

6.c. PROTOTIPO DE VIVIENDA SOSTENIBLE DE DESARROLLO PROGRESIVO CONSTRUIDA CON MUROS DE BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA

Félix Jové, Dr. Arquitecto.
Universidad de Valladolid, UVA. España.

Colaboradores:
David Muñoz, Arquitecto.UVA.
Luis Pahíno, Arquitecto.UVA.

1. ANTECEDENTES. EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En España existe actualmente un grave problema de abandono y despoblación del medio rural. Desde el Grupo de Investigación en Tecnología de la Construcción con Tierra (GrupoTIERRA) de la Universidad de Valladolid (UVA-España) se plantea la necesidad de investigar sobre prototipos de vivienda de crecimiento progresivo que puedan dar respuesta a nuevos grupos de población que sientan la necesidad de recuperar el medio rural como lugar de residencia. La idea del proyecto nace del concepto de viviendas semilla; es decir, de la vivienda como unidad mínima que, una vez implantada en el territorio, puede ir creciendo en función de las necesidades del núcleo familiar. Este crecimiento no debe implicar necesariamente desorden o improvisación, muy al contrario, el modelo de crecimiento ha de estar planificado y estudiado desde el inicio del proyecto para garantizar un resultado positivo.

El prototipo ha de lograr también su integración en un entorno rural, y en un contexto social que tiene una manera particular de expresar su arquitectura y unos sistemas constructivos que le son propios y que responden a unos modelos vernáculos característicos de la zona; en nuestro caso la meseta castellana de la región de Castilla y León. En la meseta, las viviendas del medio rural responden a una tipología de constructiva de edificios de una o dos plantas, con muros de adobe o tapia, estructura de vigas o rollizos de madera y cubierta de teja. En general son edificios masivos, con huecos de ventana pequeños para protegerse de los rigores del clima; frío en invierno y caluroso en verano, y con un gran salto térmico entre el día y la noche cuyos valores pueden alcanzar los 15°C de diferencia.

Los resultados de la investigación, salvados los condicionantes propios del lugar, pueden tener su extensión a otros entornos culturales o sociales, tal es el caso de los programas de mejora de vivienda para la mejora de la calidad de vida de la población más desfavorecida de Manta (Ecuador), llevados a cabo por la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM-Ecuador).



Figura 01. Infografía del prototipo de vivienda J-2 (fase inicial).

El proyecto de la Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo (AECID) que estamos desarrollando, pone de manifiesto la necesidad de fortalecer la investigación y el intercambio de iniciativas, sin por ello perder las características distintivas de cada entorno.

<Efectivamente, "...frente al actual fenómeno de globalización formal de la arquitectura, consecuencia de la globalización económica y cultural en la que se encuentra inmerso el primer mundo, el proyecto arquitectónico de la mano de la cooperación internacional debe ser extremadamente respetuoso con las señas de identidad cultural del país en el que se actúa, velando por el mantenimiento, recuperación y puesta en valor de los valores intrínsecos de la arquitectura local". (JOVÉ, F., 2011).

2. PROTOTIPO DE VIVIENDA DE DESARROLLO PROGRESIVO

El concepto de viviendas semilla incide en la idea de vivienda de desarrollo progresivo. La vivienda tiene que dejar de entenderse como algo terminado a un coste fijo -en algunos casos inaccesible para el ciudadano medio- para concebirse como un organismo vivo con un coste inicial bajo, que crece de la mano del incremento de los recursos económicos familiares y en función de sus necesidades reales.

En nuestro caso, el prototipo está destinado a gente joven con pocos recursos económicos, con la intención de fijar población en el medio rural en la idea de una vuelta al campo. Se trata pues de reconquistar el medio rural a través de la gente joven. "Esta nueva conquista ha de hacerse necesariamente desde planteamientos con base ecológica y sostenible, aprendiendo de la tradición pero apoyándose en la innovación y la tecnología.

Habitar hoy zonas rurales ya no implica necesariamente un aislamiento familiar, cultural o social. Las nuevas tecnologías de la comunicación hacen posible una interrelación global entre los diferentes colectivos" (JOVÉ, F., 2011). Con la crisis económica actual, el medio rural debe verse hoy como un nicho de nuevas oportunidades.

