

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

LA PAJA COMO MECANISMO
BIOCLIMÁTICO EN LA CONSTRUCCIÓN.
Edificio sostenible en Slane Castle

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

MARTA DIEZ SÁNCHEZ
1-9-2020



Universidad de Valladolid

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

TRABAJO FIN DE GRADO

LA PAJA COMO MECANISMO BIOCLIMÁTICO EN LA
CONSTRUCCIÓN.

Edificio sostenible en Slane Castle

AUTORA: MARTA DIEZ SÁNCHEZ

TUTOR: MIGUEL ÁNGEL PADILLA MARCOS

SEPTIEMBRE 2020

RESUMEN

Este trabajo trata sobre un edificio bioclimático construido en Slane Castle (Irlanda) mediante una técnica tradicional de muros con balas de paja.

En sus comienzos esta técnica nació en Nebraska (EEUU) en la segunda mitad del siglo XIX por la falta de material del que disponían para construir la estructura de sus edificaciones. Aunque, es cierto que lo que conocemos actualmente como arquitectura tradicional es la paja mezclada con barro a modo de adobe o tapial, últimamente se está empezando a poner de moda la construcción de la paja por si sola por sus buenas características físicas y su origen ecológico. Además, la construcción de las envolventes -que puede emplearse tanto para muros como para cubiertas, aunque no son tan comunes en esta última- con este sistema apenas requiere un gasto energético a lo largo de su vida útil lo que hace que, junto con sus propiedades físicas, cada edificio sea bioclimático y sostenible tanto en el proceso de construcción como en el de mantenimiento una vez ejecutada la obra.

Nos centraremos en cómo se llevan a cabo este tipo de construcciones, los diferentes sistemas que existen y las ventajas de estos edificios. Todo ello para terminar para entender cómo se llevó a cabo el edificio del que trata el trabajo.

PALABRAS CLAVE

Edificio bioclimático

Construcción tradicional

Balas de paja

Ahorro energético o eficiencia energética

Sostenibilidad

ABSTRACT

This work deals with a bioclimatic building built in Slane Castle (Ireland) using a traditional technique of straw bale walls.

In its beginnings, this technique was born in Nebraska (USA) in the second half of the 19th century due to the lack of material available to build the structure of their buildings. Although, it is true that what we currently know as traditional architecture is straw mixed with mud in the form of adobe or rammed earth, lately the construction of straw by itself is beginning to become fashionable due to its good physical characteristics and its ecological origin. . In addition, the construction of the envelopes -which can be used for both walls and roofs, although they are not so common in the latter- with this system hardly requires energy expenditure throughout its useful life, which means that, together with its physical properties, each building is bioclimatic and sustainable both in the construction process and in the maintenance process once the work is completed.

We will focus on how this type of construction is carried out, the different systems that exist and the advantages of these buildings. All this to finish to understand how the building the work is about was carried out.

KEY WORDS

Bioclimatic building

Traditional construction

Straw bales

Energy saving

Sustainability

Contenido

1.INTRODUCCIÓN	8
2.ESTADO DE CONOCIMIENTO	10
2.1 CARACTERISTICAS DE LA PAJA:	12
2.2	14
PROPIEDADES:	14
2.2.1 Estructurales:	14
2.2.2 Conductividad térmica:.....	17
2.2.3 Inercia térmica:	18
2.2.4 Estanqueidad:.....	18
2.2.5 Resistencia al fuego:	18
2.2.6 Aislamiento acústico:.....	19
2.2.7 Protección frente a la humedad:.....	19
2.2.8 Descomposición de la paja por microorganismos:.....	20
2.3 MÉTODO CONSTRUCTIVO:.....	21
2.3.1 Sistema Nebraska o portante:.....	22
2.3.2 Sistema CUT o CST:.....	25
2.3.3 Sistema GREB:	26
2.3.4 Otras técnicas:	27
2.4 REVESTIMIENTO DE LOS MUROS:	27
2.4.1 Revoques de cal:.....	27
2.4.2 Revoques a base de arcilla:	29
2.4.3 Revoques de cemento	30
2.4.4 Revoques mixtos	30
2.4.5 Paneles o tableros de muro	30
2.5 ESTRATEGIAS DE DISEÑO	31
2.6 VENTAJAS DE LA CONSTRUCCIÓN CON FARDOS DE PAJA.....	32
2.6.1 Belleza y comodidad.....	32
2.6.2 Facilidad de construcción.....	33
2.6.3 Beneficios medioambientales	33
2.6.4 Sostenibilidad	33
2.6.5 Economía.....	33
2.7 INCONVENIENTES DE LA CONSTRUCCIÓN CON FARDOS DE PAJA	34
2.7.1 Presencia de roedores	34

2.7.2 Presencia de insectos.....	34
2.7.3 Durabilidad.....	34
2.7.4 Pudrición	34
2.7.5 Incendios.....	34
2.7.6 Fijaciones a las paredes	35
3. SLANE CASTLE	35
3.1 EMPLAZAMIENTO.....	35
3.2 EL CLIMA	36
3.3 DEFINICIÓN DEL PROYECTO	37
3.4 DEFINICIÓN CONSTRUCTIVA.....	38
3.4.1 Cimentación	38
3.4.2 Forjados	39
3.4.3 Muros.....	40
3.4.4 Cubierta.....	41
3.4.5 Sistemas energéticos	43
3.4.6. Otros sistemas	43
4. CARACTERÍSTICAS	44
4.1 LA ENVOLVENTE	44
4.1.1 Huecos	44
4.1.2 Fachadas	45
4.1.3 Cubiertas	46
4.2 ACONDICIONAMIENTO E INSTALACIONES.....	46
4.2.1 Suministro de agua	46
4.2.2 Evacuación de aguas.....	46
4.2.3 Suministro eléctrico.....	47
4.2.4 Protección contra incendios.....	47
4.2.5 Ventilación	48
4.2.7 Equipamento	48
5. PROPUESTA DE INSTALACIONES BIOCLIMÁTICAS.....	49
5.1 ANÁLISIS.....	49
5.2 PROPUESTA.....	49
6. NORMATIVA ACTUAL SOBRE LA CONSTRUCCIÓN CON BALAS DE PAJA	51
7. CONCLUSIONES.....	52
8. BIBLIOGRAFIA	54
8.1 BIBLIOGRAFIA IMÁGENES.....	54

8.2 BIBLIOGRAFIA REFERENCIAS:.....	56
Bibliografía digital	56
Bibliografía.....	56

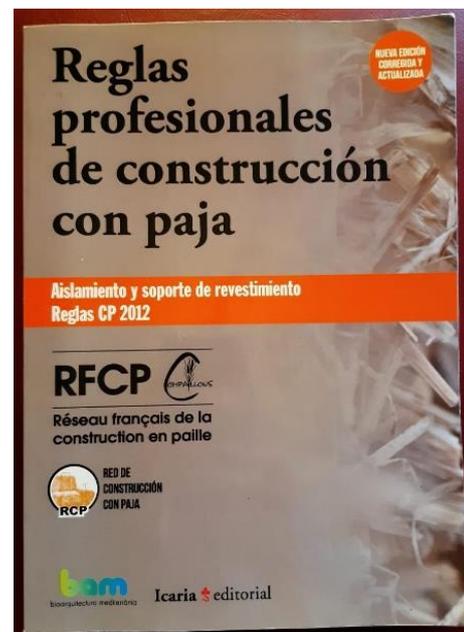
1.INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la construcción hay diversas variedades de materiales con los que podemos construir. Por ejemplo, si hablamos de arquitectura moderna, los materiales más utilizados son el ladrillo, el hormigón, el acero, el vidrio. Y, si nos referimos a la arquitectura tradicional, nos encontramos con el tapial, el adobe y la madera entre otros. Pero, que estos sean los más conocidos, no implica que sean los únicos ni las mejores opciones. Hay otros materiales que, a pesar de no aparecer tipificados en el CTE¹, pueden resultar buenas opciones a la hora de construir. En este sentido, nos encontramos con la construcción con balas de paja.

También a la hora de construir, puede ser hecho de diversas formas, con distintos sistemas, para obtener resultados diferentes. Actualmente, todos los edificios están enfocados a una construcción que dialogue con el medio ambiente, con una alta eficiencia energética, centrados en el ahorro energía, que implica la reducción del consumo y el aprovechamiento de los materiales de construcción. En este sentido, nos encontramos con las construcciones biolimáticas, passivhaus... La construcción bioclimática se puede definir como “una filosofía aplicable a todo el concepto de arquitectura y lo que pretende es conseguir que los objetos resultantes de la misma se adecuen a su entorno desde los orígenes de su concepción. El elemento arquitectónico así diseñado se integrará en el lugar adaptándose física y climáticamente a su entorno; materiales, colores, soluciones constructivas, serán valorados también desde una perspectiva de ahorro de energía y de adaptación al medioambiente, y todo ello sin dejar de lado requerimientos estéticos, funcionales o de cualquier otra índole, a tener en cuenta en cualquier creación arquitectónica”² Mientras que la arquitectura passivhaus está más enfocada a crear un edificio que cuente con gran aislamiento térmico, máxima calidad del aire interior, especial cuidado con las filtraciones y aprovechar la energía del sol para mejorar la climatización.

El hecho de construir con paja es algo a lo que estamos acostumbrados. Tradicionalmente la paja siempre ha formado parte de la construcción, era la fibra que daba esa consistencia al adobe o al tapial. Pero, pocas veces hemos escuchado hablar de ella por si sola.

En España surgió la Red de Construcción con Paja -RCP- como comunidad para impulsar este tipo de construcciones. En su página web se pueden encontrar diversos estudios, artículos y arquitectos que trabajan con este material. Se explica cómo llevar a cabo una obra con balas de paja. Además, también aparecen numerosos estudios, realizados en diferentes partes del mundo, sobre la veracidad de este tipo de construcciones. Rikki Jennifer Nitzkin es la coordinadora de la RCP desde 2005. Además, miembro de la Junta Directiva de la Red Europea de construcción con Paja -ESBA- y miembro de la red Global de construcción con paja -GSBN-. También en Francia se creó un grupo llamado *Réseau français de la*



¹ Código Técnico de la Edificación

² Construmática

construction en paille que publicaron un libro “Reglas profesionales de construcción con paja” que tratan temas más técnicos de este tipo de construcción. Es como una guía a seguir para crear tu propio edificio de paja.

Pero, las asociaciones no son las únicas fuentes que he manejado para obtener toda la información posible, hay numerosos autores que han escrito sobre las balas de paja. Es el caso de Athena Swentzell que ha dado conferencias sobre el comportamiento de la paja y que, junto con Bill Steen y David Bainbridge, escribió un libro con la mayoría de la información necesaria para conocer cómo llevar a cabo una edificación con balas de paja.

Y, para obtener datos más estructurales, me he guiado por los estudios realizados por Nehemiah Stone y Stephen Vardy y Colin MacDougall para saber el comportamiento elástico de las balas de paja con los diferentes recubrimientos y en distintas posiciones.

El objetivo es dar a conocer un material ya existente en la naturaleza, pero, novedoso en la construcción. Un material apto para la construcción de viviendas bioclimáticas. Un material fácil de encontrar y que se obtenga de la naturaleza sin dañarla ni explotarla y que, su hipotético abandono una vez construido no suponga un problema residual. Por eso mi elección de hablar sobre las construcciones con balas de paja, sus diversos métodos y un ejemplo de construcción que pude visitar hace unos años y me resultó muy interesante de estudiar.

El desarrollo del trabajo explica cómo llevar a cabo una construcción con balas de paja. Es un sistema muy sencillo, rápido y con unos grandes beneficios energéticos y medioambientales que combinados con diferentes instalaciones bioclimáticas genera una construcción muy eficiente energéticamente.

El trabajo se desarrolla, principalmente, en dos partes. Una parte más teórica y otra parte más práctica basada en un ejemplo real de vivienda.

En primer lugar, se da a conocer la paja y cómo se comporta. Es muy importante tener una base previa sobre este material, para luego saber manejarlo bien. Analizo sus propiedades, los métodos de construcción que nos podemos encontrar a la hora de usar balas de paja, así como los distintos recubrimientos que podemos elegir para conformar nuestro proyecto. Después, se indican las estrategias de diseño a tener en cuenta para obtener la mejor eficiencia energética posible, pues, aunque las balas de paja por si solas son una buena opción eficiente energéticamente, es posible aumentar su rendimiento en función de las características de diseño que se le otorguen. Y, por último, se analizan las ventajas e inconvenientes de construir con balas de paja, porque a pesar de ver que es una buena opción utilizar este material en los proyectos arquitectónicos, hay ciertos inconvenientes por los que nos puede echar para atrás o características de nuestro proyecto a realizar que hacen imposible la construcción con paja.

La segunda parte del trabajo está más enfocada a un ejemplo práctico. Es un edificio construido en Irlanda. La ventaja de hablar de este edificio y no de cualquier otro construido en España, es que además de haber sido visitado por la autora del presente documento, no se trata de una construcción residencia privada. Es la construcción de una casa rural donde se alojan diferentes personas que comparten zonas comunes. En ella se encuentran espacios públicos a los que tienen acceso no solo los huéspedes de la casa, sino también los que se alojan en el resto de complejo que conforma el camping en el que está ubicada la construcción. Se expone su ubicación y el clima al que está sometido. Se analiza el proyecto desde su diseño, construcción

e instalaciones hasta la propuesta de métodos para mejorar el edificio, para hacerlo más eficiente con instalaciones bioclimáticas que no han sido incluidas.

2. ESTADO DE CONOCIMIENTO

La paja es un material ecológico, de gran versatilidad y mucho más resistente de lo que se piensa. Además de poseer un bajo impacto ambiental, alta eficiencia energética. Las razones que le proporcionan estas características se explicarán más adelante.

Comúnmente, las casas de paja se han relacionado con un tipo de arquitectura endeble y precaria. Sin embargo, bajo esa apariencia frágil, la paja esconde buenas ventajas constructivas: es resistente al fuego, ofrece un buen aislamiento térmico y sale mucho más barata que otros materiales. Además de su carácter sostenible. Todo esto se desarrolla en otros puntos del trabajo.



Fig 1. Villamayor de Campos. Elaboración propia.

Bien construida, una casa de paja puede durar mucho tiempo. De hecho, hay ejemplos de casas con más de cien años de antigüedad. Se trata de uno de los materiales de construcción más antiguos: junto con el barro es un componente del adobe utilizado desde hace miles de años. Sin embargo, las casas de fardos de paja son relativamente recientes, ya que la maquinaria para embalarla no apareció hasta la segunda mitad del siglo XIX.

Las casas de paja ofrecen todas las garantías de habitabilidad de una construcción convencional. Permiten una óptima regulación térmica, aportando calidez en invierno y frescor en verano, y presentan una notable resistencia al fuego; desde que se declara un incendio hasta que las llamas penetran en la paja transcurre una media de 90 minutos. Al ser un material muy moldeable también permite realizar casi cualquier forma de manera sencilla. Sus ventajas ecológicas son asimismo evidentes: al igual que la madera, la paja es un recurso vegetal que absorbe CO₂ en su crecimiento. Y al tratarse de un subproducto agrícola, no obliga a erosionar el terreno.

Según la RAE, la paja se define como: caña de trigo, cebada, centeno y otras gramíneas, después de seca y separada del grano³. El proceso por el cual obtenemos la paja se lleva a cabo cuando se cosecha. Una vez realizado, la paja tiene diferentes utilidades. Sus usos más comunes son utilizarla como cama para los animales, otras veces para la fabricación de pienso, en ocasiones la misma cosechadora tritura la paja y la devuelve al terreno y, otras veces, simplemente se quema desprendiendo a la atmosfera CO². Utilizarla en la construcción sería un buen recurso para no quemar la paja. Además, al final de su utilización, en el caso de que se lleve a cabo la demolición de una vivienda construida con las balas de paja, puede ser devuelta a la naturaleza sin generar ningún impacto ambiental negativo a ella.

Hasta ahora las construcciones de paja eran fruto de la iniciativa individual o de colectivos sensibilizados. Pero desde 2009 hay en marcha un proyecto de nueve países europeos –entre ellos España–, apoyado por el programa Leonardo da Vinci de la Unión Europea⁴, que busca estimular el uso de este material sentando las bases de un currículo europeo de formación profesional y definiendo prácticas de construcción con balas de paja. En nuestro país la gran fuente de conocimiento sobre este tema procede de la Red de Construcción en Paja, coordinada con la European Straw bale Network.



La Asociación Europea de Construcción de Paja es una asociación europea independiente, sin ningún motivo de lucro. El objetivo de la Asociación es promover y desarrollar el uso de la paja, como una forma sostenible de construir en todos los sentidos del término "sostenible": renovable, ecológico, saludable, eficiente en energía y clima, social y económico.

La Asociación es una federación compuesta por organizaciones y personas particularmente preocupadas por el uso de paja en los edificios.

El proyecto " European Learning Partnership for Strawbale Building " se centró en los años 2009 - 2015 en recopilar y comparar las mejores prácticas de construcción de fardos de paja en los países socios europeos y desarrollar la estructura para una formación europea en la construcción de fardos de paja. Se documentaron y compararon seis técnicas diferentes y se creó el plan de estudios del programa de formación con 10 unidades para corresponder al marco del Sistema Europeo de Crédito para la Educación y Formación Profesional -ECVET- para fomentar la movilidad futura de los profesionales en toda Europa.⁵

En España, la organización encargada de llevar a cabo estas prácticas es la Red de Construcción con Paja -RCP-.

³ Diccionario de la Real Academia Española.

⁴ Programa financiado por la Comisión Europea centrado en las necesidades de enseñanza y formación de todos los implicados en la educación y formación profesional

⁵ <http://strawbale.training/en/welcome-at-buildstrawpro/>

El uso de la paja no tiene por qué limitarse a viviendas unifamiliares. Recientemente se presentó la segunda edición del libro Reglas profesionales de construcción con paja, un libro escrito por los miembros de la representación de la European Straw bale Network en Francia - Les Compailleurs, Réseau Français de la Construction en Paille, RFCP- en el que se defiende la idoneidad de este material para erigir vivienda colectiva y edificios públicos.

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PAJA:

Lo primero a tener en cuenta cuando hablamos de paja, es que no es lo mismo hablar de paja que hablar de balas de paja, ya que esto último no solo es un material sino también un formato. Cuando utilizamos balas de paja en la construcción, estas están compuestas por briznas con una orientación determinada. Por eso, según se coloquen en obra -planas, de pie, o de canto- variarán sus propiedades mecánicas, higrotérmicas y acústicas.

También hay que considerar el tamaño y la densidad de las balas, ya que son factores que alteran el peso (cálculo estructural) y el resto de propiedades que mencionamos. Por ello es útil saber desde un primer momento de qué tipo de balas dispones (de 2-4-6 cuerdas, balas Jumbo...) y la empacadora que vas a usar, y a partir de ese momento comenzar a proyectar.⁶

La bala de paja se puede nombrar de distintas formas: fardo, paca, alpaca. Todos ellos diferentes sinónimos que se definen como como bloque de paja prensado normalmente de forma mecánica para facilitar el almacenaje del tallo vegetal que queda en los campos después de la cosecha del cereal.

Es muy importante saber diferenciar entre una bala de paja y bala de heno. Esta confusión es probable debido a que ambas se emban en estado seco y tienen un color muy parecido. Para diferenciarlo hay que observar de cerca ambos vegetales. El heno es hierba o legumbres secas y se pueden encontrar hojas y flores, además, su color es más verdoso. En cambio, la paja está formada por un tallo tubular situado entre la raíz y la espiga de los cereales. De hecho, el aire contenido en el tallo es el que le proporciona el gran aislamiento térmico que caracteriza la construcción con este material. Además, está recubierta por una capa de cera detectable al tacto que la protege y le otorga levemente la propiedad hidrófuga.



Fig 2. Balas de heno/ Balas de paja.

A la hora de elegir una bala de paja, habrá que tener en cuenta diversos factores para escoger las de mejor calidad:

- Humedad: la paja ha de estar seca para evitar la proliferación de hongos. Hay que descartar las balas que hayan estado mojadas alguna vez, aunque en apariencia estén secas debido a que por dentro estarán podridas.

⁶ Arquitecto Boris Apricio Tejido

- Densidad: la densidad siempre debe ser superior a 90kg/m^3 , siendo recomendable para muros de carga que sea mayor a 120kg/m^3 . Deben estar bien comprimidas y tener las cuerdas muy tensadas para que la bala no se desarme cuando se agita. Pero, también debe resultar fácil pasar los dedos por debajo de la cuerda.
- Calidad de la paja: las fibras deben ser largas y evitar las que se la paja trinchada. Debe contener las mínimas espigas del cereal ya que será lo que atraiga a los roedores. Y también debe evitar las malas hierbas que crecen alrededor del cereal.

Cuando el cereal ya está maduro hay que trillararlo y llega el momento de cosechar. Entonces la cosechadora corta el tallo y la espiga, separando el grano y dejando la paja en el campo. Posteriormente es recogida por una empacadora y transportada al lugar deseado. La empacadora puede realizar la bala de distintos tamaños y con diferentes compresiones. Es muy importante que todas posean iguales características físicas. La más utilizada en la construcción es la bala de $45\text{cm} \times 35\text{cm} \times$ longitud variable.

Hay que tener en cuenta que no debe pasar demasiado tiempo entre el ejercicio de cosechado y empacado para que la paja cortada no quede expuesta a la intemperie varios días. Además, el momento de embalar debe ser a última hora de la tarde para que la paja posea el menor grado de humedad posible.

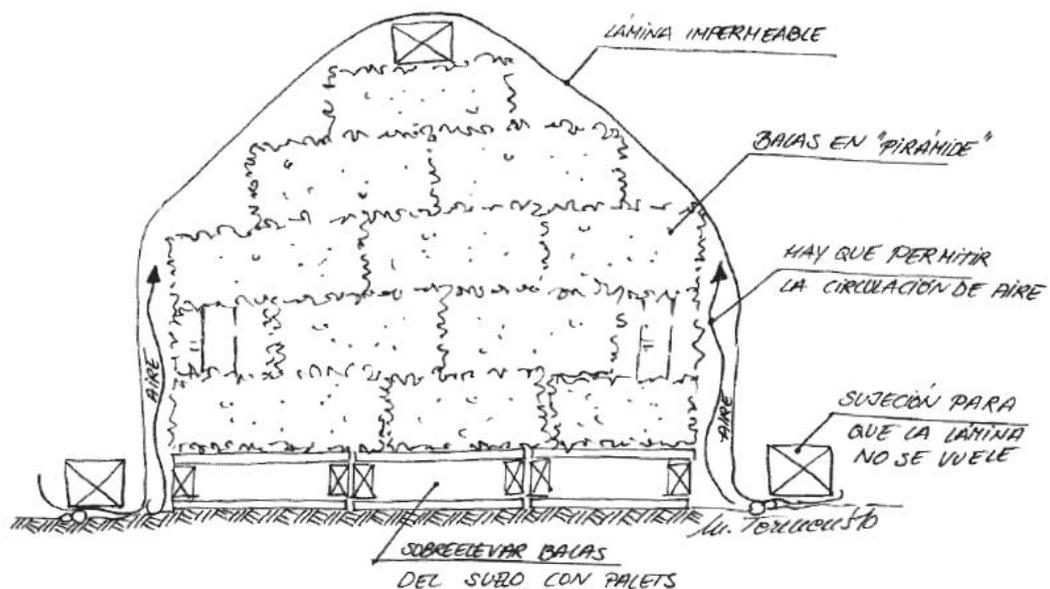


Fig. 3. Colocación de la paja tras su embalado.

