas es necesario ensayar el comportamiento de los materiales de las capas de remate superior, e identificar sus características propias respecto a la lluvia.

4.5.- Conclusiones sobre el Patrimonio Arquitectónico de Ibiza:

El patrimonio de la arquitectura histórica y vernácula de Ibiza está documentado en distintas publicaciones, sin embargo, la pérdida de muchas de estas construcciones, tanto por su alteración constructiva como por su ruina directa y desaparición, es una situación grave y con alto riesgo de desaparición completa.

Suponiendo que han de quedar *casaments*, *païsses* o torres prediales que conserven sus cubiertas históricas y originales, los datos son muy negativos: de 36 *casaments* o *païsses* y cuatro torres prediales visitadas, tenemos 7 *casaments* y 6 *païsses* en ruina; Ca na Rosa y *Païssa* de Can Mestre de Bassal con todas sus casas modificadas. La *païssa* d'en Ribes y un *casament* (A) estaban en obras en 2016, muy probablemente modificadas las cubiertas en la actualidad. 13 *casaments* tienen sus cubiertas modificadas y la de sus corrales en estado original pero en estado de ruina. De las torres prediales, dos tienen las cubiertas modificadas, una ha perdido dicho forjado y la cuarta no hemos podido verla. Estando solo tres de las cubiertas originales en buen uso y mantenidas, las correspondientes al molino de sangre, Can Pep Cova y un *casament* del núcleo de Balafia. Es decir, tres construcciones de un total de cuarenta, o lo que es lo mismo se conservan las cubiertas en un 7,5% de las edificaciones vernáculas e históricas de Ibiza en el mejor de los casos.

Bibliografía Capítulo 4:

1. **Ribas, JM; Roig, S.** *Païses. Un món per a no oblidar*. Ibiza : Mediterrània Eivissa, 2014.
2. **Serra Rodríguez, JJ.** *Fortificacions Rurals a l'illa d'Eivissa*. Ibiza : Mediterrània-Eivissa; Consell Insular d'Eivissa i Formentera, 2000.
3. **Joachim, F y Rotthier, PH.** *Eivissa. El Palau Pagès*. Bruxelles (Belgium)/Sant Josep (Eivissa) : TEHP, 1984/1991.
4. **Gil Albarracín, Antonio.** *Arquitectura y Tecnología Popular en Almería*. Almería : Griselda Bonet Girabet GBG, 1992.
5. **Flores, Carlos.** *Arquitectura Popular Española Tomo IV*. s.l. : Aguilar, 1973.
6. **Ferrer Abarzuza, Antonio.** Torres e Iglesias Rurales de Ibiza: Fortificaciones para la Defensa de una Población Dispersa. [aut. libro] Pedro Luis Huerta Huerta y Miguel Ángel García Guinea. *La Fortificación Medieval en la Península Ibérica*. Aguilar de Campoo (Palencia) : Fundación Sta María La Real, 2001.

5.- ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CAPA EXTERIOR DE LA CUBIERTA PLANA DE TIERRA.

5.1.- Determinación de las cualidades características de la capa exterior.

El comportamiento de las aguas en el terreno esta profusamente estudiado por los ingenieros de caminos y agrónomos. Para la caracterización del comportamiento de la cubierta de tierra, en esta Tesis se utiliza la parte de la hidrología que estudia las propiedades del terreno superficial.

En los tratados clásicos de hidrología se analiza el comportamiento del terreno para determinar el potencial de acuíferos de la zona y su explotación. Los conceptos con los que se trabaja son, principalmente, la capacidad y velocidad de infiltración, que se definen más abajo.

La Infiltración o humedecimiento del suelo es el volumen de agua que procedente de las precipitaciones, en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo (Custodio, 2001) (1). La infiltración depende de las características de la tierra y del fluido: compactación del terreno, la presencia de vegetación o la pendiente de la superficie, la humedad previa del terreno, su temperatura, el espesor de la lámina de agua, su turbidez y la temperatura de la misma.

P: Agua de lluvia (precipitada), E: Escorrentía, I: Agua infiltrada y retenida por el terreno, E_v : Agua evaporada del terreno
G: Agua gravítica, infiltrada al terreno, no retenida por este y descendente hacia el acuífero.

$$P = E + I \text{ para } I \leq CC$$

$$P = E + CC + G + E_v \text{ siendo } I = CC + G + E_v$$

Figura 5.1: Ciclo del agua.

De acuerdo con la teoría, el análisis del comportamiento del agua de lluvia que llega a la superficie de la tierra (agua precipitada, P) (Fig. 5.1), determina que una parte se infiltra hacia el interior (agua infiltrada, I) y otra parte corre por la superficie (agua de escorrentía, E). Del agua infiltrada en el terreno, una parte se retiene entre los poros del terreno, según la Capacidad de

Campo (**CC**) del mismo, y otra parte o evapora desde la superficie (**E_v**) o desciende a capas inferiores (agua gravídica, **G**).

$$P = E + I \text{ (mm)} \quad [2]$$

Siendo **P** la precipitación de lluvia (mm), **E** el agua escurrida por superficie (mm) e **I** el agua infiltrada en la tierra para lo que $I \leq CC$ para ser íntegramente retenida por el terreno. Si $I > CC$, entonces:

$$I = CC + G + E_v \text{ (mm)} \quad [3]$$

Y por tanto:

$$P = E + CC + G + E_v \text{ (mm)} \quad [4]$$

Donde **G**, es el agua que desciende por gravedad y no retiene el terreno, **E_v** es el agua infiltrada que se evapora a la atmósfera y por tanto **CC**, la **Capacidad de Campo** [5] se define como el grado de humedad de una muestra del terreno tras perder el agua gravídica; se relaciona con la **Capacidad de Retención Específica (m_s)** [6][7] según las siguientes fórmulas:

$$CC = 100 \times [(p_f - p_i) / p_i] \text{ (gr/gr; \%)} \quad [5]$$

Siendo **p_f** peso de la tierra saturada y **p_i** peso de la tierra seca.

$$m_s = V_s / V_t \text{ (m}^3/\text{m}^3\text{)}$$

Siendo **V_s** el volumen de agua y **V_t** el volumen de terreno seco. [6]

$$m_s = CC \times \delta_t \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad [7]$$

Siendo **V_s** el volumen de agua infiltrada una vez evacuada el agua gravídica, **V_t** el volumen total del terreno y **δ_t** la densidad aparente del terreno.

El concepto que determina el comportamiento de la capa superior es la capacidad de infiltración (**f**), ya que es la que determina la presencia y cuantía de fluido en capas inferiores [1]. Se define como la máxima cantidad de agua precipitada que puede absorber el suelo en la unidad de tiempo. La capacidad de infiltración inicial (**f_i**) es máxima en un terreno seco, por la fuerte capilaridad que se produce al humedecerse las capas superiores, llegando a un momento en que **f** se hace constante (**f_c**), pues una vez colmatada la tierra, se dificulta el paso. La relación entre la capacidad de infiltración y la precipitación será la que determine la infiltración en el suelo y la escorrentía.

$$f = \frac{V_{agua}}{t} \text{ (mm / h) o (mm/día)} \quad [8]$$

Siendo **V_{agua}** el volumen de agua infiltrada y **t** el tiempo.

Para determinar la capacidad de infiltración los ingenieros utilizan dos tipos de infiltrómetros de tipo “inundador”: Müntz (o de cilindros concéntricos) (Fig. 5.3), y Porchet (de cilindro excavado) (Fig. 5.2). Se utilizan también otros métodos de simulación de lluvia en parcelas más amplias. (Custodio, 2001) (1)

Figura 5.2: Infiltrómetro tipo “inundador”: PORCHET

Fotografía de ensayo donada por don Javier de Villota.
Figura 5.3: Infiltrómetro tipo “inundador” MÜNTZ

Si ahora aplicáramos este esquema al caso de la cubierta de tierra (Fig. 5.1), el agua precipitada (**P**) podría llegar a saturar los huecos de la capa superior (**CC**), y en ese caso, descendería por gravedad en forma de agua grávida (**G**). Esta agua que no sería capaz de retener la capa superior, sería la que podría producir la humedad en las cubiertas de tierra, y por lo tanto, sería esta agua la que debería ser retenida en la capa intermedia de tierra según su propia Capacidad de Campo. El modo de comportamiento de la cubierta sería asimilable al del terreno.

Aplicando estos conceptos a la cubierta de tierra, se ha de considerar que esta consta de dos capas, capa exterior (capa 1) y capa intermedia (capa 2). Cuando el agua de lluvia precipita (**P**), una parte es escurrida (**E**), y otra se infiltra a la capa exterior (**I₁**). El comportamiento óptimo sería que toda el agua infiltrada quedara dentro de la capa exterior, como se representa en la figura siguiente (Fig. 5.3):

COMPORTAMIENTO ÓPTIMO DE LA CUBIERTA DE TIERRA

Figura 5.4: Recorrido del agua en cubierta plana de tierra con comportamiento óptimo.

Esto requiere que I_1 y E sean igual que P y para ello I_1 tiene que ser menor o igual a la capacidad de campo, CC_1 de la capa exterior de la cubierta.

En el caso de que el agua infiltrada (I_1) en la capa exterior superara su capacidad de campo (CC_1), estaríamos en el caso que se representa en la figura 5.5. En ella se ve que de la capa exterior se produce una infiltración hacia la capa intermedia, G_1 . En este caso, la cubierta seguiría funcionando adecuadamente, siempre que esta agua G_1 , sea menor que la capacidad de campo de la capa intermedia (CC_2), es decir, que esta no se saturara. El límite para el adecuado comportamiento de la capa intermedia está precisamente en no superar la capacidad de campo, CC_2 .

COMPORTAMIENTO LÍMITE DE LA CUBIERTA DE TIERRA

Figura 5.5: Recorrido del agua en cubierta plana de tierra con comportamiento límite.

Por tanto la cubierta de tierra efectiva es aquella en la que $I_1 \leq CC_1$, pudiéndose admitir si $I_2 < CC_2$.

En la figura 5.6, se describe el caso de fallo de la cubierta de tierra. Se produciría cuando el agua infiltrada (I_2) en la capa intermedia supera la capacidad de campo de ésta (CC_2). En este caso se producirían goteras por el agua gravídica (G_2).

Figura 5.6: Recorrido del agua en cubierta plana de tierra con fallo en su comportamiento.

5.2.- ENSAYOS.

En esta Tesis se han diseñado y realizado dos tipos de ensayos: en laboratorio, para caracterizar el comportamiento de los materiales naturales que se utilizarán en la capa 1 de la cubierta (determinando las características geológicas, granulometría, capacidad de infiltración y Capacidad de Campo); y en campo, construyendo una cubierta a escala 1:1, para correlacionar el comportamiento de la capa exterior con los ensayos de laboratorio y poder, posteriormente, comprobar la respuesta de esta a una situación real en condiciones de climatología de la comunidad de Madrid y con arcillas locales, estudiadas y analizadas previamente en laboratorio.

5.3- Ensayos en laboratorio

5.3.1.-Metodología.

El objetivo del ensayo es conocer la Capacidad de Campo de los materiales para la capa 1 de la cubierta. Para ello se ha adaptado el método del infiltrómetro de Müntz (fig. 5.3) al laboratorio (Fig. 5.7). Si se observa la figura 5.7, se ve que el ensayo se ha diseñado para que no haya agua de escorrentía (**E**), sino que todo el agua que se echa sobre la probeta (**P**) quede retenida sobre ella (**R**). En el primer momento del ensayo se mantiene la presión constante de agua sobre la superficie al ir incorporando agua cada 5 minutos, conservando el nivel de agua retenida **R**, siguiendo el criterio del método de ensayo de infiltración. Posteriormente se deja de echar agua y toda el agua retenida **R** termina infiltrándose a través de la tierra. Esto lleva a la saturación total de la sección del material, y a identificar el comportamiento en una sección limitada de tierra.

Para la cuantificación adecuada de los distintos parámetros, se limitan las pérdidas por evaporación directa (E_v) de **R** y **G**, tapando la probeta y reduciendo la superficie de pérdida, como se indica en la figura 5.7.

Figura 5.7: Recorrido del agua en probeta

$$P = R + I_1 \quad (mm) \quad [9]$$

$$I_1 = CC_1 + G_1 + E_v \quad (mm) \quad [10]$$

En el ensayo de estas probetas, se espera a que todo **P** atraviese la sección, analizando así el comportamiento de ésta ante una sollicitación límite: como la pendiente es cero, no hay escorrentía y se fuerza la infiltración.

5.3.2.-Materiales para el ensayo

- MARGAS: se toman muestras de dos distintas “Covas”, (canteras locales de Ibiza):
 - Cova de Can Miquelet (Sant Carles de Peralta).
 - Cova Carretera PM 803 (Sant Josep de Sa Talaia).

La caracterización de ambas se ha hecho en el laboratorio CAI de Técnicas Geológicas de la Facultad de Geológicas de UCM, dando el siguiente resultado:

- Cova de Can Miquelet (Sant Carles de Peralta) (**Marga**): 3% Calcita, 50% Dolomita, 47% Filosilicatos de los cuales: 98% Illita-mica y 2% Clorita.
- Cova Carretera PM 803 (Sant Josep de Sa Talaia) (**Margo caliza**): 10% Cuarzo, 70% Calcita, 1% Dolomita, 1% Pirita, 18% Filosilicatos de los cuales: 75% Esmeclita, 24% Illita – mica y 1% Caolinita.
- MARGA de Javea: se toma la muestra en cala Blanca, zona definida geológicamente como: Margas, calizas arenosas y arcillas. (Plano Geológico de España: (1:50.000) Javea 823, 31-32.
- Arena arcillosa de Madrid, (cota de extracción -0,50 m). Extraídas a 28km de la Ciudad, en la zona de encuentro entre las riberas del río Jarama y Guadalix, cribada por tamiz de 125mm. (PGE: Colmenar Viejo 534. 21: Gravas y arenas con cantos. Terrazas bajas) Recogida en la tabla 5.1 su granulometría natural.

La caracterización se ha hecho en el laboratorio de Petrofísica perteneciente al Instituto de Geociencias (CISIC-UCM), dando el siguiente resultado:

- Caracterización mineralógica: cuarzo (50%), feldespato potásico (23%), filosilicatos (11%) y plagioclasas(14%). Formados los filosilicatos por aproximadamente un 69 % Esmeclita, un 20.67% de illita - mica y un 10,32% de caolinita.
- Granulometría: “Franca arenosa” (71,11% arena; 19,47% limos; 9,41% arcillas) (Fig. 5.8 a 5.10),
- Arcilla arenosa de Madrid, (cota de extracción -1,00 m) Extraídas a 28km de la Ciudad, en la zona de encuentro entre las riberas del rio Jarama y Guadalix, cribada por tamiz de 125mm. (PGE: Colmenar Viejo 534. 19-21: Gravas y arenas con cantos. Terrazas bajas) Su granulometría origen se recoge en la tabla 5.1. del anexo.

La caracterización se ha hecho en el laboratorio CAI de Técnicas Geológicas de la Facultad de Geológicas de UCM, dando el siguiente resultado:

- Caracterización mineralógica es: Caracterización mineralógica es: cuarzo (36%), Feldespatos sódicos (27%), plagioclasa (7%) y filosilicatos (30%), compuesto este último por: esmeclita (85%), caolinita (4%) y mica (11%).
- Granulometría: Franca, (Tabla 5.1 del anexo y Fig. 5.10) (50,08% arena, 33% limos, 16,34% arcillas)
- Launa de Granada de cantera: Conocida como Arcilla magnésica. Conforme a la mineralogía es **Marga arenosa magnésica o dolomítica**:
 - cuya mineralogía es: cuarzo (26%) Feldespatos K (4%), plagioclasa (4%), calcita (1%), Dolomita (17%), Pirita (5%) y Folisilicatos (43%) compuesto estos últimos por: Mica-illita (51%), Paragonita (29%) y Caolinita (20%).
 - Granulometría: (Retirada la grava que siempre se indica que se retira para la cubierta): Franca Limosa: (37,96% arena; 50,40% limos; 12,43% arcillas)
- ARENA DE MIGA: (Arenosa) (95,27% arena, 1,9% limos) Arenoso franco, de cantera, para tener un valor comparativo de un material de alta capacidad de infiltración.