La vivienda en el medio rural puede aprovecharse del uso de nuevas tecnologías y nuevos recursos energéticos como la energía solar, la biomasa o el ciclo eficiente del agua, recursos difícilmente aplicables en las ciudades ya consolidadas que, unidos a la eficiencia de las estrategias bioclimáticas, puede dar lugar a modelos de vida sostenibles que garantizan la pervivencia de la arquitectura vernácula como un bien patrimonial de nuestra sociedad.

La propuesta desarrolla la idea de un módulo básico capaz de ampliarse siguiendo un modelo de crecimiento predeterminado. El modelo ha de ser fácilmente ejecutable, de manera que se ha trabajado con tecnología de muros portantes de fábrica de tierra BTC, con forjados de madera de luces estandarizadas, y desarrollada en un único nivel capaz de ofrecer un punto de partida viable y fácilmente reconocible (figura 1).

La construcción del módulo básico se realizará con un marcado carácter formativo. Se requiere la presencia del futuro usuario de manera que éste adquiera la capacitación necesaria para construir por sí mismo, o con la participación de mano de obra cualificada, las ampliaciones futuras de su vivienda. Los procesos de crecimiento estarán regulados por un plan predeterminado con el objeto de garantizar la idoneidad funcional y estructural de la vivienda finalmente construida. Las destrezas adquiridas por el usuario podrán ser más o menos participativas en función de su formación académica, de manera que pueda participar como mano de obra ejecutora o como coordinador o director de la ejecución de las obras. En cualquier caso deberán garantizar el conocimiento del plan de crecimiento para alcanzar los objetivos planteados.

Se trabaja siguiendo una tipología de vivienda destinada al medio rural asociado a procesos de autoconstrucción, bioclimática en cuanto a la utilización de sistemas pasivos de climatización y sostenible en cuanto a los materiales de construcción utilizados.

Funcionalmente se exploró la arquitectura doméstica de lo pequeño, no tanto de la vivienda mínima propiamente dicha, sino de un concepto de lo pequeño ligado a lo suficiente. El módulo básico está compuesto por una estancia única formada por estar-comedor, cocina y un baño. Es lo que hemos denominado módulo de fin de semana para una pareja joven sin hijos. Tiene una superficie útil cercana a los 50m² (48,74m²) y cubre todas las necesidades iniciales. El estar-comedor tiene una zona de estudio y por las noches hace de dormitorio con un sofá convertible en cama.

Al módulo básico se le incorporan fácilmente diferentes unidades de dormitorios siguiendo el modelo de crecimiento progresivo propuesto, llegando la más grande a ser una propuesta cercana a la Vivienda de Protección Oficial. En la primera fase de crecimiento, la ampliación ocupa todo el frente de parcela asignado a la vivienda, alcanzando una superficie de 65m² (65,84m²), con dos dormitorios independientes y el resto del programa ya existente.