Una vez recogidas todas las balas de paja del campo, se van apilando elevadas sobre el terreno en un lugar seguro protegido de la lluvia y cubiertas por una lámina impermeable que evite que se mojen en caso de lluvia.

La forma de colocación de las balas de paja se puede llevar a cabo de tres maneras posibles:

- Bala plana: es como se coloca siempre cuando utilizamos la paja para construir mediante el sistema Nebraska/autoportante. También se usa en el sistema de vigas/postes y relleno, aunque no es tan usual.
- Bala de canto: lo más habitual es verla en sistemas de relleno.
- Bala de pie: se utiliza cuando se hace una estructura de madera a modo de cajones.

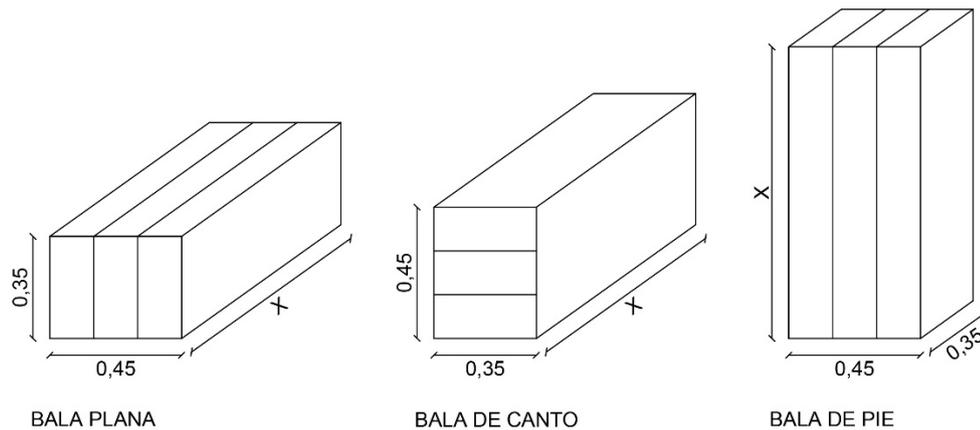


Fig. 4. Formas de colocación de las balas de paja. Elaboración propia.

2.2 PROPIEDADES:

Como se ha explicado en la anterior introducción, la paja posee numerosas propiedades que la convierten en una buena opción para la construcción:

2.2.1 Estructurales:

Generalmente, la cubierta de los edificios y los forjados deben ser soportados por algún tipo de estructura vertical, como pueden ser muros portantes o pilares.

Según el arquitecto Gernot Minke⁷, los muros de fardos de paja pueden soportar una carga de 1000kg/m². La normativa en California permite una carga vertical en el extremo superior del muro de 1956kg/m².

Las balas de paja son un material que se comprime bastante cuando actúa una fuerza sobre ella. Por ese motivo, para añadir más resistencia al muro, se realiza un pretensado de las balas de paja mediante elementos estabilizantes verticales y horizontales como correas de alambres o plásticas.

Es muy importante tener en cuenta que la compresión de las balas debe ser igual en cada uno de ellos para evitar desestabilizar el muro. Para ello, se utilizan los sistemas de coronación como un zuncho perimetral superior en el que se apoya la cubierta y que distribuye toda la carga por igual -tras la colocación de la cubierta, los muros pueden comprimirse hasta 12cm de viga perimetral superior a viga perimetral inferior siendo totalmente normal-. También hay que elegir la bala de paja correcta, no todas son válidas. Hay que escoger aquellas que tengan una densidad de entre 110 y 130 kg/m³. Según los ensayos realizados por Gernot Minke, la compresión realizada sobre un fardo de paja horizontal ejerciendo una carga de 2000 kg/m² genera una compresión de la bala de 1,25% y, con una carga de 7100 kg/m², una compresión del material del 5%. Esto significa que la compresión, a mayor carga, aumenta proporcionalmente.

La deformación de las balas de paja es bastante elástica, por lo que cuando se retiran las cargas, éstas recuperan casi al completo su estado inicial. Actualmente, la falta de normativa para este tipo de construcción tiene como consecuencia los escasos estudios realizados para determinar valores más específicos. Algunos de los estudios llevados a cabo para analizar el comportamiento de la paja ante una fuerza compresiva son los siguientes:

- Dreger (2002)

⁷ Es un arquitecto e ingeniero alemán, considerado el padre de la Bioconstrucción.

- Platts (1996)
- Grandsaert (1999)
- Carrick y Glassford (1998)
- Faine y Zhang (2002)

Los resultados obtenidos para la máxima resistencia a la compresión en paredes de balas enlucidas variaron significativamente de 28kN/m a 90kN/m. Esta gran diferencia es resultado de las diversas pruebas realizadas utilizando una amplia gama de dimensiones de pared, proporciones y espesores de yeso, tamaño de las balas, etc.

Según el artículo “Compressive testing and analysis of plastered straw bales” de Stephen Vardy y Colin MacDougall se llevaron a cabo 30 ensayos con balas de paja con recubrimiento y cada variación se estudió 3 veces. También se incluyeron ensayos sin recubrimiento para ver su comportamiento. Lo primero que indican es la preparación de las balas para ser ensayadas.

- Bala plana: dos cuerdas, paja de trigo, 12kg de peso, dimensiones de 350x500x800 y 85kg/m³ de densidad.
- Bala vertical: dos cuerdas, paja de trigo, 12kg de peso, dimensiones de 405x330x800 - pretensada- y 112kg/m³ de densidad.



Fig 5. Balas de paja preparadas para los ensayos.

Para que fueran los más parecidas posibles se encofraron y recortaron hasta obtener un espesor uniforme en todas ellas. Como resultado del proceso se obtuvieron las balas que aparecen en la figura 4.

Para el recubrimiento, como veremos más adelante, es recomendable hacerlo en varias capas. En este caso se realizó solo en una. Esto tiene como conclusión, que los resultados obtenidos son consecuencia de una “mala” ejecución del trabajo. Y que, por lo tanto, cuando realicemos este sistema de manera correcta el resultado será mejor al obtenido en los ensayos. La dosificación empleada fue 4.5:1.25:0.25 -Arena, cal y cemento-.

Para transmitir la carga se utilizó una máquina compuesta por una viga principal y dos de acero secundarias y se colocaron piezas de madera para que el tablero no flectara con cargas elevadas. Esta máquina dispone, además de un marcador analógico de desplazamiento, tres marcadores digitales. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

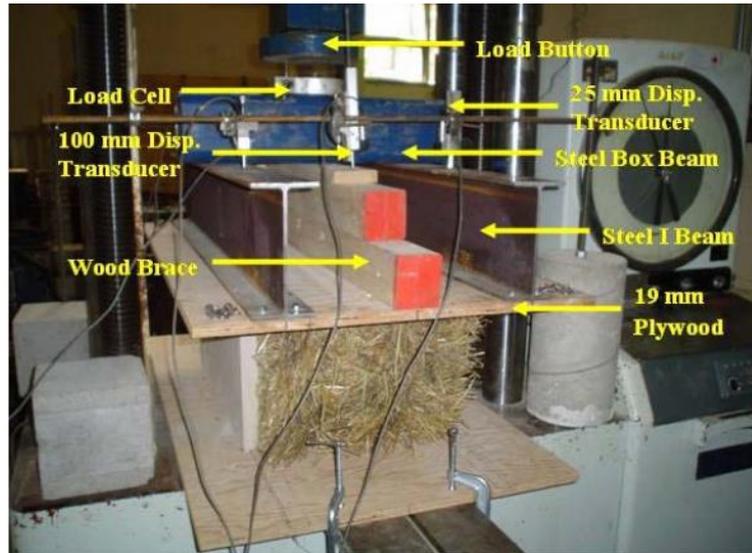


Fig 6. Máquina compresora.

Nº Ensayo	Resist. Recubrimiento [mPA]	Esp. Recubrimiento [mm]	Esp. Actual [mm]	Orientación de la bala	Obsevaciones
1,2,3	1,72	25,4	25,4	Horizontal	
4,5,6	1,72	25,4	12,7	Vertical	
7,8,9	1,2	25,4	25,4	Horizontal	
10,11,12	1,2	25,4	12,7	Vertical	
13,14,15	0,69	25,4	24,4	Horizontal	
16,17,18	0,69	25,4	12,7	Vertical	
19,20,21	1,72	38,1	38,1	Horizontal	Daño por agua
22,23,24	1,72	38,1	25,4	Vertical	Daño por agua
25,26,27	1,72	12,7	12,7	Horizontal	
28,29,30	1,72	38,1	38,1	Horizontal	Repetido
31	No hay	No hay	No hay	Horizontal	Sin recubrimiento
32	No hay	No hay	No hay	Vertical	Sin recubrimiento

Tabla 1. Datos de las muestras ensayadas.

Como vemos en el resultado de la tabla, las balas en posición horizontal son más resistentes que las verticales. El resultado fue que las balas en posición horizontal tenían una resistencia de 35.34kN/m y las balas en posición vertical obtuvieron una resistencia de 25.96kN/m. Vemos que hay casi 10kN/m de diferencia. En posición horizontal son un 36% más resistentes.

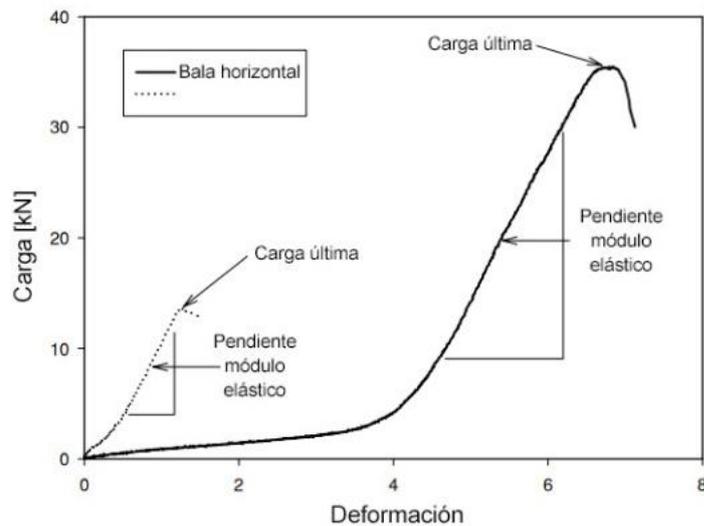


Tabla 2. Valores medios de carga-desplazamiento de las balas de paja con recubrimiento.

Los muros de balas de paja tienen un buen comportamiento ante sismos, debido a su ductibilidad y su capacidad de deformarse elásticamente y por ello poder soportar la energía cinética provocada por el sismo.

2.2.2 Conductividad térmica:

La conductividad térmica, en el caso de la paja, depende sobre todo de la densidad de la bala, de la colocación de las fibras -verticales o paralelas al paso del flujo del calor- y de la humedad de la paja. La densidad de la bala de paja empleada en la construcción nunca debe ser inferior a 90kg/m^3 -lo más conveniente es que esté ente un 110 y 130kg/m^3 -⁸ El tipo de paja que utilizemos influye muy poco en la variación de la conductividad térmica.

Las balas de paja tienen unos valores de aislamiento térmico bastante superiores a los de una construcción convencional por eso se las considera térmicamente eficaces.⁹

En el caso de las balas de paja nos encontramos con la dificultad de medir la resistencia calorífica, ya que no es fácil de determinar. La transmisión térmica es el resultado de calcular la inversa de la Resistencia Térmica -R- de las balas de paja. Y esta, como hemos visto al principio del apartado, puede variar en función de varios factores además del tipo y espesor de acabado que coloquemos. Una diferencia grande de R de dos materiales da como resultado una diferencia en la U -cuando hablamos de valores pequeños de R-. Además, la falta de normativa de este tipo de construcción tiene como consecuencia una escasa información técnica concreta del material. Lo que sí se puede decir es que un muro con balas de paja que esté enfoscado por ambas caras, tendrá una transmisión térmica -U- igual o superior a $0.13\text{W/m}^2\text{K}$.¹⁰ Para hacernos una idea, se ha comparado esta conductividad térmica con la de un cerramiento de las siguientes características:

MATERIAL	Espesor e [m]	Conductividad Térmica [W/mK]	Resistencia Térmica R [m ² K/W]	Transmitancia Térmica U [W/m ² K]
Rse	.	.	0,04	.
Enfoscado de cemento	0,0150	1,0000	0,0150	66,67
1 Pie ladrillo caravista	0,1150	0,5500	0,2091	4,78
Camara de aire	0,0200	0,1176	0,1700	5,88
Poliestireno estruido	0,0500	0,0390	1,2821	0,78
Tabicón cerámico	0,0800	0,8000	0,1000	10,00
Enlucido de yeso	0,0150	0,5700	0,0263	38,00
Rsi	.	.	0,1300	.
e total muro:	0,2950		R Total: 1,97	0,51 :U

Tabla 3: características de una fachada convencional de fábrica de ladrillo. Elaboración propia.

Como podemos observar en la tabla, la transmisión térmica -U- de un muro construido con un sistema convencional de fábrica de ladrillo es bastante superior al de un muro construido con balas de paja.

La influencia del contenido en humedad sobre la conductividad térmica es, en el caso de las balas de paja, bastante inferior que, en materiales de componentes minerales, como por ejemplo los yesos, hormigones, cerámicas o morteros. La conductividad térmica de este material aumenta con la humedad solo un 1-7%, mientras que, en una pared de ladrillos con igual entrada de humedad, la conductividad térmica aumenta considerablemente, hasta un xXx%.

⁸ Arquitecto Boris Apricio Tejido

⁹ Athena Swentzell.

¹⁰ Thermal Performance of Straw Bale Wall Systems. Nehemiah Stone.

2.2.3 Inercia térmica:

La inercia térmica es la propiedad de los materiales de oposición de un cuerpo al cambio de temperatura.

Sabemos que la masa de un edificio almacena la energía en forma de calor. Esta energía se puede liberar de nuevo al ambiente cuando la temperatura del entorno es menor a la temperatura de los materiales y así se evitan las variaciones de temperatura dentro de la construcción.

Un material, cuanto más inercia térmica tenga, más ayuda a mantener una temperatura constante en el interior. Si se somete un edificio a una variación del flujo de calor de manera periódica (algo normal a lo largo del día con los ciclos día/noche), la inercia térmica produce un desfase de la onda de temperatura en el tiempo y una amortiguación de esta onda al atravesar un elemento constructivo. La inercia térmica de un edificio depende de la masa de los elementos que lo constituyen, de la conductividad térmica, de la capacidad calorífica específica y de la ubicación relativa de cada una de las capas que conforman el elemento.

Según esta definición, cuanto más denso es el muro mayor es la inercia térmica. Como sabemos, muros de adobe o tapial poseen muy buenas inercias. En el caso de la paja va a depender de otros factores como su grado de compresión y la aplicación de recubrimientos, lo que afecta directamente a la densidad del elemento construido con paja. Nos resulta muy cómodo que unos bloques tan grandes, como son las balas de paja, sean tan ligeros ya que facilitan su colocación, pero, esta falta de masa disminuye su capacidad de almacenamiento térmico. Para compensarlo se utilizan los revestimientos de los muros (en especial al interior) que además ayudan a rigidizar y proteger. La aplicación de revocos de tierra con alto porcentaje de arenas y gravas finas (de 3 a 6cm de grosor) contribuyen significativamente a la inercia térmica.

2.2.4 Estanqueidad:

Un edificio eficiente energéticamente debe asegurar la estanqueidad tanto al viento como a la nieve. En los muros de balas de paja se puede conseguir una buena estanqueidad al hacer el revoco de tierra. Es muy importante, previamente a hacer el acabado de tierra, rellenar los huecos entre balas de paja con más paja o mezcla de esta con tierra.

2.2.5 Resistencia al fuego:

Tiempo expresado en minutos en que un elemento constructivo expuesto al fuego, mantiene su estabilidad y sus características estructurales y de aislamiento.

Según los ensayos realizados en Austria con balas de paja con una densidad de 120kg/m³ se observó que, teniendo una estructura de madera con cerramiento de balas de paja con acabado interior de tierra y exterior de cal, el resultado de la resistencia al fuego era de 90 minutos.

Esta resistencia se debe, sobre todo, a su estanqueidad. El oxígeno que contiene la paja no puede circular debido a los acabados de cal, tierra, etc. Además, por la compresión a la que están sometidos los fardos de paja no hay suficiente aire. En el momento que hay una grieta y empiece a quemarse la bala de paja, ésta fuente de calor carboniza la primera capa de paja, impidiendo la entrada de oxígeno por lo que no puede seguir quemándose.

No obstante, en cuanto se han construido los muros de paja, se tiene que revocar toda la superficie, no solo para protegerla ante el fuego, sino también de otros factores como la humedad o insectos, ya que las fibras sueltas que sobresalen de la bala suponen un grave peligro.

Hay que tener en cuenta que, aunque la resistencia al fuego de una construcción de este tipo sea alta al finalizar la misma, no implica que también lo sea durante su construcción. Durante todo el proceso hay que tener mucho cuidado, ya que la paja por si sola y sin comprimir es un foco de peligro.

2.2.6 Aislamiento acústico:

El aislamiento acústico es la protección de un recinto contra la penetración de sonidos del exterior y viceversa.

Se trata de reducir el ruido, tanto estructural como aéreo, que llega al receptor a través del obstáculo (muro, etc.). Un buen aislamiento acústico pretende que la energía transmitida sea mínima. Esto implica un aumento de energía disipada y/o reflejada. Los materiales adecuados para el aislamiento acústico son aquellos que tienen la propiedad de reflejar o absorber una parte importante de la energía de la onda incidente.

En el caso de los muros de fardos de paja, no solo impide la penetración de los ruidos de un lado al otro del muro, sino que además tiene muy buena absorción acústica. Eso implica una mejora en la acústica del local de tal forma que minimiza el sonido que envuelve al mismo, atenuando efectos molestos como reverberación o eco.

2.2.7 Protección frente a la humedad:

La humedad es el gran enemigo de las construcciones con paja, por eso es muy importante conocer todo lo posible sobre ella para poder prevenirla. Como ya sabemos, hay varios tipos de humedades: por capilaridad, por condensación, por salpicadura y de tipo accidental.

- Humedad por capilaridad: es un proceso por el cual el agua y la humedad presente en la zona sobre la que está asentada la edificación ascienden poco a poco hasta alcanzar una altura que puede llegar a ser de hasta un metro y medio. Ello es debido a que la tierra está constantemente transpirando, absorbiendo agua de la lluvia o del ambiente. Cuando no hay edificaciones, el agua se evapora o circula por debajo hasta encontrar un acuífero. Esto es muy distinto cuando si existen, en ese caso la corriente de agua subterránea se ve interrumpida y busca la salida a través de los muros enterrados por la porosidad de los materiales con los que están contruidos. En el caso de la paja, como en construcciones con otro tipo de material, se soluciona con la colocación de una lámina hidrófuga que actúa como barrera e impide la penetración de la humedad. Además, es recomendable separar siempre la bala de paja para evitar las humedades por condensación mediante un zócalo de piedra o una estructura de madera.
- Humedad por condensación: suele suceder que, en invierno, si la parte exterior de la vivienda no se encuentra bien aislada térmicamente, la cara interior de ese cerramiento estará a menor temperatura. Eso provoca que el aire interior, que toma contacto con esa pared, se enfríe rápidamente provocando que el vapor de agua se condense. Ese vapor se convertirá en gotitas que se depositan sobre la pared y dan lugar a condensaciones superficiales. También puede suceder que estas gotitas se den por dentro del cerramiento, produciendo las condensaciones intersticiales tan dañinas para los materiales.

En el caso de la paja, la estanqueidad del muro y los revocos impiden que aparezcan las humedades.

- La humedad por salpicadura: es la que se origina cuando el agua de lluvia rebota contra el suelo y puede salpicar al muro de paja generando grandes daños. Por eso, en el diseño de muros con paja, se debe hacer “unas buenas botas y un buen sombrero”. Que quiere decir, crear un zócalo como el explicado anteriormente y una cubierta que proteja la vivienda. Este zócalo bastaría que tuviese 50cm de altura.
- La humedad accidental: se produce cuando se rompe una cañería o alcantarillado. Hay que repararla inmediatamente y sustituir el material dañado. En este caso, la construcción de balas de paja te permite cambiar una de ellas con gran facilidad sin tener que cambiar el resto del muro. Así se sustituyen solo las balas dañadas.

2.2.8 Descomposición de la paja por microorganismos:

Uno de los mayores temores al construir con balas de paja son los microorganismos. Los hongos son el principal problema que se puede presuponer ya que reciben sus nutrientes a través de la descomposición de la celulosa y lignina presentes en la paja. Por lo tanto, para impedir su aparición, debemos regular otros factores que necesitan para su supervivencia. Esos factores son: humedad, temperatura, oxígeno, ph y utilización de fungicidas.

El control de la temperatura es muy difícil de controlar ya que los hongos proliferan en amplios rangos de temperatura. Respecto al oxígeno, la paja tiene un alto contenido debido a su forma tubular. La utilización de fungicidas queda descartada por ser una sustancia tóxica, si estamos construyendo una vivienda bioclimática no cabe pensar que se utilizarán este tipo de sustancias. Por lo tanto, la última opción que nos queda es el control de los microorganismos a través de la humedad. Según los expertos, se precisa aproximadamente una humedad relativa del 70% para la proliferación de estos organismos. Esto es relativamente fácil ya que utilizando los revocos de los que hemos hablado anteriormente se consigue mantener la humedad por debajo del 15%.

