

**Título:**  
**Proyecto Tierra – Passivhaus de BTC en Mallorca**

**Autores:**

redactor: Amarante Barambio  
Buisán  
coautor: Eduardo Rodríguez  
Ramos

**Resumen:**

Éste es un ejemplo de una casa que, siguiendo el patrón de la construcción tradicional Mallorquina y realizada con materiales naturales prácticamente al 100%, no renuncia a la excelencia energética ni a la tecnología necesaria para ello.

Aislantes de corcho natural y fibra de madera, bigas de madera laminada, placas de yeso-celulosa, ventanas de madera, morteros de cal y barro, armaduras de acero inox, paredes de piedra de Marés... éstos son los materiales que se combinan para confinar su espacio interior. La casa dispone de unas instalaciones de ACS con placas solares, un depósito de aguas pluviales y una cocina económica de leña con circuito estanco, e instalaciones de electricidad y agua bien ejecutadas, además de una instalación domótica.

El diseño pasivo es consecuente y está realizado al detalle, y los cálculos energéticos en PHPP, aseguran no subir de 10 kWh/m2año. Se realizó un primer test de prueba con un resultado de 0,29 -h. Se ha realizado el test definitivo a presión y succión, con un resultado aún mejor de 0,17 -h.



*Fachada sur*



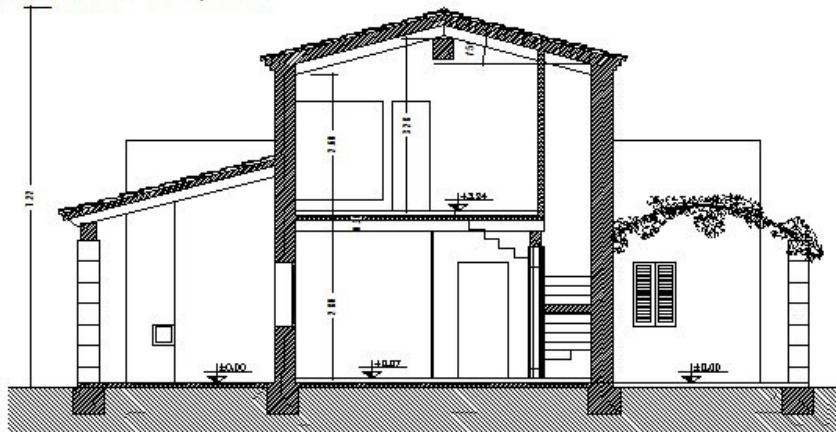
*Detalle de ejecución del BTC*

Todo ello para poner el máximo valor en lo realmente valioso de éste ejemplo: El terreno llano, la tierra rojiza, los árboles aquí y allá salpicando el paisaje, los muros de piedra seca del entorno, el mar y el cielo azul de la isla de Mallorca.

**Palabras Clave:**

Tierra,  
Lugar,  
Tradición,  
Arquitectura Popular,  
Construcción Ecológica,  
Bloque de Tierra Comprimida  
BTC,  
Piedra de Marés,  
Passivhaus,  
Hermeticidad por el exterior.

**Sección E 1/100**



## Introducción:

Cuando la Empresa Ecocreamos, Juan y Eduardo Ramos contactan conmigo para intentar realizar una casa lo más eficiente energéticamente tenían ya la idea de hacer un proyecto lo más completo posible desde todos los puntos de vista, desde el ecológico al técnico y al energético. Me enseñan la obra aún en sus estados previos, viendo el lugar y los rasgos que el proyecto ya tenía: un diseño respetuoso con el medio ambiente, un proyecto de casa típica mallorquina, en medio del campo y, para hacer la cosa más difícil, pero mucho más atractiva, a base de BTC;



*Fachadas Este y Norte*

- perdón... ¿el qué?

- BTC, Bloque de Tierra Comprimida. Aquellos de allí.

(Eso eran unos Bloques de 30x30x10 cm que ya existían y ya estaban en las primeras hiladas de los muros portantes de la casa).