Figura 5.8: Granulometría Arcilla arenosa clara en Laboratorio Petrofísica perteneciente al Instituto de Geociencias (CISIC-UCM)

Los datos de la granulometría realizadas en el laboratorio de CAI de Técnicas Geológicas de la Facultad de Geológicas UCM, se recoge en el anexo I.

Figura 5.9: Gráfica de Granulometría.

Figura 5.10: Clasificación de suelos

5.3.3.-Diseño de las probetas

La probeta se realiza con un cilindro transparente de diámetro 90 mm e interior de 84,5 mm, para poder ver el descenso del agua por la sección de la misma. La base se realiza con geotextil fijado al perímetro, que impide la pérdida de materia y permite la salida del agua **G**. La probeta se coloca sobre un soporte de madera con una rejilla de apoyo que la separa del depósito donde se recoge el agua **G**, de diámetro 100 mm, 10 mm mayor que la probeta colocado sobre la balanza de precisión con un calzo de forma que se limita la distancia a la probeta y se reduzcan las pérdidas por evaporación, E_v (Fig. 5.11).

a.- Probeta de tubo de metacrilato.

b.- fijación de geotextil en la base.

c.- Compactación de la tierra.

d.- zona inferior de probeta.

e.- probeta con varilla de medición de nivel.

Fase 1: 1-varilla de medición, 2-tierra de ensayo, 3-soporte de probeta, 4-calzo, R-agua retenida, I-agua infiltrada, G-agua gravídica

Fase 2: 1-Tapa con dos agujeros, 2-tierra de ensayo, 3-soporte de probeta, 4-calzo, R-agua retenida, I-agua infiltrada, G-agua gravídica

Figura 5.11: Probeta, base de geotextil para la retención de la tierra con libre paso del agua y ensayo.

Para la primera fase del ensayo, se coloca una varilla de medición que tras la primera hora y ya en la segunda fase del ensayo se sustituye por una tapa con dos pequeñas aberturas para equilibrar la presión atmosférica, y por tanto permitir la infiltración de R, pero evitando la evaporación.

Se rellena la probeta con la correspondiente tierra en tongadas de 2,5cm de espesor, y compactadas con un peso equivalente a $80,6 \text{ g/cm}^2$.

5.3.4.-Descripción del ensayo

Determinación de la cuantía de agua

Se analizan los datos climáticos locales de Ibiza, obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología de España, AEMET, identificando la cuantía a la que ha de responder la cubierta. Se consideran las precipitaciones medias mensuales y los valores extremos de máximas precipitaciones desde 1944.

El agua **P** que se vierte sobre las probetas será la equivalente a la media mensual (29 mm) es decir, 162,63 gr. Durante el ensayo se mantiene constante, durante una hora, la altura de agua **P** de 29mm, lo cual equivale a una solicitación de lluvia mucho mayor que la real.

Fase Primera del ensayo:

Se vierte el agua **P** y cada 5 minutos se va reponiendo la cantidad necesaria para mantener el nivel, controlando el peso de agua que se echa. La cuantía de agua repuesta equivale a la que se ha infiltrado en dicho intervalo, y con ello se cuantifica la Capacidad de Infiltración (**f**) de la tierra analizada, y su evolución.

$$f = \frac{\Delta V_{\text{agua}}}{t} \text{ (mm/min) o (mm/h)} \quad [8]$$

Fase Segunda del ensayo:

Transcurrida la hora en la que se mantiene el nivel de **R**, se deja de reponer agua. Se va midiendo, a partir de ese momento, el ritmo de infiltración (midiendo cada 5 minutos la altura del agua todavía retenida **R**), y además se va pesando periódicamente **G**.

Los datos que se analizan son: el comportamiento del material ante la infiltración de agua, la retención en superficie y su saturación. Estos datos permitirán determinar el comportamiento de dicho material ante las precipitaciones.

Con los resultados se obtiene la **CC** de los distintos terrenos, su capacidad de retención, y con ello la sección necesaria para una determinada precipitación.

Los ensayos se realizaron durante el mes de julio y con agua a temperatura ambiente.

5.3.5.- Resultado de Ensayos de Laboratorio

PRIMERA FASE DE ENSAYO:

En la fase primera del ensayo de 1 hora de duración, se obtiene la Capacidad de Infiltración de los terrenos.

Si se observan los gráficos correspondientes a las distintas probetas (Fig. 5.12 a 5.19), se aprecia el incremento de agua **P** que se precisa para mantener el nivel de **R**, debido al ritmo de infiltración. (Tabla 5.2). El valor de **P**, es igual al sumatorio de agua retenida sobre la superficie **R**, el agua infiltrada en el material **I** y en su caso el agua gravídica **G** (el agua que no puede retener el material).

En la tabla se muestra la evolución del agua precipitada **P**, **P_i** precipitación de inicio, cuyo nivel hemos de mantener durante una hora, cada cinco minutos se va incorporando el agua necesaria para mantener el nivel de **P**, que es el agua que se ha infiltrado en la sección del terreno. La cantidad de agua inicial más toda la que se ha incorporado durante esta hora es **P_{final}**. La última columna **n** representa la proporción **P_{final}/P_{inicial}**, necesaria para mantener **R** constante, durante la primera fase de ensayo. Cuanto más próximo el valor a 1, menor cantidad de agua se ha tenido que incorporar.

Tabla 5.2.: Incrementos de P para mantener constante R.

Material	P _{inicial}		P _{final}		n
	gr	mm	gr	mm	
Arena de miga (Probeta 1)	157,02	28	426,01	75,97	2,71
(Probeta 2)	162,63	29	399,91	71,31	2,46
Arena Arcillosa (Madrid -0,50m)	112,16	20	249,95	44,57	2,23
Arcilla arenosa (Madrid -1,00m)	170,23	30,35	292,51	52,16	1,72
Launa (Arcilla magnésica)	170,23	30,35	251,84	44,91	1,48
Marga Jávea (Cala Blanca)	170,23	30,35	256,90	45,81	1,51
Marga (Can Miquelet)	158,58	28,28	232,31	41,42	1,46
Margo Caliza (Sant Josep)	162,63	29	214,75	38,29	1,32

El agua infiltrada va aumentando hasta su máximo, momento en el que empieza a aparecer **G**, (marcado por una línea roja en las gráficas). A partir de ese momento, **G** crece mientras que **I** permanece prácticamente constante. La cantidad de agua que llega a gotear se visualiza por el área de color verde en las gráficas.

Lo dicho describe el comportamiento de la arena de miga y el de la arena arcillosa, pero no ocurre así en el resto de las tierras, porque en estas no aparece el goteo de **G** en toda esta primera hora. (Fig. 5.15 a 5.19).

Analizando la Capacidad de Infiltración (**f**) de las distintas probetas se observa que, para el caso de arena de miga, arenas arcillosas y arcillas, la capacidad de infiltración inicial **f_i** es muy superior a la final; esto hace que se requiera una incorporación mayor de agua para mantener el nivel de agua retenida **R**, pudiéndose observar en la pendiente de la línea **P** en los gráficos: donde se ha tenido que incorporar más agua para mantener constante la altura de **R**, al final el valor final de **P** es mayor.

Figura 5.12 y 5.13: Gráfica del Ensayo de Capacidad de Infiltración de Arena de Miga (1 y 2) de duración 1 hora.

Figura 5.14 y 5.15: Gráfica de ensayo de CI de Arena Arcillosa (Madrid a -0.50m) y Arcilla Arenosa (Madrid a -1,00m) de duración 1 hora.

Figura 5.16 y 5.17: Gráfica del ensayo de CI de Launa (marga magnética de Granada) y Marga (Javea) de 1 hora de duración.

Figura 5.18 y 5.19: Gráficas Ensayo CI de Marga (Can Miquelet, Ibiza) y de Margo – caliza (Sant Josep, Ibiza) de 1 hora de duración.

En el análisis de f , y su evolución en el tiempo para los distintos materiales (tabla 5.3), tenemos un f_i que es mayor que f_c (como se explico en la página 2) La diferencia entre estos valores es grande en arenas y arcillas, siendo muy pequeña en los datos de margas y margo calizas.

En las gráficas de Capacidad de Infiltración (f) (Fig. 5.20 a 5.23), se ha representado la variación de esta magnitud durante el ensayo.

La infiltración inicial f_i es muy rápida, y va disminuyendo hasta estabilizarse (f_c). Algunos materiales tardan mucho en alcanzar esta estabilización (unos 15 minutos), mientras que otros lo hacen en 5 minutos.

La gráfica 5.20, representa la infiltración de la arena de miga, que inicialmente tiene una $f_i = 2,27$ mm/min, a los 5 minutos desciende a 0,87 mm/min y a los siguientes 5 minutos está prácticamente estabilizada. Se calcula la f_c como promedio en este periodo constante, con un valor de 0,58 mm/min.

La arena arcillosa tiene un comportamiento similar, $f_i = 3,34$ mm/min estabilizándose en 0,14 mm/min.

$f = \Delta P/t$ (mm/min)

Capacidad de Infiltración I

Figura 5.20: Gráfica de f de materiales arenosos.

En el gráfico 5.21, se visualiza el comportamiento de la arena arcillosa, arcilla arenosa y Launa.

La arcilla arenosa y la Launa presentan un comportamiento similar, aunque tardan un poco más en estabilizarse. Los valores de f_c son menores, en torno a 0,18 y 0,13 mm/min respectivamente.

$f = \Delta P/t$ (mm/min)

Capacidad de Infiltración II

Figura 5.21: Gráfica de f de materiales arcillosos.

La gráfica 5.22, representa el comportamiento de la Launa junto con las margas de Javea, Ibiza y la margo caliza. Las margas de Javea e Ibiza, como la margo caliza, se diferencian principalmente de la Launa por tener una f_i baja, próxima a su f_c . La margo caliza tiene una f_c todavía más pequeña que las margas, la mitad de la menor de ellas. Lo que permite esperar un muy buen comportamiento de este material.

$f = \Delta P / t \text{ (mm/min)}$

Capacidad de Infiltración III

Figura 5.22: Gráfica de f de materiales margosos.

Tabla 5.3: Valores de la Capacidad de Infiltración de los materiales. (mm / min)

MATERIAL	f_i	f_5	f_{10}	f_{15}	f_{20}	f_{25}	f_{30}	f_{35}	f_{40}	f_{45}	f_{50}	f_{55}	f_{60}	f_c
Arena de Miga	2,27	2,27	0,87	0,62	0,53	0,58	0,62	0,55	0,51	0,66	0,39	0,48	0,57	0,58
Arena Arcillosa (Madriz -0,50m)	3,34	3,34	0,56	0,25	0,33	0,00	0,14	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
Arcilla Arenosa (Madriz -1,00m)	3,60	3,60	2,39	0,21	0,14	0,23	0,26	0,08	0,26	0,18	0,19	0,14	0,10	0,18
Launa (Granada)	2,60	3,60	1,59	0,16	0,12	0,12	0,23	0,13	0,10	0,05	0,14	0,05	0,19	0,13
Marga J. (Cala Blanca)	1,61	0,80	1,33	0,57	0,07	0,78	0,16	0,08	0,12	0,17	0,09	0,07	0,08	0,18
Marga I. (Can Miquelet)	0,44	0,44	0,39	0,22	0,26	0,29	0,13	0,30	0,09	0,18	0,21	0,02	0,04	0,17
Margo Caliza (Sant Josep)	0,83	0,83	0,41	0,02	0,09	0,14	0,10	0,00	0,00	0,09	0,04	0,13	0,01	0,06

De los datos de la Capacidad de Infiltración de la tabla 5.3, podemos obtener las gráficas teóricas de cada una de las tierras, recogiendo f_i y f_c , y manteniendo el tiempo de alcance de la *Capacidad de Infiltración* constante.

Figura 6.5: Gráfica de C.I. (*f*) de arena de miga.

Figura 6.6: Gráfica de C. I. (*f*) de la arena arcillosa.

Figura 6.7: Gráfica C. I. (*f*) de marga Can Miquelet.

Figura 6.8: Gráfica de C. I. (*f*) de la margo caliza de Sant Josep.

FASE SEGUNDA DE ENSAYO:

Como ya quedó dicho, la segunda fase del ensayo se desarrolla sin añadir más agua precipitada **P**, y finaliza cuando **G** deja de gotear (y en ese momento se puede calcular **CC**), o cuando, pasadas 48 horas, no se produzca la aparición de **G**.

En esta fase se contabiliza el ritmo de infiltración del agua, que crece hasta valores muy próximos a su **CC**, manteniéndose en esos valores y ajustándose al poco tiempo de finalizar el goteo de **G**.

El agua gravídica **G** gotea con una velocidad constante, pudiéndose determinar el caudal de paso por la sección (V_G (mm/h)).

Se recogen las gráficas de todos los tipos de tierras ensayadas (Fig. 5.24 a 5.33).

El resultado cuantificado de los ensayos, se recoge en la tabla 5.4:

Tabla 5.4: Resultados de los ensayos de materiales:

Material	T_{ensayo} h	f_i mm/min	f_c mm/min	CC %	m_s %	V_G mm/h	G %	G: $\Delta t (t_i; t_f)$ h:h
Arena de miga (Probeta 1)	2:35	2,20	0,60	25,04	25,4	24,96	74,16	00:05 ; 02:15
Arena de miga (probeta 2)	2:40	3,00	0,56	24,30	36,92	25,48	72,54	00:15 ; 02:05
Arena arcillosa (T. Madrid -0,50m)	5:00	3,34	0,14	23,40	38,48	7,59	52,87	00:15 ; 04:00
Arcilla arenosa (T. Madrid -1,00m)	21:15	3,00	0,18	33,38	68,23	0,90	34,61	01:05 ; 07:10
Launa (Arcilla magnésica)	54:45	2,59	0,13	33,06	69,01	0,15	16,40	02:55 ; 27:25
Marga Javea (Cala Blanca)	53:30	1,61	0,18	22,87	40,42	0,59*	55,92*	05:20 ; 48:30
Marga Ibiza (Can Miquelet)	81:30	0,44	0,17	40,50	59,16	0,16	21,46	03:10 ; 73:50
Margo caliza (Sant Josep)	49:00	0,83	0,06	22,01	34,59	0,00	0,00	00:00 ; 00:00

(*)El agua de gravedad, **G**, aparece a las 5 horas veinte minutos, manteniendo una V_G de 0,17 mm/h, aumentando a un valor de V_G de 1,37 mm/h durante las siguientes catorce horas, (Durante este periodo se observa que **G** se produce principalmente por el perímetro de la tierra en contacto con el cilindro) volviendo posteriormente a un valor 0,19 mm/h. El valor de V_G^* que aparece en la tabla es el valor medio de estos tres. Esta anomalía se observa en la gráfica de representación de **G**, (Fig. 5.23) mostrándose el salto en la pendiente.

Cada gráfica representa el ensayo completo. En el eje X, se puede leer el tiempo en horas que ha durado el ensayo, y el eje Y representa el agua **P** vertida en la probeta. La zona verde expresa el agua gravídica **G**, que gotea. La zona anaranjada representa el agua infiltrada **I** en la sección de tierra y retenida por ella, y la zona azul es el agua retenida en superficie **R**.

La línea roja continua indica el momento en que empieza a gotear **G**, por la cara inferior de la probeta, la línea gris marca el momento en que no queda agua retenida en superficie ($R=0$), y la roja discontinua, cuando deja de gotear **G**; a partir de este momento se obtiene la Capacidad de Campo, **CC**, dividiendo el valor medio de la altura de la zona naranja, ($PP_f - PP_i = PP_{\text{agua infiltrada}}$) entre el peso de la probeta PP_{probeta} .