De todas formas, al igual que nos pasa con la resistencia al fuego, no solo hay que tener precaución para evitar los microorganismos cuando el edificio ya está construido. También es necesario durante todo su proceso, desde que pasa la cosechadora hasta la puesta en obra. Cuando pasa la cosechadora por el campo y siega el cereal, mata la planta, a partir de este momento ya no ofrece ninguna resistencia a los microorganismos responsables de su descomposición. Si no se recoge enseguida la paja, la combinación de las altas temperaturas y la humedad crearán un hábitat idóneo a los microorganismos iniciando el proceso de putrefacción. Por tanto, es de vital importancia que este proceso de recolección de la paja se haga correctamente, ya que influirá totalmente en una buena calidad del material.

2.3 MÉTODO CONSTRUCTIVO:

Lo primero que debemos decidir cuando hacemos una construcción de paja es el tamaño de los fardos. Al igual que pasa con los ladrillos, hay varias opciones para elegir. Hay muchos formatos de embalado de la paja, aunque para la construcción, los más recomendados son los muros compuestos de balas de 2 y 3 cuerdas con forma de prisma rectangular. La diferencia más notable entre estos dos es el ancho o “tizón de un ladrillo”, es decir, la longitud de las fibras. Un fardo de 3 cuerdas tiene una dimensión de 58x41x107cm, mientras que el de 2 cuerdas está en torno a 46x36x91cm.

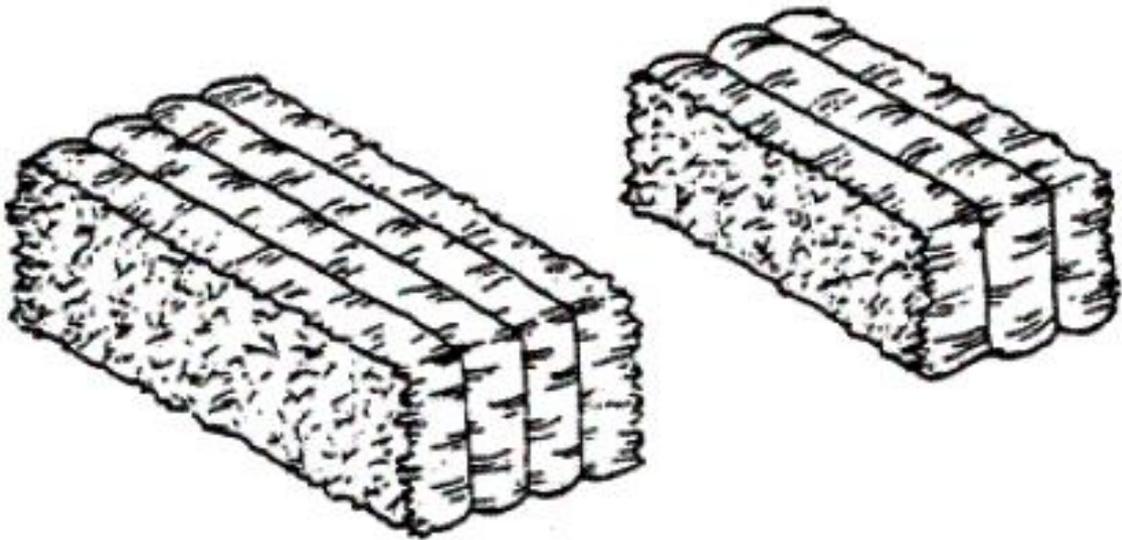


Fig 7. Medidas balas de paja: 3 y 2 cuerdas.

Como se aprecia en la imagen, las balas de paja están compuestas por tres medidas: alto(a), ancho(b) y largo(c). Se dice que está situado en “horizontal” cuando la parte más ancha está paralela al suelo. Y, por el contrario, en “vertical” cuando la parte más estrecha está paralela al suelo.

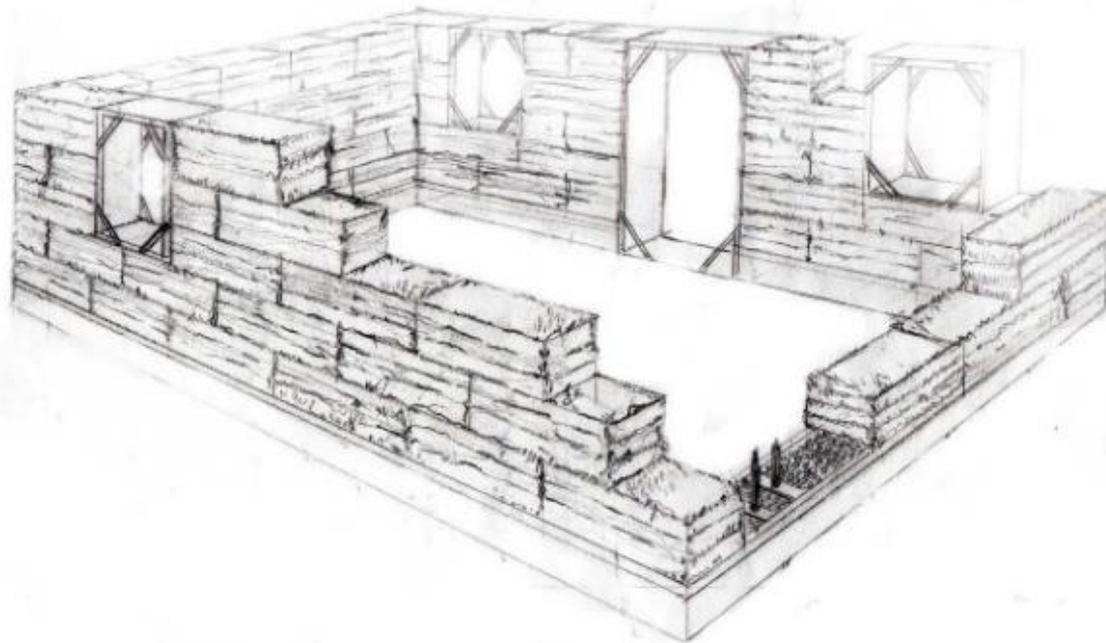


Fig 8. Levantamiento muro balas de paja

También debemos tener en cuenta la densidad de la paja, sobretodo, si vamos a usar las balas de paja como muros de carga. A mayor densidad de los fardos, menor energía necesitaremos aplicar al muro para pre-tensarlo antes de someterlo a las cargas que deberá soportar. Si es cierto que cuanto más energía apliquemos al muro, mayor es el descenso que sufre en coronación. Como ya se ha comentado anteriormente, los fardos deben tener una densidad de entre 110 y 130kg/m³ y nunca inferior a 90kg/m³.

Dentro de las técnicas de construcción con paja nos encontramos unas con capacidad portante y otras, simplemente, de cerramiento.

2.3.1 Sistema Nebraska o portante:

Este estilo se refiere a construcciones de paja que no poseen ningún marco estructural para soportar el peso del tejado. Es el estilo más tradicional. El nombre surge del lugar donde se llevó a cabo por primera vez, en Nebraska (EEUU).

Las balas se colocan unas junto a otras unidas entre sí y a la cimentación por medio de estacas de madera. Para transmitir las cargas por igual de los forjados y cubierta a los fardos de paja, se coloca un zuncho perimetral de borde de madera que se fija a las balas de paja mediante alambres, listones o cuerdas. Hay unas normas básicas para este tipo de construcción:

- Usar balas de mínimo 90kg/m³ (más mejor).
- No superar el 50% de aperturas (ventanas/puertas) en una pared.
- Deja 1 y 1/2 balas entre esquinas y aperturas, y entre una apertura y otra.
- No superar 7 hiladas de alto sin reforzar la pared horizontalmente.
- No superar los 7 metros de largo sin poner un tabique de refuerzo o arrostramiento.
- Las balas se colocan horizontalmente y a “rompe-juntas”.
- Cada bala debe contener 2 elementos de fijación en la zona central
- Los fardos en las esquinas se unen mediante grapas.
- Prever un margen en las aperturas por la pre-compresión de las balas.
- Aplicar pre-compresión antes de ser cargada con el forjado o la cubierta.



Fig 9. Construcción de muros portantes de balas de paja. Fig 10. Zuncho perimetral de madera.

A la hora de levantar el muro de paja, debemos tener en cuenta el sistema de construcción de un muro de carga de paja construido de la forma tradicional. Para ello se llevará a cabo en primer lugar la cimentación, esta puede estar hecha con piedras, hormigón a modo de zapatas corridas o aisladas o neumáticos rellenos de piedra. Son cimentaciones relativamente sencillas debido al poco peso propio de los fardos de paja y a que las construcciones no alcanzan grandes alturas (máximo 2 o 3 plantas).

Una vez realizada la cimentación, se colocará un zuncho perimetral o marco con maderas paralelas de 5cm y travesaños cada 50cm más o menos. Los espacios que quedan entre las maderas se deben rellenar de un material aislante o graba seca. La función de este marco es separar la cimentación del muro de paja para evitar que se humedezca. Además, en él se clavan las estacas que recibirán a las balas de paja para una mayor estabilidad.

Una vez que hemos colocado ese zuncho perimetral, enumeramos los siguientes pasos:

- Fijar los pre-marcos de las puertas a la cimentación.

- Colocar unos arrostramientos temporales en las esquinas para garantizar la rectitud de las mismas al colocar los fardos.

- Se empezará a levantar el muro. Se inicia siempre colocando las primeras balas de paja desde las esquinas y desde las puertas. Con ello se pretende disminuir el número de balas de dimensión variable y al colocar las balas enteras en las zonas más sensibles se otorga a la estructura una mayor estabilidad. Hay que tener en cuenta que, entre balas, una

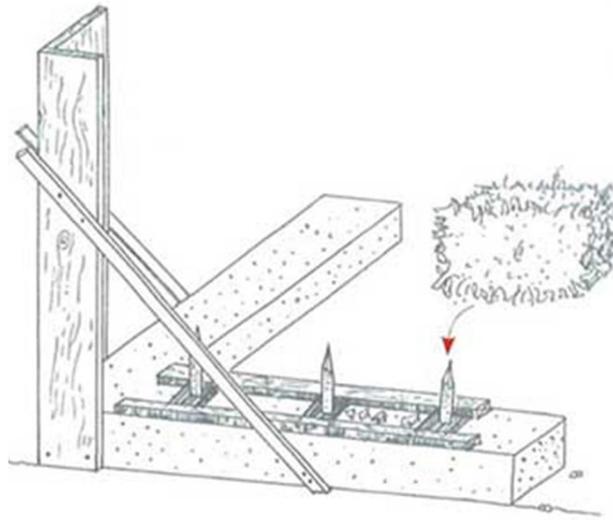


Fig 11. Solución en esquina de los muros con balas de paja.

mayor compresión no siempre es mejor, ya que pueden abombarse. Deben estar rozándose y que el espacio entre una y otra no permita introducir la mano, pero en ningún caso forzar a la bala a entrar en un hueco. Al finalizar cada hilada, se rellenan los huecos entre los fardos de paja con más paja.

- Se deberán grapar las esquinas para evitar que se abran.
- El último paso es unir las balas mediante estacas a partir de la tercera hilada e introduciendo dos por bala. Pero este paso se está empezando a eliminar, debido a que solo ayuda en el momento de la construcción, pero una vez que se coloca la viga de coronación dejan de tener función. Por lo que es un gasto material innecesario.

Como se ha hablado anteriormente, es importante el pre-tensado de los muros, sobretodo en construcciones de más de una altura, aunque no es imprescindible.

Una vez realizado todo lo anterior, deben hacerse los amarres. Este sirve para unir todos los elementos de la construcción por lo que se tienen que prever un tubo de plástico que atraviese la cimentación. El material que se suele emplear es el alambre, aunque también existen flejes textiles, plásticos o metálicos. Su método de colocación es cada 60-90cm de esquinas y aperturas. Y cada 1.50cm en tramos sin aperturas. A continuación, se colocará la cubierta.

Se da por hecho que se debe ir colocando el plomo cada poco para comprobar la situación de la construcción y verificar que se está llevando a cabo bien.

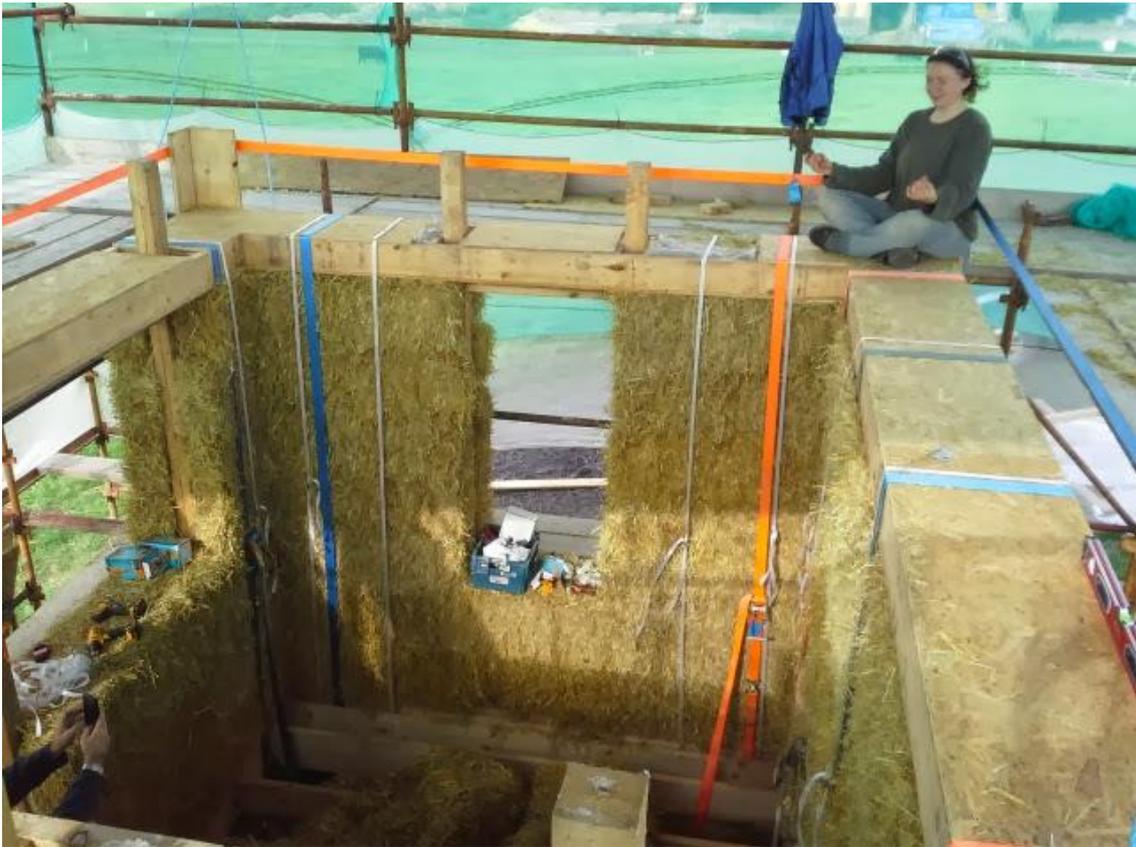


Fig 12. Pretensado de los muros. Elaboración propia.

La ventaja de este sistema es que es sencillo de ejecutar, fácil de diseñar y rápido. Permite gran libertad de formas y no requiere mucha exactitud en la ejecución. Lo malo es que es difícil mantener toda la paja seca durante el proceso. También que, debido a que los muros son de carga, las aberturas que pueden contener deben ser inferiores al 50% de la superficie de la pared y que se debe esperar a que la estructura se asiente para aplicar el recubrimiento o podrían aparecer fisuras por el movimiento de la misma.

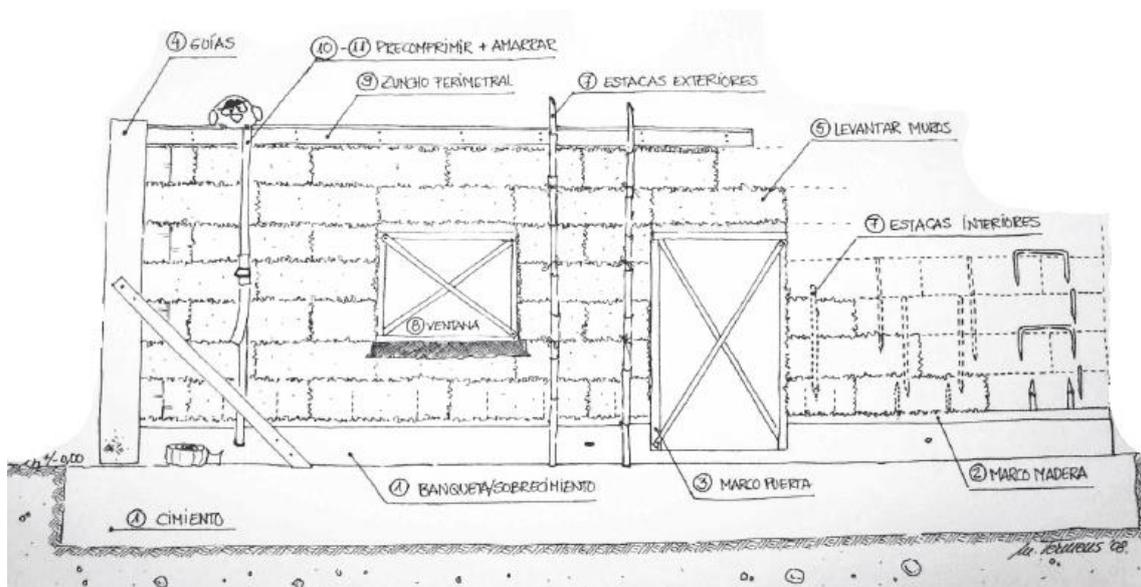


Fig 13. Características de la construcción del muro de paja.

2.3.2 Sistema CUT o CST:

Es un sistema constructivo intermedio entre el sistema Nebraska y un sistema con estructura adicional. En este caso las balas de paja se colocan a presión entre un entramado de madera vertical. Esto permite poder construir la cubierta antes que las paredes y así, la misma cubierta, sirve de protección a los fardos mientras se están ejecutando los muros. Los fardos de paja siguen siendo esenciales para la integridad estructural.



Fig 14. Sistema CUT.

Para llevar a cabo este sistema, las balas de paja tienen una dimensión 5cm mayor a la distancia entre montantes verticales. Así cuando se coloca, cada bala ejerce una presión sobre los montantes. Sobre cada hilada, se colocan dos listones de madera horizontales que se sujetan a los montantes verticales y que comprimen la paja. Debido a la presión que ejerce la paja en ambos lados de los montantes verticales, estos no se deforman. Ésta presión genera un efecto de refuerzo sobre los mismos que permite reducir su espesor para soportar la carga de la cubierta.

La altura total de la pared deberá ser 15cm superior a la definitiva debido a la compresión que ejercerá la estructura de coronación cuando se aplique la pre-compresión.

En este caso, la bala de paja es utilizada como elemento de cerramiento, aislamiento térmico, elemento portante y además como elemento estructural de arriostramiento.

La mayor ventaja de este sistema es que la estructura de la cubierta se puede ejecutar antes de construir las paredes. También proporciona una mayor estabilidad en la apertura de puertas y ventanas respecto al estilo Nebraska. Y algo muy importante, no es necesario construir la estructura de madera en el sitio, puede prefabricarse. Pero ya nos exige una mano de obra especializada debido a su mayor complejidad.

2.3.3 Sistema GREB:

Esta técnica consiste en crear una doble estructura ligera de madera que genere un pasillo donde se insertarán las balas de paja. Estos listones de madera suelen tener una dimensión de 10x4cm y, aparte de estructura, cumplen la función de encofrado. En este caso, el peso de los forjados y de la cubierta es soportado únicamente por la estructura de madera (también puede realizarse de hormigón o metálica, pero no es tan usual debido a los posibles daños que puede generar sobre la paja) y las balas de paja cumplen simplemente la función de cerramiento.

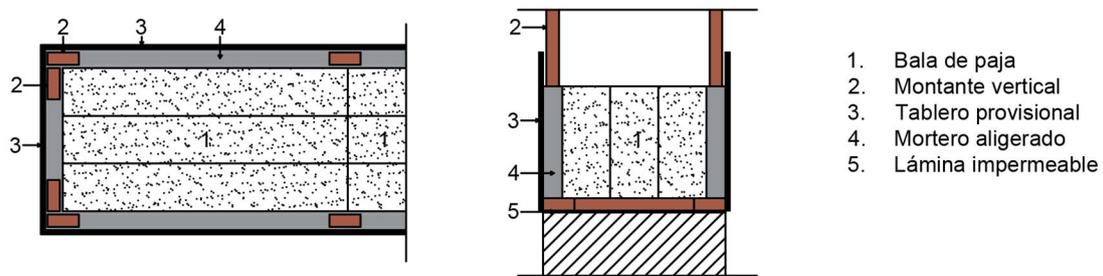


Fig 15. Ejemplo de encofrado. Elaboración propia.

Cuando se ha colocado la primera hilada de fardos, se atornilla un tablero al encofrado y se procede a rellenar con un mortero aligerado compuesto por:

- 4 partes de serrín.
- 3 partes de arena.
- 1 parte de cal.
- 1 parte de cemento.



Fig 16. Encofrado realizado en un edificio real.

En la imagen de la derecha se puede observar que ya se ha secado el mortero aligerado de la primera hilada y se han colocado las balas de paja de la segunda. En la imagen de la izquierda se ve como han atornillado el tablero a la estructura de madera para verter el mortero de la segunda hilada.

Los métodos de relleno pueden ser tanto a mano como mediante vibrador. Y este mortero proporciona una mayor estabilidad al muro y lo hace más rígido.

Las ventajas de este tipo de construcción son muy parecidas al anterior. La cubierta y el forjado pueden colocarse previamente a la colocación de las balas de paja para proporcionarlas una protección frente a las condiciones atmosféricas. Proporciona una mayor estabilidad en general, de hecho, es una muy buena opción para una construcción donde se prevé cargas por nieve o que precise de varias alturas. Tiene grandes posibilidades de diseño debido en parte a que puede prefabricarse. Pero requiere tener muchos conocimientos y habilidades para llevar a cabo la estructura, lo que implica mano de obra especializada y además es un proceso más lento.

2.3.4 Otras técnicas:

Hay otras técnicas de construcción con paja como el sistema con cal, que se puede emplear cuando las balas de paja se utilizan tanto para la formación de muros de carga como para cuando solo ejerce la función de cerramiento. Pero tiene el inconveniente de que aumenta considerablemente su peso.