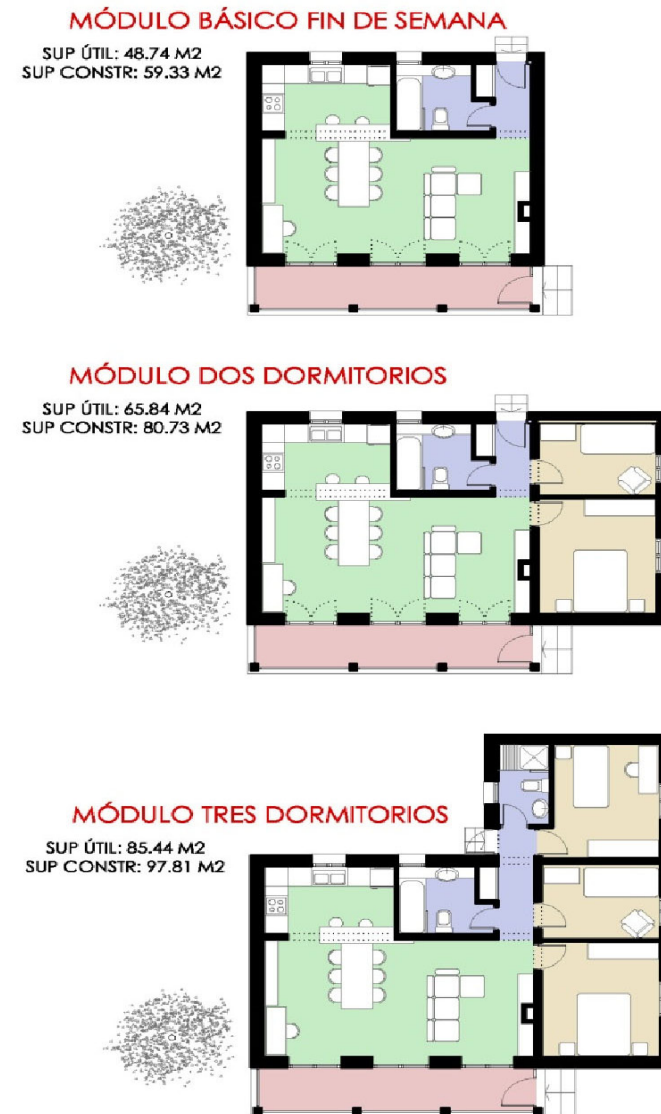


Figura 02. Plantas del prototipo J-2GT y modelo de desarrollo progresivo. Grupo TIERRA, Universidad de Valladolid (España)

En las posteriores ampliaciones la vivienda crece en fondo ocupando parte del patio interior. En la segunda fase de crecimiento se incorpora un tercer dormitorio y otro baño alcanzando una superficie de 85m² (85,44m²), cercana a la superficie de la Vivienda de Protección Oficial estatal (Fig.2).

Dado que se trata de un prototipo teórico, no hay ninguna referencia acerca del “lugar” (normativa urbanística, topografía, tamaño y forma de la parcela, viales, posibilidad de agrupación, etc.), aspectos que deberán ser tenidos en cuenta en la propuesta real y que caracterizarán en gran medida la ejecución final de la vivienda.

3. MATERIALES Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Tras el sencillo planteamiento de la propuesta, nos centramos en el estudio de los materiales y los diferentes sistemas constructivos vinculados al prototipo. El diseño debía partir de una idea de sostenibilidad incorporada en todas las fases de producción de la vivienda: proyecto, disponibilidad de materias primas, construcción, vida útil y residuo final.

Para la construcción de los muros portantes se planteó el uso de bloques de tierra comprimida (BTC), obteniendo de este modo unos cerramientos de gran inercia térmica mediante sistemas constructivos sencillos. Estos bloques están constituidos exclusivamente por tierra natural prensada, material universal, fácilmente disponible en la propia ubicación de la vivienda.

La estructura horizontal se planteó a base de forjados de entramado de madera laminada o “vigas dúo”, incorporando aislamientos naturales como lana de oveja y panel aislante de fibra de madera. En todo ello, se perseguía tanto la sencillez constructiva como la modulación, características que entendíamos fundamentales en este tipo de construcciones modelo.

Así mismo, en el aspecto bioclimático, se implementaron elementos y sistemas destinados al ahorro energético pasivo, como una galería acristalada captadora orientada a sur (con la posible incorporación en su cubierta de placas solares), el sistema de calefacción radiante tipo “gloria” con caldera de biomasa y la atención a la sostenibilidad en el ciclo del agua

mediante un aljibe de recogida de aguas pluviales y aguas grises para su posterior utilización para riego y abastecimiento de cisternas.

La propuesta desarrollada trataba de conciliar estas nuevas o renovadas tecnologías y criterios de diseño contemporáneos con rasgos de la arquitectura popular y anónima, a la que el público general muestra un decidido apego, la cual está caracterizada por un estilo de vida sencillo y humano cada vez más demandado. La formalización inicial se ciñó a la solicitud específica de la empresa pero, evidentemente, la propuesta no quedó cerrada ni se agotó en las imágenes facilitadas sino que trataba de iniciar una línea de investigación que buscaba profundizar en el aspecto material de la tierra cruda como detonante proyectual predefinido.

La sencillez constructiva de la propuesta queda patente en la simplificación de las materias primas utilizadas, reducidas fundamentalmente a tres materiales básicos: tierra, madera y vidrio, premisa que igualmente buscaba una reducción relevante de los oficios: albañil y carpintero.

Se incorpora también la idea de que el terreno es el primer material de construcción, pero con total literalidad, ya que la materia extraída de la pequeña excavación superficial que genera una cámara -ventilada en verano y caldeada en invierno-, surte de material para la producción de BTC y puede ser utilizada para formación de una cubierta vegetal. Con este material se calcula que podría llegar a fabricarse hasta la mitad de las unidades necesarias para los muros portantes de la vivienda, con un coste cero en materia prima.

