

CASA CUEVA 2.0

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA EN EL SIGLO XXI

PROYECTO FINAL DE MÁSTER. MÁSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD DE INSTALACIONES INDUSTRIALES Y EN EDIFICACIÓN. CURSO 2012-2013. CONVOCATORIA DE NOVIEMBRE 2013. UNIVERSIDAD JAUME I. TUTORES: PATRICIA MARGARITA HUEDO DORDA & JUAN ANTONIO GARCÍA ESPARZA. AUTORA: ROCÍO GRANELL BERBEL



Mi arquitectura es como un organismo vivo, es biológica.

Le Corbusier

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Preámbulo

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN Pág. 7

- 1.1 Objetivos del proyecto
- 1.2 Metodología de trabajo
- 1.3 Antecedentes del proyecto

Capítulo 2

ESTADO DEL ARTE Pág. 16

- 2.1 Conservación del patrimonio arquitectónico
- 2.2 Literatura de la arquitectura subterránea
- 2.3 Recientes estudios de eficiencia energética o comportamiento térmico en arquitecturas vernáculas

Capítulo 3

LA ARQUITECTURA TROGLODITA Pág. 23

- 3.1 Contexto histórico de la arquitectura troglodita de la zona
- 3.2 Evolución de la arquitectura troglodita en España
- 3.3 Zonificación de casas cueva en España
- 3.4 El concepto “Casa cueva 2.0”

Capítulo 4

ESTUDIO PREVIO DE LA CASA CUEVA Pág. 36

- 4.1 Localización y zona climática
- 4.2 Características del terreno
- 4.3 Tipología constructiva
- 4.4 Distribución funcional
- 4.5 Características constructivas de la casa cueva
- 4.6 Resultados higrotérmicos anuales obtenidos
- 4.7 Estudio termográfico realizado
- 4.8 Conclusiones del comportamiento higrotérmico

Capítulo 5

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CASA CUEVA

- 5.1 Estudio higrotérmico comparativo de la casa cueva Pág. 68
 - 5.1.1 Planteamiento y objetivos del estudio
 - 5.1.2 Justificación de los modelos escogidos en la comparativa
 - 5.1.3 Descripción de las viviendas analizadas en la comparativa
 - 5.1.3.1 La casa cueva
 - 5.1.3.2 La casa tradicional rural
 - 5.1.3.3 La casa contemporánea
 - 5.1.4 Resultados esperados en el estudio
 - 5.1.5 Resultados y conclusiones obtenidas de la comparativa
- 5.2 Estudio luminotécnico de la casa cueva Pág. 85
 - 5.2.1 Cálculo del factor de iluminación natural en cada estancia
 - 5.2.2 Identificación de deficiencias y propuestas de mejora
- 5.3 Estudio de la ventilación natural de la casa cueva Pág. 98
 - 5.3.1 Identificación de los flujos de ventilación natural
 - 5.3.2 Cálculo de los caudales de ventilación
 - 5.3.3 Identificación de deficiencias y propuestas de mejora

Capítulo 6

LA CASA CUEVA, EFICIENCIA ENERGÉTICA POR DEFINICIÓN. CONCLUSIONES Pág. 110

- 6.1 Conclusiones sobre el comportamiento energético de la casa cueva y su carácter sostenible
- 6.2 Posibles líneas de investigación futuras
- 6.3 Bibliografía y referencias

Capítulo 7

ANEXOS Pág. 119

- Dossier fotográfico
- Datos climáticos del AEMET para la zona
- Tablas y gráficas de toma de datos obtenidas
- Planos y croquis realizados
- Estudio geotécnico en cueva similar
- Agradecimientos

Preámbulo

En este proyecto se analizará el comportamiento energético de una tipología arquitectónica peculiar: la arquitectura troglodita. Se estudiarán aspectos energéticos de una casa cueva real ubicada en Guadix, provincia de Granada. Esta vivienda ha sido recientemente reformada y equipada con todas las comodidades del siglo XXI pero se ha respetado su morfología original, que data del año 1880.

Para estudiar cuán eficiente es este modelo, analizaremos en detalle aspectos energéticos de la vivienda como son el comportamiento higrotérmico de la misma, el nivel de iluminación natural y la ventilación natural de forma que mediante la comparativa con otras tipologías arquitectónicas habituales en la localidad, saquemos conclusiones acerca del excelente comportamiento energético de este modelo.

Pretendemos demostrar que el modelo de casa cueva es viable hoy en día para determinadas zonas geográficas, cuenta con numerosas ventajas respecto al comportamiento energético (el cual se traduce en un inmenso ahorro económico) y con las soluciones constructivas actuales podemos corregir deficiencias del pasado.

Si en el mundo en que vivimos la energía es cada vez más un aspecto determinante en nuestro día a día, ¿por qué no pensar en un modelo de ahorro energético tan eficiente como la casa cueva?

Mi propuesta de ahorro energético es la Casa Cueva 2.0.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos del proyecto

El trabajo aquí presentado constituye mi Proyecto Final de Máster (PFM de aquí en adelante) que cierra los estudios del Máster en Eficiencia Energética y Sostenibilidad de Instalaciones Industriales y en Edificación de la Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales, la cual pertenece a la Universidad Jaume I de Castellón.

El objetivo de este proyecto es analizar el comportamiento energético de una casa cueva real, estudiando todos aquellos aspectos que hacen de ella una vivienda eficiente energéticamente y extraer conclusiones que nos permitan determinar la eficiencia del modelo arquitectónico, en referencia a otros modelos arquitectónicos más comunes.

La motivación personal para escoger este tema en mi PFM surge del interés por hermanar la edificación con el medio ambiente, de manera que lo primero se pueda llevar a cabo sin afectar o destruir lo segundo. La preocupación por el medio ambiente y la conservación del entorno natural son dos máximas en este proyecto.

Por otra parte, también se pone de relieve el interés por la arquitectura popular tradicional, su preservación y promoción como bien cultural y patrimonial. En especial por la arquitectura troglodita, un ejemplo de arquitectura bioclimática muy interesante pero a la vez, muy poco conocido y en decadencia de uso actualmente.

Partiendo de mis motivaciones personales, el objetivo en este proyecto será analizar esta tipología constructiva sostenible por definición, cuestión de vital importancia hoy en día, demostrando que en sí es un modelo de gran eficiencia energética.

Con todo ello, el proyecto pretende una reflexión profunda acerca de este modelo arquitectónico, pues aunque no es una tipología viable para zonas de carácter urbano, sí podría ser viable en algunas zonas de baja densidad poblacional como zonas rurales o determinadas zonas residenciales. En núcleos poblacionales donde este modelo ha sido tradicionalmente el predominante, debido al desarrollo económico y al avance del modelo edificatorio actual se ha ido poco a poco abandonando como primera residencia, de manera que ha ido cayendo en desuso o se ha destinado a otros usos como el turístico.

Por ello, este proyecto defiende la idea de que sí es posible considerar la casa cueva como primera vivienda, y de hecho la casa cueva del siglo XXI (término que vamos a definir en éste proyecto) tiene múltiples ventajas que la convierten en un modelo muy competitivo con respecto a las viviendas de construcción convencional, sobre todo en poblaciones donde ya existieran antecedentes de dicha arquitectura.

Pretendemos hacer ver que para avanzar y progresar en nuestro modelo de edificación, debemos reflexionar sobre el mismo (consumo de energía en la ejecución de edificios, consumo de energía durante la vida útil del edificio, consumo y aprovechamiento de recursos naturales, integración en el paisaje...etc.) y ver que realmente, conforme estamos construyendo hoy en día el modelo tiene multitud de deficiencias que hacen de nuestro sistema un proceso autodestructivo y poco sostenible medioambientalmente.

Planteamos la casa cueva 2.0 como la vivienda alternativa de gran eficiencia energética, al modelo convencional de vivienda en aquellas zonas donde existan precedentes de arquitectura troglodita como en el caso que nos ocupa. A continuación nos adentramos en la casa cueva, un tipo de arquitectura popular bioclimática de lo más interesante.