2.4 REVESTIMIENTO DE LOS MUROS:

Los revestimientos de un muro de paja se pueden tratar de manera diferente en función de si es el lado exterior de la pared o el interior. Y son semejantes a las soluciones que se emplean para construcciones con método tradicional como el adobe o el tapial. Pueden ser recubiertas con malla metálica cuyo trenzado del alambre crea formas hexagonales o sin malla, pero, es recomendable el uso de esta pues refuerza la estructura y da consistencia al edificio. Esta malla debe fijarse en la base y en la coronación del muro y está unida a las balas mediante unas piezas metálicas similares a una grapa que se clavan en el muro de paja.



Fig 17. Grapas empleadas para unir la malla al muro.

Es muy importante antes de revestir el muro rellenar los espacios, que hayan quedado entre las balas o entre balas y estructuras, con paja. También lo es elegir un material que además de cumplir una función estética cumpla los requerimientos establecidos para la permeabilidad al vapor de agua. Es necesario que el recubrimiento que coloquemos tenga buena permeabilidad al vapor de agua para que la pared respire permitiendo la evaporación natural de esta. Si por el contrario, el material que elegimos no es permeable, la humedad que haya entrado tardará mucho en salir, provocando la aparición de hongos y la descomposición del muro.

2.4.1 Revoques de cal:

Lo primero que debemos tener en cuenta es que los revoques al interior generan dentro del edificio mucha agua y humedad por lo que es necesaria una buena ventilación del mismo. Este tipo de revoque se puede llevar a cabo tanto al interior como al exterior de los muros de balas de paja.

Los muros construidos con balas de paja se recubren con revoques para proporcionar una protección mecánica, resistencia al fuego y al agua líquida, una estanqueidad al aire y una barrera al vapor.

Los conglomerantes y finos que se utilizan en la preparación de revoques son de base mineral y pueden ser de:

- Cal hidráulica natural.
- Cal aérea apagada para la construcción.

Es importante saber que, a la hora de elegir la dosificación, el porcentaje de aglutinante de cal es mayor en la primera capa (o capa de unión) y menor en la última (capa de acabado).

La primera capa de revoque debe penetrar más de 5mm. Esta penetración puede llevarse a cabo mediante proyección mecánica o manual y aplicación con llana. Hay que dejar totalmente cubiertas todas las briznas de paja. Otra forma de llevar a cabo esta primera capa es mediante tableros de encofrado. Estos tableros, que deberán estar limpios y sin pajas, junto con la bala de paja constituyen el encofrado donde se verterá el revoque.

Después se realiza la capa de agarre (de unos 5mm) que debe tener una superficie rugosa para que se sujeten bien las siguientes capas. A continuación, se coloca la capa base, esta capa tiene un grosor de ente 10 y 12mm. Y, por último, se lleva a cabo la capa de acabado (5mm). Antes de proceder a colocar esta capa, las fisuras que se han creado se abren y se tapan con diferente revoque en función de la magnitud de la grieta.

Como se puede apreciar, hay diferentes capas que se deben aplicar. Estas capas tienen un tiempo de espera entre unas y otras. Este tiempo dependerá de las condiciones atmosféricas, del grosor de la capa y de los aglutinantes. Deben ser aplicadas cuando no haya riesgo de heladas. Este tiempo es: lo que tarda en secarse la capa más seis meses si no está reforzada con una malla o lo que tarda en secarse la malla más tres meses si sí está reforzada.

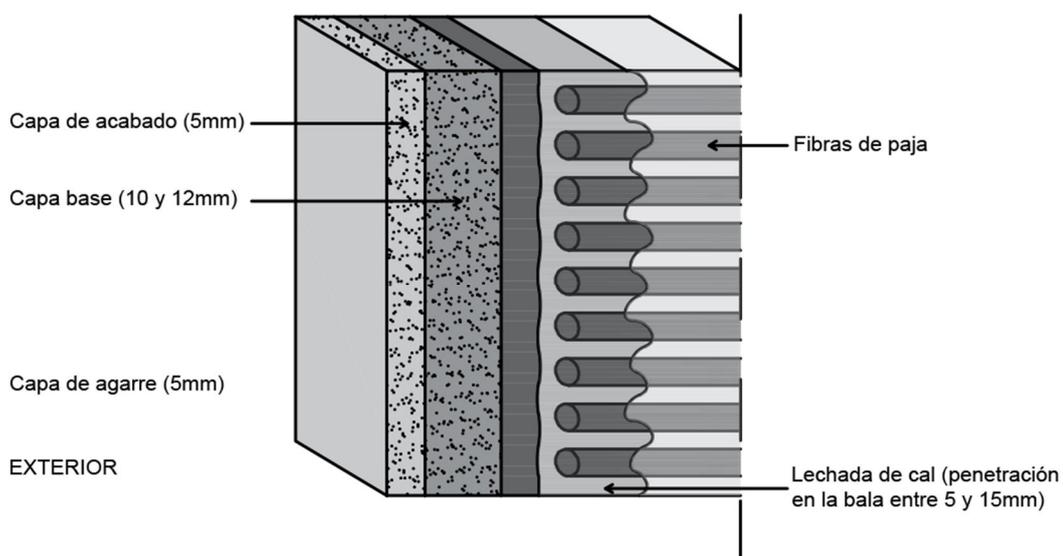


Fig 18. Esquema de realización del revoque de cal por capas.

En definitiva, son recubrimientos duraderos y eficientes que tienen buenas cualidades para proteger la construcción de las condiciones climatológicas. Además, debido a que es un

material muy maleable, se puede trabajar para conseguir una apariencia de sillares, pulidos, etc.

2.4.2 Revoques a base de arcilla:

La tierra arcillosa se utiliza desde hace mucho tiempo en la realización de revoques. Es una opción muy antigua pero efectiva debido a su capacidad para regular la humedad, su inercia térmica y el bajo impacto ambiental que genera.

Si se colocan al exterior deben estar protegidas de la intemperie mediante el propio diseño del edificio (por ejemplo, colocando aleros) o recubiertas por una capa de acabado protectora. Por eso es más usual verlas en revoques interiores. Las propiedades de construir con este tipo de revoque son parecidas a los revoques de cal: protección mecánica, resistencia al fuego, estanqueidad al aire y una barrera al vapor y, además, proporciona parte del aislamiento acústico.

Los materiales utilizados son la tierra y las fibras vegetales. Hay diferentes métodos de preparación de la tierra en función de si es tierra gruesa, tierra húmeda, arcilla en polvo o una mezcla prefabricada. Como pasa en los revoques de cal, las dosificaciones van a depender de la proporción y naturaleza de la fibra, es decir, de la composición de la tierra. Las dos formas más usuales para la estabilización del revoco son:

- Mediante arena, que disminuye la retracción en el secado.
- Mediante fibras, que reduce los riesgos de fisuración.

Para llevar a cabo este revoco se debe garantizar la ausencia de riesgo de heladas. Y, para garantizar su secado, hay que ventilar las estancias si el revoco se ha realizado al interior o proteger de la intemperie si está al exterior.

Hay diferentes métodos para aplicar los revoques. Uno de ellos es hacerlo en tres capas aplicadas mediante proyección mecánica o manual. El otro, en dos capas proyectadas mecánicamente. Y, por último, en una capa proyectada mecánicamente.

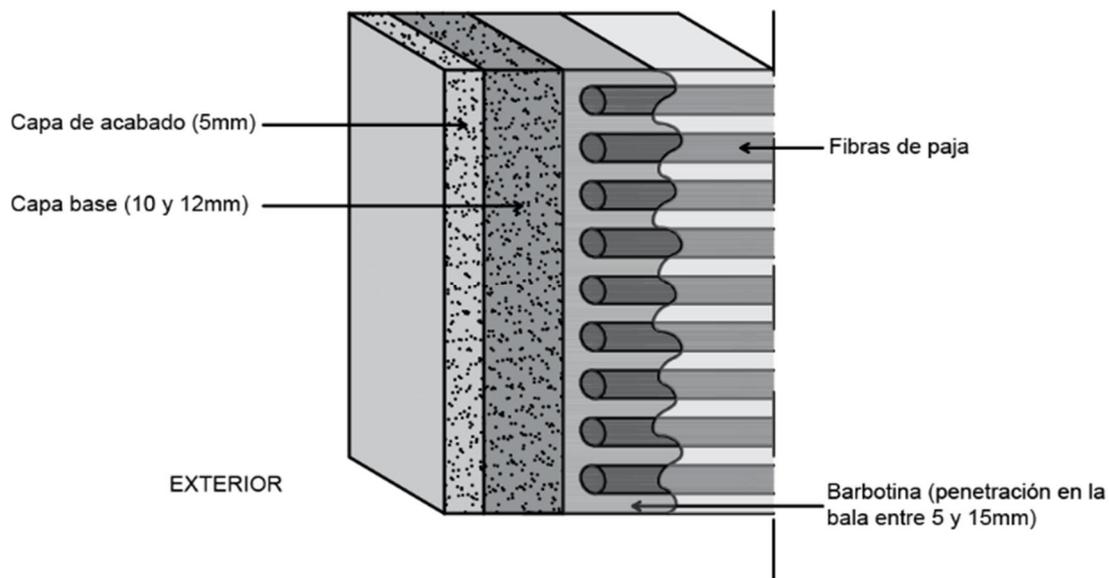


Fig 19. Esquema de realización del revoque de arcilla por capas.

Cuando elegimos la opción de revoco de tierra en tres capas deberemos tener en cuenta que la primera será la capa de unión (5 a 15mm). En esta capa, la barbotina está compuesta por tierra y agua y posee una superficie rugosa para facilitar el agarre de las capas posteriores. La segunda capa o capa base (10 a 12mm) está formada por tierra, arena y fibras naturales y agua. Se aplica cuando la capa de unión aún sigue húmeda. Se puede hacer en una pasada o en varias, mecánica o manualmente y es la base para la capa de acabado, por lo que dará ya la forma geométrica que exija el diseño del muro. Por último, tenemos la tercera capa o capa de acabado (5mm) que proporciona la protección mecánica del revestimiento y que contribuye a la estanqueidad del aire y decoración de la obra. Se aplica cuando la capa base se haya endurecido.

En comparación con los revoques de cal, el secado con tierra es más rápido. Pero, la velocidad de endurecimiento de estos revoques es más lenta. El tiempo antes de la aplicación de la capa de acabado cuando hacemos un revoco con arcilla es el tiempo que dure en secarse la capa base más tres meses.

Tanto con los revoques de cal, como con los revoques a base de arcilla, hay que prestar especial atención al agarre de los revoques, a que cumplan la protección frente al fuego según las exigencias del CTE, a que protejan al muro del agua líquida, la estanqueidad del aire de estos muros y la resistencia al corte requerida.

2.4.3 Revoques de cemento

Existen ejemplos de casas con este tipo de mortero que no muestran ningún síntoma de deterioro. Es un material muy resistente, pero también muy rígido. Esta última cualidad propicia la aparición de fisuras y grietas ante movimientos estructurales. Además, también posee una alta impermeabilidad al agua y al vapor de agua. Esto genera problemas de putrefacción en los muros con balas de paja porque, aunque es impermeable, el agua puede penetrar a través de fisuras o por capilaridad y, una vez dentro, no tiene facilidades para salir por lo que se acumula en las partes inferiores del muro.

2.4.4 Revoques mixtos

Un mortero mixto con una adecuada dosificación de los elementos esenciales reúne las ventajas del cemento, como son la alta resistencia mecánica y el fraguado rápido, con las de la cal, que otorga plasticidad y una gran capacidad de retención de agua.

El principal motivo por el que se empezaron a usar estos revoques fue por dotar de mayor plasticidad y trabajabilidad a los morteros. Además, el lento proceso de endurecimiento que tiene la cal hace más fácil su puesta en obra, otorgando la capacidad de realizar correcciones del trabajo. Otras características importantes que tiene es la retención de agua, la impermeabilidad, un sistema de micro-poros que posee la cal permitiendo el paso del vapor de agua y que ayuda a la eliminación de las humedades y, por último, la adherencia.

2.4.5 Paneles o tableros de muro

Otra de las opciones de las que disponemos para revestir el muro de paja es la utilización de trasdosados al interior con placas de cartón yeso. Aunque no es muy aconsejable porque disminuye la protección frente al fuego y si resistencia estructural. Esto se debe a que se prescinde del revestimiento interior, y con ello todas las cualidades que le otorgaba a la pared. Este recubrimiento impedía la aparición de microorganismos en la paja por la ausencia de oxígeno. Además, este recubrimiento con la malla ofrecía gran resistencia a los esfuerzos del viento.

En principio, puede parecer buena opción para ahorrar en material y mano de obra, pero en realidad no se ahorra en material debido a que habrá que utilizar otros elementos y más mano de obra para rigidizar las paredes.

2.5 ESTRATEGIAS DE DISEÑO

La estrategia de diseño de este tipo de construcciones se va a basar en crear una geometría que colabore con el medioambiente con el fin de reducir la energía que utiliza la casa para crear un estado de confort.

“Una estrategia de diseño sostenible se define como el enfoque utilizado por un diseñador para reducir el impacto medioambiental o social asociado con la producción, el uso y la eliminación de un producto.”¹¹

Los fardos de paja son un material que genera un mínimo impacto ambiental, no está procesado, es abundante y un recurso renovable. Es un material que respeta el medioambiente por su condición de reciclado y no tóxico. Además, no precisa de demasiada energía para su obtención y debido a la cultura en España, está fácilmente disponible en prácticamente toda la península por lo que se utilizan los recursos del lugar donde nos encontremos. Y, otra particularidad, es que, al construir con paja, barro, tierra, agua, elementos que los encontramos en la naturaleza, si alguna vez se llegan a convertir en escombros, no generaran una amenaza para el medio ambiente.

Aunque estemos utilizando un material que contribuye a formar una construcción bioclimática, debemos saber que el material no lo es todo. Hay que buscar una mayor eficiencia energética mediante la mejora del aislamiento, con la colocación de vidrios de baja emisividad, utilizar fuentes de energías renovables, instalar electrodomésticos de bajo consumo, y orientar y diseñar la construcción para aprovechar la energía solar a nuestro beneficio. Por ello, los edificios ecológicos están diseñados pensando en las estaciones, los vientos predominantes, el sol y la sensibilidad del lugar.

En nuestro diseño debemos tener en cuenta los siguientes puntos:

- Ubicar las viviendas en las áreas más abiertas al sol. La construcción debe tener una orientación hacia el Sur. También nos vale una que esté 15° al Este o al Oeste del Sur verdadero (no el magnético), ya que aún seguirá recibiendo el 90% del sol.¹²
- Paredes gruesas para evitar que se pierda el calor del interior en invierno y del frío en verano. Pero no solo las paredes, también la cubierta y los forjados influyen en este punto. Como hemos visto anteriormente, la paja se comporta muy bien en este sentido. También debemos evitar los puentes térmicos, presentando especial atención en puertas y ventanas, para no perder el confort térmico al interior.
- Cubierta con inclinación mediana que genere aleros que aporten sombra a los muros situados al sur en verano pero que, a su vez, permita la entrada de luz solar cuando el sol está abajo en invierno. Para ello se calcula que el alero deberá tener un ángulo de 32° con la vertical del muro. Otra opción en la construcción de porches alrededor de la vivienda, pero ello puede generar que en invierno no entre suficiente calor al interior, por lo que se deberán situar, si se desean, en la fachada Este u Oeste.

¹¹ Alison Gwilt, 2011

¹² Para latitudes similares a la de España

- Ventanas grandes al sur y pequeñas al norte. El objetivo es conseguir el máximo calor y luz en los meses de invierno. Y un mínimo de calor en los meses de verano. Hay que tener en cuenta que las ventanas orientadas al Sur permiten que el sol entre en el edificio en invierno y, como este cambia su trayectoria en verano, habrá menos luz solar directa durante los meses más cálidos. Las aperturas orientadas al Norte no tienen variación apreciable en los diferentes meses del año respecto al sol directo. Las que está situadas al Este recibirán luz solar por la mañana durante todo el año, una ventaja para poder calentar la casa durante el invierno. Las aberturas situadas al Oeste reciben el sol por la tarde, una desventaja de cara a los meses más calurosos del año, por ello, puede ser buena opción disponer de un porche en esta dirección.
- Proteger la casa del viento. Para ello se evitarán las construcciones en las cimas de las colinas. Además, es conveniente colocar barreras de tierra o masas vegetales si no se dispone de edificios anexos que ejerzan esta protección.
- Aislar el suelo contra el frío del terreno. Esto se puede llevar a cabo separando el forjado del terreno para evitar las humedades y además así conseguimos proteger la paja de cualquier posible entrada de agua.
- Tener en cuenta la dimensión de la bala de paja. Si proyectamos las balas en los alzados y posteriormente marcamos donde van a estar las aberturas de puertas y ventanas, nos dará una ventaja respecto al tiempo de construcción. Hay que tener en cuenta la medida de la bala para el diseño del edificio.

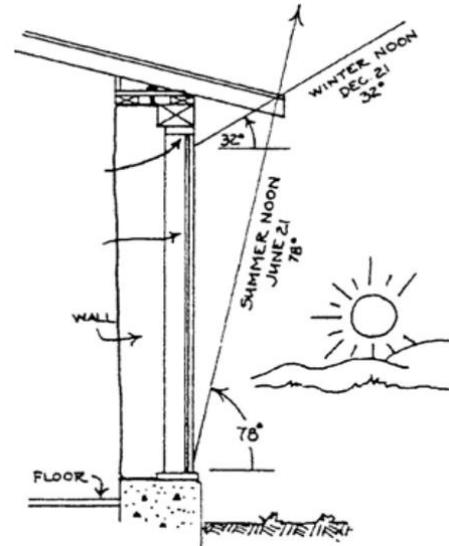


Fig 20. Esquema cálculo del alero.

Estas serían algunas pautas para conseguir que nuestra construcción sea eficiente energéticamente y se redujese el impacto ambiental. Y si le sumamos que nuestra construcción está hecha a base de paja embalada que posee buenas prestaciones tanto acústicas como térmicas, tenemos ante nosotros un material que encaja perfectamente en los criterios de arquitectura bioclimática.

2.6 VENTAJAS DE LA CONSTRUCCIÓN CON FARDOS DE PAJA

La paja tiene una gran ventaja respecto a otros materiales como puede ser la madera, y es que crece en un corto periodo de tiempo. Además, es biodegradable y su uso alivia varios problemas del medio ambiente. También es un material flexible al que se le puede dar diferentes formas, duraderas y sólidas. Las balas de paja son fáciles de conseguir en cualquier parte del mundo. La construcción no requiere de herramientas caras ni es complicada por lo que no precisa de personal especializado.

2.6.1 Belleza y comodidad

La densidad y sutiles curvas de las paredes construidas con fardos de paja tienen una especial personalidad y belleza. Combinado con su alto grado de aislamiento y ventilación, estas paredes crean una sensación de confort que no tienen las delgadas paredes levantadas con materiales

modernos. Las paredes de fardos de paja son similares en apariencia a los viejos muros de gruesa piedra y adobe que recuerdan a las casas de campo de Europa y las villas del Mediterráneo¹³.

2.6.2 Facilidad de construcción

En muchos lugares del mundo se ha demostrado que la construcción con fardos de paja es un método básico que se puede aprender en un taller en pocos días. Actualmente, en España hay varios cursos que se ofertan por internet para enseñar este sistema de construcción tan antiguo que se está volviendo a usar. Da la posibilidad de poder participar a todo el mundo cuando se trata de construcciones pequeñas. Si bien, es cierto que para edificaciones mayores, que requieran conocimientos técnicos y estructurales, es necesario personal especializado como arquitectos y albañiles que conozcan bien el sistema empleado

2.6.3 Beneficios medioambientales

En numerosas regiones la paja es un producto de desecho. Esto significa que, en muchas ocasiones, se recurre a la quema de grandes cantidades de paja generando cortinas de humo que permanecen en el aire durante semanas y generan enormes cantidades de monóxido de carbono. En 1988, en una ciudad de Oregón (EEUU) se produjo un accidente en la autopista debido a la reducida visibilidad causada por una cortina de humo producto de la quema en los campos que tuvo como resultado 7 muertos y 37 heridos.¹⁴

Con lo descrito anteriormente se quiere explicar uno de los grandes beneficios de la construcción con balas de paja. Y es que al dejar de ser un producto de desecho y darle una utilidad, en la construcción, conseguimos evitar la emisión de gases a la atmósfera evitando que estos ayuden al deterioro atmosférico y al calentamiento global.

2.6.4 Sostenibilidad

Si lo comparamos con otro material sostenible en la construcción como es la madera, la paja tarda en crecer menos de un año y se renueva periódicamente. Lo que hace de ella una muy buena opción para su implantación en la construcción. La madera, por el contrario, tarda mucho tiempo en producirse y hay peligro de generar deforestación.

2.6.5 Economía

En una construcción, el presupuesto utilizado varía en función de muchos factores: licencias, permisos, complejidad de la casa, etc.

Pero si dejamos a un lado ese tipo de consideraciones, el precio de la construcción con balas de paja se puede considerar económico. Este precio va a depender de la zona, pero más o menos se encuentra entre uno y tres euros la bala de paja con costes de transporte incluidos.

El coste que conlleva realizar una construcción con fardos de paja es una ventaja a pesar de que se puede elevar debido a la necesidad de realizar los recubrimientos con mortero mixto y de gran espesor en relación al que suelen tener una construcción tradicional. Si los muros son portantes, nos ahorramos el material auxiliar, pero se necesita más mano de obra. A pesar de necesitar mano de obra, no es equiparable a la que se necesita para llevar a cabo un cerramiento convencional de fábrica de ladrillo. Si utilizamos una estructura auxiliar de madera, es beneficioso desde el punto de vista económico colocar las balas en vertical.

¹³ La casa de fardos de paja. Athena Swentzell

¹⁴ La casa de fardos de paja. Athena Swentzell

Resumidamente, varios estudios han demostrado que la construcción con balas de paja, en comparación con un cerramiento convencional de ladrillo (o incluso termoarcilla), reduce los costes de la obra en más de un 30%. Además, aporta mejores propiedades que otros sistemas. Si construyésemos un edificio de fábrica de ladrillo con iguales prestaciones térmicas que una construcción con paja, el ahorro llegaría hasta el 70%. Es una construcción rentable en la fase de construcción, pero también a posteriori gracias a que, debido a sus propiedades, genera un ahorro de 21% de energía.

2.7 INCONVENIENTES DE LA CONSTRUCCIÓN CON FARDOS DE PAJA

Como podemos observar, son muchas las ventajas de elegir las balas de paja como material principal de nuestra construcción. Pero, también existen algunos inconvenientes:

2.7.1 Presencia de roedores

Aunque se puede pensar que la paja es más susceptible de atraer roedores, la realidad es que no tiene porqué. Los roedores lo que buscan es el hueco entre los fardos, pero si el muro está bien recubierto, este es similar a un muro de cualquier otro tipo a ojos de un ratón. Para prevenir conviene mantener las partes de bajas de los muros en buenas condiciones siguiendo las pautas que se han hablado en anteriores puntos.