En algunas probetas, transcurrido bastante tiempo, el agua permanece retenida en superficie con una altura constante y sin producirse goteo. Ese momento queda representado con una línea verde. En estas probetas ese es el momento en que se obtiene **CC**.

La diferencia de las longitudes de las gráficas viene a expresar la diferencia de duración de los distintos ensayos, puesto que hay tierras que a los 5 minutos ya producen goteo, mientras que

en otras pueden transcurrir hasta 49 horas sin que aparezca. Una de las gráficas ha tenido que ser dividida en dos tramos porque el ensayo duró 82 horas.

Fig. 5.23: Gráfica ensayo completo Arena de miga 1

Figura 5.24: Gráfica de ensayo completo de Arena de miga 2

Comienzo G; Final G; Finalización R

Fig. 5.25: Gráfica ensayo completo Arena arcillosa (de Madrid extraída a -0,50 m.)

Comienzo G; Final G; Finalización R

Fig. 5.26: Gráfica ensayo Arcilla Arenosa (de Madrid extraída a -1,00 m.) (Misma escala que arcillas arenosas)

Fig. 5.27: Gráfica ensayo completo Arcilla arenosa (de Madrid extraída a -1,00 m.)

Fig. 5.28: Gráfica ensayo Launa (marga magnética de Granada). (Misma escala que arcilla arenosa)

Fig. 5.29: Gráfica completa ensayo Launa (Marga arenosa magnésica de Granada).

Fig. 5.30: Gráfica ensayo Marga de Javea (Alicante).

Fig. 5.30: Gráfica ensayo Marga de Javea (Alicante).

Fig. 5.31: Gráfica completa ensayo Marga 2 (Margo caliza de Sant Josep en Ibiza).

Fig. 5.32: Gráfica completa ensayo Marga 1 (Marga de Can Miquelet de Ibiza). Primeras 42 horas.

Fig. 5.33: Gráfica ensayo Marga 1 (Marga de Can Miquelet de Ibiza). (Últimas 40 horas)

Los gráficos que describen el comportamiento de las tierras, se pueden completar con los que representan la velocidad de goteo del agua **G**. (Fig 5.23 y 5.33)

Si comparamos el agua gravídica **G**, de cada una de las probetas, una vez saturada la sección, observamos cómo se comporta de forma lineal y con una pendiente que define el comportamiento de los terrenos. (Fig. 5.34). La pendiente de las rectas representa la velocidad de paso del agua gravídica (V_G) (Tabla 5.5)

Tabla 5.5: Datos referidos a **G**.

MATERIAL	V_G (mm/h)	PENDIENTE (°)
Arena de miga	25	84
Arena arcillosa	7,5	75
Arcilla arenosa	0,90	50
Launa	0,15	8
Marga de Javea	0,19 (0,59)	8
Marga Can Miquelet	0,28	4
Margo caliza Sant Josep	0,00	0

Como se ve en el caso de la margo caliza, la pendiente es 0°, ya que no se produce **G**.

Esta gráfica permite catalogar fácilmente un terreno en referencia a los materiales estudiados, permitiendo valorar su respuesta al agua.

En el caso de la marga de Javea, como ya se había comentado en la tabla 5.4, se percibe muy bien la anomalía del comportamiento (salto en la gráfica de la Fig. 5.34), producido por el escurrimiento perimetral en un momento determinado. Por ello, la gráfica correcta sería la Figura 5. 35, donde se ha eliminado este fenómeno.

Figura 5.34: Gráfica de Agua Gravídica, **G**.

Figura 5.35: G: Agua gravídica corregida.

En el caso de las arenas de miga (Fig. 5.23 y 5.24), el ensayo es rápido debido a que tanto su f_i como f_c tienen valores altos. El valor de CC es de 25%. La V_G es elevada (Pendiente de la curva, con una visión más clara en la figura 5.34 ó 5.35). Todos estos valores indican un comportamiento de material permeable, no apto para cubierta.

El ensayo de la “arena arcillosa”, obtenida en Madrid (Fig. 5.25) muestra un comportamiento mejor, ya que su capacidad de infiltración constante (f_c) se reduce, aunque la velocidad de goteo V_G , sigue siendo alta (4 veces menor que la de la arena de miga).

Las “arcilla arenosa” de Madrid de cota -1,00m (Fig. 5.26 y 5.27), tiene aún mejor comportamiento, ya que con valores de f_i y f_c algo mayores pero similares a las arenas arcillosas, su V_G se reduce considerablemente, siendo su CC similar a la Launa de Granada.

En el ensayo de la Launa (Fig. 5.28 y 5.29), tras finalizar el goteo (que es muy lento, comenzando a las 7 horas y terminando a las 52 horas), aún quedaron 3 mm de agua retenida en superficie (R), que permanecieron estables y sin goteo hasta la finalización del ensayo a las 54 horas. Los valores de f_i , f_c y V_G se reducen considerablemente lo que manifiesta un comportamiento casi impermeable.

El ensayo realizado a la marga de Cala Blanca, Javea (Fig. 5.30), tiene una duración similar a la Launa. Comparada con ella, tiene menor infiltración inicial, pero es mayor el valor de su infiltración constante.

La marga obtenida de la Cova de Can Miquelet (Fig. 5.32 y 5.33) muestra valores de capacidad de infiltración y velocidad de infiltración bajos, similares a los de la Launa, salvo f_i que es claramente inferior. Este material tiene una capacidad de campo CC elevada, (es capaz de almacenar hasta un 40% de agua), sin embargo G aparece antes de llegar a la saturación. Este ensayo puede haber sido alterado porque se produjeron vibraciones en la probeta aproximadamente a las 10 horas, momento en el que aumentó la velocidad de infiltración, volviendo después a valores normales.

En el caso de la marga caliza de la Cova de PM 803 en Sant Josep (fig. 5.31), el ensayo finalizó a las 49 horas, al no haberse producido **G**. El agua quedaba retenida en superficie de forma estable desde las 22 horas 20 minutos del comienzo. (Se retuvo el agua más de 26 horas sin variaciones) Esto indica que este material retuvo un 45,16% de **P**: 21 mm. El valor de **CC** es de 22,01%. Es el material con los valores de capacidad de Infiltración más bajos, tanto en el momento inicial como en valores constantes, (aunque el inicial es mayor que el de la marga de Can Miquelet) El valor de f_c se reduce casi a la mitad de la Launa y el resto de las margas.

Comportamiento ante el secado.

Tras el secado al aire (en ambiente caluroso) de las probetas se observa su comportamiento superficial (Fig. 5.36). Tanto la marga caliza como la marga de Ibiza y la launa de Granada tienen una fisuración perimetral y fina, muy poco profunda (del orden de 1 ó 2 mm). En la marga de Javea, aunque la fisuración es perimetral, es muy marcada y de mayor profundidad (unos 5mm). Las arenas arcillosas de Madrid se cuarteán más, y con mayor profundidad cuanto mayor es su proporción de arcilla. (En el caso de mayor profundidad, que es el de arcilla arenosa es de 10 mm). Aunque las fotos el fenómeno parece grave, la realidad es que nunca se fisura todo el espesor de la probeta).

Figura 5.36: Imágenes del cuarteo de probetas tras el secado.

Bibliografía Capítulo 5:

1. **Custodio, Emilio y Varios.** *Hidrología Subterránea*. [ed.] Emilio Custodio y Manuel Ramón Llamas. segunda. Barcelona : Ediciones Omega, S.A., 2001. Vol. 1.

6.- Ensayos en Cubierta

Como ya se ha dicho, uno de los objetivos de los ensayos es relacionar los resultados obtenidos en el laboratorio, con el comportamiento de los materiales en la cubierta. Para ello, se diseña un segundo ensayo, en el que está presente la escorrentía y se construye una modelo a escala real⁸ en la provincia de Madrid, que se monitoriza para analizar su respuesta ante una situación climática (en este caso) de Madrid.

La cubierta tiene una dimensión en planta de 9m² (3mx3m). Este tamaño se elige por ser aproximadamente el tamaño de los cuarteles de cubierta de Ibiza, que tiene dimensiones de 3 x 3 ó 3 x 4 m.

El modelo construido no es una réplica de la cubierta de Ibiza debido a la imposibilidad económica de traer los materiales desde la isla. Se analizó las margas de Jávea, por si su comportamiento fuese similar a aquellas y reducir costes de transporte, pero el comportamiento se diferenciaba de las primeras. Por ello y siguiendo el criterio de la arquitectura vernácula de “Utilizar materiales locales”, se decidió caracterizar las arenas arcillosas de la zona y formar la estructura con bóveda tabicada de rasillas (estructura también utilizada en las cubiertas planas aunque no de forma generalizada) y de material de uso más común en el lugar. Para el resto de las capas de la cubierta (capa vegetal e intermedia) se utilizan materiales más comunes del entorno, sin que ello afecte al objetivo final: la cuantificación del comportamiento ante la lluvia de la capa exterior en condiciones climatológicas reales.

La estructura soporte, como ya hemos dicho, consiste en una bóveda tabicada de doble tablero de rasilla soportada en cuatro pilares, sobre la que siguiendo las descripciones estudiadas, se rellena el trasdós con ripio (grava de río de diámetro variable), una capa de paja de 5cm de espesor y 30cm de arena de miga, mezclada con cal⁹ (Hidróxido Cálcico, Cal en polvo) en una proporción 1 a 8 y 1 a 3 en superficie. Sobre todo ello se tiende una capa de acabado con la tierra ensayada en laboratorio con una pendiente del 3%, valorando los datos obtenidos. (Fig. 6.1)

⁸ Construida por Carlos Martín Jiménez, director de CREA Restauración de Bienes Culturales S.L., desde la que ha trabajado en numerosas obras de rehabilitación. Es ESPECIALISTA EN: Bóvedas y arcos de piedra, Bóvedas encamadas, Bóvedas tabicadas, Otras bóvedas y arcos de ladrillo, Formación, Yaserías.

⁹ Recomendación de Carlos Martín Jiménez, para mejorar la respuesta ante el agua de la arena de miga.

Figura 6.1: Sección de Cubierta de ensayo

6.1.- Metodología:

El objetivo es comprobar la respuesta hídrica de la cubierta plana de tierra ante la precipitación natural y compararla con los resultados obtenidos en el laboratorio. Para ello, se sigue la metodología de control y medición de los ensayos de infiltración en terrenos por riego, contabilizando el agua de escorrentía y monitorizando la cubierta, como luego se explicará, midiendo la infiltración producida entre las capas.

En el ensayo de la cubierta se tomarán los valores reales de la precipitación P y la escorrentía producida, E_{real} . Se calculará la infiltración real, I_{real} , la obtenemos de las anteriores:

Si $P = E + I$, entonces $I_{real} = P - E_{real}$

Estos resultados reales se van a comparar con los que se van a obtener mediante una tabla de cálculo que va a utilizar los datos de Capacidad de Infiltración f medidos en el capítulo 5 y los resultados de escorrentía que se obtienen del ensayo previo que se describe en 6.2.

6.2.- Ensayos previos:

Antes de la construcción, se realiza un ensayo en laboratorio para caracterizar el comportamiento de las tierras ante precipitaciones con presencia de escorrentía. Los materiales que se ensayan son: una marga de can Miquelet y una marga caliza de Sant Josep; arena arcillosa de Madrid (Como material local que se utilizará en la Cubierta prototipo) y arena de miga como material de referencia.

El punto crítico de una cubierta de tierra sería el entorno de la gárgola, donde se concentra toda el agua de escorrentía. Pero el agua que llega a la gárgola depende de la infiltración de cada cubierta: cuanto más se absorbe en la superficie de la cubierta menos agua llega a la gárgola y cuanto más agua se acumula en superficie hay más lámina escurrida; y la infiltración depende del tipo de material y de la lámina de escorrentía (de su Capacidad de infiltración f_c), como ya se

explico en el Capítulo 5. La infiltración también se va produciendo en el avance de la escorrentía por la superficie de la cubierta, por lo que la escorrentía final se va reduciendo a lo largo del recorrido (Fig. 6.2)

Figura 6.2: Esquema de la Cuantificación de Esorrentía superficial.

El ensayo se ha diseñado para evaluar la sollicitación crítica de 150mm/h para la zona de cubierta más desfavorable que sería la zona de gárgola según el esquema anterior (Fig. 6.2) donde se acumula la máxima escorrentía. Este valor se ha tomado de la máxima precipitación registrada en Ibiza desde 1945.

Conforme a los datos obtenidos del ensayo de laboratorio (Capítulo 5), del que se obtiene las cuervas de Capacidad de infiltración de cada terreno, podemos deducir una previsión de escorrentía directa e infiltración. Con una lámina de agua sobre el terreno. Conforme a la teoría hidrológica, al incorporar a estos gráficos la precipitación producida a lo largo del tiempo, podemos obtener la infiltración y la escorrentía que se produciría. La precipitación, representada como Columna en la gráfica, quedará dividida por la línea de la Capacidad de Infiltración f de cada terreno, todo el aérea inferior hasta alcanzar la línea f , representa el agua infiltrada en el terreno y el área superior, situada por encima de la misma línea, representa la escorrentía directa que se produce. (Fig. 6.3)

Figura 6.3: Modelo teórico del gráfico de Cuantificación de Esorrentía directa e Infiltración para $t=5\text{min}$ y $t=10\text{min}$.

Por ejemplo, las gráficas 6.3 representan el gráfico tipo para expresar la cuantificación de Esorrentía directa e Infiltración en un terreno. En 6.3A se ha marceado el tiempo de 5 minutos, donde el área rayada I expresa la cantidad de agua infiltrada hasta ese momento. El área E representa la cantidad de agua de escorrentía en el mismo tiempo. El punto sobre la línea roja

marca el valor de la Capacidad de infiltración en ese tiempo ($f_5 = 0,62 \text{ L/m}^2$). En la gráfica 6.3B se ve lo que ocurre a los 10 minutos. Ha aumentado la cantidad de agua infiltrada y escurrida, pero la Capacidad de infiltración disminuye. ($f_{10} = 0,35 \text{ L/m}^2$) Aumenta la proporción de agua escurrida Con respecto a la que se infiltra. En el gráfico hay un momento característico (en este caso ocurre a los 16 minutos) a partir del cual los valores de f se hacen prácticamente constantes. Eso significa que desde ese momento es constante la velocidad con que se infiltra el agua en el terreno, y la de escorrentía.

Mediante este cálculo obtenemos la Escorrentía e Infiltración de la Capacidad de Infiltración global:

$$\text{Escorrentía: } E = (P \times S) - I_t \quad (L) \quad [11]$$

$$\text{Infiltración: } I_t = f_c \times S \quad (L) \quad [12]$$

Donde:

E , es la escorrentía total producida en la cubierta (L)

I_t , es la infiltración total producida en la cubierta (L)

P , la precipitación (mm o L/m^2)

f_c , la Capacidad de infiltración constante del terreno (L/m^2)

S , la superficie de la cubierta (m^2).

Con los valores conocidos por los ensayos (ver Capítulo 5) de la capacidad de infiltración de las tierras ensayadas con una lámina constante de escorrentía, este nuevo ensayo permitirá determinar la Capacidad de infiltración de cada cubierta con una lámina mínima y no constante de escorrentía. Se pretende ver si existe variación entre un caso y otro.

Dispositivo de ensayo

Se le practica un agujero de 10 mm de diámetro a cada probeta, (Fig. 6.4), y se prevé un elemento para la recogida del agua de escorrentía. Se da pendiente del 3% a la probeta mediante una pequeña cuña. Se va incorporando el agua de precipitación (P) (Fig. 6.5 y 6.6) a razón de 70,10 gramos de agua cada 5 minutos (lo que equivale a una lluvia de 150mm/h).

Se pesa el agua gravídica (G), el agua precipitada (P), el agua de escorrentía (E) y el agua infiltrada (I).

Figura 6.4: Probeta de E. de escorrentía.

Figura 6.5 y 6.6: Ensayo de escorrentía.