## Los Bloques de Tierra Comprimida:

Eduardo nos explicó las peripecias hasta llegar a fabricar, en la misma finca y con la tierra procedente de la propia excavación, una composición adecuada para la realización de los bloques (BTC), formados únicamente por la tierra obtenida del lugar y algo de cemento natural para la estabilización de la mezcla. Dicha combinación de material se moldea con una prensa hidráulica estática (manual), que le da la forma y consistencia de bloque al mismo.

Se realizaron muchas pruebas, estudiadas conjuntamente con la ayuda del arquitecto técnico Joan Brunet Alos, donde se realizaron ensayos de difracción por rayos x y para determinar la composición granulométrica de la tierra, ensayos de rotura en un laboratorio homologado para determinar su resistencia a compresión y ensayos de humectación y secado siguiendo lo especificado en la norma UNE41410, hasta encontrar el producto adecuado..... para realizar esas paredes que allí estaban.

La Tierra Cruda es también extremadamente importante en la regulación de humedad interior de la casa en un clima como el de la isla, puesto que tiene una gran higroscopicidad, es decir, una gran capacidad de tomar y emitir humedad del y hacia el ambiente. Su Resistencia estructural a compresión, sin ser excepcional, es mayor de lo que uno pueda pensar en un primer momento.

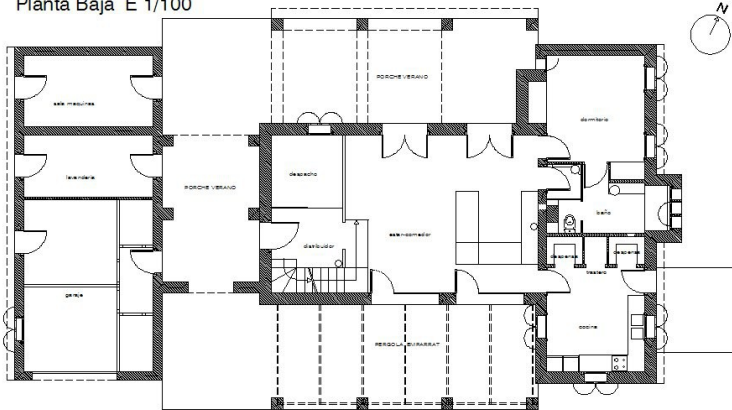
El material es pesado y consistente, muy denso, y muy agradable al tacto. Se debe tratar con mimo puesto que las aristas se van desgranando un tanto y pierden algo de su belleza. El mortero de cal que las unía era mortero de cal natural de una cantera cercana, y la pinta de esas paredes a medio construir en medio de la finca, colocadas con un mimo primoroso para quedar vistas por el interior, me impresionó.

“Mágico”, pensé.

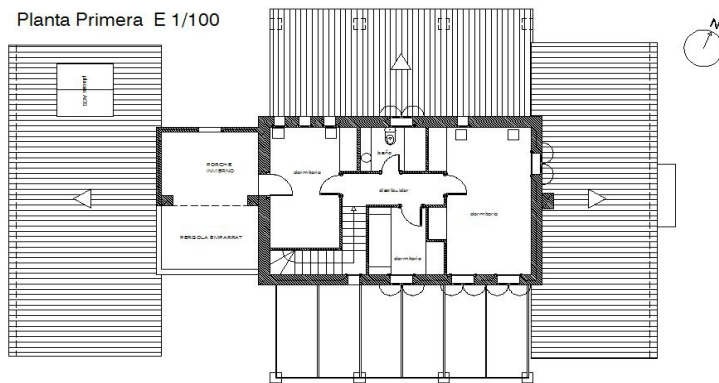
Luego me enseñaron el proyecto, típicamente mallorquín, de la arquitecta Neus García Inyesta, y me pidieron que me lanzase a la piscina, en frío y sin probar el agua antes:

- ¿crees que esta casa puede ser Passivhaus?

Planta Baja E 1/100



Planta Primera E 1/100





## Desarrollo:

Así pues, después de contestar un prudente...