1.2. Metodología de trabajo

Este proyecto se va a desarrollar siguiendo la estructura marcada en el índice de contenidos. En la primera parte del proyecto proporcionamos una información de tipo más teórico, acerca de los antecedentes de la arquitectura troglodita en general, su contexto histórico y socioeconómico, las características de la casa cueva que vamos a analizar, etc. En el segundo bloque del proyecto entramos más en detalle en el estudio que vamos a llevar a cabo en el proyecto. Explicaremos el estudio realizado consistente en demostrar la alta inercia térmica de una casa cueva real estudiada mediante tomas de temperatura en diferentes momentos del año, y comparando dichas tomas con otras realizadas simultáneamente en otras tipologías distintas. Con todo ello seremos capaces de extraer conclusiones, las cuales se desarrollarán en un tercer bloque.

El primer paso del proyecto fue la elección del tema a tratar, y su enfoque desde un punto de vista particular y concreto, que aportaría originalidad al trabajo y concreción para poder realizar un estudio inédito, fruto de nuestro trabajo. En este caso se va a tratar el tema de la eficiencia energética de la arquitectura troglodita. Se concretará el tema en el análisis de dicha eficiencia energética de un modelo concreto de casa cueva existente.

Se dispone de acceso al estudio y observación de una vivienda cueva real en la localidad de Belerda de Guadix, provincia de Granada. Por tanto se va a aprovechar este recurso para analizar en profundidad esta vivienda en concreto. Tomaremos medidas, fotografías, comprobaremos condiciones higrotérmicas, observaremos condiciones climatológicas y orográficas del entorno...etc. Además se cuenta con numerosa información de partida del tema y de la vivienda objeto de estudio debido a que ya se realizó el proyecto final de carrera sobre este tema.

De ahí que ahora se retome el estudio para completarlo y se recopilen los datos experimentados en la casa cueva a lo largo de todo un año de tomas. Además en este nuevo estudio que pretende ser más completo, específico y científicamente riguroso se han tomado también temperaturas de otras tipologías arquitectónicas diferentes a la casa cueva, con el fin de comparar las condiciones en las tres viviendas de manera simultánea, y poder ver qué modelo funciona mejor en este sentido.

Estas tipologías son una vivienda de construcción tradicional a base de muros de mampostería y una vivienda de construcción contemporánea a base de muros de ladrillo industrializado. Por supuesto dichas viviendas se encuentran en la misma localidad que la casa cueva, y las tomas se han realizado en la misma fecha y en estancias orientadas de la misma manera, para que el estudio tenga igualdad de condiciones y las variaciones de temperatura se deban exclusivamente a morfología del edificio.

Para la toma de temperaturas y nivel de humedad en las viviendas se dispone de dos métodos:

- **MÉTODO AUTOMÁTICO.** Mediante un termohigrómetro digital que permite el registro de datos de manera automática y que almacena dichos datos en una memoria interna, la cual puede volcarse posteriormente en un ordenador. Se dispone de dos termohigrómetros digitales, de manera que utilizaremos cada uno de ellos en dos viviendas diferentes, tomando datos de manera simultánea.

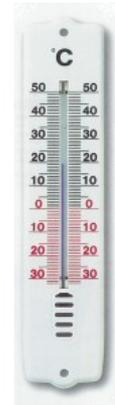


Termohigrómetro digital EL-USB-2-LCD

- **MÉTODO MANUAL.** Mediante la confección de unas tablas de toma de datos y el uso de un termómetro de mercurio tradicional para el registro de las temperaturas ambientales, y el uso de un termómetro láser de temperatura superficial. Este método se ha utilizado en la casa cueva en múltiples ocasiones. La carencia de este método es que las tomas se deben hacer estando nosotros presentes, la manualidad del método, por lo que se reduce el número de tomas a dos por día.



Termómetro láser de temperatura superficial



Termómetro tradicional de mercurio

Para obtener un análisis completo de las variaciones de temperatura de la cueva (variaciones a lo largo del día, variaciones a lo largo de un mes, gradiente de temperatura respecto de la temperatura exterior...) se han hecho múltiples tomas en diferentes épocas del año, abarcando todo el rango de estaciones.

En un principio el estudio contempló tomas únicamente en la casa cueva mediante el método manual. Se hacían visitas periódicas y se tomaban temperaturas en las diferentes estancias de la cueva, siempre diferenciando los diferentes niveles de profundidad de ésta. Para ello se definieron cuatro niveles de profundidad distintos (Ver en anexos croquis de niveles de profundidad de la cueva).

En marzo de 2013 se procedió a tomar la temperatura mediante el método automático en una casa de construcción tradicional con muros de mampostería con el fin de comparar los resultados con los de la casa cueva. En éste caso el aparato se colocó en una estancia orientada a sur (al igual que la fachada de la casa cueva) y se registraron temperaturas durante 24 horas. Se repitió la toma en agosto de 2013 y se registraron las temperaturas durante 48 horas. Finalmente en la última visita realizada, en septiembre de 2013, se quiso comprobar la temperatura de una vivienda de construcción contemporánea construida con muros de ladrillo. En ésta ocasión se utilizó el método automático de registro y el período de toma fue de un mes.

Por tanto vemos que el trabajo de campo ha sido una labor larga y dilatada en el tiempo, y el criterio inicial fue variando a medida que avanzaba el estudio. De manera que en definitiva, de la casa cueva contamos con un perfil higrotérmico muy completo y basado en datos de prácticamente todos los meses del año, y sin embargo de las otras tipologías tenemos unas tomas realizadas puntual y simultáneamente con la intención única de verificar la diferencia de temperatura de las tres tipologías de construcción. Este posible estudio comparativo anual de las diferentes tipologías, se deja abierto como posible línea de investigación.

El método inicialmente era el manual pero con el tiempo incorporamos a nuestra toma de datos un termohigrómetro digital que combinábamos con las tomas manuales y finalmente pudimos contar con un segundo termohigrómetro digital para medir de manera simultánea en dos viviendas diferentes. Por todo ello, veremos más adelante que los datos se han clasificado según los diferentes criterios y circunstancias de cada medición.

Un documento muy importante para la caracterización del terreno y la comprensión del funcionamiento estructural de las cuevas es el estudio geotécnico que se adjunta en anexos. Este documento fue aportado por una empresa especializada que quiso colaborar con nosotros. Este estudio fue realizado por encargo de un cliente para unas cuevas ubicadas en una zona próxima y de características muy similares a la de estudio, en Benalúa de Guadix, por ello sus valores se adoptaron en nuestro proyecto.

Cabe señalar también que para la realización del trabajo se ha realizado una búsqueda importante de referencias bibliográficas y documentación al respecto con el fin de contextualizar el trabajo lo mejor posible y seguir en el estudio realizado un método científico y con rigor, tomando como base la información publicada al respecto y partiendo de ella con el fin de aportar un grano de arena en los conocimientos de esta área.

1.3 Antecedentes del proyecto

Como ya se ha dicho este proyecto constituye una continuación, ampliación y especialización del proyecto final de carrera que hicimos en su día. A partir de los datos allí recopilados se ha continuado la labor investigadora que aquí se expondrá.

En el mencionado proyecto final de carrera, titulado *“Análisis de estrategias bioclimáticas de la casa cueva y su aplicación en viviendas sostenibles”*^[1], centramos el análisis en la vivienda en sí, se explicaba detalladamente el contexto de las viviendas trogloditas en la zona de Guadix, se elaboró una amplia documentación al respecto donde se incluía información de los antecedentes de la vivienda, una descripción geométrica basada en un levantamiento gráfico y la posterior elaboración de una colección de planos de la vivienda, se hizo una descripción constructiva incluyendo detalles constructivos de puntos singulares, etc.