Se realiza el ensayo de escorrentía de cada material, obteniendo la línea de tendencia de la escorrentía e infiltración, determinando los coeficientes para una superficie y pendiente determinada: $S=56,079 \text{ cm}^2$ y 3% de pendiente.

El ensayo queda representado en las gráficas para la arena de miga (Fig. 6.7 a 6.9) Arena Arcillosa (Fig. 6.10 y 6.11) marga de can Miquellet (Fig. 6.12 y 6.13) y marga Caliza (Fig. 6.14 y 6.15). Los datos obtenidos se recogen en la tabla 6.1.

En el caso de la arena de miga (Fig.6.7 a 6.9), se produce agua gravídica **G**.

A los 25 minutos de comenzar el ensayo y haber echado una precipitación equivalente de 50 a 70mm, el agua gravídica hace acto de presencia, siendo la cantidad total al final del ensayo de 9,77% del agua precipitada lo que la invalida como material para cubierta, tal como se sabía.

En las gráficas 6.8 y 6.9 se representa la escorrentía **E**, la infiltración **I** y el agua gravídica **G**, en función de la precipitación **P**. Con el valor de **P** en el eje horizontal se obtiene el valor de **E**, **I** y **G** en mm para cada sección de cubierta. Las líneas de tendencia nos facilitan el coeficiente para cada terreno de **E** e **I**, y con ellos, podemos calcular la **E** e **I** acumulada para una lluvia que no produzca en la tierra lámina de agua.

En el caso de la arena de miga, el gráfico 6.8, describe el comportamiento para precipitaciones menores de 60mm, cuando no hay agua gravídica. El gráfico 6.9 corresponde a precipitaciones mayores de este valor, en las que la cubierta comenzaría a gotear. Como se ve al comparar ambas la pendiente de **E** es casi la misma, mientras que la de **I** disminuye, lo que indicia que el agua que escurriría sería la misma y que el agua que gotea lo hace a costa del agua que se ha infiltrado en la tierra.

Figura 6.7: Gráfica de ensayo con escorrentía de la Arena de miga.

Figura 6.8: Gráfica de escorrentía, infiltración y gravídica para $P < 55\text{mm}$.

Figura 6.9: Gráfica de escorrentía, infiltración y agua gravídica para $P > 55\text{mm}$.

En el caso de la arena arcillosa, aunque en los ensayos realizados en el Capítulo 5 aparecería **G** a los 20 minutos, en este segundo ensayo no se produce goteo de agua gravídica, lo que muestra buen comportamiento (Fig. 6.10), debido al valor bajo de su f_c , con un valor de 0,14 mm/min.

Figura 6.10: Gráfica de ensayo con escorrentía de la Arena Arcillosa.

Figura 6.11: Gráfica Resultados Escorrentía e Infiltración de Arena Arcillosa.

El comportamiento de la marga de can Miquelet (Fig. 6.12 a 6.13) responde a lo esperado, aunque el material es sensible al efecto pared de la probeta, el agua se infiltra con relativa facilidad por el perímetro interior de la probeta.

Figura 6.12: Gráfica de ensayo con escorrentía de la Marga de can Miquelet.

Figura 6.13: Gráfica de Resultados Escorrentía e Infiltración de la Marga can Miquelet.

Igualmente, en el Caso de la Margo Caliza de Sant Josep (Fig. 6.14 y 6.15), tampoco aparece agua gravídica y responde de forma afín a la previsión realizada Conforme a los datos de su Capacidad de Infiltración.

Figura 6.14: Gráfica de ensayo con escorrentía de la Margo Caliza de Sant Josep.

Figura 6.15: Gráfica de Resultados Escorrentía e Infiltración de la Margo Caliza de Sant Josep.

Todos estos valores se recogen en la tabla 6.1:

Tabla 6.1: Resultado Ensayos de Escorrentía:

MATERIAL	P (mm)	E _{real} (mm)	I _{real} (mm)	G (mm)	Fórmula de E _{teórica}	Ce	Fórmula de I _{teórica}	k
ARENA DE MIGA (t ⁶⁰) (t ⁹⁵)	157,34	128,44	19,78 18,68	9,13 10,23	$E = 0,816 P + 3 \times 10^{-13}$	0,816	$I = 8,086 e^{0,005P}$	
ARENA ARCILLOSA	156,63	150,32	15,03	0,00	$E = 0,949P$	0,949	$I = 0,083P$	0,083
MARGA C. MIQUELET	141,55	126,50	15,05	0,00	$E = 0,667 P$	0,667	$I = 0,118 P$	0,118
MARGO CALIZA S. JOSEP	156,71	147,59	9,13	0,00	$E = 0,941 P$	0,941	$I = 0,058 P$	0,058

En la columna que define la fórmula para la escorrentía, que es una ecuación lineal, la constante se ha denominado coeficiente de escorrentía, **Ce**. Lo mismo ocurre para el Coeficiente de Infiltración, **k**.

El comportamiento de las tierras es mejor en este segundo ensayo, lo que es lógico porque en el primero la cantidad de agua acumulada en la probeta de forma constante equivaldría a una lámina escurrida de varios centímetros de espesor.

6.3.- Hipótesis de Comportamiento de la Cubierta plana.

Con los datos obtenidos a partir de los ensayos anteriores se elaboran dos tablas de EXCEL (Tabla 6.2 y 6.3), para simular el comportamiento de la superficie de la cubierta. Se ha dividido la superficie en celdas, cada una de 56,25cm² (equivalente aproximadamente a los 56,08cm² del ensayo). El total de la tabla representa la mitad de una cubierta de 3x3m con pendiente del 3%, en la que se puede calcular la escorrentía e infiltración para cualquier lluvia y material del que hayamos obtenido su coeficiente de escorrentía e infiltración. La gárgola estaría situada en la esquina inferior derecha. La línea amarilla representa los puntos aproximados de la limahoya. (Tabla 6.2)

Tabla 6.2: CALCULO DE ESCORRENTÍA DE CUBIERTAS

TIERRA:	PRECIPITACIÓN: P (P por 7,5x7,5cm= p)														Coef. Terreno: Ce				ESCORRENTÍA: v			
	7,5	15	22,5	30	37,5	45	52,5	60	67,5	75	82,5	90	97,5	105	113	120	128	135	143	150		
7,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
15	1	A	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
22,5	1	B	C	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
30	1	2	CH	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
37,5	1	2	D	E	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
45	1	2	3	F	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
52,5	1	2	3	G	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
60	1	2	3	4	H	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
67,5	1	2	3	4	I	J	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9		
75	1	2	3	4	5	K	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
82,5	1	2	3	4	5	L	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11		
90	1	2	3	4	5	6	LL	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		
97,5	1	2	3	4	5	6	M	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13		
105	1	2	3	4	5	6	N	Ñ	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14		
112,5	1	2	3	4	5	6	7	O	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15		
120	1	2	3	4	5	6	7	P	Q	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16		
127,5	1	2	3	4	5	6	7	8	R	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17		
135	1	2	3	4	5	6	7	8	S	T	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		
142,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	U	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19		
150	1	2	3	4	5	6	7	8	9	V	W	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
157,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X	21	21	21	21	21	21	21	21	21		
165	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Y	Z	22	22	22	22	22	22	22	22		
172,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	a	23	23	23	23	23	23	23	23		
180	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	b	c	24	24	24	24	24	24	24		
187,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ch	25	25	25	25	25	25	25		
195	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	d	26	26	26	26	26	26	26		
202,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	e	f	27	27	27	27	27	27		
210	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	g	28	28	28	28	28	28		
217,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	h	i	29	29	29	29	29		
225	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	j	30	30	30	30	30		
232,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	k	31	31	31	31	31		
240	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	l	ll	32	32	32	32		
247,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	m	33	33	33	33		
255	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	ñ	34	34	34		
262,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	o	35	35	35		
270	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	p	q	36	36		
277,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	r	37	37		
285	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	s	38		
292,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	t	u		
300	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	v		

El punto crítico de una cubierta de tierra sería el entorno de la gárgola, donde se concentra toda el agua de escorrentía. Pero el agua que llega a la gárgola depende de la infiltración de cada cubierta: cuanto más se absorbe en la superficie de la cubierta menos agua llega a la gárgola y cuanto más agua se acumula en superficie hay más lámina escurrida; y la infiltración depende del tipo de material y de la lámina de escorrentía (de su Capacidad de infiltración f_c), como ya se explicó en el Capítulo 5. La infiltración también se va produciendo en el avance de la escorrentía por la superficie de la cubierta.

El dibujo de la Figura 6.2, expresa el modelo matemático en el que se basa la tabla de Cálculo. En la primera tesela hay una precipitación P_1 que produce una escorrentía E_1 y una infiltración I_1 . A la siguiente tesela le llega no solo su propia precipitación P_2 , sino la escorrentía de la tesela anterior (E_{12}). Así con todas, de tal manera que en la tesela n , se acumula la escorrentía de la superficie anterior ($E_{n-1,n}$) junto a su propia precipitación P_n .

Figura 6.2: Esquema de la cuantificación de Escorrentía superficial.

La fórmula de cálculo de E_n sería:

$$E_n = (P_n \times Ce) + (E_{n-1} \times Ce) \quad [13]$$

Donde Ce es el Coeficiente de escorrentía.

La fórmula de cálculo de la Infiltración en la tesela n (I_n) sería:

$$I_n = (P_n \times k) + (E_{n-1} \times k) \quad [14]$$

De acuerdo con lo anterior, la escorrentía calculada para cada una de las teselas de 7,5x7,5 cm, viene definida en el siguiente listado. Siendo el valor doble de “v”, la escorrentía de toda la cubierta en el punto de la gárgola.

Para las teselas del faldón de la cubierta de arena arcillosa:

1	$0,949 \times P$	3	$1 + (0,949 \times 2)$
2	$1 + (0,949 \times 1)$	4	$1 + (0,949 \times 3)$
...			
38	$1 + (0,949 \times 37)$		

Para las teselas de la limahoya:

A	$1 + (0,949 \times 3 \times 1)$	I	$1 + (0,949 \times (H+4))$	P	$1 + (0,949 \times (O+7))$	Y	$1 + (0,0001 \times (X+10))$	g	$1 + (0,0001 \times (f+13))$	ñ	$1 + (0,0001 \times (n+33))$
B	$1 + (0,949 \times (A+1))$	J	$1 + (0,949 \times (I+8))$	Q	$1 + (0,0001 \times (P+15))$	Z	$1 + (0,0001 \times (Y+21))$	h	$1 + (0,0001 \times (g+13))$	o	$1 + (0,0001 \times (ñ+16))$
C	$1 + (0,949 \times (B+2))$	K	$1 + (0,949 \times (J+5))$	R	$1 + (0,0001 \times (Q+8))$	a	$1 + (0,0001 \times (Z+11))$	i	$1 + (0,0001 \times (h+28))$	p	$1 + (0,0001 \times (o+16))$
CH	$1 + (0,949 \times (C+2))$	L	$1 + (0,949 \times (K+5))$	S	$1 + (0,0001 \times (R+8))$	b	$1 + (0,0001 \times (a+11))$	j	$1 + (0,0001 \times (i+14))$	q	$1 + (0,0001 \times (p+35))$
D	$1 + (0,949 \times (CH+2))$	LL	$1 + (0,949 \times (L+6))$	T	$1 + (0,0001 \times (S+17))$	c	$1 + (0,0001 \times (b+23))$	k	$1 + (0,0001 \times (j+14))$	r	$1 + (0,0001 \times (q+17))$
E	$1 + (0,949 \times (D+4))$	M	$1 + (0,949 \times (LL+6))$	U	$1 + (0,0001 \times (T+9))$	ch	$1 + (0,0001 \times (c+12))$	l	$1 + (0,0001 \times (k+14))$	s	$1 + (0,0001 \times (r+17))$
F	$1 + (0,949 \times (E+3))$	N	$1 + (0,949 \times (M+6))$	V	$1 + (0,0001 \times (U+9))$	d	$1 + (0,0001 \times (ch+12))$	ll	$1 + (0,0001 \times (l+31))$	t	$1 + (0,0001 \times (s+37))$
G	$1 + (0,949 \times (F+3))$	Ñ	$1 + (0,949 \times (N+13))$	W	$1 + (0,0001 \times (V+19))$	e	$1 + (0,0001 \times (d+12))$	m	$1 + (0,0001 \times (ll+15))$	u	$1 + (0,0001 \times (t+18))$
H	$1 + (0,949 \times (7+G+4))$	O	$1 + (0,949 \times (Ñ+7))$	X	$1 + (0,0001 \times (W+10))$	f	$1 + (0,0001 \times (e+26))$	n	$1 + (0,0001 \times (m+15))$	v	$1 + (0,0001 \times (u+38))$

La siguiente hoja de cálculo (tabla 6.4), obtiene la infiltración que se produce en cada tesela, siendo la infiltración acumulada el sumatorio de todas ellas:

Tabla 6.4: Cálculo de Infiltración acumulada de Cubierta

	7,5	15	22,5	30	37,5	45	52,5	60	67,5	75	82,5	90	97,5	105	113	120	128	135	143	150
7,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	A	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
22,5	1	B	C	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
30	1	2	CH	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
37,5	1	2	D	E	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
45	1	2	3	F	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
52,5	1	2	3	G	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
60	1	2	3	4	H	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
67,5	1	2	3	4	I	J	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
75	1	2	3	4	5	K	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
82,5	1	2	3	4	5	L	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
90	1	2	3	4	5	6	LL	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
97,5	1	2	3	4	5	6	M	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
105	1	2	3	4	5	6	N	Ñ	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
112,5	1	2	3	4	5	6	7	O	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
120	1	2	3	4	5	6	7	P	Q	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
127,5	1	2	3	4	5	6	7	8	R	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
135	1	2	3	4	5	6	7	8	S	T	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
142,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	U	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
150	1	2	3	4	5	6	7	8	9	V	W	20	20	20	20	20	20	20	20	20
157,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X	21	21	21	21	21	21	21	21	21
165	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Y	Z	22	22	22	22	22	22	22	22
172,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	a	23	23	23	23	23	23	23	23
180	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	b	c	24	24	24	24	24	24	24
187,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ch	25	25	25	25	25	25	25
195	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	d	26	26	26	26	26	26	26
202,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	e	f	27	27	27	27	27	27
210	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	g	28	28	28	28	28	28
217,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	h	i	29	29	29	29	29
225	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	j	30	30	30	30	30
232,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	k	31	31	31	31	31
240	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	l	ll	32	32	32	32
247,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	m	33	33	33	33
255	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	ñ	34	34	34
262,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	o	35	35	35
270	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	p	q	36	36
277,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	r	37	37
285	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	s	38
292,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	t	u
300	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	v

Donde las ecuaciones que corresponden al cálculo de la infiltración producida en cada tesela de faldón son:

$$1 = 0,096 \times P - 0,00245$$

$$2 = 1 + (0,096 \times 1 - 0,00245)$$

$$3 = 1 + (0,096 \times 2 - 0,00245)$$

...

$$38 = 1 + (0,096 \times 37 - 0,00245)$$

Donde la infiltración producida es la infiltración directa de la precipitación más la infiltración correspondiente a la escorrentía que llega a ese punto, la escorrentía producida en la tesela anterior.

Y las ecuaciones que corresponden a la limahoya son:

$$X = 1 + (0,096 \times E - 0,00245)$$

[3]

Siendo:

1, la infiltración en dicha tesela,

E, la escorrentía que llega a dicha tesela.

Por ejemplo la infiltración h , sería:

$$h = 1 + 0,096 \times (g + 13) - 0,00245$$

Así se obtienen los valores teóricos que son los que se van a comparar con los ensayos del modelo a escala real. Podemos comprobar así si esta hoja de cálculo sirve, junto con los ensayos de escorrentía y los datos de su **Capacidad de Infiltración f** , para anticipar el comportamiento de las cubiertas planas de tierra.