- pues no lo sé, si quieres lo miramos.

...Eduardo me cuenta qué materiales van a utilizarse en la obra, qué perspectivas tienen, incluso si tuviera que ser una casa pasiva, cómo realizar la ejecución de las ventanas y más importante si cabe, cómo realizar una hermeticidad intermedia, por el exterior del BTC visto, pero asegurando un acabado con un estucado de mortero de cal. Así que lo primero será entender el proyecto.

El proyecto es relativamente compacto, se desarrolla en planta baja y planta primera, ocupando ésta última la mitad de la superficie de la planta inferior. El proyecto se sitúa en Lluchmajor, muy cerca de la costa de la bahía de Palma de Mallorca, en medio del campo, llano, rodeado de otras fincas parecidas. Tierra rojiza, muros secos de piedra delimitando las fincas, almendros y olivos desperdigados. Los espacios son relativamente amplios y sin mucha compartimentación. La superficie energética de referencia está en torno a los 142 m<sup>2</sup>.

### El clima de Mallorca:

El clima de la isla no es de los más calurosos en nuestro país. Según el CTE es un B3, es decir, “moderadamente” caluroso en verano y más bien poco frío en invierno. Su temperatura media en invierno es de unos 11°C, y en verano se dispara a los 23-24°C. De este modo, la gran dificultad de este clima desde el punto de vista Passivhaus está en el verano, donde su temperatura nocturna es bastante alta, además de una alta humedad que, aparte de aumentar la sensación de calor provoca rebasar porcentajes del 80% de humedad con mucha periodicidad. Todo ello combinado hace que sea necesario maximizar las estrategias de sombreado (domotizado) y ventilación nocturna, que está en el límite de sus posibilidades con las puertas y ventanas abiertas de par en par. Hemos calculado que tendremos un 4,5% de sobrecalentamiento en verano por encima de 25°C, y una frecuencia de humedad superada del 25,2% por encima de 14,2g/kg de aire. Aún así, estamos convencidos de que no es necesaria una refrigeración activa, así como también de que el BTC nos ayudará en la práctica a rebajar mucho el exceso de humedad interior.

### Composiciones de los elementos constructivos

La composición final del diseño, en concreto, de los paramentos exteriores ha sido:

Composición final del suelo en contacto con el terreno (grosor total 28 cm)

- base de grava
- 10 cm de solera de hormigón con malla de acero intermedia
- 8 cm de placas de corcho negro natural
- 8 cm de grava para el embebido de las



*Interior del salón*



*Vista de la cocina*



*Vista de la cubierta*



conducciones de agua fría, caliente y los tubos de ventilación.  
- 6 cm de pavimento continuo de hormigón como acabado.

Composición final de las paredes exteriores (grosor total 60cm):

- BTC de 30 cm, con una hilera de base de termoarcilla, descansando sobre la cimentación.
- lámina Intello impermeable-transpirable, haciendo la capa hermética.
- Paneles de aislante Gutex de 18 cm de fibra de madera
- rastreles de madera de 3 x 3 cm en vertical formando una cámara de aire
- lámina Proclima impermeable-transpirable,
- tabique de ladrillo de 7 cm
- enlucido con mortero de cal de 2 cm.

Forjado Intermedio:

- Vigas de madera laminada vistas de 15 x 24 cm
- panel de yeso-celulosa tipo Fermacell, de 15mm
- solera de hormigón con malla de 10 cm conectada mecánicamente con las vigas laminadas.
- rastreles de madera de 9 cm y doble entarimado de madera de acabado.

Composición final de la cubierta:

- Vigas de madera laminada vistas, de 10 x 20 cm. Dichas vigas aguantan en una gran jácena de madera que cruza toda cubierta de este a oeste y que está soportada con columnas de piedra de Marés.
- panel de yeso-celulosa de 15 mm
- lámina Proclima Intello capa hermética del edificio
- Panel aislante Gutex de 16 cm de grosor.
- lámina impermeable-transpirable.
- capa de compresión de hormigón en base a cal armado con malla, de 6 cm de grosor
- teja árabe tomada con mortero.