2.7.2 Presencia de insectos

Como se ha explicado anteriormente, el recubrimiento de las paredes actúa como protector frente a los agentes que quieran penetrar el muro. Aun así, para mayor seguridad, se puede aplicar a las balas una solución de bórax para evitar que cualquier tipo de insecto alcance el interior de la pared.

2.7.3 Durabilidad

Debido a la poca popularidad de estas casas, no está bien establecida su durabilidad. Es difícil saber cuánto tiempo van a aguantar, pero si sabe que hay algunas con más de 100 años que aún se conservan. Es muy importante para garantizar una mayor durabilidad ejecutar todas las tareas de forma cuidadosa y, después de la construcción, llevar a cabo los trabajos de conservación requeridos.

2.7.4 Pudrición

Es posible que la bala de paja se moje en su superficie. En este caso, será suficiente dejarla al aire durante un tiempo. El peligro viene cuando el agua se infiltra al interior de la paja dificultando el secado de la superficie y dando lugar a la pudrición. Y aunque es fácilmente reparable, sustituyendo esa bala defectuosa por otra, puede ser peligroso si no se ataja el problema a tiempo.

2.7.5 Incendios

Este apartado hace referencia al proceso de construcción más que al edificio ya construido debido a que los recubrimientos empleados y la falta de oxígeno en el interior de la paja hace que no sea fácilmente combustible. Pero durante el proceso de colocación de los fardos, aún sin haber puesto recubrimientos protectores, tiene gran riesgo de incendio por toda la paja suelta que hay alrededor y por la falta de compresión. Durante el proceso constructivo se deberá tener mucho cuidado para no generar un accidente.

2.7.6 Fijaciones a las paredes

Poner una fijación mediante tirafondos en un muro de paja no es imposible, pero es poco recomendable. La solución sería prever donde se colocarán estos elementos e insertar previamente un taco al que se fijará el tirafondo.

3. SLANE CASTLE

Una vez explicadas las pautas y características de la construcción con balas de paja, vamos a explicar un edificio que se construyó en un pequeño pueblo de Irlanda llamado Slane. Ya se explicará con detalle más adelante, pero se trata de un edificio de dos plantas que funciona a modo de albergue, construido con balas de paja y que forma parte de un Glamping¹⁵.

3.1 EMPLAZAMIENTO

El edificio se encuentra ubicado en Irlanda, dentro de Europa. Su colocación está en un pueblo situado en el Este a una latitud de 53.7 y una altitud de 64m sobre el nivel del mar. Este pueblo, llamado Slane, se encuentra a poco más de 63km de Dublín, la capital de este país. Y se comunica con ella a través de una autopista.



Fig 21. Mapa de localización.

Slane es una localidad situada en el condado de Meath de la provincia de Leinster (República de Irlanda), con una población en 2016 de 1369 habitantes.¹⁶



Fig 22. Mapa de emplazamiento.

¹⁵ Glamping: es un creciente fenómeno global que combina la experiencia de acampar al aire libre con el lujo y las condiciones propias de los mejores hoteles.

¹⁶ Wikipedia

El edificio está dentro de una propiedad comprendida por la Rock Farm Slane, el castillo de Slane y la Slane Irish Whiskey Distillery. En concreto, forma parte de la Rock Farm Slane, donde está ubicado el glamping. El nombre viene, como indica su nombre “farm”, a que se sitúa en medio de una granja. Y, “rock” porque dentro de esta propiedad, en el castillo construido en 1785, se celebran cada año grandes conciertos que reúnen a 100.000 personas. Entre los artistas más importantes que se han presentado allí se encuentran: Queen, Thin Lizzy, The Rolling Stones, Bob Dylan, Bruce Springsteen, David Bowie, Guns N' Roses, Neil Young, R.E.M., The Verve, Robbie Williams, Bryan Adams, U2, Stereophonics, Red Hot Chili Peppers, Madonna, Oasis, Bon Jovi, Celtic Woman, Ghost (banda), Foo Fighters y el más reciente Metallica.



Fig 23. Concierto Guns N' Roses. 2017

3.2 EL CLIMA

El clima de Irlanda se define como un clima oceánico templado con una temperatura media anual que oscila entre los 9 y 11 °C. La influencia del Océano Atlántico en el clima hace que

Irlanda no sufra temperaturas extremas como otros países en su misma latitud. Las corrientes cálidas del Atlántico Norte moderan la temperatura del mar, principalmente en la costa atlántica. Y las colinas y montañas que emergen cerca de la costa protegen la isla esmeralda de los fuertes vientos y de la influencia oceánica directa.¹⁷

Los inviernos tienden a ser fríos y ventosos mientras que los veranos suelen ser suaves. El cambio del invierno a la primavera y del verano al otoño es gradual, aunque es habitual que el tiempo sufra algunas reversiones que pueden durar una semana o poco más.

Sin duda, en Irlanda llueve. La lluvia es la forma de precipitación más común en toda Irlanda y así lucen sus preciosas tierras verdes. Estas son más abundantes al Oeste que al Este de la isla. En el Este de la isla las precipitaciones son hasta 4 veces menores que en el otro lado. La media anual de días húmedos en el Este es de 151 días al año. Y, aquí es donde se encuentra nuestro edificio.

En esencia el clima de Irlanda es suave, húmedo y cambiante, con precipitaciones abundantes y sin temperaturas extremas. Según la clasificación climática de Köppen, es un clima “cfb”, cuya

¹⁷ <https://www.europeanidiomas.com/clima-en-irlanda/>

descripción indica que, respecto a su temperatura, se clasifica como un clima templado -C-. Y, respecto a sus precipitaciones, a un clima húmedo oceánico -cfb-.

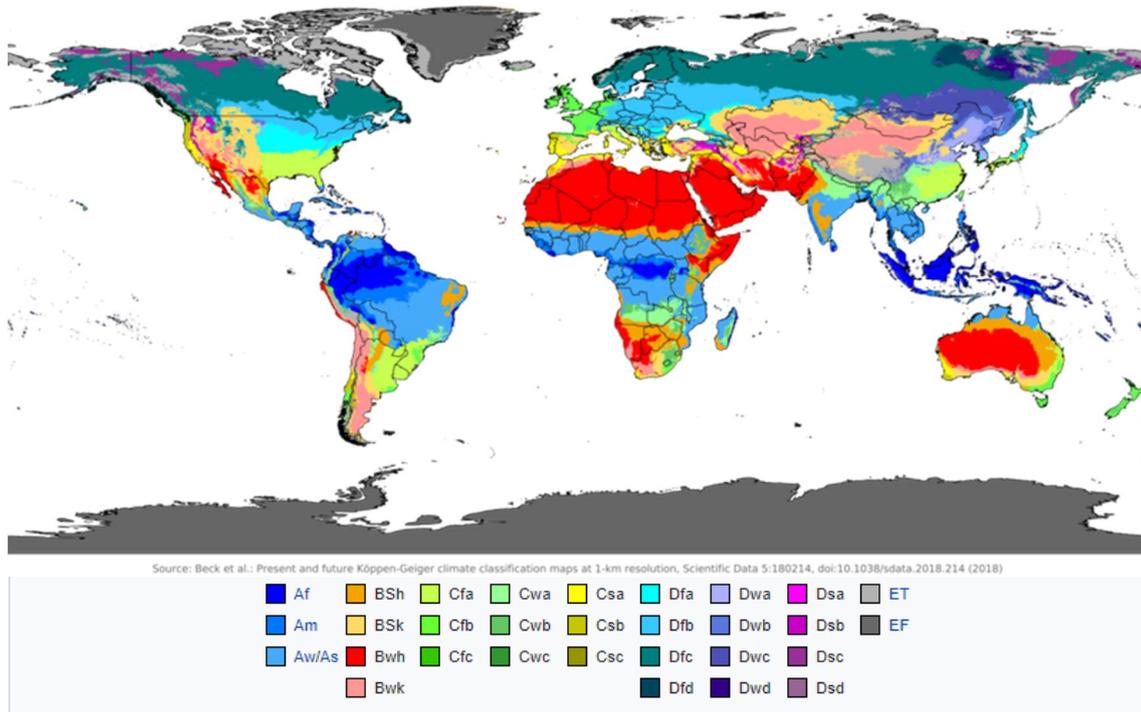


Fig 24. Mapa mundial de la clasificación climática de Köppen para el periodo 1980-2016.

3.3 DEFINICIÓN DEL PROYECTO

El proyecto en su totalidad está formado por más de un edificio. Pero, nosotros nos vamos a centrar en el que más nos interesa, que es el que tiene el carácter más público.

Este edificio viene definido como una “casa de alojamiento para invitados”¹⁸ que se construyó en 2014. Consta de dos plantas en las que se reparten las diferentes estancias. Y está elevada sobre el terreno con el fin de evitar que la humedad del terreno pase al edificio.



Fig 25. Imagen actual de la construcción. Elaboración propia.

¹⁸ Definición aportada por el encargado del establecimiento.

La planta baja¹⁹ está formada por dos terrazas, ambas con rampa de acceso a minusválidos. Una de ella comunica con una sala disponible para todos los huéspedes que se corresponde con el comedor común a todos ellos y que tiene conexión directa con la cocina y unos vestuarios comunes formados por tres duchas, dos inodoros, un baño para minusválidos y los lavabos. La otra terraza tiene acceso directo con el salón comunal de la casa, así como a una habitación de adaptada para minusválidos con su propio cuarto de baño y el acceso principal a la casa donde se encuentran las escaleras al piso superior. Debajo de las escaleras está el cuarto que alberga las comunicaciones, internet, cámaras, etc.

Los baños compartidos que se encuentran en la planta baja, aparte de tener acceso por medio del comedor comunal, tienen acceso desde la calle a través de un porche que comunica también con la cocina y con una estancia semicircular donde se encuentra la caldera y el almacén del menaje de las habitaciones.

Ya en la siguiente planta²⁰ se encuentran el resto de las habitaciones. Según subimos por las escaleras, a mano derecha hay una Suit familiar compuesta por dos habitaciones y un baño privado. A mano izquierda tenemos dos habitaciones dobles y una triple, las tres poseen baño privado. Y al final del pasillo por el que se distribuyen estas estancias, nos encontramos con una terraza de tamaño reducido común a todas ellas.

Esta casa de alojamiento puede albergar a un total de 22 huéspedes. Pero, es probable que en época alta haya más personas que usen estas instalaciones debido al camping que se desarrolla en sus alrededores, por ello, la vivienda contiene unos baños de uso común con acceso directo desde el exterior.

3.4 DEFINICIÓN CONSTRUCTIVA

3.4.1 Cimentación

Para llevar a cabo la cimentación²¹, iniciaron un proceso de limpieza del terreno. A continuación, la excavadora realizó unas rozas de 60cm de profundidad sobre las cuales se vertería el hormigón para formar la zapata corrida de 90 x 30 que conforma la cimentación. Sobre estos muretes se levantó un muro con ladrillos macizos de hormigón sobre los cuales se colocará el forjado en el que se apoyarán los muros de balas de paja. Este murete sobre sale por encima del terreno unos 40cm. Después rellenaron el espacio

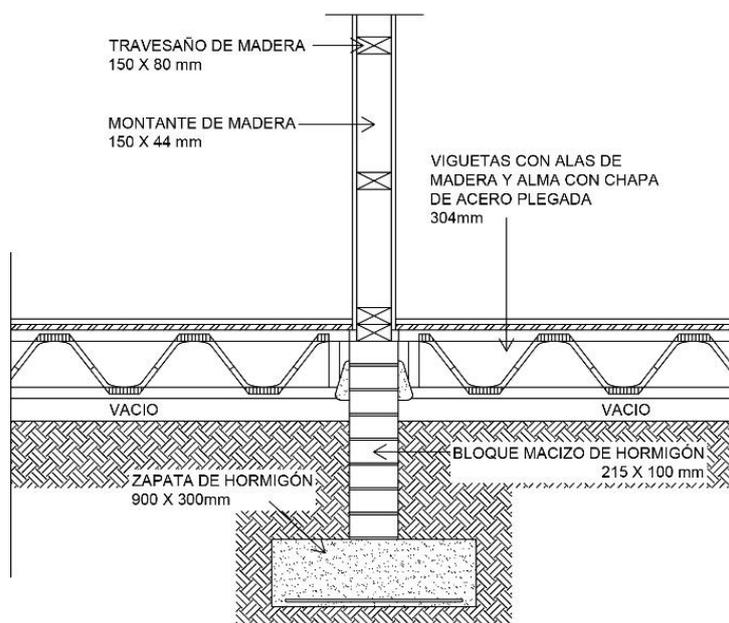


Fig 26. Detalle cimentación. Elaboración propia.

¹⁹ Plano de la planta baja Anexo 1

²⁰ Plano de la planta alta Anexo 2

²¹ Plano de cimentación Anexo 3

libre entre las zapatas y el forjado con piedra, dejando un espacio vacío entre las piedras de relleno y el inicio del forjado.



Fig 27. Levantamiento del muro con bloques macizos de hormigón.

3.4.2 Forjados

Una vez se han colocado los muretes de ladrillos de hormigón, para formar el forjado que sustentará la planta, se empotran unas viguetas con alas de madera aserrada y alma de chapa de acero plegada cada 30cm. Estas viguetas están formadas con un alma de acero galvanizado al que se le ha realizado un tratamiento epoxy que se prensa entre las alas de madera conífera, tratada con productos protectores. La forma plegada del alma de acero menta su inercia transversal y evita el pandeo local por abolladura. La sección de la viga en conjunto es de 30.4cm x 15cm.

Después, sobre el muro de hormigón, se ha colocado un zuncho perimetral de borde a modo de cajón formado por dos tableros de madera separados por listones de 5cm de ancho, también de madera, y relleno de material aislante sobre el que se levantará el muro del edificio.



Fig 28. Colocación de viguetas y zuncho perimetral.

Para el forjado de la planta alta, se ha empleado el mismo sistema de viguetas con alas de madera aserrada y alma de chapa de acero plegada.

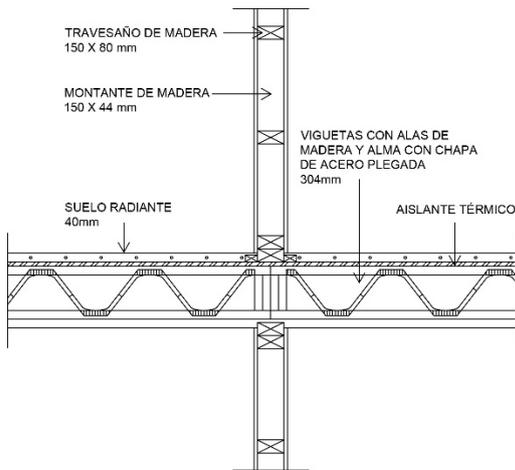


Fig 29. Detalle forjado intermedio.



Fig 30. Imagen interior de la construcción.

Como se puede apreciar en la figura 25, se incorpora en los forjados el sistema de calefacción por suelo radiante, se hablará de ello más adelante en el apartado de instalaciones.

3.4.3 Muros

Una vez efectuados los pasos anteriores, se lleva a cabo el levantamiento de los muros. Para ello, se sitúan unos pilares de madera de 150 x 44 mm sujetos al zuncho perimetral de borde cada metro que serán las guías para encajar las balas de paja. Por tanto, debido a que esta construcción tiene dos alturas, en vez de construir la estructura únicamente con las balas de paja, se optó por utilizar el sistema CUT, ya explicado anteriormente, que combina la utilización de la paja y guías de madera para formar la estructura.



Fig 31. Levantamiento de los muros.

La bala de paja insertas en ella están colocadas planas y con una dimisión de 450 x 350 x 1000 mm con un poste de madera de 100 x 100 mm para reforzar la estructura. Debido a que se encajan entre los postes de madera, no es necesaria la penetración de estacas para mantener las balas unidas.

3.4.4 Cubierta

El edificio se construyó con una combinación de cubiertas vegetales y de pizarra. Las cubiertas vegetales se han empleado, generalmente, en aquellos sitios donde la inclinación es menor. Es decir, para los espacios de plata baja en los que no había planta superior, generando cubiertas planas o ligeramente inclinadas. La cubierta de pizarra se ha empleado en toda la parte que cubre la primera planta. Esta cubierta posee una inclinación de 45° y es prefabricada. Se construyen con listones de madera de 150 x 44 mm y se emplean cerchas tipo española.

Hay que tener en cuenta que la inclinación de estas cubiertas se debe a que, generalmente, llueve mucho más que en España. Aquí se podrían incluso realizar planas en la mayor parte del territorio.

A continuación, muestro unos esquemas de los diferentes tipos de cubiertas que nos podemos encontrar en esta edificación referenciados por los dibujos que aparecen en el libro del edificio:

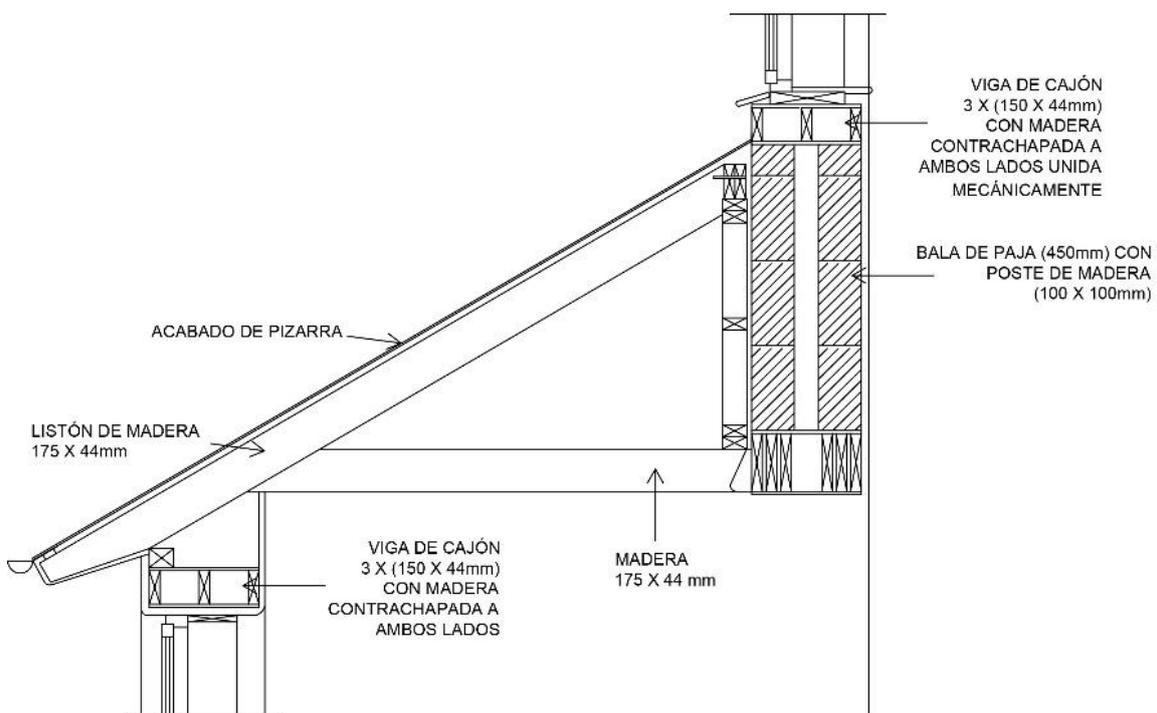


Fig 32. Cubierta a un agua de pizarra.

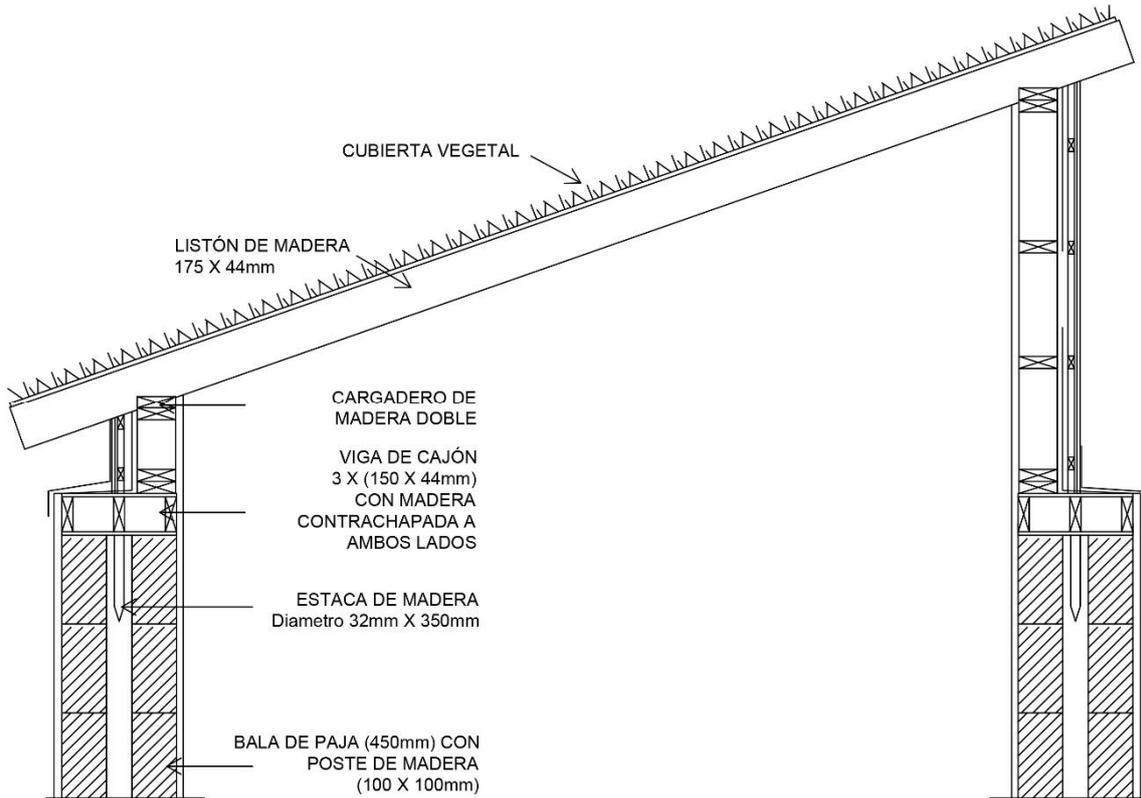


Fig 33. Cubierta vegetal ligeramente inclinada.