También se han desarrollado las hojas de cálculo, para determinar los mismos conceptos de Escorrentía e Infiltración acumuladas conforme a la Capacidad de Infiltración del material (Anexo II). Con todo ello obtenemos las gráficas 6.16, 6.17 y que representa los límites de los valores de escorrentía e infiltración.

Los valores E_{HC} e I_{HC} representa la escorrentía e Infiltración calculada con la hoja de cálculo con los coeficientes obtenidos del ensayo de escorrentía recogido en este capítulo. Las líneas de las gráficas denominadas E_{fc} e I_{fc} , representan los valores de escorrentía e infiltración obtenidos con las hojas de cálculo a través de la Capacidad de Infiltración obtenida en el capítulo 5.

Figura 6.16: Escorrentía teórica basados en los ensayos.

Figura 6.17: Infiltración teórica basada en los ensayos.

6.4.- Construcción de La Cubierta plana de tierra:

Se realiza en la provincia de Madrid, una cubierta plana de tierra de 3,00 x 3,00 m, sobre una estructura formada por una bóveda de crucería realizada con doble rasilla con revestimiento exterior de mortero y sobre pilares-contrafuertes (Fig. 6.18 a 6.20).

Figura 6.18: Construcción de Cubierta: pilares Contrafuertes y arcos de arranque.

Figura 6.19: Cara inferior de bóveda tabicada de doble tablero de rasilla en Construcción.

Figura 6.20: Cara superior de bóveda tabicada de doble tablero de rasilla en Construcción.

Figura 6.21: Revestimiento Con mortero de la Cara superior de la bóveda.

Se forma el plano horizontal mediante relleno de riñones Con grava (Fig. 6.22).

Figura 6.22: Relleno de riñones Con grava.

Se Coloca una primera Capa de paja seca (Fig. 6.23) que queda reducido el espesor al incorporar la Capa de tierra.

Figura 6.23: Capa de paja

Se extiende la capa intermedia de arena de miga con cal (1/8) (Fig. 6.24).

Figura 6.24: Extendido de arena de miga

Se forman las pendientes con un espesor máximo de 30cm y compactando de forma manual (Fig. 6.25).

Figura 6.25: Extendido y compactado de la capa intermedia.

Sobre ésta, se extiende la capa final de 5 cm de arena arcillosa, obtenida entre -0,50 cm y -1,00 m de profundidad (Fig. 6.26) en la misma parcela. El material extraído se disgrega y posteriormente tamiza, retirando el árido mayor a 2 mm. (Fig. 6.27) y compactando por tongadas (Fig. 6.28 y 6.29).

Se realiza una única salida de agua mediante teja árabe, siguiendo la forma constructiva de las cubiertas de Ibiza, de forma que la capa exterior quede sobre el meón. Así mismo, se recrece el perímetro de la cubierta, por ser el borde el elemento que por no sobrevolar el muro sobre la cubierta, es la línea de mayor riesgo de entrada rápida de agua. (Fig. 6.30)

Figura 6.26: Extracción de arena arcillosa. material.

Figura 6.27: Tamizado y limpieza del

Figura 6.28 y 6.29: Extendido de capa y compactado.

Figura 6.30: Acabado superficial de la cubierta de tierra.

Figura 6.31: Cubierta acabada.

6.5.- Calibración de sensores:

Se realiza la calibración de los siguientes sensores (tabla 6.5):

Tabla 6.5: Características de los sensores de ensayo.

Nombre	Rango	Contenido	Volumen	Agua (VWC)	Conductividad eléctrica (EC)	t de medición
WatersCout SM 300	0,1%	±3%			(0,01mS/Cm ±2%)	0,5 a 80°, (0,1°C±0.1°C)
WS-SM 100	0.1%	±3%			<8 mS / cm	

La micro estación es 1400 Data Logger” (WatchDog; Spectrum TeChologies, Inc.) y el tratamiento de los datos se realiza con el software SpeCWare 9 Pro (v9.2)

Figura 6.32: Calibración de sensores

En una probeta de sección interior de 152mm, se extiende una capa de 10 mm de tierra arena arcillosa, secada durante 72 horas en estufa a 50°. Colocados los sensores horizontalmente sobre esta capa (Fig. 6.33), se cubren con más arena arcillosa hasta un espesor total de 50 mm. Los sensores miden la humedad cada hora en forma de registro continuo.

Figura 6.33: Colocación de sensores en probeta para su calibración.

Se deja durante 2 días para que vaya tomando la humedad de equilibrio, realizándose pesadas cada hora, unas horas al día. Al tercer día se realiza la incorporación de agua en una hora.

El contenido de humedad H , en cada momento se calcula mediante la siguiente expresión:

$$H = \frac{P_n - P_i}{V_T} \times 100$$

Siendo P_n el peso de la probeta en un momento dado, P_i el peso seco de probeta y V_t el Volumen de tierra.

De los datos obtenidos (Fig. 6.32), que se recogen en la tabla 6.6 y en la figura 6.34 variación en el tiempo. Se produce un error promedio para el sensor SMEC 300 de -4,2 y para el sensor SM 100 (II) el desvío es de 2,8. En el momento de saturación el valor del primero es 37,8 y de 28,8 para el segundo.

Figura 6.34: Gráfica de resultados de Calibración de sensores (En tiempo (h)).

Tabla 6.6: Datos de Calibración.

Día y Fecha	Sensor Sur (SMEC 300)	Desviación	Sensor Norte (SM 100)	Desviación	%W	PESADA
02/04/2019 11:00	0,3	-0,2	0,1	0,0	0,1	2790,7
02/04/2019 12:00	0,1	0,7	0,1	0,7	0,8	2791,87
02/04/2019 13:00	0,1	0,7	0,1	0,7	0,8	2791,87
02/04/2019 14:00	0,1	0,9	0,2	0,8	1,0	2792,3
02/04/2019 17:00	0,2	1,1	0,2	1,1	1,3	2792,73
02/04/2019 18:00	0,3	1,0	0,3	1,0	1,3	2792,74
04/04/2019 9:00	0,7	-0,3	0,6	-0,2	0,4	2794,31
04/04/2019 10:00	0,7	-0,3	0,6	-0,2	0,4	2794,28
04/04/2019 11:00	37,8	2,4	28,8	11,4	40,2	3197,06
04/04/2019 12:00	37,8	-6,1	28,8	2,9	31,7	3111,34
04/04/2019 13:00	37,8	-6,2	29,3	2,3	31,6	3109,94
04/04/2019 15:00	37,8	-6,9	28,4	2,5	30,9	3103,15
04/04/2019 16:00	37,2	-6,4	28	2,8	30,8	3101,48
04/04/2019 17:00	37,2	-6,6	28	2,6	30,6	3099,68
06/04/2019 9:00	30,7	-2,6	21,4	6,7	28,1	3074,26
06/04/2019 10:00	30,7	-2,7	21,4	6,6	28,0	3073,33
06/04/2019 11:00	30,7	-2,9	21,4	6,4	27,8	3071,84
06/04/2019 12:00	30,7	-3,0	21,4	6,3	27,7	3070,4
06/04/2019 14:00	30,7	-3,4	20,9	6,4	27,3	3066,58
08/04/2019 10:00	26,6	-7,8	16,6	2,2	18,8	2980,06
08/04/2019 11:00	26,6	-7,9	16,2	2,5	18,7	2980,06
08/04/2019 12:00	26,6	-8,0	16,6	2,0	18,6	2979,07
08/04/2019 13:00	26,6	-8,1	16,6	1,9	18,5	2978,02
08/04/2019 14:00	26,2	-7,7	16,2	2,3	18,5	2977
08/04/2019 16:00	25,8	-7,6	15,9	2,3	18,2	2974,55
08/04/2019 17:00	25,8	-7,7	15,9	2,2	18,1	2973,5
08/04/2019 18:00	25,8	-7,8	15,9	2,1	18,0	2972,47
09/04/2019 10:00	22,3	-6,2	14,2	1,9	16,1	2953,41
09/04/2019 11:00	22,3	-6,3	14,2	1,8	16,0	2952,12
09/04/2019 12:00	22,3	-6,4	13,9	2,0	15,9	2950,95
09/04/2019 13:00	21,8	-6,0	13,9	1,9	15,8	2949,81
PROMEDIO		-4,2		2,8		

6.6.- Descripción de Ensayos:

Se van a medir tres variables:

1. Precipitación (**P**) en mm: como pluviómetro se utiliza un contenedor cilíndrico de diámetro 90mm, área de $63,62\text{Cm}^2$ y peso propio de 45gr, que se sitúa junto a la cubierta. Cuando llueve se pesa como mínimo una vez Cada 24 horas. (Fig. 6.35).
2. Cantidad de agua evacuada por la gárgola (**E**): La gárgola de salida de agua se cubre con una teja y mediante un embudo y manguera el agua que sale por escorrentía se recoge en un depósito de 98 L de capacidad (Fig. 6.36). Tras la lluvia se mide el agua recogida.
3. Cantidad de agua infiltrada en la tierra de la cubierta (**I**): Mediante la monitorización de la cubierta en dos zonas, introduciendo dos sensores de humedad del suelo en horizontal (Fig. 6.37). Uno de ellos queda próximo a la salida de agua en el sector sureste de la cubierta y el segundo en el noreste de la misma (fig. 6.41). Los sensores se programan para tomar lecturas cada 15 minutos y se registran dichos valores en la micro estación colocada en la cubierta (Fig. 6.38 y 6.39) Una vez al mes se descargan los datos (Fig. 6.40).

El ensayo comienza en enero de 2018 y finaliza en marzo de 2018.

Figura 6.35: Recogida y pesado de agua precipitada.

Figura 6.36: Recogida de agua de escorrentía.

Figura 6.37: Sensor, colocado horizontalmente a cota -50mm.

Figura 6.38 y 6.39: Micro estación (Data Logger), con protección ante la lluvia.

Figura 6.40: Recogida de datos. Descarga de los datos obtenidos por la micro estación al programa en el ordenador para su análisis.

Figura 6.41: Ubicación de sensores en Ensayo de cubierta plana de tierra.

6.7.- Resultados del ensayo:

Las precipitaciones producidas durante el ensayo se produjeron durante el mes de enero, en cinco días, uno de ellos, disperso respecto a los otros. En el mes de febrero las lluvias se produjeron durante cuatro días y en el mes de marzo las lluvias se concentraron en 9 días. (Fig. 6.42). La precipitación mayor en un día fue el 6 de enero con un valor de 36,31mm; el período de mayor número de días de lluvia fue del 28 de febrero a 6 de marzo, 7 días, con una precipitación acumulada de 76,56mm. La precipitación total fue de 60,52 mm en enero, 19,37 mm en febrero y 141,46mm en marzo. Se recoge la comparativa con los valores medios y máximos facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología Española para la estación meteorológica de Colmenar Viejo, la más próxima a la cubierta, en la siguiente tabla 6.7:

Tabla 6.7: Precipitaciones.			
Mes	Precipitación media (mm)	Precipitación 2018	Precipitación máxima (año)
Enero	52	60,52	230,7 (1996)
Febrero	41	19,37	95,5 (2014)
marzo	36	141,46	196,2 (2018)

Estos datos indican que se ha tenido un mes de enero con una precipitación superior a la media, un mes de febrero más seco que la media y el mes de marzo más lluvioso desde 1978.

Figura 6.42: Gráfica de precipitaciones

Por cada mes se recogen dos tipos gráficas:

Por un lado, las gráficas 6.43, 6.44 y 6.45 recogen los tres meses con la precipitación producida en el día (barras) y linealmente el agua precipitada y de esorrentía acumulada.

Por otro lado, y para cada mes, hay tres gráficas que recogen:

- La primera representa la humedad relativa del mes.
- La segunda gráfica recoge los datos obtenidos por los sensores de humedad, y el valor de saturación para la tierra según cada sensor representado en dos líneas horizontales, con el valor de la saturación de la tierra ($(P_{\text{agua máx.}}/V_{\text{tierra}}) \times 100$) del terreno utilizado, a 36,1 para el sensor sur y a 37,2 para el sensor norte.
- Y la tercera gráfica recoge la temperatura ambiente.

El mes de enero se recoge en las gráficas de las figuras 6.46 a 6.48; febrero en las figuras 6.49 a 6.51 y marzo en las figuras 6.52 a 6.54. Los datos de humedad y de temperatura relativa ambiente son los datos obtenidos de AEMET Correspondientes a su estación meteorológica de Colmenar Viejo.

Figura 6.43: Precipitación y Escorrentía en enero de 2018

Figura 6.44: Precipitación y Escorrentía en febrero de 2018.

Figura 6.45: Precipitación y Escorrentía en marzo de 2018.

Figura 6.45: Humedad relativa ambiente durante el mes de enero de 2018.

Figura 6.46: Gráfica de sensores y datos Climáticos del mes de enero de 2018.

Figura 6.47: Gráfica de temperatura ambiente durante el mes de enero de 2018.

Figura 6.48: Humedad relativa ambiente durante el mes de febrero de 2018.

Figura 6.49: Gráfica de sensores del mes de febrero de 2018

Figura 6.50: Gráfica de temperatura ambiente del mes de febrero de 2018.

Figura 6.51: Humedad relativa ambiente durante el mes de marzo de 2018.

Figura 6.52: Gráfica de sensores del mes de marzo de 2018

Figura 6.53: Gráfica de temperatura ambiente del mes de marzo de 2018.

Los resultados ordenados en tablas se recogen en el anexo I.

Los contenidos en humedad medidos por los sensores están lejos de los valores de saturación de la cubierta, lo cual muestra el buen comportamiento de la sección incluso en los días de primeros de marzo, donde se prolongaron los días de lluvia.

La variación de los datos diarios de humedad de los sensores aumenta cuando se llega a temperaturas próximas a 5 grados bajo cero. Esto puede reflejar que a este tipo de sensores les afectan negativamente las bajas temperaturas.

En los días de mucha precipitación es posible que haya un error porque cuando se mide el agua recogida en el depósito, este estaba lleno y había rebosado, por lo que no es fiable el valor real de E de ese día.

Como se vio en el Capítulo 5, podemos obtener mediante la Capacidad de infiltración de la tierra de estudio f_c , la escorrentía directa de una cubierta en régimen laminar, es decir cuando tenemos una lámina de agua producida por la precipitación directa y el sumatorio de las escorrentías de aguas arriba. La lámina de agua sobre la cubierta dificulta el intercambio de aire por agua en el terreno por lo que sería la máxima escorrentía que se produciría en la cubierta.

Con el ensayo de escorrentía definido al comienzo de este Capítulo 6, se obtendría la escorrentía teórica menor, por no producirse lámina de agua cubriendo la totalidad de la superficie, ya que el agua escurrida en superficie seguiría infiltrándose en la cubierta en su camino hasta la gárgola formando regueros y sin llegar a formar la lámina continua.

Para precipitaciones de hasta 20mm, la escorrentía que se produce está englobada entre los valores de la Escorrentía obtenida globalmente de la capacidad de Infiltración del terreno y La escorrentía obtenida mediante cálculo global del ensayo de escorrentía. Sin embargo para las precipitaciones mayores, la escorrentía se encuentra en el sector delimitado por los valores de la Escorrentía global obtenida del ensayo de escorrentía y el obtenido de la hoja de cálculo de este mismo ensayo. (Fig. 6.54).

En el caso de la infiltración, para precipitaciones hasta 21mm, se encuentra en una situación análoga y para precipitaciones próximas y superiores a 30mm, los valores se acercan a los obtenidos para la Infiltración acumulada basada en la Capacidad de Infiltración del terreno. (Fig. 6.55).

Figura 6.54: Escorrentía de cubierta sobre los gráficos teóricos de C. Infiltración (f_c) y del ensayo con escorrentía (HC) acumulados.

Figura 6.55: Infiltración de cubierta sobre los gráficos teóricos de C. Infiltración (f_c) y de ensayos con escorrentía (HC), acumulados.

Tras las lluvias se observa en la superficie de la cubierta el crecimiento de hierba (Fig.6.58) y pequeñas fisuras o cuarteo de la superficie (Fig. 6.59), que con un sencillo pisado se restablece.