Tabiques interiores de piedra de Marés, con base de ladrillo cerámico de 7 cm, descansando sobre la solera.

El otro punto clave de la actuación está en las carpinterías exteriores:

Las ventanas son de madera de alerce de 78 mm de la casa Gaulhofer, con un vidrio doble bajo emisivo con Argón. Sus características son:

valor U-marco: 1,2 W/m<sup>2</sup>K  
valor U-vidrio: 1,1 W/m<sup>2</sup>K  
valor g-vidrio: g=0,56, de transmisión de radiación hacia el interior.



*Construcción libre de puentes térmicos*



*Capa hermética y sistema de tubos de ventilación*



*Fachada Este a medio construir*

La puerta de entrada tiene una U de 1,10 W/m<sup>2</sup>K.

La escalera al primer piso está hecha con estructura de madera y descansa directamente sobre el pavimento de la planta baja y el forjado de madera de la planta superior, sin más complicación y sin generar ningún puente térmico adicional.

Sin duda los aspectos más complejos en la ejecución fueron la unión de la ventana al muro de BTC visto, lo cual constituye un detalle complicado, en el cual se sitúa el marco apoyado por el exterior del BTC, solapando 1 cm, fijando con herrajes por fuera. El sellado interior se realiza con masilla y por el exterior se forra el BTC con la lámina hermética, que se acaba pegando al marco de la ventana y a la solera exterior. Dicha lámina engarza con la misma, colocada continua, en la cubierta justo por encima de la placa de yeso-celulosa, empaquetando la casa por el exterior del BTC. A continuación se colocaron los aislantes de fibra de madera.

La ejecución de dicho detalle fue tremendamente metódico en la obra, de ello fueron muy conscientes los obreros liderados por Eduardo. El resultado fue asombroso, puesto que para ser una primera obra usando dichas técnicas, el test de presión Blower Door, a 50 Pascales, dio 0,29 -h, algo prácticamente imposible.



*Detalle de hermeticidad en la balconera*

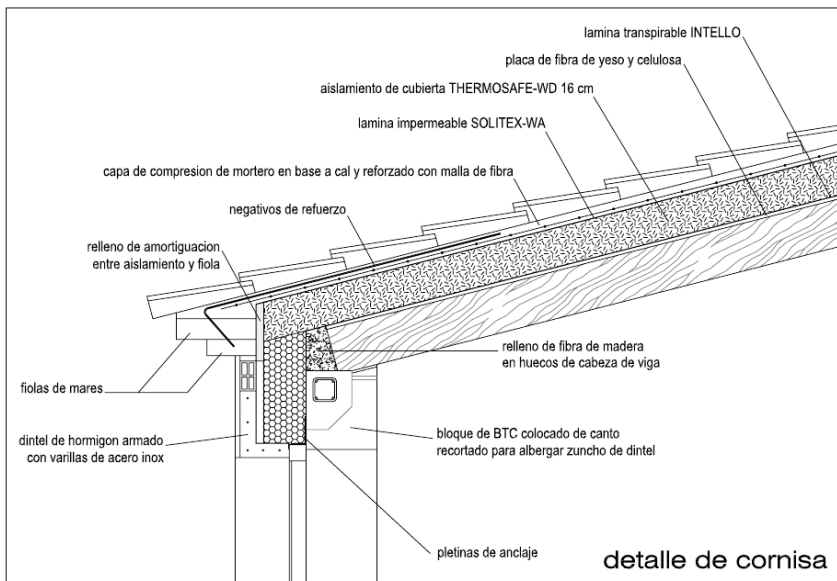


*y el mismo detalle por el interior*

El otro aspecto sorprendente, ya en cuanto a Instalaciones, es el sistema de conductos de la instalación eléctrica. El equipo de Ecocreamos ideó un sistema embebido dentro del BTC de manera que no fueran necesarias rozas y sólo se vieran los puntos de interruptor y luces, enchufes y empalmes. Aprovechando la cámara con aislante intermedia en el exterior, se agujerea estratégicamente el ladrillo BTC sólo en los puntos de entrada y salida de los tubos. El trayecto va por el suelo, embebido en la solera, o bien justo entre el ladrillo BTC y la lámina ProClima hermética, a la que, evidentemente, no toca ni daña.