4. COMPORTAMIENTO DEL MURO DE BTC FRENTE A LA HUMEDAD

La estructura portante se proyecta mediante muros de carga de BTC suministrados por la empresa Adoberas del Norte, S.L. Se trata de una pequeña empresa de carácter local, gestionada por gente joven y situada en un pequeño pueblo cercano a Valladolid.

Con el objeto de precisar el comportamiento del material se han realizado ensayos de resistencia a compresión de los bloques de BTC. Uno de los aspectos más novedosos del proyecto era conocer el comportamiento

del BTC frente a la acción directa del agua y determinar la merma de su resistencia a compresión. Para ello se ha realizado también ensayos a compresión sobre bloques con la cara expuesta humedecida, de manera que nos permita conocer su hipotético comportamiento en un muro real sometidos a la intemperie.

Los ensayos se han realizado siguiendo lo especificado en la norma española UNE-41410: Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques, que su apartado 5.6 establece que el fabricante debe declarar la resistencia normalizada a compresión del BTC en N/mm², de acuerdo a la norma UNE-EN 772-1:2002.

Para la realización de los ensayos se ha utilizado una prensa universal del mismo tipo de las empleadas en la rotura de probetas de hormigón. La velocidad de carga es de 4.00KN/seg. La máquina dispone de un automatismo que detiene el incremento de carga una vez que se produce la rotura por agotamiento a compresión de las piezas, registrando los valores

Una vez garantizada la capacidad resistente del BTC, se han realizado los ensayos para obtener la resistencia del BTC húmedo, y con ello determinar la merma de su resistencia en condiciones de humedad extrema y acción directa del agua de lluvia. Como en el caso anterior se elige una serie de 6 bloques en condiciones estándar de laboratorio.

Se han programado ensayos para bloques con la cara exterior sometida a condiciones de humedad extrema, simulando una época de lluvia persistente en la fachada más desfavorable.

Las conclusiones de este ensayo pueden ser muy didácticas para su aplicación en la temporada de lluvia en la región de Manabí en Ecuador. Por todos es conocido que el agua es el agente que más altera la estabilidad de la fábrica de BTC, por lo que queremos conocer el comportamiento del material ante condiciones de humedad severas en una de sus caras.

Estos casos "límite" son los que queremos estudiar en este ensayo, cuyo procedimiento, en el caso de rotura de los bloques, es el mismo que el realizado en el ensayo de rotura a compresión en condiciones Standard.

5. CARACTERIZACIÓN DE LOS BLOQUES A UTILIZAR

Nº	SOGA MM	TIZÓN MM	GRUESO MM	VOLUMEN mm3	VOLUMEN M3	MASA KG	DENSIDAD KG/m2
1	305	158	102	4.915.380	0,004915380	9,900	2.014,00
2	305	156	102	4.853.160	0,004853160	9,880	2.035,00
3	305	161	102	5.008.710	0,005008710	10,140	2.024,00
4	305	156	102	4.853.160	0,004853160	9,920	2.044,00
5	305	160	102	4.977.600	0,004977600	10,180	2.045,00
6	305	159	102	4.946.490	0,004946490	9,940	2.009,00
promedio	305	158	102	4.925.750	0,004925750	9,993	2.028,50

Previo a la ejecución del ensayo se pesan y miden todos los bloques a utilizar, y se anotan pequeñas fisuras y aparición de partículas orgánicas que puedan alterar la muestra.

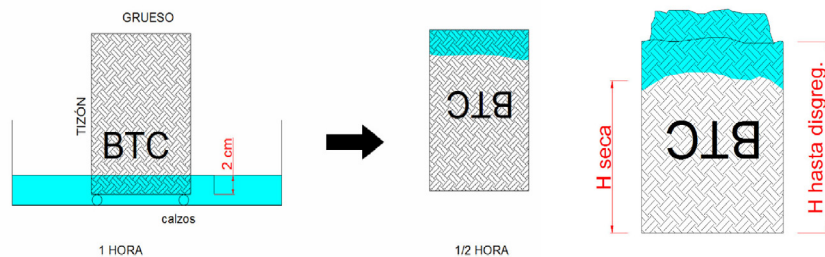
Para simular las condiciones de humedad extrema, colocaremos los bloques con el grueso sumergido en un recipiente con una altura de agua de dos centímetros durante una hora, y posteriormente los sacaremos del agua y les daremos media vuelta, dejándolos en reposo media hora, para luego realizar el ensayo a compresión.