Proyecto final de Carrera de Arquitectura técnica. Rocío Granell Berbel
Análisis de estrategias bioclimáticas de la casa cueva y su aplicación en viviendas sostenibles

También se comenzó la toma de datos de temperaturas ambientales de la cueva para comprobar las oscilaciones diarias de temperatura y el gradiente térmico respecto a la temperatura exterior. Este pequeño estudio experimental permitió extraer ciertos datos que corroboraron las condiciones de confort térmico de la cueva. Sin embargo en aquella ocasión tan sólo se tomaron temperaturas en un único día del año (29 de octubre de 2011) de manera que el estudio experimental y las conclusiones no se ajustaban al rigor científico que se requiere en un PFM.

Aunque sí se pudieron sacar algunas conclusiones basadas en las tomas experimentales realizadas y se pudieron identificar los bioclimatismos que utiliza la cueva, no se completó el estudio respecto de la eficiencia energética que la cueva posee debido a que éstas mediciones se hicieron sólo en una fecha concreta del año y no se tomó como referencia la temperatura en otros modelos de tipología diferente. Tampoco se comparó con otros modelos de vivienda, no se estudiaron características relativas a la iluminación, ventilación...

A partir de enero de 2012 se fueron tomando temperaturas mediante las tablas confeccionadas cada vez que nos desplazábamos a la vivienda en cuestión. De manera que actualmente se dispone de una gran cantidad de datos que, aunque son bastante heterogéneos, proporcionan valiosa información y le dan a este proyecto un carácter inédito.

En la metodología seguida entonces se distinguieron para las tomas de temperatura en la casa cueva cuatro niveles de profundidad diferentes, pues esta profundidad es un parámetro básico que influye en la temperatura ambiente de la casa cueva y en sus variaciones.

A continuación vemos los croquis explicativos. En primer lugar el croquis en sección donde se marcan dichos niveles de profundidad. En segundo lugar el croquis de planta donde también se aprecian los diferentes niveles de profundidad de las estancias.

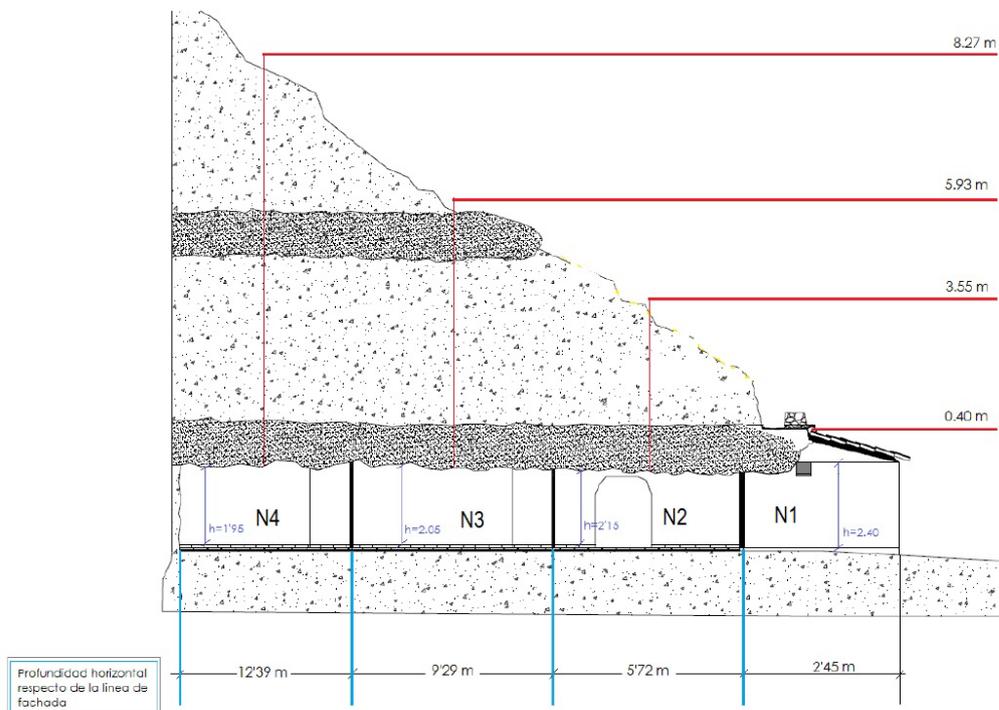


Figura 1. Croquis de la casa cueva en sección. Se aprecian los diferentes niveles de profundidad.

Elaboración propia. Anexos

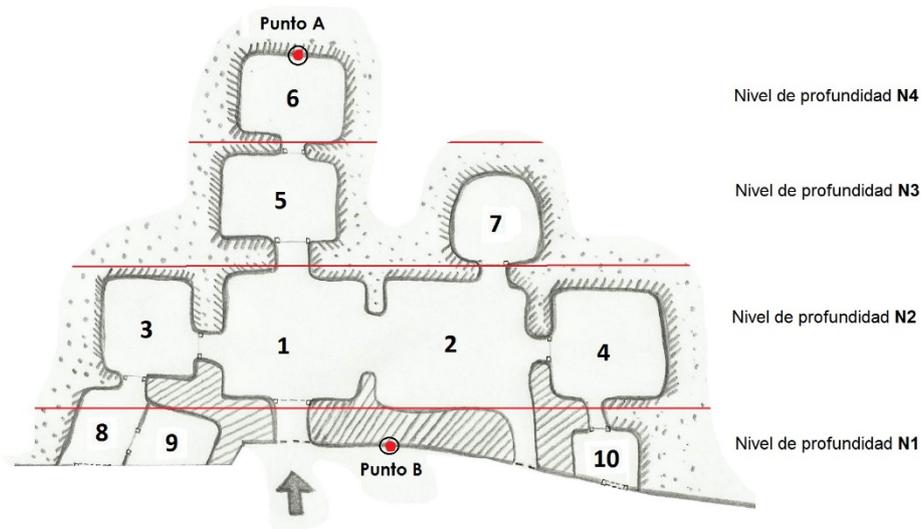


Figura 2. Croquis en planta de los diferentes niveles de profundidad en el terreno.
Elaboración propia. Anexos

En la metodología seguida en esta ocasión, veremos que para la comparativa realizada con las otras tipologías se ha debido escoger una estancia de la cueva fija donde hacer las mediciones, a semejanza de las otras tipologías. Ésta estancia escogida ha sido una correspondiente al nivel de profundidad N3.

Esto se justifica porque en ella se aprecia un buen confort térmico y una mínima variación de temperaturas, pero con un mínimo caudal de ventilación. El nivel N4 carece de ventilación y las condiciones de temperatura, aun siendo más favorables no son representativas respecto a la media de la vivienda en general. Los niveles N1 y N2 se rechazaron por ser demasiado superficiales y ventilados de manera que no representan tampoco la media de una casa cueva.

En las otras tipologías se ha escogido una estancia a semejanza de la casa cueva como hemos dicho anteriormente. Esto es, una estancia orientada a sur (al igual que la fachada de la casa cueva) y cuya ventilación sea mínima en el período de medición. Para ello se mantuvo la estancia cerrada, sin permitir el flujo de ventilación exterior-interior mediante el bloqueo de la ventana y la puerta.

Como ya se ha dicho por tanto, en este proyecto se utilizará información recabada durante el PFC y también documentos elaborados entonces.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2. ESTADO DEL ARTE

El estado del arte (*State of de Art*) describe las investigaciones más recientes y actuales que sobre un tema en específico se han realizado. Se refiere al conocimiento o tecnología de punta o de vanguardia. En nuestro trabajo analizaremos el modelo casa cueva como modelo de arquitectura vernácula de gran eficiencia energética y gran sostenibilidad, como quedará pertinentemente referido por trabajos de otros autores que actualmente se encuentran investigando la materia. Para ello, en la primera fase de nuestra labor investigadora hemos realizado un diagrama de áreas de relevancia y contribución propia al trabajo.