En cuanto a las demás instalaciones, se ha colocado un recuperador de Calor ComfoAir 350 certificado de la casa Zehnder, con una recuperación de calor del 92%. Se sitúa fuera de la envolvente térmica, en el cuartillo de instalaciones. Los tubos de impulsión van por solera aislados con 8cm de corcho hasta llegar a la envolvente. No es la mejor solución puesto que los largos tubos al exterior dejan de aprovechar hasta 3 kWh/m<sup>2</sup>año de demanda energética, pero hubieran sido más de no mediar el aislante. Y muchos más, hasta 8 kWh/m<sup>2</sup>año, el resultado de NO colocar recuperador alguno.





*detalle de colocación de la ventana*

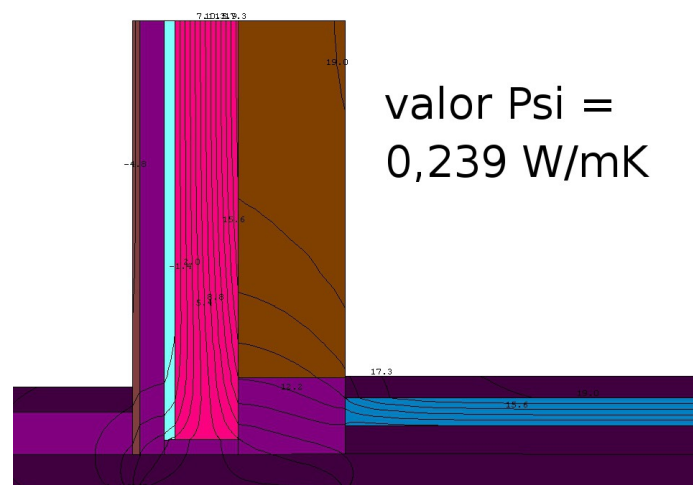
Está previsto que disponga de un módulo de refrigeración para dar una punta de frío en verano, aunque en teoría con la ventilación nocturna manual y la masa de inercia de las paredes debería ser suficiente. La ventilación nocturna reduce el sobrecalentamiento veraniego del en un 17%. La masa de inercia provoca una reducción del 7% y 4 kWh/m2año de demanda de calefacción en invierno.

El sistema de sombreado se realiza a través de screens opacos accionados eléctricamente con motor, por el exterior de la casa y en cada abertura, de manera que se reduce la entrada térmica en verano drásticamente. Cada fachada dispone de una minicentral meteorológica autónoma, de manera que adapte a cada situación automáticamente el sombreado necesario. Además la casa dispone de un generoso porche a norte y otro a oeste. Ésta parte del diseño vino marcada por la arquitectura popular, que la arquitecta Neus Iniesta supo reflejar sabiamente, dado que es costumbre tener dichos porches, uno a norte para uso de verano, y otro a oeste para uso invernal. El sistema de sombreado lo completa una gran pérgola en su fachada sur, con emparrado de manera que reduzca sólo en verano la aportación de calor.

En cuanto a los puentes térmicos, se han realizado los cálculos pertinentes, sobretudo en lo que respecta al punto más débil de la envolvente térmica: la base de los muros de BTC y los tabiques interiores de la planta inferior. Se han controlado sus valores y añadido al cálculo energético. Los puntos de condensación están controlados y las pérdidas de calor no son excesivas dentro del cómputo global (aproximadamente 3 kWh/m2a).