Figura 6.58: Crecimiento de hierba en Cubierta.

Figura 6.59: Cuarteado de la superficie tras el secado.

7.- CONCLUSIONES.

Como ya quedo dicho, la intención de la investigación realizada ha sido identificar el sistema constructivo de la cubierta plana de la isla de Ibiza, confirmando el número de capas, sus espesores y los detalles constructivos de los distintos encuentros. También se trataba de desarrollar los ensayos precisos para determinar el comportamiento de la capa de tierra exterior respecto al agua de lluvia, mediante ensayos de laboratorio y hojas de cálculo, que permitieran determinar la idoneidad de los distintos materiales utilizados para dicha capa.

En relación a este objetivo, hemos podido confirmar que la capa de 10 cm de margas y margo calizas de Ibiza es impermeable. Gracias a los ensayos de laboratorio (Ensayo 1 de Capacidad de Infiltración, Ensayo 2 de cálculo de Capacidad de Campo y Ensayo 3 de Escorrentía) y a los resultados obtenidos de incorporar los datos anteriores en las hojas de cálculo, se han podido establecer los límites teóricos de la escorrentía e Infiltración para una cubierta de 3 x 3m² de cualquier tierra para prever su comportamiento en la capa exterior.

Se comentan a continuación algunas conclusiones:

Respecto al Conocimiento histórico y constructivo:

- La presencia arquitectónica actual de la cubierta en tierra esta reduciéndose al entrar en desuso como tipología constructiva, ha dejado de utilizarse para las nuevas edificaciones desde mediados del siglo XX, y ha llevado a la práctica desaparición:
 - El patrimonio de la arquitectura histórica y vernácula de Ibiza está documentado en distintas publicaciones, sin embargo, la pérdida de muchas de estas construcciones, tanto de viviendas como de torres prediales, debido a la alteración constructiva como por su ruina directa y desaparición, es una situación grave y con alto riesgo de desaparición completa de esta tipología. Aun suponiendo que queden *casaments*, *païsses* o torres prediales, además de las visitadas, que conserven sus cubiertas históricas y originales, los datos son muy negativos. El trabajo de campo realizado en la primavera de 2016, permite afirmar que quedaban en esa fecha un 7,5% de las edificaciones vernáculas e históricas de Ibiza con cubiertas originales y en uso.
- Respecto al conocimiento de las tierras empleadas, salvo excepciones (Launas de las Alpujarras o Patelia en Grecia) el material empleado no está identificado y se denomina tierra, barro o arcilla.

Conclusiones del Estudio constructivo de la cubierta de tierra en Ibiza:

Hasta el momento, los estudios realizados por otros autores han descrito secciones características, dentro de un planteamiento cultural, social o como último elemento de caracterización de la arquitectura vernácula, sin analizar las razones de buenas prácticas constructivas que definieran los detalles de ejecución.

- Con la presente investigación, gracias a la inspección de los edificios que todavía se mantienen en pie, se ha confirmado que la cubierta de tierra ibicenca se compone de tres capas: una exterior de marga o margo caliza, una intermedia de tierra carbonera y la interior de algas posidonia.
- De la capa exterior, se han localizado algunas canteras en la isla.

- Esa capa exterior de margas o margo calizas, tiene un espesor de unos 10 cm, que pueden variar por las pendientes. El dato anterior aporta valores inferiores a lo indicado por autores como Hausmann, Alomar, Feduchi o Flores.
- La capa intermedia de tierra de “sitja” o carbonera, ya sea proveniente de los rescoldos de los hornos de cal o de carbón, tiene un espesor de 8 - 10 cm, la mitad del espesor de lo indicado por Verdera y Cis. El hecho de que en algunos corrales y casas abiertas esta capa no exista, hace necesario el estudio de la misma para confirmar su principal función: bien como capa de amortiguación hídrica, como posible mejora de la inercia térmica o como capa de reparto de cargas.
- La capa interior de alga posidonia tiene un espesor de unos 2 cm, como resultado de la compactación por el peso de las capas superiores. Este espesor es muy inferior a lo indicado por Verdera y Cis que señalan espesores de 10 cm. Según los datos obtenidos en campo de la tradición local, la obtención de las algas (material arrancado por el mar en las calas), supone el aprovechamiento de materiales sin alterar ecosistemas, limpiando la costa. Además la colocación de las mismas tal y como son recogidas, con sal y enredadas las largas hojas de la posidonia, forma una capa entretejida y continua en superficie que se mantiene en el tiempo. Está pendiente el estudio de las hipotéticas características aislantes de esta capa, tanto en su aspecto térmico como de protección ante la humedad de la estructura de madera.
- Las capas que forman la cubierta, margas, tierra de carbonera, algas posidonia y elemento de apoyo superficial (tablillas, cañizo, ramas,...) cubren la mitad del espesor del muro perimetral de cada casa; la hoja exterior del muro forma un peto que protege la unión de ambos, cubriendo la cubierta con la última piedra del peto. (Fig. 7.1). De esta manera el perímetro, que es la zona con mayor riesgo de escurrido del agua, conforme a lo observado en los ensayos, queda protegido. Este detalle es similar al de encuentro con muros de plantas superiores, siendo el peto el que asciende formando el muro. (Fig. 7.2)
- Las salidas de agua utilizan distintos materiales como medio tronco de sabelo horadado, teja curva o piedra tallada. Estos elementos se apoyan a la altura de la cara superior de la capa intermedia de tierra carbonera, y la capa de margas avanza sobre la gárgola evitando juntas. La gárgola se ejecuta en el peto (Fig. 7.3), situando la zona de riesgo ahí donde puede ser menor el daño.

Figura 7.1: Encuentro de cubierta con muro perimetral

Figura 7.2: Encuentro de cubierta con muro central.

Figura 7.3: Salida de agua

Conclusiones del Estudio de Cuantificación de la respuesta ante la lluvia: ensayos en laboratorio y en la cubierta de tierra:

- Respecto a los materiales utilizados como capa exterior e impermeable en Ibiza y Las Alpujarras, se concluye que, (conforme a lo analizado en el capítulo 5):
 - La marga caliza de Sant Josep (Ctra. PM 803), con 5 cm de espesor es impermeable, no requiriendo de la capa intermedia como amortiguación. De existir ésta actuaría como mejora de otras funciones de la cubierta.
 - La marga de Can Miquellet de Ibiza tiene un comportamiento muy bueno con 5cm de sección, y el agua gravídica producida es fácilmente retenida por la capa intermedia. Del ensayo podría desprenderse que con una capa de 6 cm ya no habría agua gravídica. Como en las cubiertas la capa tiene 10 cm, se concluye que el espesor es suficiente para que no hubiera filtraciones.

- La Launa de Granada es menos impermeable que las anteriores, pero sigue siendo válida. Esta conclusión es coherente con los datos recogidos de la bibliografía, que muestran que las cubiertas de launa, tienen un espesor total de 5(apretada) más 15 cm de launa.
- En el caso de las Margas de Javea, que son menos impermeables (sin valorar las pérdidas perimetrales del ensayo), bastaría un espesor de 7 cm. En caso de que el espesor fuera menor se requeriría una capa intermedia de tierra de, al menos, 7 cm.
- El comportamiento ante el secado de las margas de Ibiza y Launa de Granada, parece ser bueno, con una fisuración muy reducida y perimetral lo que explica el cuidado del detalle constructivo de unión al muro, donde dicha junta de unión queda protegida por el peto. En el trabajo de campo no se percibe fisuración, solo alteración por plantas.
- El comportamiento de las arcillas es peor a la fisuración por secado, lo que explica la necesidad de incorporar algún tipo de fibra, como se describe en la bibliografía (Gibbert lo indica al describir la sección de Argelia o Mali, V. Soriano en la sección del oasis de Skoura y el Proyecto Corpus describe estos componentes en las secciones de Chipre, Palestina, Jordania y Líbano).
- Se ha comprobado que con el ensayo de la Capacidad de Infiltración (f), que dura una hora, y la obtención del valor de su f_c , se puede prever el comportamiento de la tierra en cubierta. Con valores de f_c iguales o menores a 0,14 mm/min, es de esperar un buen comportamiento del material. Este valor determinaría la escorrentía máxima e infiltración mínima.
- Los ensayos previos de escorrentía, recogidos en el capítulo 6, realizados sobre las probetas, han proporcionado unos coeficientes con los que se han elaborado una hoja de cálculo que permite calcular la escorrentía (E_{HC}) de una cubierta real.
- El agua de escorrentía real recogida en la cubierta de ensayo, se encuentran dentro de los límites definidos por la hoja de cálculo.
- Los gráficos de Escorrentía, obtenidos en el capítulo 6, permiten también dimensionar las gárgolas, al poder calcular la escorrentía máxima previsible para las lluvias.
- Los datos de Infiltración real obtenidos de la cubierta de ensayo, se encuentran también dentro de los valores teóricos calculados. Todos están por encima de las previsiones de infiltración calculadas por la Capacidad de Infiltración del terreno (I_{fc}), y muy próximos a los valores obtenidos por el ensayo de Escorrentía (I_{HC}). Estos últimos nos permiten aproximarnos a la infiltración que se produciría en la cubierta.
- Con los mismos gráficos se puede conocer el riesgo de infiltración a la capa intermedia e incluso de goteras de las cubiertas, y determinar los espesores mínimos de la capa exterior.
- El mismo análisis se puede utilizar para cuantificar la capacidad de retención del agua de precipitaciones, y en qué medida se reduciría el agua que llega a las redes urbanas.
- El método de monitorización de las cubiertas es válido porque refleja el incremento del volumen de agua tras las lluvias, aunque hay que tener presente la sensibilidad de los aparatos al cambio de temperatura. La precisión de los mismos tiene variaciones con respecto a los valores de calibración de fábrica.

- Gracias a los sensores se ha podido apreciar que la tierra de la cubierta se humedece con relativa rapidez cuando llueve, (el mojado se detecta el mismo día) (Ver gráfica 6.46) y sin embargo, el secado es mucho más lento, tardando hasta 20 días (gráfica 6.46).
- El mantenimiento de la superficie de cubierta sin plantas resulta difícil, precisándose una eliminación periódica, lo que requiere realizar estudios para reducir el crecimiento de las mismas. Esto puede tener relación con el hecho de que se añada sal a la capa superior en algunas regiones, como se recoge en el capítulo 2.
- La fisuración superficial de la arena arcillosa, se produce con el soleamiento tras las lluvias, con una intensidad menor a la esperada en este material con respecto a la probeta, sin embargo, es una alteración con posibles efectos negativos a la respuesta de la cubierta, que también requiere estudio de medidas de mejora. Hay que tener presente que esta fisuración se elimina con un ligero pisado.
- Esto permite afirmar que el uso de la cubierta como terraza habitable mejoraría su respuesta ante el secado, puesto que mejora la compactación del material y reduce el crecimiento de las plantas. De hecho, históricamente era habitual el uso del terrado como zona de estancia en verano.
- Todos los ensayos se han realizado con espesores de 5 cm de tierras; en posteriores investigaciones, se debería analizar la variación de respuesta de las distintas tierras en función del espesor de su sección y la cuantía de las precipitaciones, realizando estos mismos ensayos con secciones de 5, 7 y 10 cm y cuantías de agua de 30, 40 y 50 mm, pudiéndose trazar las curvas de respuesta de los materiales.
- Debería analizarse el comportamiento de margo calizas y margas ante el soleamiento, (Albedo) debido a sus tonos blanquecinos o claros.

Bibliografía:

Akermann, Kristina, Jenny Andersson, Gererd Bavay, y et all. *Terra Europae. Earthen Architecture in the European Union*. Pisa (Italia): Edicioni ETS, 2011.

Alan, I, A Naseer, y A.A. Shah. «Economical stabilization of clay for earth buildings construction in rainy and flood prone areas.» (Construction and Building Materials), nº 77 (154-159) (2015).

Alomar, Gabriel. «Valor actual de las arquitecturas populares.» (Revista Nacional de Arquitectura), nº mayo 1943 (1943).

Alves, Ronald; Mlligan, Charles. *Energía para la Vida*. Madrid 1985: Hermann Blume, 1978.

Baeschlin, A. *Cuadernos de arquitectura popular*. Ibiza. Valencia: Ediciones Vilanova, 1934.

Baglioni, Eliana. «Il Patrimonio Architetonico in Terra Cruda Nella Valle del Drâa Marocco.» En *Construcción con Tierra. Tecnología y Arquitectura*, de Felix Jové Sandoval y José Luís Sáinz Guerra, 77-88. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva E.T.S. Arquitectura de Valladolid, 2010.

Balaguer Dexcallar, Pepa; Vicén Banzo, Luis. *La Arquitectura Popular de Peñíscola*. Benicarló: Onada Edicions, 2010.

Ben M´Barek, Radhia. «Architecture Traditionnelle et Climat en Tunisie.» Cap. 1 de *Architecture Traditionnelle Méditerranéenne. II. Réhabilitation Bâtiments.*, de Méthode REHABIMED, traducido por Michel Levailant, 87-89. Barcelona: COAIAT Barcelona, 2007.

Ben M´barek, Radhia. *Architecture Traditionnelle et Climat en Tunisie*. Vol. II. Réhabilitation Bâtiments, de Méthode RehabiMed. *Architecture Traditionnelle Méditerranéenne.*, de VVAA, 87-89. Barcelona: COAIAT Barcelona - RehabiMed, 2007.

Bestraten, S, E Hormías, y A. Altemir. «Construcción con tierra en el S.XXI.» (Informes de la Construcción) 63, nº 523 (5-20) (2011).

Bestraten, S., E Hormías, y A Altemir. «Construcciones con tierra en el siglo XXI.» (Informes de la Construcción) 63, 523, nº 523 (2011).

Blakstad, Rolph. *La Casa Eivissenca*. Ibiza: J.J. de Olañeta, 2013.

Blondet, M, J Vargas, N Tarque, y C. Iwaki. «Construcción sismorresistente en tierra: La gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica de Perú.» (Informes de la Construcción) 63, nº 523 (41-50) (2011).

Bui, T-T, Q-B Bui, A Liman, y S. Maximilien. «Failure of rammed earth walls: obsevation and quantifications.» (Construction and Building Materials.), nº 51 (295-302) (2014).

Butti, K, y J. Perlin. *Un hilo dorado (A golden Thread)*. 1 Esp. Madrid: Hermann Blume, 1980/1985.

Butti, Ken; Perlin, John. *Un Hilo Dorado. 2500 años de Arquitectura y Tecnología Solar*. Madrid, 1985: Hermann Blume, 1980.

Cagnon, H, J.E Aubert, M Coutand, y C. Magniont. «Higrothermal properties of earth bricks.» (Energy and Building), nº 80 (208-217) (2014).

Cardinale, N, G Rospi, y P Stefanizzi. «Energy and Microclimatic Performance of Mediterranean Vernacular Buildings: The Sassi District of Matera and the Trulli District of Alberobello.» *Building and Environment* 59 (January 2013): 590-598.

Casanovas, Xavier; Graus, Ramón. *Au Sujet des Valeurs Bioclimatiques dans la Rahabilitation de l'architecture traditionnelle méditerranéenne*. Vol. II. Réhabilitation Bâtiments, de *Méthode Rehabimed. Architecture Traditionnelle Méditerranéenne*, de VVAA, 78-86. Barcelona: COAIAT Barcelona - Rehabimed, 2007.

Castilla Pascual, FJ, y L. Maldonado Ramos. «Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra.» Madrid: Dto. Construcción y Técnicas Arquitectónicas. ETSAM, 2004.

—. «Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra.» *Tesis*. Madrid: Dto. Construcción y Técnicas Arquitectónicas. ETSAM, 2004.

Cervera Miralles, Luis; Suarez, Juan; Marí, Pere; Cardona, Susana; Prats, Xescu. *Guia del Patrimono Arquitectónico de Eivissa y Formentera*. Ibiza: Diario de Ibiza, S.A.