En él podemos ver que estructuramos los principales bloques de interés en cuatro aspectos: el ahorro energético, el de mayor importancia en nuestro trabajo, la conservación del patrimonio arquitectónico vernacular, cuestión de relevancia también en nuestro proyecto, la construcción sostenible y la integración en el paisaje. De cada uno de estos bloques se desprenden subapartados que constituyen el desarrollo de dichos temas. Es en este punto donde hacemos una contribución propia en el tema, después de detectar alguna laguna de información en la bibliografía publicada hasta la fecha. Con ello, queremos contribuir a completar el conocimiento en este campo, pues aunque sí existe bibliografía respecto a los orígenes históricos, socioeconómicos y de las diferentes tipologías existentes de casa cueva, pocos datos y cifras se han dado acerca de su principal ventaja como arquitectura sostenible: su eficiencia energética.

A continuación adjuntamos en diagrama ARC (áreas de relevancia y contribución) elaborado para este proyecto donde podemos ver en los rectángulos nuestra contribución al área de conocimiento que se trabaja.



Figura 3. Diagrama de áreas de relevancia y contribución del presente PFM. Elaboración propia.

2.1 Conservación del patrimonio arquitectónico

Debido a la importancia que tiene en la defensa de este proyecto la salvaguarda y la promoción de la conservación del patrimonio arquitectónico local, comenzaremos remontándonos a los diferentes tratados publicados en relación a la conservación y restauración del patrimonio arquitectónico.

Desde el final de la Segunda Guerra Mundial se produjo en Europa un cambio respecto a la conservación del patrimonio arquitectónico. Debido al lúgubre contexto de la postguerra y a la creciente industrialización de las ciudades, el patrimonio arquitectónico se vio realmente amenazado, de manera que se generó una preocupación colectiva y surgió un interés en lo que a patrimonio etnográfico se refiere (*Maldonado, Vela-Cossío 2011*)^[2].

La primera fue la *Carta de Atenas* (1931)^[3], seguida de la *Carta de Venecia* (1964)^[4] la cual introducirá el concepto de “sitio histórico”. Pero no será hasta la *Carta de Ámsterdam* (1975)^[5] cuando se tenga en cuenta por vez primera la importancia de conservar el patrimonio arquitectónico vernacular.

Vemos pues que la conservación del patrimonio arquitectónico tiene importancia desde principios del siglo XX y actualmente no sólo mantiene este interés en el patrimonio de gran valor histórico y riqueza arquitectónica, sino también en los múltiples ejemplos de patrimonio arquitectónico vernacular más humildes. Éstos últimos son valorados por el bagaje cultural y tradicional que llevan consigo.

Pero además en la actualidad, debido a las circunstancias socioeconómicas relacionadas con nuestro consumo energético, la arquitectura vernacular ha sido foco de gran interés debido a su eficiencia energética y a su carácter sostenible.

De hecho es el mejor ejemplo que se da de arquitectura bioclimática y se analiza como modelo de arquitectura sostenible en multitud de artículos y publicaciones científicos especializados en la materia, pues se fundamenta en el aprovechamiento de los recursos naturales, los materiales locales y las estrategias de acondicionamiento pasivo. Un ejemplo es el artículo de I.Cañas y S.Martín^[7]. En él se recoge una serie de ejemplos de arquitectura vernacular española que son ejemplo de arquitectura bioclimática, entre ellos dos casos de casa cueva en Benimaclet (Valencia) y Aguilar de Campos (Valladolid).

Otro artículo que hemos incluido en la bibliografía relacionada es el de L.Maldonado y F. Vela Cossío^[2]. En éste artículo se habla del valor de la arquitectura basada en la tierra y el tapial, y la importancia de su preservación. Aunque no se habla expresamente de casas cueva, bien podemos incluir ésta tipología como caso de interés pues es también una construcción de tierra.

2.2 Literatura de la arquitectura subterránea

No es muy amplia la cantidad de referencias bibliográficas que hablan acerca de la arquitectura subterránea. En la búsqueda que hemos hecho en este sentido hemos encontrado publicaciones tanto españolas como extranjeras, las cuales hablan tanto de las casas cueva españolas así como de arquitectura troglodita en otras partes del mundo. Es el caso de un artículo de D. Gelabert ^[8] que habla de las famosas casas cueva de tipología excavadas desde patio de Matmata en Túnez, popularizadas tras los rodajes de Star Wars o los bellos conjuntos trogloditas de la Capadocia Turca. También es interesante el artículo de dos arquitectos chinos F.Wang y Y.Liu^[9] que hablan del aislamiento térmico que proporcionan en condiciones de invierno las casas cueva de Loess Plateau en el norte de China.

Sin embargo nos hemos centrado en recabar información de las publicaciones que hablan de arquitectura subterránea española y especialmente las que se centran en el caso de las casas cueva granadinas.

Existe una publicación bastante extensa y detallada editada por la Dirección general de Arquitectura y Vivienda de la Junta de Andalucía, titulada “Arquitectura Subterránea: Cuevas de Andalucía, conjuntos habitados” ^[10] en la que se hace un inventario de núcleos trogloditas habitados en la actualidad, se describen los asentamientos incluyendo fotografías y se proponen medidas de intervención para conservación de patrimonio.

En otra publicación de A. Pérez Casas ^[11] se nos habla de la casa cueva del Sacromonte Granadino. Éste artículo es ya mucho más concreto y nos habla de una tipología muy similar a la de nuestro caso de estudio, debido a la proximidad geográfica. El artículo tiene una temática relacionada más con la antropología, sin embargo apunta también cuestiones técnicas como son los métodos de construcción tradicional empleados, las tipologías de casa cueva existentes en la zona o el planeamiento urbanístico de dichos núcleos en la ciudad.

Existen otras muchas publicaciones al respecto de la arquitectura troglodita, las cuales incluimos en el apartado de Conclusiones: Referencias bibliográficas. Sin embargo existen muy pocas que traten el tema específico del estudio de la eficiencia energética de la casa cueva como aquí se va a tratar. Como veremos en el siguiente apartado hemos podido encontrar algunos artículos de estudios del comportamiento térmico de viviendas vernaculares, pero ni uno sólo que estudie de forma experimental una casa cueva española. Es en este punto donde creemos que podemos hacer nuestra pequeña aportación.

2.3 Recientes estudios de eficiencia energética o comportamiento térmico en arquitecturas vernáculas

Un buen ejemplo de bibliografía relacionada con nuestro trabajo es el artículo resumen de la 14ª convención científica de ingeniería y arquitectura en 2008, titulado “Sostenibilidad y mecanismos bioclimáticos de la arquitectura vernácula española: el caso de las construcciones subterráneas” [12].

En este artículo se dividen los contenidos de manera que en primer lugar nos hablan de las consideraciones históricas que envuelven a esta arquitectura (su origen, su evolución en el tiempo, su contexto socioeconómico...). En segundo lugar nos define las características geológicas del sitio que ocupa esta tipología, donde podemos observar que los lugares donde se dan ejemplos de casa cueva no son aleatorios, sino que todos ellos tienen en común características litológicas y geológicas. En tercer lugar, como cuestión no menos importante se explica el contexto climático de las zonas que albergan casas cueva. Este factor también lo tienen en común todas aquellas zonas donde se construyen casas cueva. Como cuarto bloque se hace un análisis tipológico de la arquitectura troglodita española, basada en clasificaciones anteriores de autores como Gil Albarracín o José Sandoval^[7]. El quinto bloque lo constituye breve explicación con croquis de las técnicas constructivas empleadas. Y ya por último, se extraen mecanismos de aprovechamiento energético observados en la casa cueva: la inercia térmica que deriva en un ahorro energético importantísimo, los mecanismos de ventilación mediante chimeneas, la orientación estratégica para aprovechamiento de luz natural...

Otro artículo interesante para nuestro estudio es el de la revista *Buinding & Environment* titulado “Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture”^[7].