En todas las muestras, una vez sacadas del recipiente y dadas la vuelta, se anotan dos alturas:

Altura seca: Nos da idea de la facilidad que ha tenido el agua de ascender por capilaridad en la muestra.

Altura hasta desconchado: Nos da idea de la facilidad que ha tenido el agua para disgregar la cara del bloque en contacto con éste.

Después de ser humedecidas, pesamos todas las muestras, aunque este resultado no tiene ninguna incidencia en las conclusiones puesto que no podemos cuantificar exactamente la ganancia en peso de agua y la pérdida de material, puesto que estos dos factores se mezclan al introducir la muestra en el recipiente.



Los ensayos, recogidos en la ponencia (Jové, F., Muñoz, D., Pahino, L.: 2010) estuvieron realizados conforme a la UNE 41410:2008, UNE 103102:1995 y UNE-EN 772-1:2002.

Tras media hora en reposo, rompemos las muestras en la prensa hidráulica, ejerciendo presión sobre las testas, de manera que asimilamos la probeta a una pieza en condiciones reales de trabajo en una fábrica a la intemperie con una de sus caras totalmente empapada por la acción del agua. La resistencia normalizada media obtenida ha sido de 3.49 N/mm², de manera que podemos clasificar el bloque como categoría media: tipo BTC-3 (fig.3). Recordemos que la Norma UNE 41410:2008 establece tres tipos de categoría de BTC en función de su resistencia normalizada a compresión: Baja BTC-1 (>1,3 N/mm²), Media BTC-3 (>3 N/mm²) y Alta BTC-5 (>5 N/mm²).

El resultado es claro: la resistencia a compresión disminuye en los bloques con la cara humedecida. Sin embargo, la disminución es mucho menor de lo que cabría esperarse y desde luego no es tanta como para invalidar el bloque como elemento estructural, alcanzando, en todo caso, la categoría media: tipo BTC-3.

6. COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL MURO DE BTC

También ha sido necesario desarrollar un proyecto de investigación paralelo para determinar el comportamiento térmico del muro proyectado en el prototipo. La solución de muro de BTC colisiona con la vigente hipernormatividad existente en España. En efecto, de acuerdo al Código Técnico de la Edificación (CTE), en el apartado específico de eficiencia energética (DB-HE1), numerosas zonas de Castilla y León se encuentran en la zona climática E1, la más restrictiva en cuanto a transmitancia térmica de los cerramientos. Por tanto, esta solución de muro de carga de un pie de espesor no cumple con la normativa, como tampoco lo harían muros de hasta dos o tres pies de espesor. Es decir, un muro de cualquier material (salvo la madera) aún con un gran espesor (superior en este caso a los 80 cm) en ausencia de un aislamiento térmico no cumple según la normativa actual. Sin embargo, la razón y la experiencia nos demuestran lo contrario.

El proyecto del prototipo tiene la voluntad de cumplir con la normativa vigente, de manera que se ha investigado sobre un tipo de cerramiento compuesto, de dos hojas con aislamiento.



Figura 03. Diversos momentos del ensayo de simulación de humedad extrema por inmersión de la testa del BTC y ensayo de rotura a compresión. Grupo de Investigación en Tecnología de la Construcción con Tierra, UVA (España).

Cabe decir, sin embargo, que una de las características de la tierra natural es su elevada inercia térmica (mayor o menor dificultad que presenta un material para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor), hasta ocho veces superior a la del ladrillo cocido. Para optimizar esta característica, totalmente olvidada por el CTE, planteamos un sistema de cerramiento con el aislamiento invertido, es decir, al exterior de la hoja portante. De este modo se aprovecha todo el espesor de la fábrica de BTC para “almacenar” energía del ambiente interior, el cual no se disipa al exterior gracias a la hoja de aislamiento en su cara externa, mejorando sensiblemente el rendimiento de la climatización interior, si bien cabe señalar que de este modo no se aprovechan las mejores condiciones estacionales exteriores.

La hoja de aislamiento al exterior abre un nuevo campo de discusión para el acabado externo de la vivienda, que iría desde la utilización de otra hoja no portante de BTC (con el consiguiente aumento de la superficie construida y de una mejora de la transmitancia), hasta la utilización de otros materiales de revestimiento. Evidentemente, la utilización de unos u otros materiales de acabado definirá en gran medida el aspecto formal de la vivienda, no solo desde el punto de vista del propio acabado, sino también de la disposición de diferentes elementos arquitectónicos propios de cada uno de los materiales, como aleros o zócalos.