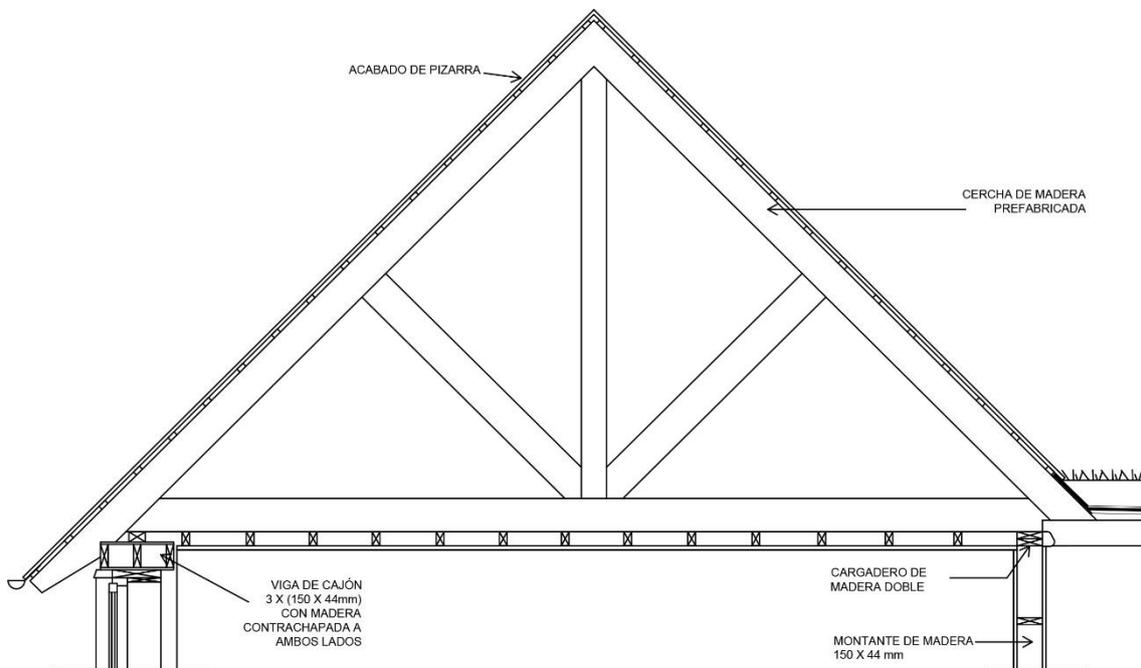


Fig 34. Cubierta a dos aguas de pizarra.

3.4.5 Sistemas energéticos

Respecto a los sistemas energéticos, no se han explotado tanto sus posibilidades de añadir aquellos que la generen aprovechando los elementos que nos proporciona la naturaleza. La energía que utilizan viene proporcionada por una instalación eléctrica de recepción de una compañía externa.

Pero, sí poseen una instalación energética generadora empleada para calentar el agua. Se trata de unas placas solares de tipo térmico (colector solar de cobre) colocadas en la cubierta, cuya única finalidad es calentar el agua que se utiliza en todo el edificio. También, como elemento de apoyo a esta instalación, se ha colocado una caldera de pellets para abastecer la calefacción y el agua caliente que se precise.



Fig 35. Imagen actual de la construcción. Vista de las placas solares en la cubierta.

3.4.6. Otros sistemas

Se ha llevado a cabo la instalación de inodoros ecológicos. Su funcionamiento es sin elementos mecánicos o energía. El agua se descarga en el separador, donde se encuentra la orina y las heces y el papel. La orina y el agua gris se transportan como aguas grises para infiltrarse en el suelo. Los residuos sólidos se compostan en la Cámara de Bio Compostaje. Cuando se descarga el inodoro, el contenido de la taza se transporta al separador, donde el 98% del líquido se separa utilizado el impulso de agua de descarga (fuerza centrífuga y gravedad).

Los residuos sólidos (papel y heces) caen a la Cámara de Bio Compostaje donde son compostados por bacterias y, si se desea, por gusanos. El proceso de compostaje está libre de olores e insectos porque la biocámara está ventilada y la pequeña cantidad de líquido que sigue el papel hacia el Bio-Compostaje se elimina mediante un drenaje en la base de la Cámara de Bio Compostaje.



Fig 36. Depósitos almacén de orina.

4. CARACTERÍSTICAS

Como se ha explicado al principio del trabajo, hay diferentes modos de llevar a cabo distintas soluciones. Ahora vamos a ver que elección han llevado a cabo en esta construcción para tener el resultado obtenido.

4.1 LA ENVOLVENTE

4.1.1 Huecos

El edificio dispone de aberturas en la fachada del edificio a modo de puertas y ventanas plegables. Todas ellas son ventanas de aluminio lacadas en verde botella con rotura de puente térmico y doble vidrio 4-16-4. Con una Transmitancia Térmica -U- de 1.45 W/m²K para carpinterías simples y de 1.46 W/m²K para carpinterías dobles.

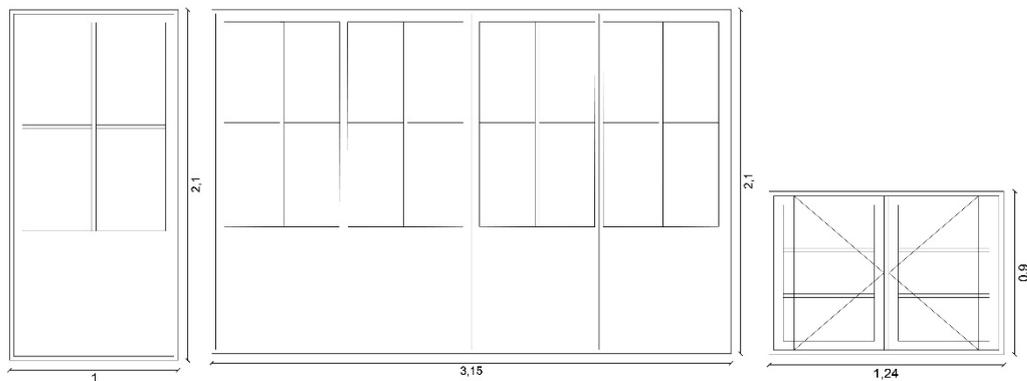


Fig 37. Algunos tipos de aberturas del edificio.

En la cubierta se encuentran 3 aberturas. Una de ellas en la zona de recepción que funciona a modo de chimenea en caso de incendio. Y las otras dos en la cubierta vegetal aportando luz a la sala de calderas y menaje. También son de aluminio lacadas en verde botella con rotura de puente térmico y doble cristal. Todas ellas con una Transmitancia térmica de $1.42 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.1.2 Fachadas

A la hora de recubrir las fachadas, al igual que sucede con una construcción convencional de ladrillo, se emplean materiales diferentes al exterior y al interior. Previamente para ambos lados, se rellenaron los espacios vacíos de los muros con paja.



Fig 33. Imagen revoco exterior.

Al exterior se ha realizado un revoque de cal y arena en 3 capas. La primera capa se llevó a cabo mecánicamente y manualmente. Se introdujo metiendo bien los dedos con la mezcla entre la paja para que agarrase bien y poder realizar el resto de capas. La última capa, era una mezcla de cal más fuerte con pigmento y agua para generar el acabado visto. En las partes delicadas, como son las aberturas de puertas o ventanas, para proporcionar mejor sujeción, se instaló una malla metálica previa al revoque.

Al interior, el sistema fue el mismo, pero cambian los materiales. Se realiza un revoco de arcilla mezclada con virutas de paja y agua en 3 capas diferentes. La primera debe penetrar bien en la paja, obtener una superficie rugosa que sirva de agarre a las capas sucesivas.



Fig 38. Revoco interior. Dos primeras capas.

4.1.3 Cubiertas

En las cubiertas hay dos tipos de acabados. Como vimos en el apartado anterior, el edificio posee cubiertas vegetales inclinadas a un agua y cubiertas de pizarra a una y dos aguas.

4.2 ACONDICIONAMIENTO E INSTALACIONES

4.2.1 Suministro de agua

El suministro de agua potable se realiza por medio servicio público del ayuntamiento que garantiza una presión mínima de agua de 3kg/cm^3 , esta presión es suficiente para abastecer ambas plantas sin necesidad de una bomba y, nos ayuda, a no aumentar el consumo energético al no tener que instalar una bomba de presión. También, debido a su abundancia, se aprovecha el agua de lluvia como medio de ahorrar en el consumo de la misma. Esta se usa en los inodoros. Toda la instalación se registra a través de un único contador de agua, situado en la sala de la caldera. Toda la instalación transcurre enterrada en planta baja y sube mediante montantes a la planta superior y a los elementos de consumo realizando rozas en la paja mediante una sierra mecánica.

La instalación está constituida por tuberías de acero galvanizado para toda la instalación en general hasta los cuartos húmedos y dentro de los cuartos húmedos y de los elementos de consumo está formada por tuberías de polietileno reticulado PE-X.

El suministro de agua caliente se hace por medio de unas placas solares, que dan servicio tanto a los elementos de consumo como a la calefacción por suelo radiante. Cuando este suministro no es suficiente, se ayuda con una caldera de pellets que calienta el agua que no ha podido calentar las placas.

No se han facilitado los planos del proyecto, pero, he elaborado unos de cómo sería la instalación del suministro de agua que se encuentran en el Anexo 4.

4.2.2 Evacuación de aguas

La evacuación de aguas del edificio se divide en cuatro ramales:

- a. Aguas grises
- b. Aguas negras
- c. Aguas de la orina
- d. Aguas pluviales

El hecho de la evacuación de agua en tantos canales diferentes se debe a la implantación de los inodoros ecológicos. Estos inodoros poseen dos orificios de evacuación. Uno delantero, por el cual se evacua la orina que está conectada mediante tuberías a los tanques. Cuando estos tanques están llenos, se dejan reposar un año. Después, se mezclan con agua en proporción 1:10 -un litro de orina y diez litros de agua- y se utiliza como agua de riego para plantas, arbustos, árboles cuyo fruto no vaya dirigido al consumo humano ni animal. Y, otro orificio trasero, es por el que se evacuan los elementos sólidos -heces y papel-. Cuando tiras de la cadena, los residuos van al "aquatron" que tiene una espiral que consigue separar el 98% del líquido del sólido. Ese líquido va con las aguas grises a un pantano preparado para recibirlo. No hay fosa séptica. Los residuos que se quedan en el aquatron se recogen anualmente y se utilizan para compost en vegetales que no vayan a producir ningún alimento para el consumo humano.

Hay una excepción en los dos baños que están preparados para minusválidos y es que no tienen estos inodoros ecológicos y, por lo tanto, no tienen separador de orina. Todo va a las aguas negras.

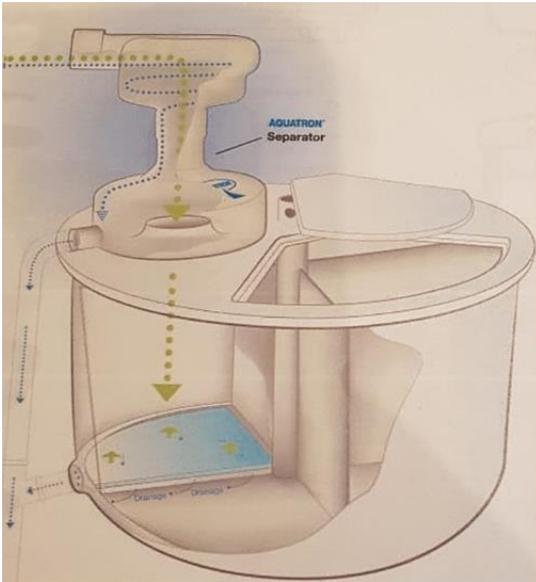


Fig 40. Aquatron.



Fig 39. Aquatron. Separación de líquidos y sólidos.

Por último, el agua de lluvia se recoge y almacena en unos tanques. Esos tanques poseen una bomba que la redirige a los inodoros y es el agua que se utiliza cuando tiras de la cadena. De este modo se reutiliza el agua de lluvia, reduciendo el consumo de agua en la vivienda.

Se ha hecho un pequeño esquema explicativo de la evacuación de las aguas, es un esquema real de como se ha realizado la instalación que se encuentra en el Anexo 5.²²

4.2.3 Suministro eléctrico

El suministro eléctrico viene proporcionado por una red trifásica conectada a un generador al Oeste de la construcción. Esta red, da servicio tanto a la casa de huéspedes como al resto del camping con otras pequeñas edificaciones que contiene en él.

4.2.4 Protección contra incendios

En caso de incendio, se han instalado varios sistemas de detección de humo. Hay uno en cada habitación que conforma la casa. También, se ha colocado una ventana en cubierta tipo "Velux", a modo de chimenea en el descansillo de la escalera que se enciende automáticamente en caso de que uno de los detectores de humo dé la señal de alarma.

En la cocina, en la ventana proyectada se ha dispuesto una persiana metálica que tiene el mismo funcionamiento que el velux, pero inverso. Cuando salta la señal de humo, la persiana se cierra y debido a que la puerta también es contra incendios, si se diese allí la mala situación, el incendio no se desarrollaría más allá de ese sector que conforma la cocina y quedaría aislada.

²² Esquema copiado del libro del edificio, pasado a limpio.



Fig 41. Velux y detector de humo.

4.2.5 Ventilación

Para la ventilación, a parte de las ventanas como mecanismo de crear corrientes cruzadas, se han instalado ranuras de ventilación en todas las habitaciones de la casa, en todos los baños y en la cocina, además del extractor de humo del que dispone la cocina.

4.2.7 Equipamento

Los equipos de los que dispone, ya están comentados anteriormente: velux, detectores de humo, inodoros ecológicos.

También dispone de luces de emergencia en cada habitación y carteles que indican la salida en caso de ser necesario la evacuación del edificio.

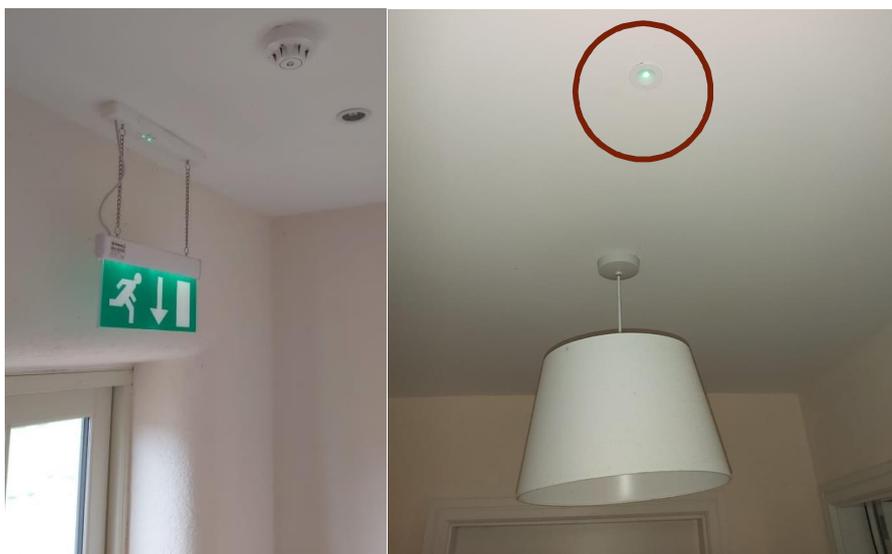


Fig 42. Cuadro iluminado de salida de emergencia y luz de emergencia en la habitación.

5. PROPUESTA DE INSTALACIONES BIOCLIMÁTICAS

5.1 ANÁLISIS

Tras haber realizado la certificación energética del edificio, vemos que se obtiene muy buena calificación. Esto es debido a la suma de la transmitancia térmica de la paja y de la anchura de los muros construido por la misma.

Como hemos visto, la construcción se encuentra en una zona climática con abundantes lluvias y pocas horas de sol al día, la mayor parte del año. De hecho, en los meses de invierno amanece a las 9 a.m. y anochece a las 4.30 p.m., lo que conlleva a tener poco más de 7 horas de luz diarias. El efecto secundario de esta característica horaria, es que, se precisa de mayor energía para iluminar la casa y para calentarla. En este sentido, para la calefacción dispone de suelo radiante cuyo agua caliente que circula por él proviene de unas placas solares térmicas situadas en la cubierta más alta y orientadas al SO y que, en caso de no ser suficiente para abastecer la instalación, se ayuda de una caldera de pellets.

Otro sistema que califica esta casa rural como edificio bioclimático es el aprovechamiento del agua de lluvia para los inodoros, reduciendo así el consumo de agua general. Pero, el agua no es el único recurso que aprovecha. Al elaborar los muros con las balas de paja, estas reduciendo la energía que hace falta para construir una vivienda convencional, debido a que no se necesita ningún proceso de elaboración del material más allá de la empacadora que crea la bala de paja. Además, estas aprovechando un material natural evitando que pueda destinarse a su quema por la inutilidad del material por si mismo.

También, si nos fijamos en la planta, observamos cómo los huecos más grandes en fachadas y la terraza más grande se sitúan al SE, de este modo, esas pocas horas de sol diarias pueden ser mínimamente aprovechadas mientras que al lado Norte se limitan más las aberturas.

5.2 PROPUESTA

En el apartado del análisis hemos visto que posee ciertas cualidades que la ofrecen la condición de vivienda bioclimática. Para ser una Passivhaus debe combinar los recursos de la arquitectura bioclimática con una gran eficiencia energética. Si nos guiamos por esa explicación que acabo de dar, esta construcción cumple bastante bien esos objetivos, pero, todo se puede mejorar.

Uno de los sistemas pasivos, para mejorar su acondicionamiento térmico, que yo incorporaría al proyecto sería el efecto invernadero.

Como hemos visto en su clima, es un lugar donde las horas de sol no son abundantes y son más persistentes las lluvias. En el plano, podemos observar como en planta baja hay dos terrazas, una de ellas de paso y la otra -situada al Sur Oeste- de estancia que da servicio a la zona de recreo común. Esta zona, es poco a aprovechable la mayor parte del tiempo, por la climatología del lugar. Una buena opción que la haría más funcional



Fig 43. Ejemplo cerramiento. Empresa Ovacen.

y, además, mejoraría las condiciones térmicas del interior, sería la colocación de una carpintería móvil que cubra la totalidad de la terraza. De este modo, en invierno durante el día la radiación solar que incide sobre el vidrio calienta esa estancia, aportando también mayor calidez al interior de la casa debido a la menor diferencia de temperatura entre un espacio y otro. Y, ese calor por la noche, se mantiene, evitando que baje demasiado la temperatura. Durante los días calurosos del año, ese lugar quedaría al descubierto, corriendo los paneles móviles de vidrio.

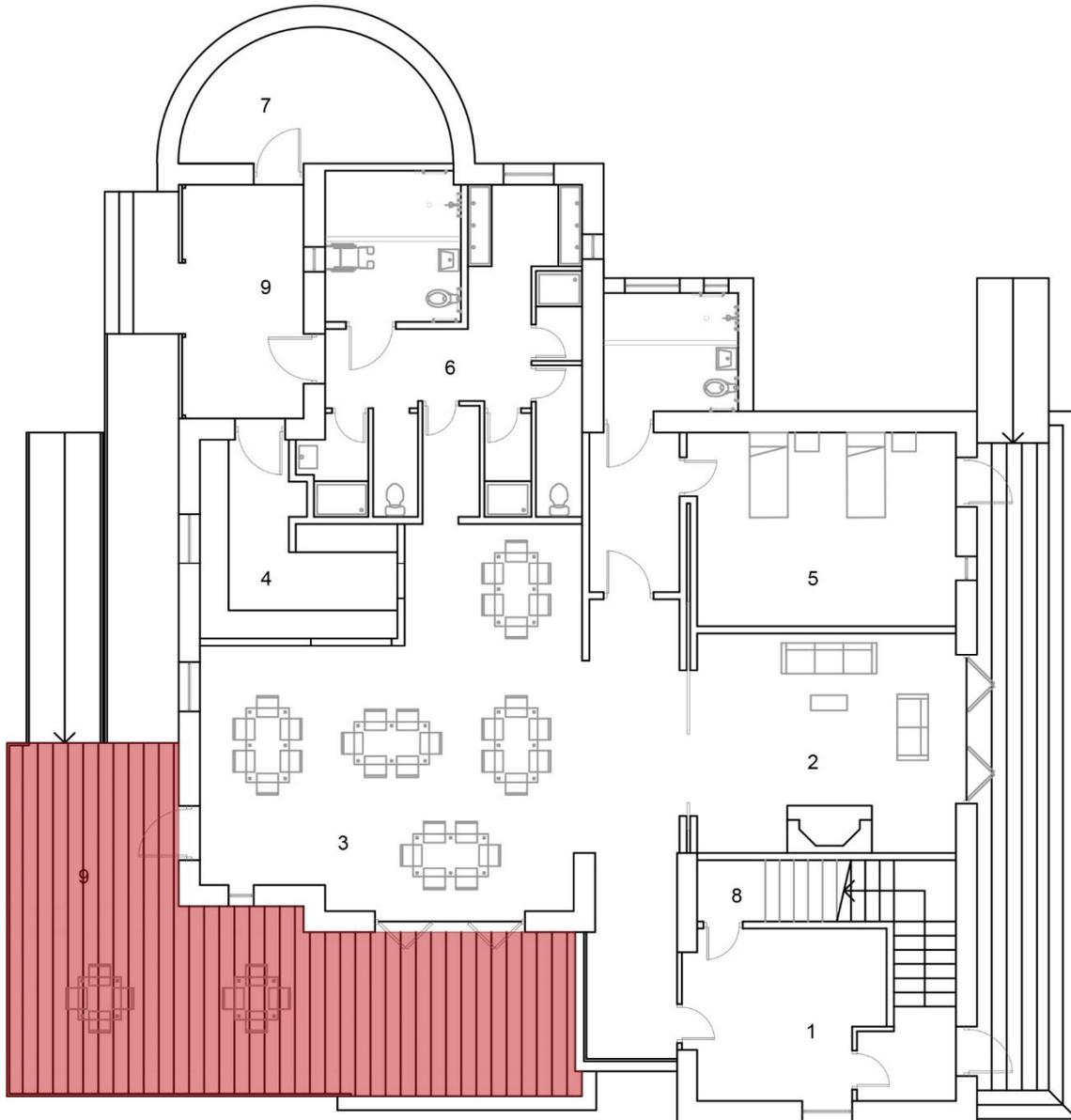


Fig 44. Plano a escala 1:500. Zona roja: terraza cubierta.