Cid, J, y F.R.: Cañas, I. Mazarrón. «Las normativas de construcción con tierra en el Mundo.» (Informes de la Construcción) 63, nº 523 (159-169) (2011).

CORPUS. MEDA, EUROMED HERITAGE. (último acceso: 19 de enero de 2015).

Correia, M. «Teoría de la conservación y su aplicación al patrimonio en tierra. .» (Apuntes) 20, nº 2 (202-219) (2007).

d'Avignon, Ecole, Col legi d'Aparelladors de Barcelona, Ecole des Arts et Metiers Traditionnels de Tétouan, Direction Générale des Antiquités du Liban, y Directorate-General of Antiquities and Museums of Syria. *CORPUS-EUREMED HERITAGE*. WWW.meda-corpus.net/eng/gates/PDF/F2/D01_GRE.PDF (último acceso: 15 de enero de 2019).

Dethier, J. *Arquitecturas de terra ou o futuro de ama tradição milenar Europa-Terceiro Mundo-Estados Unidos*. Lisboa: Fundação Caouste Gulbenkia. Centro de arte moderna José de Azeredo Perdigão., 1993.

Dominguez Vega, W. «La Arquitectura de tierra es una herencia humana.» (Ciencias Holguín) XVI, nº 1 (1-7) (2010).

Ecole d'Avignon; Col legi d'Aparelladors de Barcelona; Ecole des Arts et Metiers Traditionnels de Tétouan; Direction Générale des Antiquités du Liban; Directorate - General of Antiquities and Museums of Syria. *CORPUS- EUROMED HERITAGE*. MEDA, EUROMED HERITAGE. www.meda-corpus.net (último acceso: 19 de enero de 2015).

Eires, R, A Camões, y P. Walter. «Enhacing water resistance of earthen buildings with quicklime and oil.» (Journal of Cleaner Production), nº 142 (245-252) (2017).

Escribano Velasco, Consuelo, y Arturo Balado Pachón. «Las Fortificaciones Medievales de Iscar, Valladolid.» En *La Fortificación Medieval en la Península Ibérica*, de Pedro Luis HUerta Huerta y Miguel Ángel García Guinea. Aguilar de Campoo (Palencia): Fundación Sta. María La Real, 2001.

Esperanza Garzón, L, y CM. Martínez Neves. «Investigar, formar, capacitar y transferir. Los grandes desafíos de la arquitectura y construcción de tierra.» (Apuntes), nº 2 (324-335) (2007).

Feduchi, Luís. *Arquitectura Popular Española*. BLUME, 1976/1979.

Fernández Madrid, Joaquín. «La Cubierta Plana.» *Tectónica* (ATC Ediciones, S.L.) Planas, nº 6 (1997): 12-27.

Ferrer Abarzuza, A. *Arquitectura Tradicional Eivissenca*. Vol. Quaderns D'Arquitectura Pitiüsa 4. Eivissa: Consell Insular d'Eivissa i Formentera, 1998.

Ferrer Abarzuza, Antonio. «Torres e Iglesias Rurales de Ibiza: Fortificaciones para la Defensa de una Población Dispersa.» En *La Fortificación Medieval en la Península Ibérica*, de Pedro Luis Huerta Huerta y Miguel Ángel García Guinea. Aguilar de Campoo (Palencia): Fundación Sta María La Real, 2001.

Flores López, Carlos. *Arquitectura Popular Española, I*. Vol. 1. Madrid: Aguilar, 1973.

Flores, Carlos. *Arquitectura Popular Española Tomo IV*. Aguilar, 1973.

Flores, Carlos. *La arquitectura popular en el archipiélago balear*. Vol. V, cap. Parte 3 de *Arquitectura popular española*, de C. Flores, 187-293. Aguilar, 1973.

Fodde, E. «Traditional Earthen building techniques in central Asia.» (International Journal of Architectural Heritage), nº 3 (145-168) (2009).

Font, F, y P Hidalgo. «La tapia en España. Técnicas actuales y ejemplos.» (Informes de la Construcción) 49, nº 452 (27-37) (2011): 27-37.

Fratini, F, E. Pecchioni, L Rovero, y U. Tonietti. «The earth in the architecture of the historical centre of Lamezia, Terme (Italy) Characterization for restoration.» (Applied Clay Science), nº 53 (509-516) (2011).

Galdieri, E. «Arquitectura de tierra histórica y moderna en Italia.» (Informes de la Construcción) 37, nº 523(97-106) (1986).

Gálvez Huerta, Miguel Ángel. «Bioclimatismo y Construcción con Tierra en la Obra de Hassan Fathy: El Ejemplo de Nueva Gourná.» En *Arquitectura y Construcción con Tierra. Tradición e Innovación*, editado por Luísa, Rivera Gámez, David Maldonado Ramos y Fernando Vela Cossío, 33-52. Madrid: Marea Libros, 2002.

García Grinda, José Luís. «L'architecture traditionnelle méditerranéenne. Territoire, paysage et architecture traditionnelle.» Cap. 1 de *Architecture Traditionnelle Méditerranéenne. II. Réhabilitation Bâtiments*, de Méthode REHABIMED, traducido por Michel Levailant, 49-66. Barcelona: CAIAT de Barcelona, 2007.

García Martín, Francisco. *Cuevas y Silos. Viviendas subterráneas en Castilla-La Mancha*. Madrid: Celeste Ediciones, 2001.

García Mercadal, Fernando. *La Casa Mediterránea*. Madrid: Museo Español de Arte Contemporáneo, 1984.

García Verduch, A. «Materiales de construcción para viviendas de bajo coste.» *Navapalos. III Encuentro de trabajo sobre "La tierra como material de construcción"*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación., 1987. 117-140.

Gíl Albarracín, Antonio. *Arquitectura y Tecnología Popular en Almería*. Almería: Griselda Bonet Girabet GBG, 1992.

Gil Crespo, Ignacio Javier. «Fábricas y Aparejos de la Construcción Fortificada Medieval. Estudio Preliminar.» *Cuadernos de Construcción Fortificada Medieval* (Instituto Juan de Herrera, Esc. Arquitectura de Madrid), 2014: 2-90.

Gil Crespo, Ignacio Javier. *Fundamentos Constructivos de las Fortificaciones Fronterizas entre las coronas de Castilla y Aragón de los siglos XII al XV en la actual provincia de Soria*. Tesis, UPM, 2013.

—. *Historia, arquitectura y construcción fortificada. Ensayos sobre investigaciones recientes*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, ETSAM, 2014.

Goldfinger, Myron. *Arquitectura Popular Mediterránea*. Barcelona: GG, 1993.

Gómez Patrocinio, FJ, C Mileta, y L. García Soriano. «Procesos patológicos en muros de adobe: Panorama general de los mecanismos de degradación del adobe en la arquitectura tradicional española.» Editado por F Jové Sandoval y JL. Sainz Guerra. *Arquitectura en tierra. Historia y renovación. III CIATTI*. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. ETSAV, 2016.

Graham McHenry, P jr. *Adobe and rammed earth buildings. Design and construction*. USA: John Wiley and Sons. Inc., 1984.

Graus, Ramón. *La Cubierta Plana, un paseo por la historia*. Barcelona: EXSA-UPC, 2005.

Guerrero Baca, L. «Arquitectura en Tierra. Hacia la recuperación de una cultura construida.» (Apuntes) 20, nº 2 (182-201) (2007).

Guerrero Baca, LF. «Ecological potencial of mud brick block.» (restauro), nº 1 (23-35) (2013).

Guibbert, J.J. «The ecology and Ideology of cities on the Edge of the Desert.» En *Reading the Contemporary African City*, de The Aga Khan Award for Architecture, 9-26. 1982.

Hausmann, R, y E. Broner. «Elementos de la arquitectura rural en la isla de Ibiza.» A.C. (GATEPAC.) VI, nº 21 (1936): 11-25.

Heathcote, K. «The thermal performance of earth buildings.» (Informes de la Construcción.) 63, nº 523 (117-126) (2011).

Hopson, R. *Adobe: a compresive bibliography*. Santa Fé, Nuevo México: The Lightning Tree, Jene Lyon Publ., 1979.

Hurtado Figueroa, O. «Adobe estructural reforzado con gramíneas de tallos con tejido leñoso.» (Grupo de investigación GINDET), nº (237-248).

Hurtado Valdez, P. «La restauración de edificios construidos con tierra en zonas sísmicas: La experiencia peruana.» (Técnica BIA), nº (99-114).

Jaquin, P.A., C.E. Augarde, y C.M. Gerrard. «Cronological description of the spatial development of rammed earth techniques.» (International Journal of Architectural Heritage), nº 2(377-400) (2008).

Jimenez Delgado, M.C., y I Cañas Guerrero. «Earth building in Spain.» (Construction and Building Materials), nº 29 (512-519) (2006).

Joachim, F, y PH Rotthier. *Eivissa. El Palau Pagès*. Bruxelles (Belgium)/Sant Josep (Eivissa): TEHP, 1984/1991.

Joachim, F; Rotthier, P. *Eivissa. El Palau Pagès*. 3 edición en ibicenco. Traducido por B Marí y N Ribas. San Josep, Ibiza: TEHP, 2013.

Jové Sandoval, F. *La vivienda excavada en tierra. El barrio del castillo en Aguilar de Campos: Patrimonio y técnica constructiva*. Valladolid: COACYLE Valladolid y Universidad de Valladolid, 2006.

Jové Sandoval, Félix. *La Vivienda Excavada en Tierra. El Barrio del Castillo en Aguilar de Campos: Patrimonio y Técnica Constructiva*. Valladolid: COACYLE Valladolid y Universidad de Valladolid, 2006.

Jové, F, L Ramón Martínez, y D. Hernando Andrés. «Bóveda nubia aplicada a la construcción de un prototipo de vivienda de crecimiento progresivo.» Editado por F Jové Sandoval y JL. Sainz Guerra. *Arquitectura en tierra. Historia y renovación. III CIATTI*. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. ETSAV, 2016. 87-96.

—. «Vivienda tradicional a lo largo del Nilo en Sudán. Análisis tipológico y constructivo.» Editado por F Jové Sandoval y JL. Sainz Guerra. *Arquitectura en tierra. Historia y renovación. III CIATTI*. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. ETSAV, 2016. 35-44.

Jové, Félix; Sáinz Guerra, José L.; Fombellida, Ángel; Bautista L, Juan; Olmos, Pedro J; Sainz, Alicia; Rio, Mónica del; Sánchez, Elena; López, Gabriel; Sanz, Javier. «El Barrio de Bodegas de Baltanás. Caracterización del espacio Excavado y su Relación con el Medio Exterior. Baltanás. Palencia.» En *Construcción en Tierra. Tecnología y Arquitectura.*, de Félix Jové Sandoval y José Luís. Sáinz Guerra, 17-28. Valladolid: Cátedra de Juan de Villanueva. E.T.S. de Arquitectra de Valladolid., 2011.

Juarez, LA, T Caballero, y V. Morales. «Ventajas del refuerzo de muros de bloque de tierra compactado (BTC) como opción para el rescate de viviendas rurales.» (Informes de la Construcción) 62, nº 518 (25-32) (2010).

Jurado Egea, José. «Cubiertas: Un enfoque proyectual.» *Tectónica* (ATC Ediciones, S.L.) Cubiertas: Nuevos Usos, nº 34 (Febrero 2011): 4-19.

Lasaosa Castellanos, M^a José; Ron Cáceres, Amalia; Santiago Lardón, José Ángel; Torres López-Muñoz, Ramón. *Arquitectura Subterránea 2 Cuevas de Andalucía. Conjuntos Habitados*. Junta de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transportes., 1989.

Legget, Robert F, y Paul F Karrow. *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil*. Traducido por Mario Agulera Delfín. México: McGRAW-HILL de Mexico, S.A., 1986.

Liuzzi, S, P Stefanizzi, M.R Hall, y S.P. Casey. «Higrotermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in mediterranean climate.» nº 61 (82-92) (2013).

López Osorio, JM, y J. Abadía Molina. «Cuevas, cubiertas y muros de tierra en la provincia de Granada.» *Encuentro Internacional Centro de Investigación Navapalos*. Madrid: Ministerio de Fomento, 1998. 267-278.

López Pérez, C, D Ruiz Valencia, S Jeréz Barbosa, P Quiroga Saavedra, J Uribe Escamilla, y E Muñoz Díaz. «Rehabilitación sísmica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero.» (Apuntes) 20, nº 2 (304-317) (2007).

Losada Villasante, A. *El Riego. II. Fundamentos de su hidrología y de su práctica*. Madrid-Barcelona-México: Ediciones Mundi-Prensa, 2005.

Macias Sole, Josep M^a, y Joan Josep: Remola Vallverdú, Josep Anton Mechon Bes. «Intervenciones Arqueológicas en la Torre de "Les Monges" (Tarragona).» En *La Fortificación Medieval en la Península Ibérica*, de Pedro Luis HUerta Huerta y Miguel Ángel Gaarcía Guinea. Aguilar de Campoo (Palencia): Fundación Sta María La Real, 2001.

Maillard, P., y J.E. Aubert. «Effects of the anisotropy of extruded earth bricks on the hygro thermal properties.» (Informes de la Construcción) 63, nº 523 (159-169) (2011).

Maldonado Ramos, L, FJ Castilla Pascual, y F. Vela Cosío. «La Técnica del tapial en la Comunidad Autónoma de Madrid. Aplicación de nuevos materiales para la consolidación de muros de tapial.» (Informes de la Construcción) 49, nº 452 (27-37) (1997).

Maldonado Ramos, Luis, David Rivera Gámez, y Fernando Vela Cossío. *Construcción con Tierra. Tradición e innovación*. Madrid: Maireia Libros, 2002.

Maldonado Ramos, Luís; Vela Cossío, Fernando; Hoz Onrubia Jaime de. *Diccionario de CONstrucción Tradicional. Tierra*. San Sebastián: Nerea, 2003.

Maldonado, L, y F. Vela-Cossío. «El patrimonio arquitectónico construido con tierra. Las aportaciones historiográficas y el reconocimiento de sus valores en el contexto de la arquitectura popular española.» (Informes de la Construcción) 63, nº 523(71-80) (2011).

Maleka, K. «Principio de la arquitectura griega.» Editado por JL Sainz Guerra y F. Jové Sandoval. X CIATTI. *La Arquitectura construida en tierra. Patrimonio y Vivienda*. Valladolid: Junta Castilla-León. Univ. de Valladolid, 2013. 65-72.

Martín Blanco, Miguel Ángel. «Las Murallas de Segovia en la Alta Edad Media. Una Interpretación Constructiva.» En *Cuadernos de Arquitectura y Fortificación*, de Gonzalo López-Muñoz Moragas y Enrique Daza Pardo. Madrid: Ediciones de la Ergústula, S.L., 2013.

Martínez Gaytán, I. «Hacia la determinación de la viabilidad ambiental de los sistemas constructivos: el caso de los BTC en la zona central de la República Mexicana.» (Apuntes) 25, nº 2 (248-257) (2012).

Martínez Marín, Eduardo. *Hidrología Practica*. Madrid: CICCOP Colección Escuelas., 2001.

Martínez, Andrés. *Habitar la Cubierta*. Barcelona: Gustavo Gilli, 2005.

Marussi Castellan, F, y E Martínez Tercero. «El adobe y la Quincha.» En *Navapalos III Encuentro de Trabajo sobre "La Tierra como Material de Construcción"*. Madrid: Ministerior de Agricultura, Pesca y Alimentación., 1987.

Más Hernández, Ana. «Arquitectura Popular del Campo de Cartagena.» En *Arquitectura Popular en España*, editado por Antonio Cea Gutierrez, Matilde Fernández Montes y Luís Ángel Sánchez Gómez, 541-550. Madrid: CSIC, 1987.

Más Sarrió, V. *Manual y Normas*. Instituto Técnico de la Construcción y el Cemento, 1960.

Melendez, Bermudo, y José M. Fuster. *Geología*. 5. Editorial Paraninfo, S.A., [1969]1991.