En todo caso, el aislamiento al exterior evita totalmente la aparición de puentes térmicos.

Efectivamente, la arquitectura en tierra no tiene porque ser una fábrica enfoscada con mortero de barro. Introducir la fachada ventilada supone que el edificio podría tener múltiples posibilidades en cuanto a su aspecto exterior sin perder las cualidades de la arquitectura de tierra. Tras una posible ampliación, el acabado exterior y el aislamiento pueden ser reutilizados en los nuevos paramentos cuando el muro original ya no cumpla las funciones de cerramiento. Lo que resulta claro es que otro material que no fuera la tierra para ese acabado exterior pondría seriamente en duda las motivaciones tectónicas de su empleo como muro estructural y de acabado interior al no expresarse formalmente.

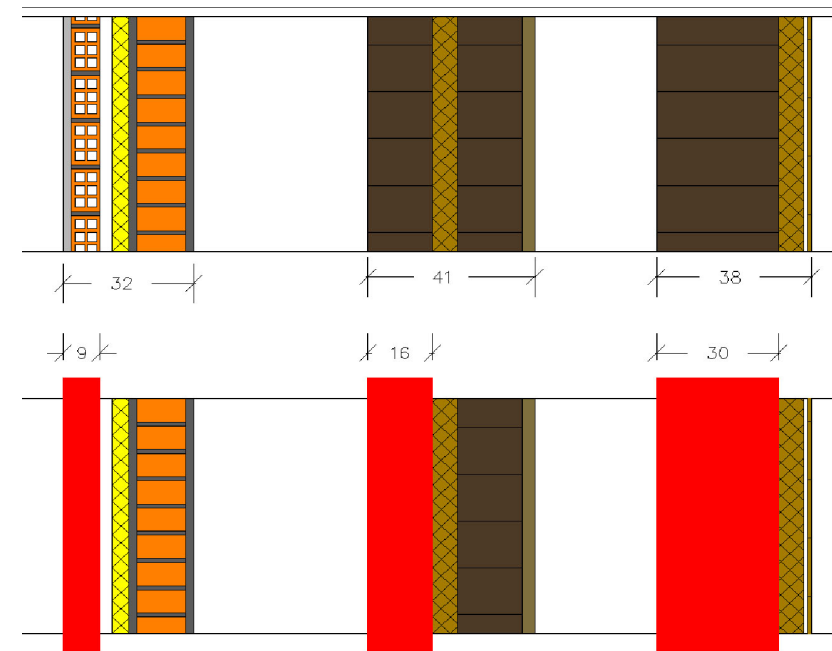


Figura 04.

capacidad calorífica btc:

880 kcal/m³ °C

capacidad calorífica ladrillo hueco doble (LHD):

186 kcal/m³ °C

inercia térmica solución LHD:

17 kcal/m² °C

inercia térmica solución DOBLE BTC ½ pie + aislamiento intermedio:

140 kcal/m² °C

inercia térmica solución BTC 1 pie + aislamiento exterior:

264 kcal/m² °C

U máxima (transmitancia) para zona climática E1 según CTE-DB-HE1:

0.57 W/m² K

U solución LHD:

0.53 W/m² K

U solución DOBLE BTC ½ pie + aislamiento intermedio:

0.50 W/m² K

U solución BTC 1 pie + aislamiento exterior:

0.47 W/m² K

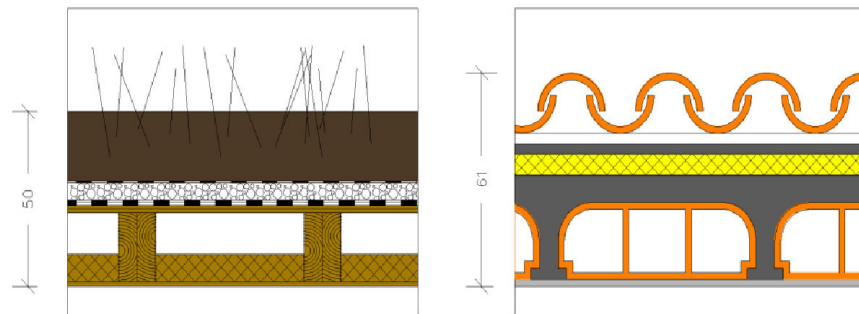


Figura 05.