En éste artículo se enumeran una serie de ejemplos de viviendas vernáculas reales de diferentes zonas de España, entre ellas dos casas cueva, y se analizan las estrategias bioclimáticas que utilizan para lograr un mejor comportamiento energético mediante estrategias pasivas: los muros de gran inercia térmica, la protección frente a la radiación solar, el uso controlado de esta radiación solar, el uso de los recursos naturales disponibles, la protección frente a las lluvias y la humedad, la protección frente al viento, la protección frente a las bajas temperaturas, el planeamiento urbano y la protección de la entrada principal de la vivienda.

También hemos encontrado una publicación de la revista *Energy & Buildings* que se titula “Thermal environment of the courtyard style cave dwelling in winter”^[9], en la que sí se habla del estudio y análisis del comportamiento térmico de una cueva, pero

ésta es una tipología muy diferente al caso español, y en concreto al caso que estudiamos, pues la configuración de estas cuevas es distinta y es precisamente el patio o atrio interior que tienen lo que les da un comportamiento térmico completamente diferente a la casa cueva de estudio. Sin embargo el artículo nos ayuda a ver el método empleado para el estudio, los factores que se han tenido en cuenta y la interpretación de los resultados obtenidos.

Incluso hemos tenido en cuenta publicaciones que, aunque no hablan de estudios de una tipología de carácter tradicional, hacen un estudio del comportamiento energético o las características sostenibles de cierta tipología diferente. Esto es así porque dichos estudios nos dan pistas sobre cómo hacer nuestro análisis experimental: qué métodos utilizar, qué cálculos o mediciones tomar, cómo interpretar los resultados... Estos artículos, que se incluyen en la bibliografía son:

- “Economic, energy and environmental comparison between an ecological and conventional house” ^[13] (Comparativa económica, ecológica y energética entre una casa ecológica y una convencional), publicado en 2011 por la revista *Indoor and Built Environment*, de los autores M.A. Boukli Hacene y N. E. Chabane Sari.
- “Numerical prediction of thermal environment and energy consumption in tunnel-type greenhouse with supplementary air-mixing and heating device” ^[14] (Predicción matemática del ambiente térmico y el consumo energético en un invernadero tipo tunel, con dispositivo de mezcla de aire de calefacción), publicado en 2011 por la revista *Indoor and Built Environment*, de los autores Kazuhide Ito y Keita Hattori.

Por último, destacamos la publicación “The thermal performance of earth buildings” ^[15], donde se dan las claves para el análisis experimental del comportamiento térmico, de la arquitectura en tierra.

Para concluir, diremos que una vez hecha la búsqueda, selección, lectura y sintetización de multitud de información y bibliografía al respecto de este tema, ya estamos en condiciones de saber qué línea seguir en nuestro trabajo, qué temas investigar en mayor profundidad y qué temas ya se han investigado y publicado al respecto, de manera que podemos basarnos en ellos para construir los “cimientos” de nuestro proyecto.

Como ya se ha dicho con anterioridad, es nuestro objetivo en este proyecto hacer una pequeña contribución propia en el tema, después de detectar una pequeña laguna de información en la bibliografía publicada hasta la fecha, referente al comportamiento energético de la tipología casa cueva granadina.

Aunque sí existe bibliografía, poco se ha escrito aun acerca de la principal ventaja como arquitectura sostenible de la casa cueva, su comportamiento energético. O mejor dicho, sí se habla mucho de esta ventaja pero no se refuta mediante estudios que deriven en una serie de cifras extraídas de las muestras y tomas experimentales mediante métodos científicos rigurosos.

De hecho, no hemos podido localizar ningún estudio de temperaturas in situ de una casa cueva granadina, semejante al que hemos hecho en este proyecto. Esto, en lugar de enfocarlo como un aspecto negativo o una desventaja, lo hemos interpretado como una oportunidad para poder desarrollar nuestro trabajo y darle un carácter inédito, además de poder aportar un nuevo estudio de este tema.

Con este pequeño grano de arena pretendemos reforzar la idea de casa cueva como modelo vernacular de eficiencia energética, y demostrar mediante datos experimentales reales su veracidad.

CAPÍTULO 3

LA ARQUITECTURA TROGLODITA

3. LA ARQUITECTURA TROGLODITA

3.1 Contexto histórico de la arquitectura troglodita de la zona

Intentar llevar a cabo una mera reconstrucción de cual ha sido el origen y fundamentalmente generalización de este tipo de vivienda, obliga en el mayor de los casos a cuestionarse en qué momento comenzaron a construirse.

Su origen se remonta a la primigenia relación del hombre como animal social con las cuevas naturales. A lo largo de la historia de su evolución, el hombre se vio obligado a usar como refugio estas cuevas, donde encontró protección de la lluvia y el frío en invierno, el sol y el calor en verano, de las agresiones de los animales salvajes, de los ataques de otras tribus...

Podemos decir que al parecer, el hombre durante mucho tiempo no realizó ninguna modificación en estos espacios, al margen de pinturas con las que adornó las paredes. Sin embargo, con el tiempo empezó a mejorar las condiciones de su habitáculo, aplanando los suelos, agrandando las salas, etc. Pasaría mucho tiempo aún hasta que se atreviera a crearlas él mismo.

No será hasta la Edad Media cuando podamos hablar del origen como espacios habitables estables en todo lo que es el arco mediterráneo, desde el Próximo Oriente hasta el norte de África. Es en esta época cuando se generaliza su uso en Granada, favorecido por las especiales circunstancias socioeconómicas y políticas que se dieron en una zona coincidente en la actualidad con las comarcas de Guadix, Baza y Tierras de Huéscar. En esta zona el desplazamiento de población residente morisca (los almohades) y la llegada de las tropas castellanas, derivaron en una tensa situación que llevó a una profunda alteración de los esquemas urbanos y arquitectónicos existentes^[26].

Una situación parecida ocurre en Anatolia, donde huyendo de los romanos, la población nativa debe asentarse en ciudades subterráneas fortificadas. Igualmente, los bereberes del Norte de África tuvieron que buscar refugio en las cuevas, que aún existen en el sur de Túnez, ante la llegada de los árabes.

Los almohades, que fueron un imperio de beréberes Norteafricanos, (Zona del Magreb), acabaron con los Almorávides que quedaron diezmados por el Norte de África tras ser derrotados, en principio, por los Cristianos en Al-Ándalus. Llegaron a la península Ibérica desde el Magreb a principios del Siglo XII (1147) conquistando Al-Ándalus, Reinos

de Valencia y Murcia y permanecieron hasta el Siglo XIII. Su ejército fue derrotado por el ejército Cristiano en las Navas de Tolosa en el año 1212. Debilitados militarmente fueron desplazados por la dinastía Nazarí. Es en este contexto sociopolítico cuando nacen las cuevas en esta zona granadina^[26].

Las “Hafas” son cuevas excavadas por los Almohades que existieron en la zona de Guadix, Baza y Tierras de Huéscar entre el siglo XII al XIII. Las construyeron principalmente con fines defensivos. Las realizaron en las zonas más escarpadas e inaccesibles al enemigo, en los acantilados de los cerros cercanos a los ríos.

Pero no sólo importaron la arquitectura subterránea a estas tierras granadinas. La obra más importante de la que aún nos beneficiamos 800 años después son, las famosas acequias y molinos. Construyeron junto a las acequias molinos harineros y almazaras, que aprovechaban la fuerza motriz del salto de agua para su funcionamiento. Con esta arquitectura e ingeniería se mejoraban notablemente los procesos de la agricultura y el abastecimiento de agua.

Vivían en cuevas fortificadas (algunas de hasta tres pisos), a través de las que se podía acceder a la última por un túnel vertical de unos 4 metros de alto y desde ahí pasaban a otras colindantes. Otras cuevas eran aún más inaccesibles, pues quedaban a unos 10 o 15 metros de altura de la base del monte. Accedían a ellas a través de pilares de troncos de árboles y escalas de madera y cuerdas de esparto. Cuando estos accesos eran quemados y destrozados por el asedio cristiano, los volvían a recomponer.