Miccoli, L, A Drougkas, y U. Müller. «In-Plane behaviour of rammed earth under cyclic loading. Experimental testing and finite element modelling.» (Engineering Structures.), nº 125 (144-152) (2016).

Miccoli, L, U Muller, y P. Fontana. «Mechanical behaviour of earthe materials: A comparison between earthe block masonry, rammed earth and cob.» (Construction and Building Material) 61 (327-339) (2004).

Mileto, Camila, y Fernando Vegas López-Manzanares. *Proyecto Coremans. Criterios de Intervención en la arquitectura en tierra*. DOI: 10.4438/030-17-184-9. Editado por Cultura y Deporte Ministerio de Educación. SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA, 2017.

Miller, L, y D Miller. *Rammed Earth: a selected bibliography*. Greeley, Colorado: Rammed Earth Institute Internacional, 1982.

Minke, G. *Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Teruel: Ecohabitar, 2010.

Monjo Carrio, Juan. *Tratado de Construcción. Sistemas*. Madrid: Munilla Leire, 2002.

Montelli, Emanuela. *Tecniche costruttive murarie medievali*. Roma: L'Erma di Bretschneider, 2011.

MOPU. *NTE Cubiertas*. Madrid: Rivadeneyra, S.A., 1989.

Moret, Pierre, y Teresa Chapa. *Torres, Atalayas y Casas fortificadas. Explotación y Control del territorio*. . Jaen: Universidad de Jaen, 2004.

Moritz, Karl. *Manual de Cubiertas Planas en la Construcción (FLACHDACHHANDBUCH)*. Madrid: BLUME, 1969.

Moya Blanco, Luis. *Bóvedas Tabicadas*. Madrid: COAM 1993, 1947.

Muchoz García, M, y D Domínguez-Solera. «Arqueología de la Arquitectura en las fortificaciones de Alarcón (Cuenca): La puerta del Bodegón como excusa.» (Cuadernos de Arquitectura y Fortificación) 0, nº 77-122 (2012).

Muhler, Eric. «La Arquitectura Rural de Ibiza com Forma de Construcción Aglutinada.» En *Arquitectura y Espacio Rural en Ibiza*, de Félix Julbe y Fafael Pascuet. Ibiza: Colegio Oficial d'Arquitectes Illes Balears; Demarcació d'Eivissa i Formentera, 2002.

Munoz García, M, y S. David Domínguez-Solera. «Arqueología de la arquitectura en las fortificaciones de Alarcón (Cuenca): La puerta del Bodegón como excusa.» (Cuadernos de Arquitectura y Fortificación), nº 0 (77-122) (2012).

Muñoz García, Michel, y Santiago David Domínguez-Solera. «Arqueología en las Fortificaciones de Alarcón (Cuenca): La Puerta del Bodegón como excusa.» En *Ciadernos de Arquitectura y Fortificación 0*, de Gonzalo López-Muñiz Moragas y Francisco García Riesco. Madrid: Ediciones de la Ergástula, S.L., 2012.

Nava Hung, M, y J. Monjo Carrió. «La arquitectura de tierra, su consolidación a través de la utilización de productos hidrofugantes: Experimentación sobre el centro histórico de Alcalá de Henares.» Madrid: UPM ETSAM, 1996.

Negro, E, TM Cardinale, N Cardinale, y G. Rospi. «Italian Guideliness for Energy Performance of Cultural Heritage and Historical Buildings: The Case Study the Sassi of Matera.» *Energy Procedia* 97 (2016): 7-14.

Neila González, F.Javier; Bedoya Frutos, César. *Técnicas Arquitectónicas y Constructivas de Acondicionamiento Ambiental*. tercera. Editado por Dpto. Construcción y Tecnología. ETSAM. UPM. Madrid: Munilla-Lería, 2001.

Nourissier, Gilles; Reguant, Joan; Casanovas, Javier; Graz, Christophe. *Arquitectura Tradicional Mediterránea*. Barcelona: Grup 4, 2002.

Ortiz Moreno, Eduardo. *Utopia. Márgenes. Apuntes de Arquitectura en La Alpujarra*. TESIS DOCTORAL. ETSAM, 2005.

Oteiza, I. «Introducción a la construcción con tierra.» En *Arquitectura y Construcción con tierra. Tradición e innovación*, de L Maldonado Ramos, L Rivera Gómez y F Vela Cosio. Madrid: Maira, 2002.

Pacheco-Torgal, F, y S. Jalali. «Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction.» (Constructions and Building Materials.), nº 29 (512-519) (2013).

Palumbo, M, F McGregor, A Heath, y P. Walker. «Higrotermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in mediterranean climate.» (Building and Environment), nº 61 (82-92) (2013).

Palumbo, M, F McGregor, A Heath, y P. Walker. «The influence of two crop by-products on the hygrotermal properties of earth plasters.» (Building and Environment), nº 105 (245-252) (2016).

Peña Domínguez, P. «Nueva hipótesis de reconstrucción virtual del alzado de adobes del templo ibérico de la Alcudia de Elche: Aparejo, vanos y sistemas de cubierta.» Editado por F Jové Sandoval y JL. Saínz Guerra. *Arquitectura en tierra. Historia y renovación. III CIATTI*. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. ETSAV, 2016.

Pujal, A.J. «Restoration techniques for earthen buildings of historical value. Actual case.» Silves (Portugal): 7ª Conferencia Internacional sobre o Estudo e Conservacao da arquitectura de terra, Oct. 1993.

Ramos, A.R., R Rotondo, y F. Monk. «Diseño y aplicación de métodos para evaluar patologías constructivas en el habitat rural. Arquitectura de tierra en el noroeste argentino.» (INVI) 19, nº 51 (108-127) (2004).

Rey Aynat, Miguel del. «La Casa Rural de Origen Moderno en el Territorio Valenciano.» Editado por Julio (Director) Cea Gutierrez, Antonio, Rernández Montes, Matilde, Sánchez Gómez, Luís Ángel (Coordinadores) Caro Baroja. *Arquitectura Popular en España Actas 1 al 5 diciembre 1987*. Madrid: CSIC, 1990. 525-539.

Ribas, JM; Roig, S. *Païses. Un món per a no oblidar*. Ibiza: Mediterrània Eivissa, 2014.

Rivero Bolaños, S. «El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia.» (Apuntes) 20, nº 2 (354-363) (2007).

Rivero Bolaños, S. «El uso masivo de tierra como material de construcción en Colombia.» (Apuntes - Journal of Cultural Heritage Studies) 20, nº 2 (354-383) (2007).

Rodríguez Díaz, MA, B Sarroza Horta, PN Ruiz Sánchez, IJ Barroso Valdés, F Ariznavarreta Fernández, y F. González Coto. «Some recommendations for the construction of wall using adobe bricks.» (Dyna) 81, nº 185 (145-152) (2014).

Rodríguez Navarro, Pablo. *La Torre Árabe observatorio en tierras valencianas. Tipología arquitectónica*. Tesis, U.P.Valencia, 2008.

Rodríguez, M.A., I Monteagudo, B Sarroza, P Nolasco, y Y. Castro. «Aproximación a la patología presentada en las construcciones de tierra. Algunas recomendaciones de intervención.» (Informes de la Construcción) 63, nº 523 (97-106) (2011).

Rolón, G., y R. Rotondoro. «Empleo del método estratigráfico en el estudio de la vivienda rural vernácula construida con tierra. Un caso de aplicación en la Rioja, Argentina.» (Arqueología de la Arquitectura), nº 7 (213-222) (2010).

Rotondoro, R. «Arquitectura de tierra contemporánea: Tendencias y desafíos.» (Journal of Cultural Heritage Studies.) 20, nº 2 (342-353) (2007).

Roux Gutiérrez, R, y D.P. Gallegos Sánchez. «Construcción sustentable, análisis del retraso térmico a bloques de tierra comprimidos.» (Revista Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nueva León.) 9, nº 11 (55-68) (2015).

Roux Oropeza, D.L., y R. Roux Gutierrez. «Justificación curricular de la asignatura Arquitectura de Tierra. Caso: Tamaulipas, México.» (Educación y Humanismo) 18, nº 30; 242-255 (2016).

Ruiz Mazarrón, Fernando; Cid Falceto, Jaime; Cañas Guerrero, Ignacio. «Uso de Bodegas Subterráneas Tradicionales y Modernas Excavadas en Tierra para la Crianza de Vino.» En *Construcción en Tierra. Tecnología y Arquitectura.*, de Félix Jové Sandoval y José Luis. Saínz Guerra, 29-32. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. E.T.S.Arquitectura de Valladolid, 2011.

Ruiz Plaza, Á. «Habitar el desierto. La nueva arquitectura en tierra para el desarrollo sostenible del oasis de M´Hamid.» De VII Congreso de Tierra en Cuenca de Campos. Valladolid, 2011.

Ruiz Valencia, D, C López Pérez, y J.C. Rivera. «Propuesta normativa para la rehabilitación sísmica de edificios patrimoniales en tierra.» (Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural) 5, nº 2 (226-239) (2012).

Salas Serrano, J. «La arquitectura de tierra frente al agua y la humedad.» En *Arquitectura y construcción con tierra. Tradición e innovación.*, de L Maldonado Ramos, D Rivera Gómez y F. Vela Cosio, editado por L Maldonado Ramos, D Rivera Gómez y F. Vela Cosio, 33-52. Madrid, 2002.

Sánchez Gama, C.E. «La arquitectura de tierra en Colombia. Procesos y culturas constructivas.» (Apuntes) 20, nº 2 (242-274) (2007).

Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Ana. *Cubiertas. Cerramientos de Edificios*. Madrid: Cie Inversiones Editoriales Dossat 2000, S.L., 2007.

Sanmiguel Mateo, Agustín. *Torres de Ascendente Islámica en las comarcas de Calatayud y Daroca*. Calatayud: Centro de Estudio Bilbilitanos. Institución "Fernando el Católico", 1998.

Sanz Pérez, Eugenio. *Hidrología Subterránea Aplicada*. Madrid: CICCIP. Colección Escuelas, 2004.

Sass, O, Viles, H.A. «How wet are these walls? Testing a novel technique for measuring moisture in ruined walls» (Journal of Cultural Heritage) 7 (257-263) (2006)

Schroeder, H. «Moisture transfer and change in strength during the construction of earthen building.» (Informes de la Construcción) 63, nº 523 (107-116) (2011).

Serra Rodríguez, JJ. *Fortificacions Rurals a l'Illa d'Eivissa*. Ibiza: Mediterrànea-Eivissa; Consell Insular d'Eivissa i Formentera, 2000.

Solé, Gerardo, Javier Calzada, y A. Castelreanas. *Los grandes descubrimientos de la Arqueología. Vol. II*. Barcelona: Planeta- De Agostini, S.a., 1988.

Soriano Alfaro, V. *Arquitectura de tierra en el sur de Marruecos: el oasis de Skoura*. Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos., 2006.

Sorroche Cuerva, Miguel Ángel. *Poblamiento y Arquitectura Tradicional en Granada. Patrimonio de las Comarcas de Guadix, Baza y Tierra de Huéscar*. Granada: Universidad de Granada, 2004.

Stazi, F, A Nacci, F Tittarelli, E Pasqualini, y P. Munafò. «An experimental study on earth plasters for earthen buiding protection: The effects of differents admixtures and surface treatments.» (Journal of Cultural Heritage), nº 17 (27-41) (2016).

Steele, James. *An Architecture for People. The Complete Works of Hassan Fathy*. Thames and Hudson, 1997.

Suarez-Dominguez, E.J, Y.G Aranda-Jimenez, A Palacio Pérez, y E Izquierdo Kulich. «Método matemático para la descrpción de la transferencia de calor para tierra vertida.» (Nova Sciencia) 6, nº 12 (379-390) (2014).

Tornés y Gurrea, Manuel. *Observaciones sobre la Práctica del Arte de Edificar*. Valencia: París-Valencia 2001, 1841.

Torres Balbás, Leopoldo. *La Vivienda Popular en España*. Ed Alberto Martín, 1930.

Torres, Elias. *Guía de Arquitectura de Ibiza y Formentera. (Islas Pitiusas)*. Barcelona. COAC, 1980.

Urdiales Viedma, Mª Eugenia. *Cuevas de Andalucía. Evolución, Situación y Análisis Demográfico en la Proviencia de Granada*. Granada: Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. 1987

Valiente Soler, JM. «El habitat rural de la isla Blanca. Ibiza.» En *Arquitectura de Tierra. Encuentros Internacionales Centro de Investigación Navapalos*. Madrid: Ministerio de Fomento, 1998.

Varanda, Fernando. *Art of building in Yemen*. Segunda Edición. Editado por Fernando Varanda y Francis Molley. Lisboa: Argumentum, 2009.

Vela Cossio, F, y Ester Redondo. *Arquitectura construida con tierra en la Comunidad de Madrid*. Fundación Diego de Sagredo, 1999.

Vela Cossío, Fernando. «E.E. Violet-Le-Duc en el segundo centenario de su muerte.» (La Ergastula Ediciones) Cuadernos de Arquitectura y Fortificación, nº 1 (2014).

Velasco García, MR. «La casa virreinal limeña.» Editado por F Jové Sandoval y JL. Sainz Guerra. *Arquitectura en tierra. Historia y renovación*. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. ETSAV, 2016. 81-86.

Verdera, Catalina, y Cis Lenaerts. «Detalles de Arquitectura Rural Ibicenca.» En *Arquitectura y Espacio Rural en Ibiza*, de Félix Julbe y Rafael Pascuet. Ibiza: Colegio Oficial d'Arquitectes Illes Balears; Demarcació d'Eivissa i Formentera, 2002.

Villena, Loenardo. «Arquitectura Militar en la Península Ibérica.» En *La Fortificación Medieval en la Península Iberica*, de Pedro Luis Huerta Huerta y Miguel Ángel García Ginea. Aguilar de Campoo (Palencia): Fundación Santa María la Real, 2001.

Violet-Le-Duc, Eugenio Manuel. *Historia de la Vivienda Humana*. Victor Leru, 1945, 1875.

Vitrubio Polión, Marco Luis. *Los Diez Libros de Arquitectura*. Traducido por José Luis Oliver Domingo. Madrid, 1998: Alianza Forma.

von Mag, A, y M. Rauch. «Paredes de tapial y su industrialización. (Encofrados y sistemas de compactación).» (Informes de la Construcción) 63, nº 523 (35-40) (2011).

Wampler, Louis. *Underground homes*. Gretna: Pelican Publishing Company, 1978.

Warren, J. «Forma, significado y propuesta: Objetivos éticos y estéticos en la conservación de la arquitectura de tierra.» (Loggia), nº 12 (10-19) (2001).

Watson, D. (*Designing and building a solar house*) *La casa solar*. Madrid: Hermann Blume, 1977/1985.

Watson, L, y K. McCabe. «The cob building technique. Past, present and future.» (Informes de la Construcción) 63, nº 523 (59-70) (2011).

Wofskill, L, W Dunlap, y B Gallaway. *Earthen home construction a field and library compilation with an anotated bibliography*. Texas: Texas Transport Institute, 1962.

Yamin Lacouture, LE, C Phillips Bernal, J.C. Reyes Ortiz, y D. Ruiz Valencia. «Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas de adobe y tapia picada.» (Apuntes) 20, nº 2 (286-377) (2007).

Yepes Gaviria, O.N., C.M. Bedoya Montoya, y D. Gómez Eusse. «Hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción con tierra como patrimonio futuro. Del bloque de suelo cemento(BSC) al bloque de tierra con geopolímeros (BTG).» (Apuntes) 25, nº 2 (240-247) (2012).

Zamora, Joan Lluís. «La Cubierta Inclínada.» *Tectónica* (ATC Ediciones, S.L.) Inclínadas, nº 8 (2004): 4-17.

Zulueta Roa, G. «La arquitectura en tierra: Una alternativa para la construcción sostenible.» (Habitat Sustentable) 1, nº 1 (2011).