Este sistema combinado con una instalación domótica que abra y cierre estas carpinterías, sería la perfecta combinación para aumentar, aún más, el confort al interior.

Otra opción para ayudar a las placas solares térmicas y a la caldera de pellets, sería la utilización de la chimenea para calentar el agua. Estamos en pleno paraje natural, donde abunda el campo y los bosques. No sería una mala opción que, la chimenea situada en el salón que funciona con leña, utilizase ese calor para calentar el agua de la calefacción. Con estos tres recursos el

consumo de agua caliente quedaría completamente cubierto e incluso podría no encenderse la caldera de pellets.

Entonces, respecto al confort térmico, estarían cubiertas las necesidades mediante sistemas pasivos. Pero, si es cierto que, si hablamos de luz, esta no posee ninguna fuente externa que le dé apoyo a la instalación. Podría ser una buena opción la instalación de un molino de viento que aprovecharse la energía eólica para abastecer de electricidad a la casa. Necesitaría de la ayuda externa de suministro energético, pero, sería una aportación eficiente para esta construcción bioclimática.

6. NORMATIVA ACTUAL SOBRE LA CONSTRUCCIÓN CON BALAS DE PAJA

Hoy en día, el país que posee una normativa específica para la construcción con balas de paja es Alemania. Pero esto no implica que su construcción sea ilegal en el resto de países. Hay casas de paja construidas en Gran Bretaña, Bélgica, Irlanda, Francia, Austria y Holanda, entre otros. El número de construcciones hechas con este material es superior al que se puede pensar, si bien, la mayoría de ellas son viviendas unifamiliares. He buscado el número actual de construcciones con balas de paja que hay en el mundo en el registro de la página www.greenbuilder.com, pero la página en estos momentos no se encuentra disponible, el último dato que he encontrado es que en el año 2006 había 1213 construcciones con este material.

En el mundo, respecto a la ausencia de normativa, se han tomado diferentes actuaciones. En el caso de Irlanda, por lo general, no existen muchas dificultades a la hora de obtener una autorización para construir tanto para cerramientos como para estructura. Las reglas de construcción irlandesas son simplemente unas pautas y el proyectista solo tiene que demostrar que ha cumplido esas reglas.

En España es un poco más complicado. Los pasos que debemos llevar a cabo para la construcción con balas de paja son los mismos que para una construcción convencional, pero, ante el desconocimiento del material dificulta dar respuestas concisas a los colegios profesionales, bancos, ayuntamientos, etc., y ello conlleva a una mayor dificultad para su legalización.

Como en cualquier otra construcción, lo primero es hacer el proyecto que debe cumplir toda la normativa -urbanística, accesibilidad, habitabilidad, ...-. Dentro de nuestra normativa, CTE, no se registra las balas de paja como material constructivo, por lo que habrá aspectos normativos que no se cumplan en el proyecto. Pero, el CTE si permite la utilización de materiales novedosos bajo responsabilidad del proyectista.

Una vez redactado el proyecto y aprobado por el colegio profesional, se presenta al ayuntamiento para obtener la licencia de obra. Estos suelen tener unas normativas donde autorizan o no ciertos materiales, pero la paja no es un material que se suela encontrar en ninguna de estas dos situaciones, por lo que no se encuentra en materiales no autorizados. En definitiva, si cumple las normas urbanísticas del municipio, se obtiene la licencia de obra.

Como se ha dicho anteriormente, el CTE no contempla las balas de paja como material de construcción, pero si permite su utilización siempre y cuando se cumplan las exigencias de seguridad estructural presentando documentos de ensayos realizados aptos para la construcción, exigencias de salubridad, exigencias básicas de seguridad en caso de incendio y exigencias básicas de ahorro de energía.

7. CONCLUSIONES

El tema de la construcción con balas de paja cada vez está cobrando más importancia debido a numerosos factores como el económico, facilidad de construcción, ecología, suministro, etc. Aunque con la información expuesta se ofrece una visión bastante amplia de este material, es posible que exista más información que no se ha tenido en cuenta.

Es muy importante considerar la condición biodegradable de este material. La paja es un recurso que encontramos en la naturaleza cuando se siega el campo. Es una práctica que se realiza en casi todas las partes del mundo, en mayor o menor medida. Su utilización habitual es para camas de animales, piensos de animales, devolverla al campo que puede generar riesgo de incendio por lo seca que se encuentra en verano y la ausencia de lluvias o, en lugares donde su producción es masiva, se quema dando lugar a un aumento de la contaminación. Es por eso, que encontrar otra utilizad a este material es beneficioso para el medio ambiente.

La utilización de construcción con balas de paja nace en el siglo XIX, pero es el siglo XX cuando resurge con fuerza, y no es algo casual, es debido a que en esta época se empieza a tomar conciencia de la contaminación ambiental y el ahorro energético. Se empiezan a desarrollar los estudios sobre la arquitectura bioclimática. Entonces, es cuando se empieza a ver la eficiencia energética que produce trabajar con balas de paja, así como su bajo coste.

Poco a poco se comienzan a realizar más ensayos sobre la resistencia a compresión de las balas de paja sin recubrimiento, obteniendo valores aptos. Y, cuando se analizan los recubrimientos, se observa que todos los miedos sobre los inconvenientes que se habían planteado sobre las balas de paja -como roedores o el fuego- han quedado mitificados. Se podía pensar antes en la paja como un material poco estable, pero, resulta que embalado y prensado no precisa de ninguna estructura auxiliar para poder sostenerse por sí misma. Como hemos visto, se realiza colocando un zuncho de madera inferior alrededor del perímetro del muro y otro superior -donde se apoyará la estructura de la cubierta- que con ayuda de unos cables o cintas comprimirán la paja no excesivamente. También que cuando se precisa mayor altura del muro, si se necesita de una estructura auxiliar de madera en la que se encajan las balas de paja para mantener su estabilidad, pero que esta estructura auxiliar no sirve para soportar las cargas de la cubierta, su función es hacer de guía a las balas de paja.

Después nos encontramos con varios tipos de revoques para proteger a la paja de la intemperie. Los más efectivos al exterior son los de cal, o mixto de cemento y cal, debido a sus propiedades y rapidez para fraguar. Mientras que, al interior, resulta más cómodo utilizar un revoque de arcilla. Estos últimos si se colocan en el exterior tienden a deteriorarse, hay que protegerlos mediante aleros o estructuras que impidan que el agua entre en contacto con ellos. La colocación de una malla metálica entre el muro de balas de paja y el revoque puede ser muy efectiva para mejorar la adherencia del propio revoque y aumentar la resistencia del muro de paja, pero, no es necesaria excepto en los huecos de puertas y ventanas.

Es muy importante generar un proyecto con una buena estrategia de diseño, pues eso hará de nuestra vivienda más eficiente. Para ello se deben conocer las condiciones climáticas, orientación, materiales con los que se va construir y posibles instalaciones climáticas pasivas que se podrían instalar para mejorar su eficiencia. De este modo, en España, la mejor orientación para colocar la vivienda sería al SE. Evitando los huecos al norte y abriendo la casa en la dirección contraria. También, en la estrategia de diseño, hay que tener en cuenta la colocación de aleros

que impidan la entrada de luz directa en las horas más críticas del día. Cada detalle del diseño es importante para generar un mayor confort al interior.

Por último, en el ejemplo de vivienda de Slane se puede comprobar que la construcción con balas de paja también puede ser efectiva para edificios que no tengan solo carácter residencial privado. Es una casa rural donde transitan numerosas personas a lo largo del día -en época de temporada alta- y que ha superado con creces las expectativas de los dueños. Prácticamente, es capaz de mantenerse por sí misma y, a pesar de las pocas horas de Sol que tienen allí en comparación con España, la instalación de las placas solares térmicas ha reducido mucho el consumo de energía empleada para calentar el agua. Eso junto con otros sistemas como la caldera de pellets o los inodoros ecológicos, que además de aprovechar el agua de lluvia también aprovechan los productos de desecho, hacen que sea un edificio sostenible.

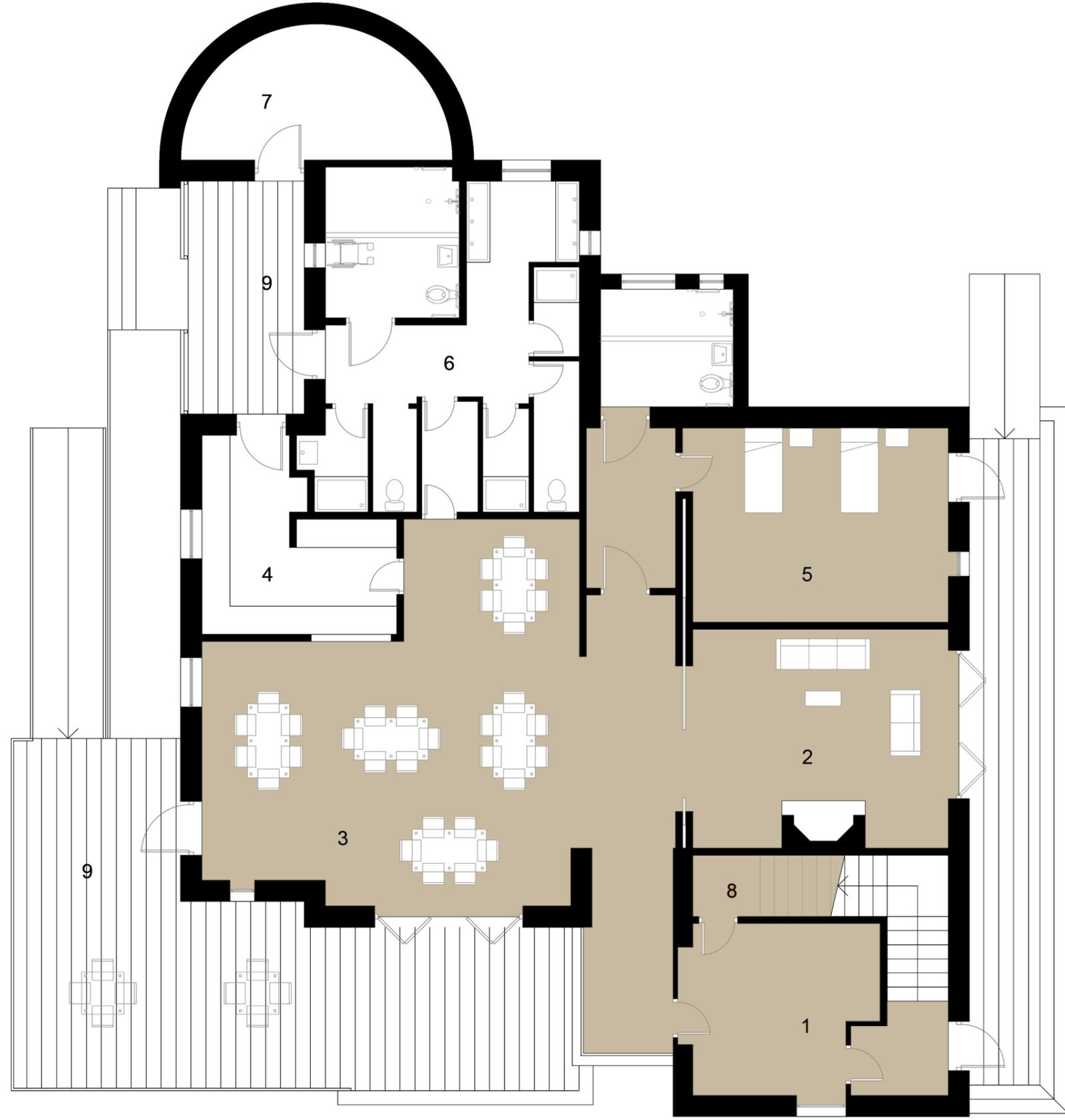
En conjunto, todos los apartados de este TGF demuestran que, a pesar de la poca información que nos podemos encontrar sobre la construcción con balas de paja por su escasa difusión actual, es posible construir una edificación con este material. Y que, además, no es solo posible sino también beneficioso para el medioambiente debido, entre otras cosas, a sus propiedades térmicas. Todo ello lo convierte en un material que un arquitecto debería de tener muy en cuenta a la hora de llevar a cabo una construcción de dimensiones no muy grandes.

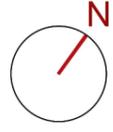


Escala 1:100

LEYENDA:

1. Hall
2. Sala de estar
3. Comedor
4. Cocina
5. Habitación para minusválidos
6. Baños públicos
7. Sala de calderas y menaje
8. Cuarto eléctrico y de comunicaciones
9. Porche
10. Habitación con baño
11. Suit
12. Terraza

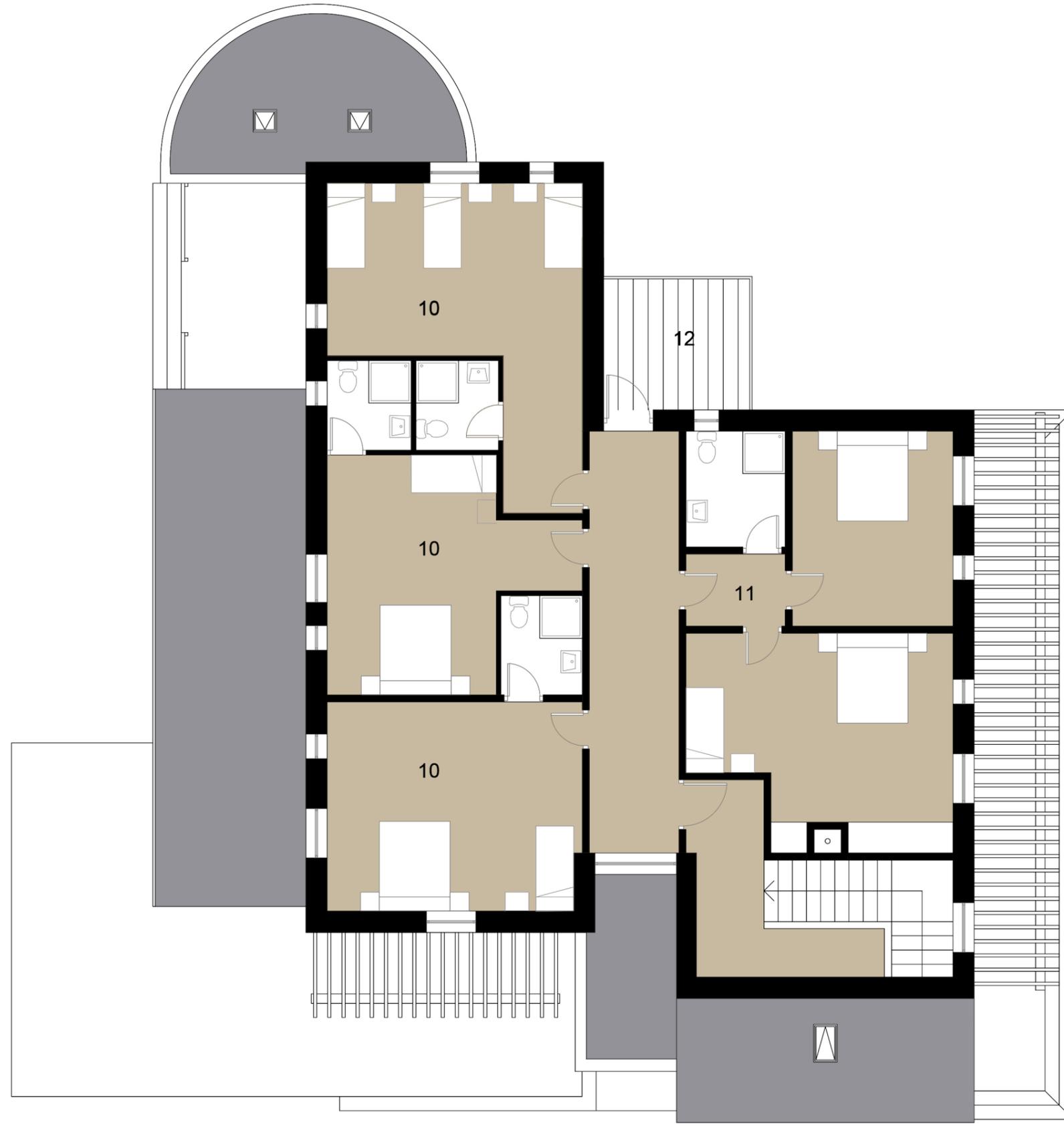


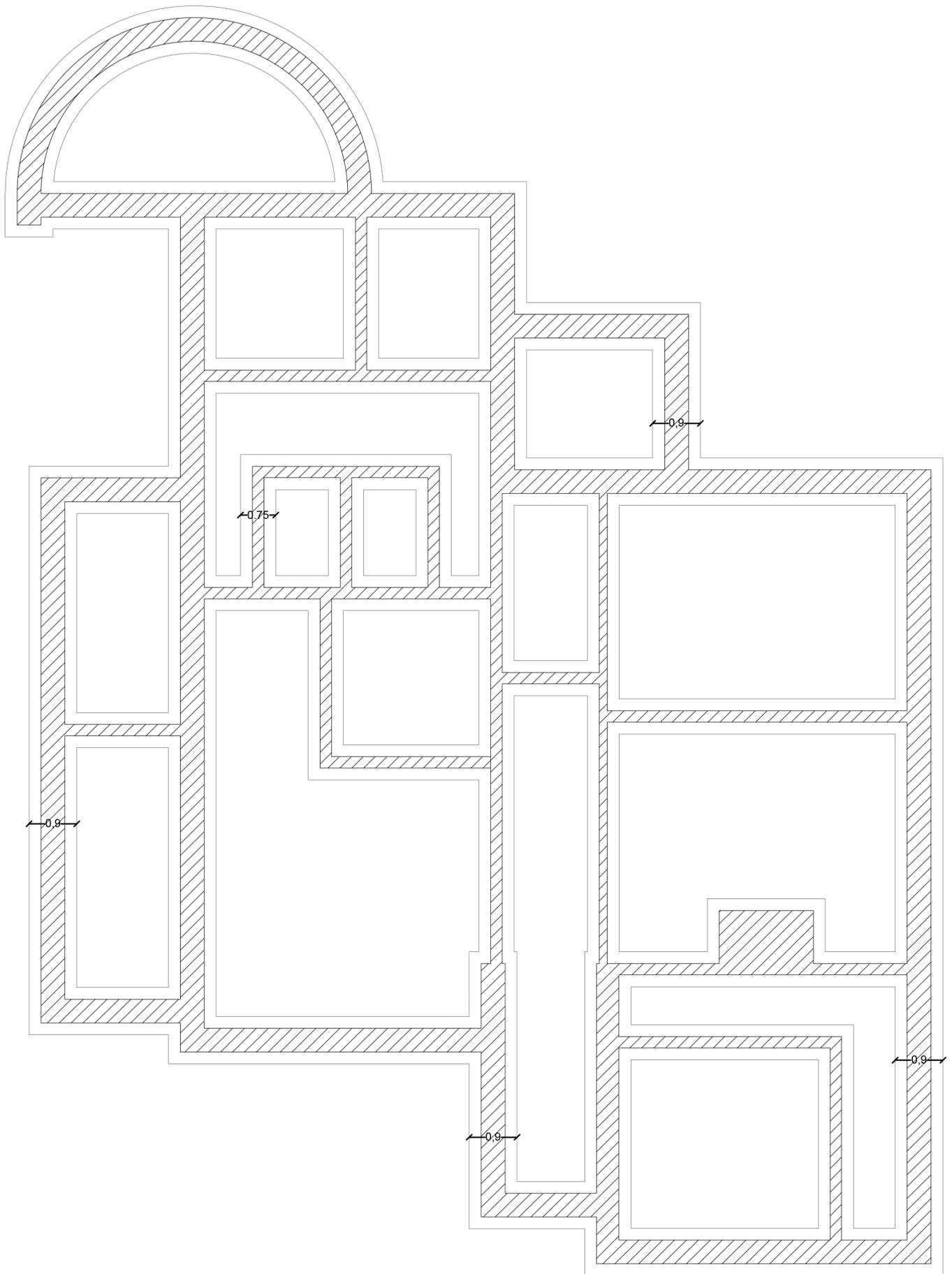


Escala 1:100

LEYENDA:

1. Hall
2. Sala de estar
3. Comedor
4. Cocina
5. Habitación para minusválidos
6. Baños públicos
7. Sala de calderas y menaje
8. Cuarto eléctrico y de comunicaciones
9. Porche
10. Habitación con baño
11. Suit
12. Terraza



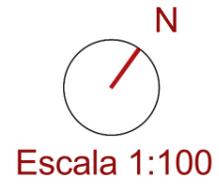


ANEXO 3

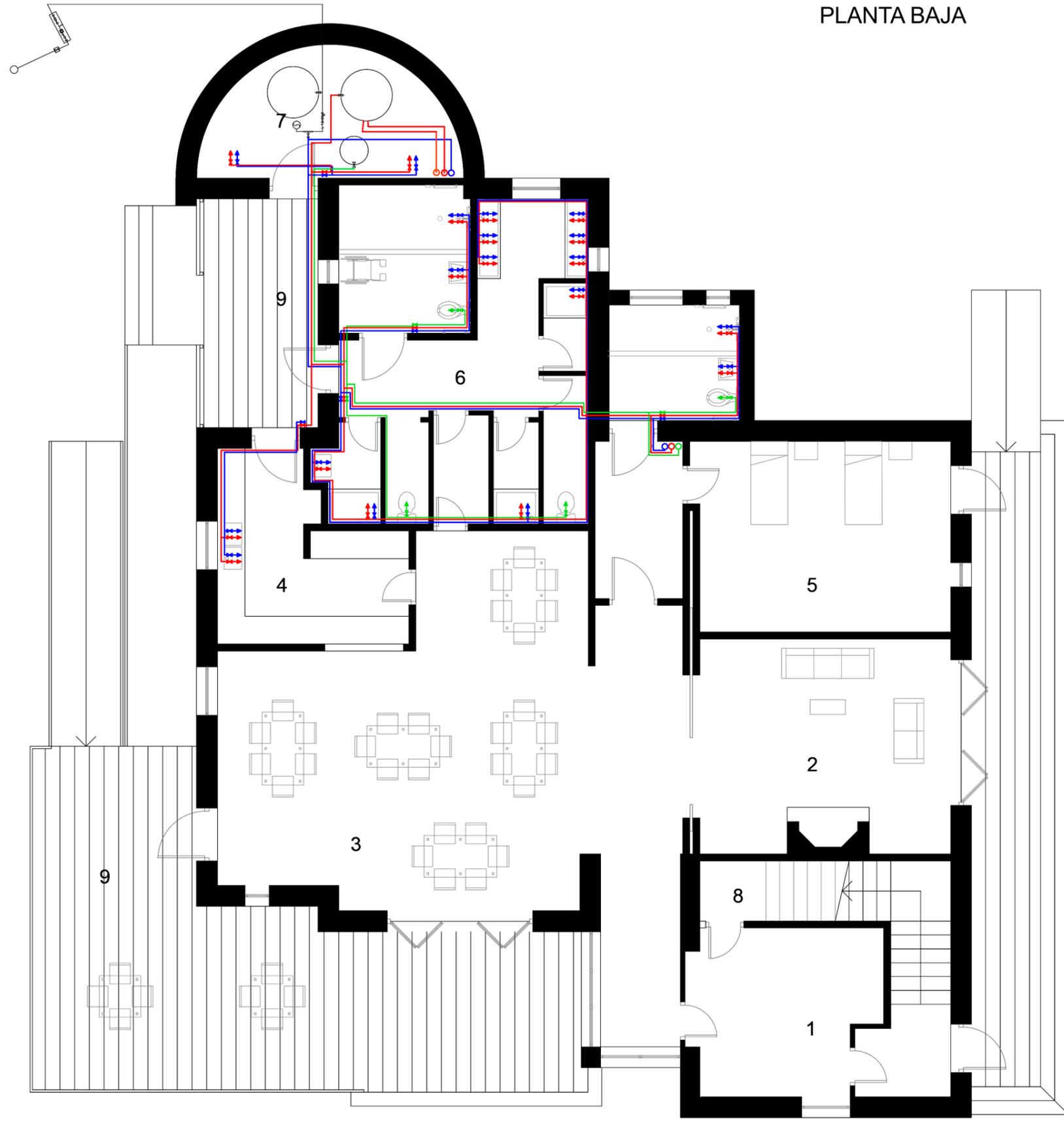
Marta Diez Sánchez

LA PAJA COMO MECANISMO BIOCLIMÁTICO EN LA CONSTRUCCIÓN. Edificio sostenible en Slane Castle