Naturalmente el proyecto dispondrá de otros sistemas interesantes:

- Dos paneles solares de ACS con acumulador,
- una cocina económica de leña, con un circuito estanco de aire hacia el exterior,
- un aljibe de recuperación de aguas pluviales en el terreno, junto a la vivienda.
- Tratamiento y recuperación de aguas grises.
- También está en estudio una instalación de 33 placas solares de electricidad con sus correspondientes baterías de acumulación, lo cual convertiría éste proyecto en autosuficiente energéticamente.



*Cálculo del puente térmico de la base del muro BTC*

Con todos éstos elementos y una ejecución muy aseada los resultados de cálculos están previstos en:

29	Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
31	Superficie de referencia energética		142,7	m <sup>2</sup>	
32	Calefacción	Demanda de calefacción	5	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)
33		Carga de calefacción	10	W/m <sup>2</sup>	10 W/m <sup>2</sup>
35	Refrigeración	Demanda total refrigeración		kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
36		Carga de refrigeración		W/m <sup>2</sup>	-
37		Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	4,4	%	-
39	Energía primaria	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	95	kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)
40		ACS, calefacción y electricidad auxiliar	61	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
41		Ahorro de EP a través de electricidad solar		kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
43	Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n50	0,2	1/h	0,6 1/h

\* Campo vacío: faltan datos; '-': sin requerimiento

### Costes:

A día de redacción la obra no está acabada y, por tanto, la relación de costes no es definitiva, aunque sí se pueden realizar unas primeras conclusiones.

El el plano del material BTC, ha resultado un material caro por la intensa labor de investigación previa, pero ha valido la pena estéticamente y, por supuesto, ha llevado al ahorro de costes de acabados interiores.

En cuanto a materiales de Bioconstrucción, el proyecto no tiene un sobrecoste superior al 3% con respecto a lo que costaría realizar en Mallorca una casa "convencional".

En cuanto a costes producidos por el aumento de calidad que comporta el estándar Passivhaus, aseguramos que no superan el 5% de los que tendría una casa "convencional", debido a los relativamente pequeños sobrecostes de material aislante y que las carpinterías pueden ser de una calidad, térmicamente hablando, asequible.

Por tanto los sobrecostes del Proyecto Tierra están en torno al 8% de una casa "convencional" comparable, consiguiendo una ganancia en confort y calidad de vida proporcionalmente muy superior a dicho coste. Nos parece supérfluo, por obvio y por secundario, hacer cábalas sobre el ahorro de costes energéticos.

### Conclusiones:

Es un proyecto completo en el que ecología, eficiencia energética y energías renovables están presentes.

Las forma y el estilo son fruto de la arquitectura popular y de un estudio previo concienzudo de la orientación e inclinación solares, por lo que ha sido relativamente sencillo llegar a un ahorro energético acorde al estándar Passivhaus.

Se ha podido compaginar una hermeticidad por fuera con una alta calidad de los cerramientos herméticos. La ejecución tanto del BTC como de su sistema eléctrico embebido, sin dejar rastro visible, son sencillamente espectaculares.

Se han doblado las estructuras de acabados a lado y lado del aislante para poder realizar de forma tradicional los acabados tradicionales. Esto ha sido fundamental para el éxito de la propuesta.

El estándar Passivhaus está destinado a funcionar de manera claramente exitosa en este ejemplo. La ventilación nocturna es muy importante para ello, así como la masa de inercia. Pero además la recuperación de calor del equipo de ventilación es también crucial para llegar a cotas tan exigentes de ahorro energético, también en un clima mediterráneo como el de Baleares.

Se demuestra una vez más que la pericia, las ganas de hacer un trabajo bien hecho y la colaboración consciente con el proyectista son mucho más importantes que teóricos buenos expertos mal coordinados. La mejor y más reconfortante conclusión es que con un equipo concienzudo es posible cualquier obra.

### Reconocimientos:

A Eduardo Ramos y el equipo de EcoCreamos por su excelente ejecución.

A Biohaus Goierri y en especial a Joaquín Acevedo por su soporte técnico en los materiales.

A Joan Brunet Alos arquitecto técnico por su soporte técnico en los materiales.

A Gernot Minke por sus consejos para la realización de los BTC.