U máxima según CTE-DB-HE para zona climática E1:

0.35 W/m² K

U solución 1:

0.34 W/m² K

U solución convencional:

0.46 W/m² K

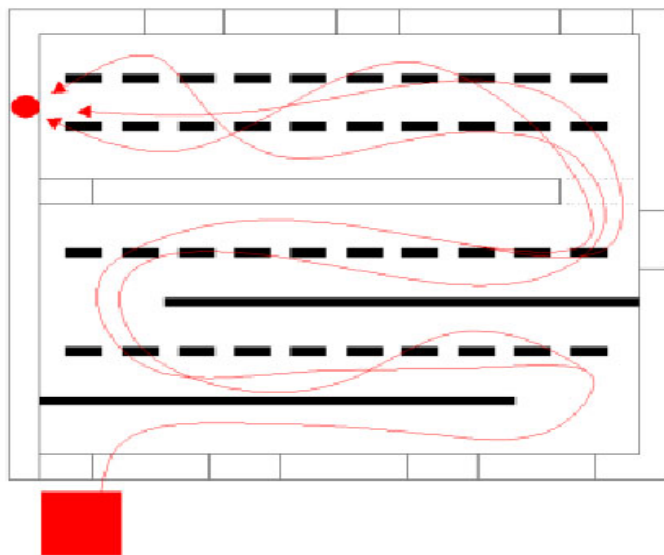


Figura 06. Esquema de recorrido de la calefacción tipo "gloria"

7. OTROS MATERIALES DEL PROTOTIPO

Para la estructura horizontal se plantea una estructura de madera, con la posibilidad de incorporación del aislamiento de fibras de madera en el entrevigado a modo de panel tipo Sándwich.

La utilización de madera contralaminada mejora la resistencia al fuego al exponer las caras del duramen sin generar soluciones más costosas.

Los vanos y la geometría son muy sencillos, de manera que se generan unas piezas con escuadrías simples, siempre enfocadas a la facilidad de montaje, incluso por mano de obra inexperta.

En cuanto a la cubierta, un desarrollo posterior plantea un sistema de cubierta vegetal, con sistema de recogida de aguas a aljibe, para su utilización en cisternas y posible riego. En este caso la elevada inercia térmica de la tierra vegetal atenúa las oscilaciones térmicas a las que tiene que hacer frente la hoja de aislamiento, resultando muy competitiva con la solución convencional de cubierta. En todo caso, en una solución de cubierta plana como la que se plantea, conviene estudiar cuidadosamente un sistema de protección adecuado contra la erosión de los paramentos exteriores sea mediante aleros o tratamientos superficiales.

Bajo el suelo de la vivienda se proyecta una cámara-gloria, un antecedente del suelo radiante con una tecnología mucho más sencilla que evita la utilización de complejas válvulas, colectores y bombas en el sistema de calefacción, en la cual, la combustión de paja (materia prima natural procedente de agricultura) se estima suficiente para calefactar todas las estancias, proyectándose un recorrido en el que la zona más caliente -en el acceso de la vivienda- mejora la sensación térmica a la llegada y finaliza su recorrido en el baño y la cocina, que son los dos ambientes que necesitan menos calor. En ese sentido, aquí también se aprovecha la elevada inercia térmica de la solera de tierra apisonada calentada por su parte inferior, y que sirve de base al solado de las estancias.

El acabado interior permite la exploración de diferentes texturas y tonalidades, dependiendo de la tierra utilizada, considerando incluso la fábrica vista. En

todo caso, se podría plantear la opción de un acabado interior mediante morteros de cal, con posibilidad de pinturas minerales con base silicato, los cuales no afectan a las propiedades higrotérmicas del cerramiento y presentan un acabado interior mas “asumible” por el potencial cliente. La propia tecnología del material murario haría lógico que las instalaciones interiores se llevaran vistas, bien centralizadas en los cuartos húmedos minimizando su impacto visual, bien haciéndolas discurrir por algún tipo de canal embebido en los perímetros de suelo o techo de la vivienda.

Como ya se dijo, en la fachada sur se dispone una galería acristalada que actúa de captador solar en invierno, con un sistema de rejillas entre esta y la estancia principal. En verano el sistema de cierre de la galería se abatiría, con un sistema de apertura que permite el doblado de su superficie, generando un espacio en sombra.