Fotografías de los restos de las antiguas cuevas “hafas”. Fuente propia.

En tiempos de luchas contra tropas cristianas se refugiaban en estas singulares fortalezas tras dar primeramente la alarma a través de las torres de vigía y por medio de palomas mensajeras y jinetes. Cuando se retiraban las escalas de acceso a las cuevas y quedaban totalmente incomunicados.

Una vez se expulsaron los moriscos, la tipología arquitectónica se conservó y perduró en el tiempo hasta nuestros días. Los habitantes del lugar se percataron de las posibilidades y las ventajas de este modelo constructivo y lo adoptaron, evolucionando en el tiempo hasta llegar a las modernas cuevas de hoy en día, equipadas con todo tipo de comodidades.

El último período de expansión troglodita abarca desde 1930 a 1950. La crisis económica de los años 30, las malas cosechas y la Guerra Civil favorecieron la utilización de una vivienda barata.

Sin embargo, a partir de 1950, y sobre todo en las décadas de los 60 y 70, coincidiendo con la recuperación económica, la mejora de las condiciones de vida, y la acusada emigración que padece la comarca, se abandonan gran cantidad de viviendas trogloditas habitadas por los vecinos más humildes, no excavándose nuevas cuevas, quedando las existentes como fenómeno residual^[26].

Siempre se ha vinculado este tipo de arquitectura con unos grupos sociales marginales. No se puede perder de vista que lo barato de su adquisición siempre las ha unido o bien con etapas de penuria económica siendo aprovechadas por estas clases de escaso poder adquisitivo, o con situaciones de tensión social y política, momento en el que se convierten en el único medio para disponer de vivienda a aquellos grupos sociales que se ven desplazados (caso de los almohades).

Sin embargo también cabe señalar que en el caso concreto que analizamos, en la localidad de Belerda de Guadix donde se sitúa la vivienda de estudio, el 95% aproximadamente de las casas se hicieron de tipología casa cueva; es decir, las personas de más alto poder adquisitivo de la localidad construían también casas cueva, pues la tradición se remonta como hemos visto a siglos de antigüedad. Lo que marcaba la diferencia en estas cuevas eran sus acabados más refinados y sus ubicaciones privilegiadas (cerca del río, terrenos de mejor consistencia, amplitud, orientación...).

Hoy en día se ha reducido mucho el porcentaje de familias que habitan una cueva como lugar de residencia habitual. Es en la zona de Guadix, Baza y tierras de Huéscar dónde se concentra actualmente la mayor cantidad de casas cueva como primera residencia. Sin embargo muchas de las cuevas que se conservan en buenas condiciones son como segunda vivienda, para fines de semana o épocas de vacaciones y normalmente de personas vinculadas a estas viviendas por herencia familiar. También está en alza el turismo rural en este tipo de viviendas, por lo que muchos ven en este sector el motor de promoción y conservación de esta tipología constructiva.

3.2 Evolución de la arquitectura troglodita en España

España era en cierta época el país más rico en viviendas trogloditas de entre los que integraban el ámbito mediterráneo y es muy posible que aún lo continúe siendo. Las cuevas en nuestro país se extienden por todas aquellas áreas geográficas donde las temperaturas son extremas, las precipitaciones bajas, (en torno a 300-400 mm. anuales), y los materiales sedimentarios, ya que estos factores posibilitan la excavación. A esto tendríamos que añadir la pobreza que afectó a grandes sectores de la población española.

Hace siglos se podían encontrar cuevas en Castilla y León, y más recientemente en Navarra. Por último, se han encontrado en áreas cercanas a las propiamente trogloditas, Levante y Andalucía Oriental. Mención aparte merece la provincia de Granada, puesto que ella sola alcanza casi la mitad del total del trogloditismo en España con más de 13.000 familias viviendo en cuevas a principios de la década de los 60 (Fuente: ver mapa ajunto)^[19].

Del siguiente mapa se desprende que, en el año 1963, Granada es la provincia de España con mayor número de viviendas trogloditas, alcanzando un 7,2% de familias que viven en cuevas, con respecto al total de la población de su misma provincia^[19]. A continuación le sigue Murcia y Alicante, consideradas como los siguientes núcleos más importantes.

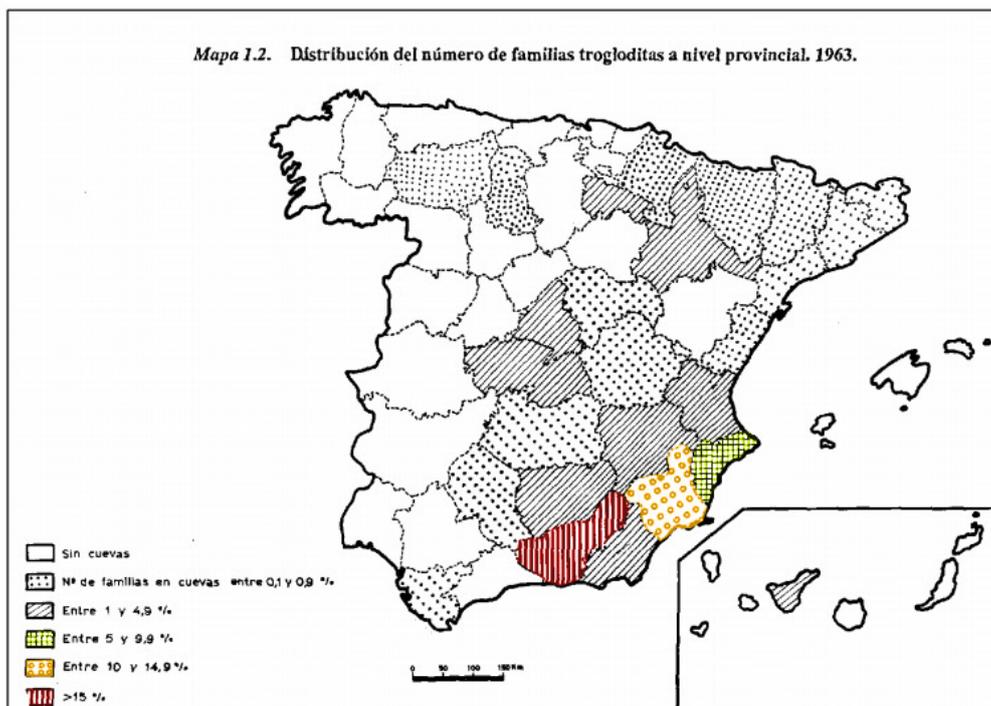


Figura 4. Mapa de distribución de familias trogloditas a nivel provincial en 1963

Fuente: URDIALES DIEZMA, M., op. cit.; pág. 45.