PLANTA DE CIMENTACIÓN

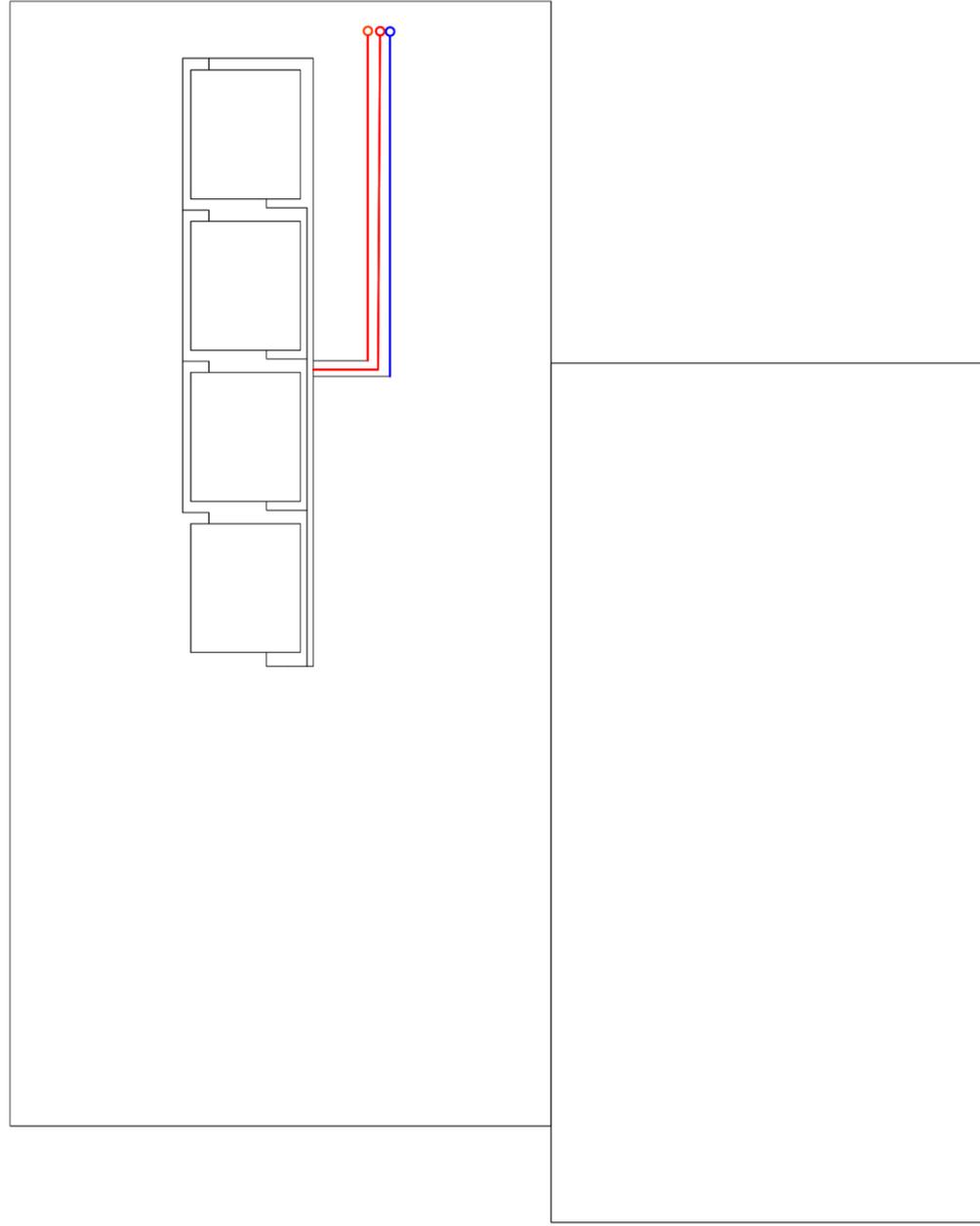


- Agua fría
- Agua caliente
- Agua reutilizada de lluvia



PLANTA BAJA

PLANTA CUBIERTAS

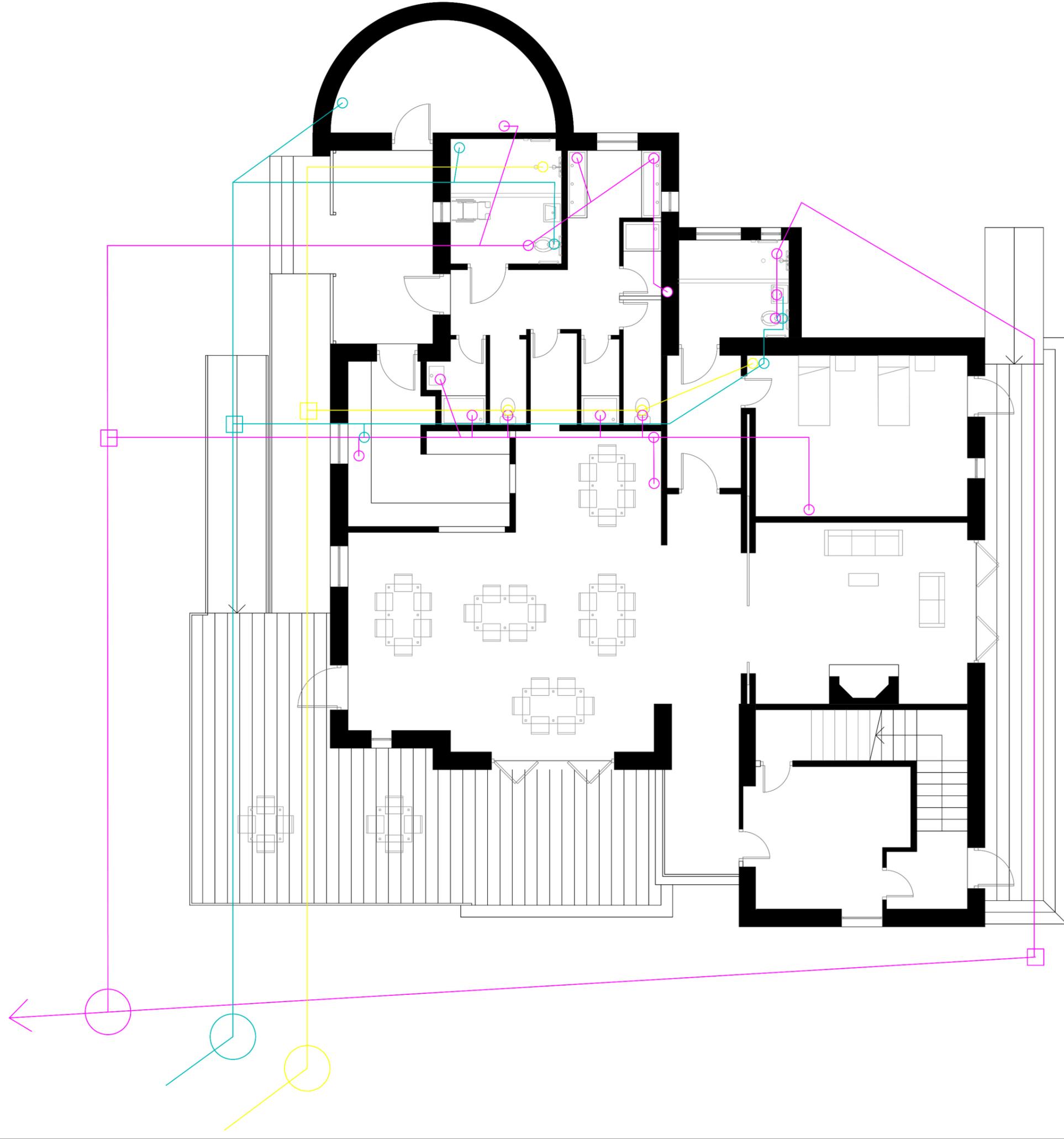


PLANTA ALTA



- Agua fría
- Agua caliente
- Agua reutilizada de lluvia

-  Aguas grises
-  Aguas orina
-  Aguas negras



ANEXO 6: CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	Casa de alojamiento para invitados		
Dirección	Rock Farm Slane. Irlanda		
Municipio	Gijón	Código Postal	47013
Provincia	Asturias	Comunidad Autónoma	Principado de Asturias
Zona climática	C1	Año construcción	2014
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	CTE 2013		
Referencia/s catastral/es	125488		

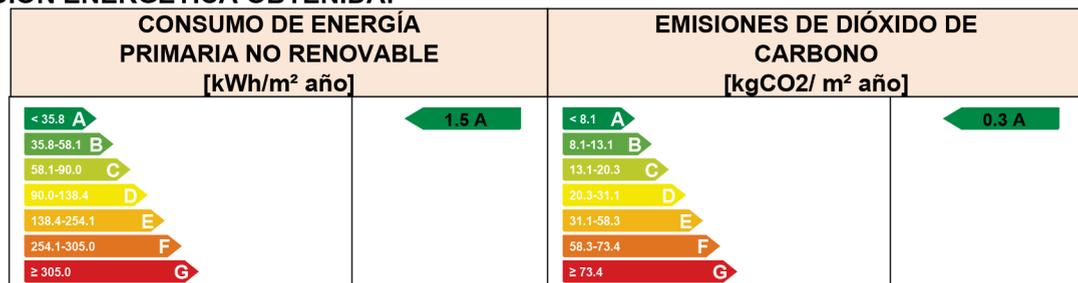
Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

<input type="radio"/> Edificio de nueva construcción	<input checked="" type="radio"/> Edificio Existente
<ul style="list-style-type: none"> • Vivienda <ul style="list-style-type: none"> • Unifamiliar ○ Bloque <ul style="list-style-type: none"> ○ Bloque completo ○ Vivienda individual ○ Terciario <ul style="list-style-type: none"> ○ Edificio completo ○ Local 	

DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos	Marta diez Sánchez	NIF(NIE)	71038295N
Razón social	Rock Farm	NIF	00000000A
Domicilio	Valladolid		
Municipio	Valladolid	Código Postal	47013
Provincia	Valladolid	Comunidad Autónoma	Castilla y León
e-mail:	diezsanchez.m@gmail.com	Teléfono	679091602
Titulación habilitante según normativa vigente	Estudiante de arquitectura		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	CEXv2.3		

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:



El técnico abajo firmante declara responsablemente que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha: 31/08/2020

Firma del técnico certificador

Anexo I. Descripción de las características energéticas del edificio.

Anexo II. Calificación energética del edificio.

Anexo III. Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.

Anexo IV. Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Órgano Territorial Competente:

DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

Superficie habitable [m ²]	390.0
--	-------

Imagen del edificio	Plano de situación
	

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Modo de obtención
Muro de fachada SO	Fachada	54.42	0.13	Conocidas
Muro de fachada SE	Fachada	64.48	0.13	Conocidas
Muro de fachada NE	Fachada	59.79	0.13	Conocidas
Muro de fachada NO	Fachada	61.95	0.13	Conocidas
Cubierta inclinada pizarra	Cubierta	291.9	0.23	Por defecto
Cubierta ajardinada	Cubierta	19.5	0.01	Estimadas
Suelo con terreno	Suelo	264.2	0.55	Estimadas

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
Velux	Lucernario	0.4	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Hueco 1.05x1.5	Hueco	6.3	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Hueco 0.5x1.5	Hueco	3.75	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Hueco puerta	Hueco	4.83	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Hueco1.05x1.5	Hueco	3.15	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Hueco0.5x1.5	Hueco	0.75	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Hueco3.15x2.1	Hueco	6.62	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Hueco 1.05x1.5	Hueco	4.73	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Hueco 0.5x1.5	Hueco	2.25	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Hueco 3.15x2.1	Hueco	6.62	2.96	0.54	Estimado	Estimado

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
Puerta 1.05x2.1	Hueco	4.41	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Hueco (1.05x1.51)	Hueco	4.73	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Hueco (0.5x1.51)	Hueco	2.25	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Puerta (1.05x2.1)	Hueco	2.21	2.96	0.54	Estimado	Estimado
Velux 2	Lucernario	0.8	2.96	0.54	Estimado	Estimado

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	77.2	Biomasa densificada (pelets)	Estimado
TOTALES	Calefacción				

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
TOTALES	Refrigeración				

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60° (litros/día)	612.0
---	-------

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Caldera Estándar	24.0	77.2	Biomasa densificada (pelets)	Estimado
TOTALES	ACS				

6. ENERGÍAS RENOVABLES

Térmica

Nombre	Consumo de Energía Final, cubierto en función del servicio asociado [%]			Demanda de ACS cubierta [%]
	Calefacción	Refrigeración	ACS	
Placas solares tipo térmico	80.0	-	80.0	-
TOTAL	80.0	-	80.0	-

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	C1	Uso	Residencial
----------------	----	-----	-------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
		CALEFACCIÓN		ACS	
		<i>Emisiones calefacción [kgCO2/m² año]</i>	A	<i>Emisiones ACS [kgCO2/m² año]</i>	A
		0.17		0.14	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
<i>Emisiones refrigeración [kgCO2/m² año]</i>	-	<i>Emisiones iluminación [kgCO2/m² año]</i>	-		
<i>Emisiones globales [kgCO2/m² año]</i>		0.00	-	-	-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO2/m² año	kgCO2/año
<i>Emisiones CO2 por consumo eléctrico</i>	0.00	0.00
<i>Emisiones CO2 por otros combustibles</i>	0.32	124.24

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
		CALEFACCIÓN		ACS	
		<i>Energía primaria calefacción [kWh/m² año]</i>	A	<i>Energía primaria ACS [kWh/m² año]</i>	A
		0.82		0.68	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
<i>Energía primaria refrigeración [kWh/m² año]</i>	-	<i>Energía primaria iluminación [kWh/m² año]</i>	-		
<i>Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]</i>		0.00	-	-	-

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN			
		No calificable			
				<i>Demanda de calefacción [kWh/m² año]</i>	
				<i>Demanda de refrigeración [kWh/m² año]</i>	

El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales

PRUEBAS, COMPROBACIONES E INSPECCIONES REALIZADAS POR EL TÉCNICO CERTIFICADOR

Se describen a continuación las pruebas, comprobaciones e inspecciones llevadas a cabo por el técnico certificador durante el proceso de toma de datos y de calificación de la eficiencia energética del edificio, con la finalidad de establecer la conformidad de la información de partida contenida en el certificado de eficiencia energética.

Fecha de realización de la visita del técnico certificador

31/08/2020

COMENTARIOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR

El inmueble se encuentra ubicado en Slane, Iralda. Como no es un edificio que se encuentra en España, lo he situado en Asturias porque según la clasificación climática de Köppen, los dos se corresponden con un clima húmedo oceánico - Cfc -.

8. BIBLIOGRAFIA

8.1 BIBLIOGRAFIA IMÁGENES

Fig 1. Libro de referencia. Elaboración propia.

Fig 2. Villamayor de Campos. Elaboración propia.

Fig 3. Balas de heno. Ref: milanuncios/ Balas de paja. Elaboración propia.

Fig. 4. Colocación de la paja tras su embalado. Ref: RCP

Fig. 5. Formas de colocación de las balas de paja. Elaboración propia.

Fig 6. Balas de paja preparadas para los ensayos. Ref: Compressive testing and analysis of plastered straw bales. Stephen Vardy and Colin MacDougall.

Fig 7. Máquina compresora. Ref: Compressive testing and analysis of plastered straw bales. Stephen Vardy and Colin MacDougall.

Tabla 2. Datos de las muestras ensayadas. Elaboración propia. Ref: Compressive testing and analysis of plastered straw bales. Stephen Vardy and Colin MacDougall.

Tabla 3. Valores medios de carga-desplazamiento de las balas de paja con recubrimiento. Ref: Compressive testing and analysis of plastered straw bales. Stephen Vardy and Colin MacDougall.

Tabla 4: características de una fachada convencional de fábrica de ladrillo. Elaboración propia.

Fig 8. Medidas balas de paja: 3 y 2 cuerdas. Ref: La casa con fardos de paja de Athena Swentzell, Bill Steen and David Bainbridge.

Fig 9. Levantamiento muro balas de paja. Ref: RCP.

Fig 10. Construcción de muros portantes de balas de paja. Ref: Agustín Martínez Renedo.

Fig 11. Zuncho perimetral de madera. Ref: Agustín Martínez Renedo.

Fig 12. Solución en esquina de los muros con balas de paja. Ref: RCP.

Fig 13. Pretensado de los muros. Elaboración propia.

Fig 14. Características de la construcción del muro de paja. Ref: RCP.

Fig 15. Sistema CUT. Ref: casa unifamiliar en Cervera del Maestre (Valencia).

Fig 16. Ejemplo de encofrado. Elaboración propia. Ref: Libro Reglas profesionales de la construcción con paja.

Fig 17. Encofrado realizado en un edificio real. Ref: Casa en Sagunto (Valencia)

Fig 18. Grapas empleadas para unir la malla al muro. Ref: Nathaniel Corum.

Fig 19. Esquema de realización del revoque de cal por capas. Elaboración propia. Ref: Libro Reglas profesionales de la construcción con paja.

Fig 20. Esquema de realización del revoque de arcilla por capas. Elaboración propia. Ref: Libro Reglas profesionales de la construcción con paja.

Fig 21. Esquema cálculo del alero. Ref: La casa con fardos de paja de Athena Swentzell, Bill Steen and David Bainbridge.

Fig 22. Mapa de localización. Ref: Google Maps.

Fig 23. Mapa de emplazamiento. Ref: Google Maps.

Fig 24. Concierto Guns N' Roses. 2017. Ref:

Fig 25. Mapa mundial de la clasificación climática de Köppen para el periodo 1980-2016.

Fig 26. Imagen actual de la construcción. Elaboración propia.

Fig 27. Detalle cimentación. Elaboración propia. Ref: planos del Libro del Edificio.

Fig 28. Levantamiento del muro con bloques macizos de hormigón. Elaboración propia.

Fig 29. Colocación de viguetas y zuncho perimetral. Elaboración propia.

Fig 30. Detalle forjado intermedio. Elaboración propia. Ref: planos del Libro del Edificio.

Fig 31. Imagen interior de la construcción. Elaboración propia.

Fig 32. Levantamiento de los muros. Elaboración propia.

Fig 33. Cubierta a un agua de pizarra. Elaboración propia. Ref: planos del Libro del Edificio.

Fig 34. Cubierta vegetal ligeramente inclinada. Elaboración propia. Ref: planos del Libro del Edificio.

Fig 35. Cubierta a dos aguas de pizarra. Elaboración propia. Ref: planos del Libro del Edificio.

Fig 36. Imagen actual de la construcción. Vista de las placas solares en la cubierta. Elaboración propia.

Fig 37. Depósitos almacén de orina. Elaboración propia.

Fig 33. Imagen revoco exterior. Elaboración propia.

Fig 38. Revoco interior. Dos primeras capas. Elaboración propia.

Fig 39. Aquatron. Separación de líquidos y sólidos.

Fig 40. Inodoro con los dos orificios de evacuación. Elaboración propia.

Fig 41. Velux y detector de humo. Elaboración propia.

Fig 42. Cuadro iluminado de salida de emergencia y luz de emergencia en la habitación. Elaboración propia.

Fig 43. Ejemplo cerramiento. Ref: Empresa Ovacen.

Fig 44. Plano a escala 1:500. Zona roja: terraza cubierta. Elaboración propia. Ref: planos del Libro del Edificio.

8.2 BIBLIOGRAFIA REFERENCIAS:

Bibliografía digital

<https://www.casasdepaja.org/wiki/como-construir/item/215-estilo-%E2%80%9Cnebraska%E2%80%9D-muros-de-carga-de-paja>

<https://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con-paja/>

<https://arquiteututecnicu.com/2016/03/29/tecnica-greb/>

<http://reader.digitalbooks.pro/content/preview/books/39121/book/OEBPS/Text/chapter1.html>

<https://reformacoruna.com/casas-balas-paja/>

<https://www.europeanidiomas.com/clima-en-irlanda/>

Bibliografía

Casas de Paja: una guía para autoconstructores

Por Rikki Nitzkin y Maren Termens.

Ed. EcoHabitar, España. 2010.

La casa de fardos de paja.

Athena Swentzell, Bill Steen y David Bainbridge con David Eisenberg.

White River Junction, Vermont. 1994.

Manual de construcción con fardos de paja.

Gernot Minkey y Friedemann Mahlke.

Ed. Fin de siglo.

Reglas profesionales de construcción con paja.

Bioarquitectura mediterránea BAM

Ed. Icaria, España. 2012

Compressive testing and analysis of plastered straw bales

Stephen Vardy y Colin MacDougall.

Thermal Performance of Straw Bale Wall Systems

Nehemiah Stone

Ecological Building Network (EBNet), 2003