BIBLIOGRAFÍA:

INSTITUTO EDUARDO TORROJA: *La tierra, material de construcción. Monografía 385/386*, 1987.

JOVÉ, F., (2011). *Arquitectura e identidad cultural en el contexto de la cooperación internacional en el continente africano. Revista TABANQUE*, nº 24, pp.115-132.

JOVÉ, F.; SAINZ, J.L., (2012) *Conservación y rehabilitación de la arquitectura rural, criterios y técnicas de actuación. Re. habitar sustentável em meios rurais, Encontro Ibérico de Arquitetura, Figueira de Castelo Rodrigo (Portugal)*

MUÑOZ DE LA CALLE, D., (2010) *El uso de BTC en la construcción: características mecánicas y ensayos de erosión hídrica. Trabajo de Suficiencia Investigadora. Curso de Doctorado.*

OLMOS MARTÍNEZ, P.; *La norma UNE 41410:2008 “bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo”. Análisis y comentarios desde el punto de vista geotécnico. Ponencia técnica VI-CIATTI Congreso Internacional arquitectura de tierra, Cuenca de Campos (Valladolid), 2009*

Norma UNE-41410:2008. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Ed. AENOR. España. 2008

Norma UNE-EN 772-1. Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Determinación de la resistencia a compresión. Ed AENOR. España. 2002.

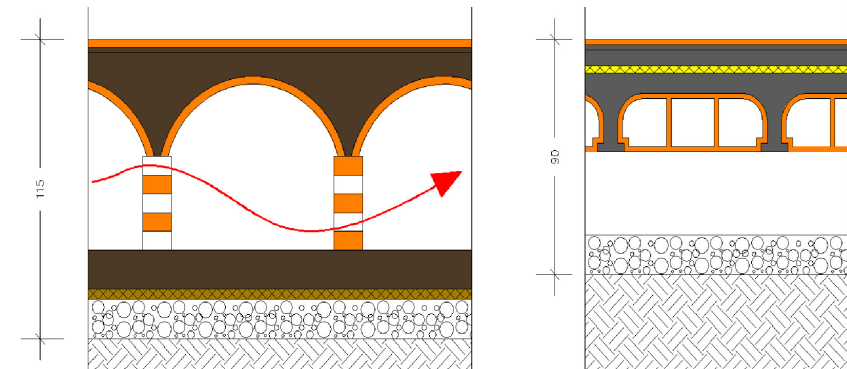


Figura 07.

U máxima según CTE-DB-HE1 para zona climática E1:
 0.48 W/m² K
U solución 1:
 0.44 W/m² K
U solución 2:
 0.47 W/m² K

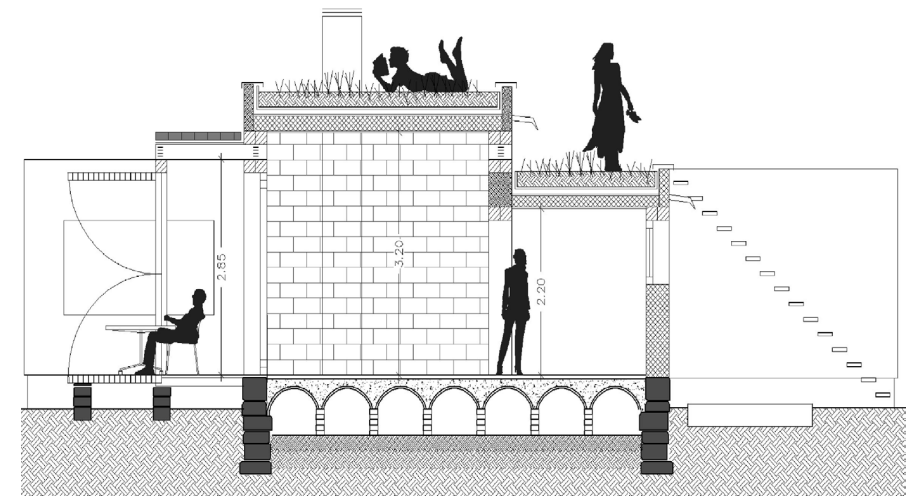


Figura 08. Prototipo J-4GT, vivienda de desarrollo progresivo. Grupo TIERRA, Universidad de Valladolid (España)