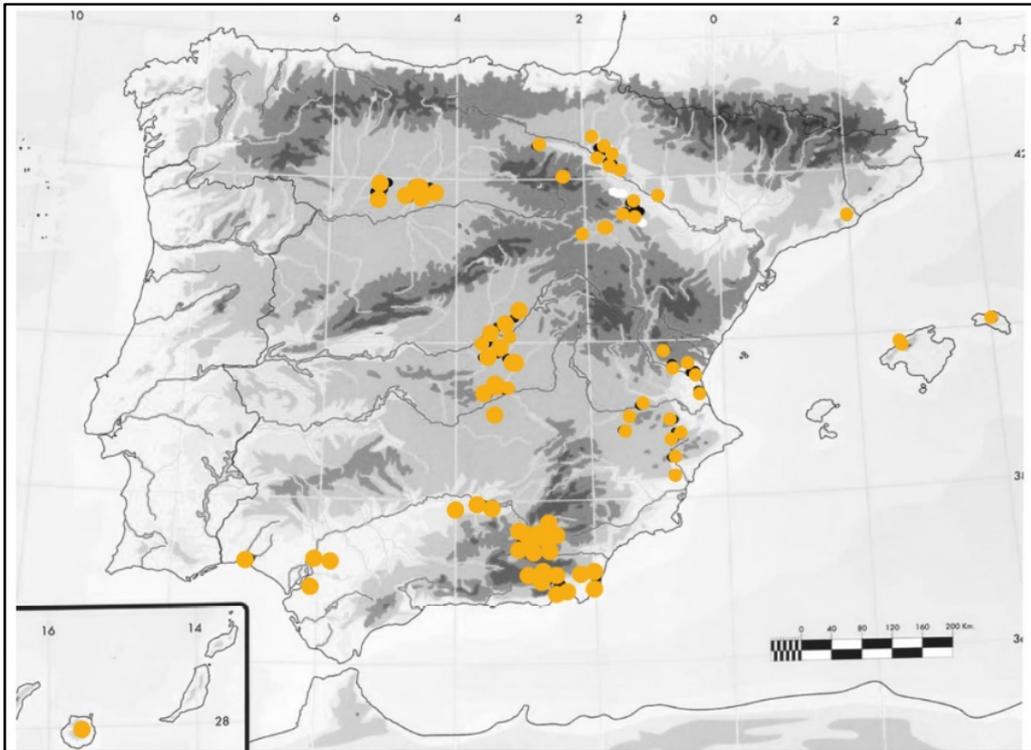


Figura 5. Poblaciones con arquitectura subterránea en España en la actualidad
Fuente: J. De Cárdenas, L. Maldonado, M.M Barbero, I.J.Crespo. Artículo para la 14ª CCIA'2008

Un recorrido por el actual territorio de la provincia de Granada o también parte de Almería, permite observar cuales son las zonas en la que se concentra el mayor número de hábitats excavados. Ambas provincias comparten en algunas zonas características geológicas que hacen posible la existencia de esta arquitectura.

Guadix, Baza y Huéscar son las poblaciones que cuentan con los conjuntos más importantes, si bien son las dos primeras las más representativas. Estas localidades se ubican en unas depresiones geológicas internas más conocidas como las Hoyas de Granada, con una altitud relativa superior a los 900 metros sobre el nivel del mar. Junto a ellas, otras localidades tienen viviendas excavadas en sus núcleos, constituyendo un componente generalizado en el noreste granadino.

En todas ellas se puede apreciar cierto equilibrio en cuanto a superficie ocupada por las cuevas en relación a otras zonas en las que solamente encontramos viviendas construidas de un modo exento, ya sea unifamiliares o en bloques de pisos. Los ejemplos más destacados se concentran en las proximidades del ámbito de la Hoya de Guadix; el interior mismo de la Depresión, en su zona más profunda y el entorno de Baza que como el de Guadix, encuentra un territorio ideal para la aparición de este tipo de vivienda.

Actualmente en la inmensa mayoría de los casos se trata de poblaciones en las que se da un urbanismo mixto de zonas excavadas y zonas construidas, correspondiendo normalmente la primera de ellas a una zona alta minoritaria, de pendientes pronunciadas y la segunda a la zona baja, en la que la llanura del territorio no ofrece las mismas ventajas para ser excavado y sin embargo es más fácil construir a la manera convencional.

Frente a estas poblaciones donde el urbanismo excavado ha ido perdiendo protagonismo, encontramos en Granada bastantes ejemplos de localidades en los que sí pervive el carácter troglodita y en ellas podemos hablar de la existencia de más de un 90% de viviendas excavadas frente a un 10% de casas construidas convencionales.



Barrio típico de casas cueva en Guadix, Granada. Fuente propia.

Este es el caso de localidades como el que nos ocupa, Belerda de Guadix, donde se encuentra la casa cueva objeto de estudio. También encontramos ejemplos como Fonelas, Purullena, Cortes y Graena, Alicún de Ortega, Villanueva de las Torres, Dehesas de Guadix, Gorafe, en las tierras de Guadix, o Cortes de Baza, Bátor y Benamaurel en las tierras de Baza.

En todas ellas, la antigua imagen de localidades constituidas totalmente por cuevas está modificada hoy en día por la presencia de algunas viviendas convencionales (alrededor de un 10% como se ha dicho) y sobretodo de casas cueva mixtas, las cuales tienen la parte delantera construida a semejanza de una vivienda convencional, y su parte trasera embebida en la montaña conformando la parte de la cueva.

Esta circunstancia hace que la imagen de la localidad pierda la esencia troglodita original, sin embargo se ha generalizado la práctica debido a las ventajas que ofrece respecto a la durabilidad y mejor mantenimiento de la casa cueva. A continuación adjuntamos un croquis donde se aprecia esta diferencia.

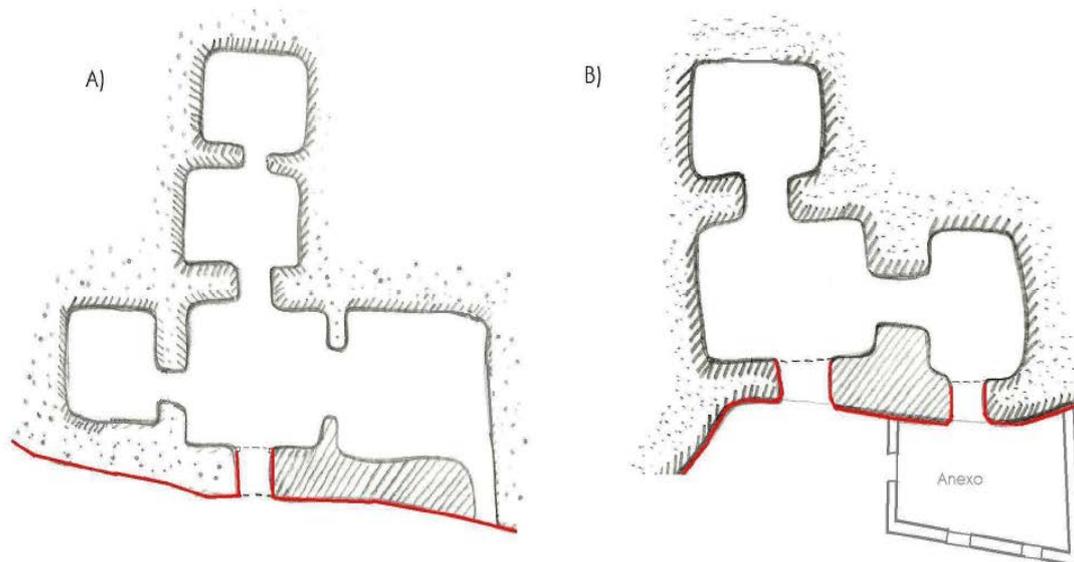


Figura 6. Croquis de tipologías: cueva tradicional (A) o cueva mixta (B). Fuente propia.

En el ejemplo que adjuntamos, el caso de la cueva mixta se ejecuta mediante un anexo parcial a la fachada, de manera que parte de la fachada queda al modo convencional, y otra parte queda a la manera original, respetando así cierto porcentaje de fachada natural. Sin embargo en muchas ocasiones el anexo construido ocupa el 100% de la fachada, de manera que la fachada natural queda totalmente oculta bajo un techo construido, hecho que aumenta su durabilidad.

3.4 Zonificación de casas cueva en España

Como se ha dicho, las cuevas en nuestro país se extienden por todas aquellas áreas geográficas donde las temperaturas son extremas, las precipitaciones bajas, y los materiales sedimentarios. En este apartado hemos querido indagar las características que tienen en común las zonas de España donde se da este tipo de arquitectura.

Si vemos el mapa de distribución de casas cueva en España (apartado 3.2), vemos que esta arquitectura se distribuye en la mitad oriental de la península principalmente. También sabemos que la orografía del terreno no es un factor determinante, pues se localizan tanto en terrenos llanos (Paterna), como en pendientes o acantilados (Guadix o Alfafara).

Las **características litológicas** del terreno sin embargo sí son un factor determinante en la existencia de estos ejemplos de arquitectura vernácula, pues sólo se dan en terrenos calizos y arcillosos, los cuales son adecuados para la labor de excavación y garantizan la estabilidad estructural de la cueva sin entibación auxiliar. Además la composición arcillosa de la tierra favorece la escorrentía del agua de lluvia debido a su carácter impermeable. La impermeabilidad de las arcillas es debida a su porosidad tan fina, que provoca que el agua vaya lentamente percolando.

A continuación tenemos un mapa peninsular donde se señalan los diferentes terrenos y la ubicación de los principales núcleos de poblaciones de casas cueva. Vemos que efectivamente es en los terrenos calizos y arcillosos donde se dan esta tipología.

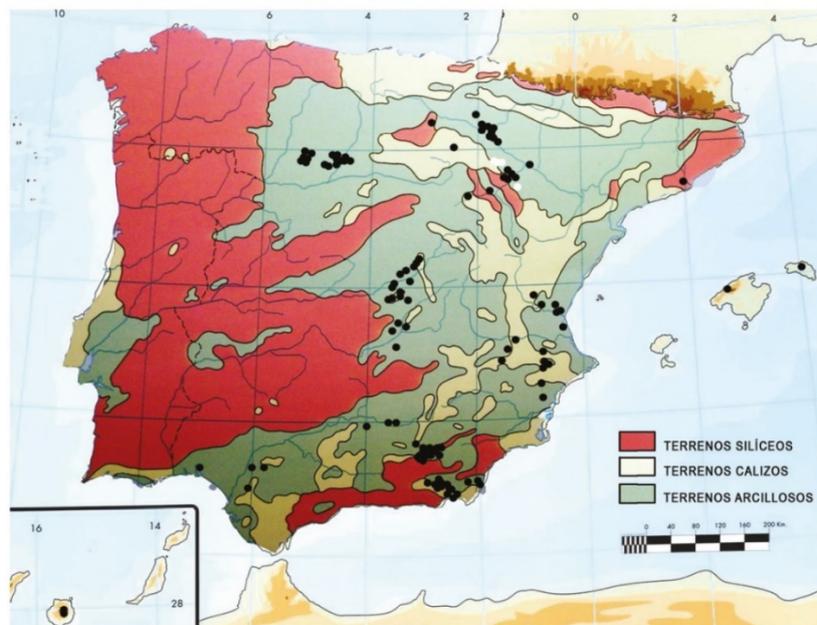


Figura 7. Mapa litológico de España y construcciones subterráneas

Fuente: J. De Cárdenas, L. Maldonado, M.M Barbero, I.J.Crespo. Artículo para la 14ª CCIA'2008

Otro aspecto a tener en cuenta en la zonificación de casas cueva en España es el ratio de **precipitaciones** anuales de la zona, pues estas construcciones no son en principio compatibles con zonas de una elevada pluviometría. La casa cueva hay que recordar que se excava tal cual, y no cuenta con capas impermeables artificiales. De manera si el terreno se humedece en exceso, esta humedad penetra en el habitáculo y empeora las condiciones de confort higrotérmico, pudiendo llegar a provocar patologías graves.

En el siguiente mapa podemos observar que los núcleos de casa cueva se encuentran claramente en zonas de pluviometría baja, grafizadas en amarillo (300-400 mm).

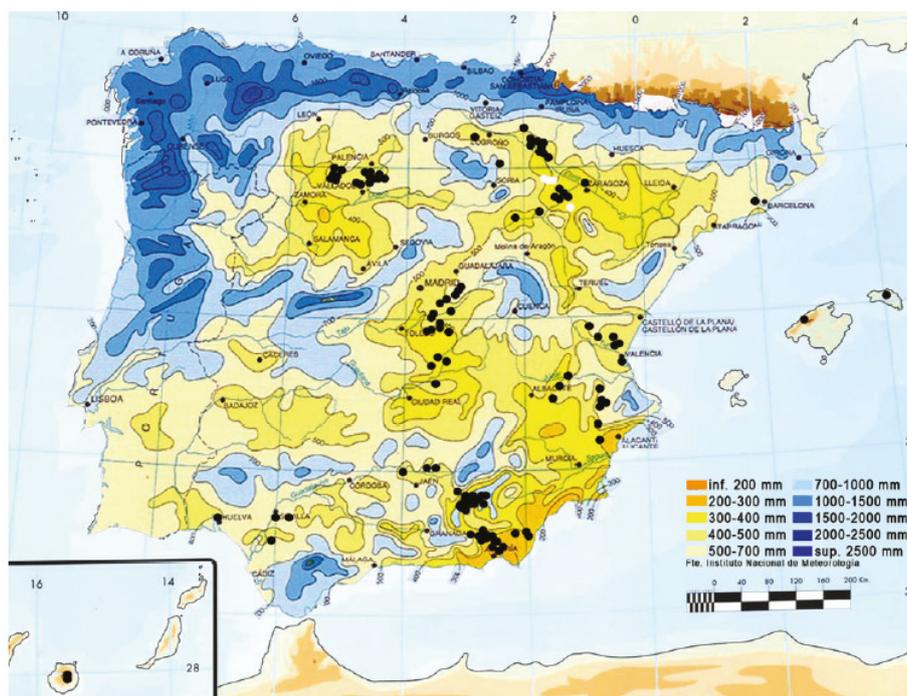


Figura 8. Mapa pluviométrico de España y construcciones subterráneas

Fuente: J. De Cárdenas, L. Maldonado, M.M Barbero, I.J.Crespo. Artículo para la 14ª CCIA'2008

Por último, es importante destacar la característica de las **temperaturas** extremas de la zona que alberga casas cueva. Vemos que es coincidente el hecho de que las zonas donde existen cuevas son zonas de gran amplitud térmica diaria o temperaturas extremas en algún momento del año. Es esta particularidad la que origina la necesidad de una vivienda de gran inercia térmica, para aplacar las condiciones exteriores. A continuación vemos lo que dice el artículo de J. Cárdenas antes referenciado^[12]:

“En algunas zonas —como puede ser en Tierra de Campos, Madrid, La Mancha o el Valle del Ebro—, el clima es de tipo continental, caracterizado por unas grandes oscilaciones térmicas y de humedad, tanto diarias como anuales. Son frecuentes las heladas entre octubre y mayo (en Valladolid se registran 83 días de heladas al año, y unas temperaturas medias que oscilan entre los $-1,2$ °C de enero y los $28,5$ de julio, según la Agencia Estatal de Meteorología). Esto está directamente relacionado con uno de los mecanismos de aprovechamiento energético más importantes de este tipo de arquitectura como lo es la inercia térmica. Por el contrario, el litoral mediterráneo y el sureste andaluz, goza de un clima cálido de temperaturas más suaves en invierno pero muy calurosas en verano, con paisajes esteparios y subdesérticos de extrema aridez y temperaturas medias máximas, que en el caso de Granada, superan los 33 °C entre julio y agosto, mientras que en enero el valor normal es de $1,2$ °C. Sorroche Cuerva nos indica que se encuentra «dentro del dominio del clima mediterráneo pero altamente continentalizado. Veranos cortos y calurosos e inviernos largos y muy fríos determinan una amplitud térmica interanual alta. Junto a esto, su ubicación interior y oriental respecto al territorio andaluz hace que se encuentre fuera de las vías principales de penetración de los vientos húmedos que traen las lluvias». Por lo general, la arquitectura subterránea española se encuentra en un medio natural árido, o por lo menos en ausencia de vegetación de porte cercana que pueda dañar las paredes de la cueva o cuyas raíces dificulten el proceso de excavación. Se extiende así mismo por zonas alejadas de acuíferos o en las que el nivel freático del terreno está por debajo del suelo de la cueva.”

Por tanto vemos que es en las zonas donde existen mayores temperaturas extremas en verano y en invierno donde se ubican las casas cueva, debido a que la gran inercia térmica de esta tipología requiere para ser eficaz de grandes oscilaciones térmicas diarias y anuales en el exterior.

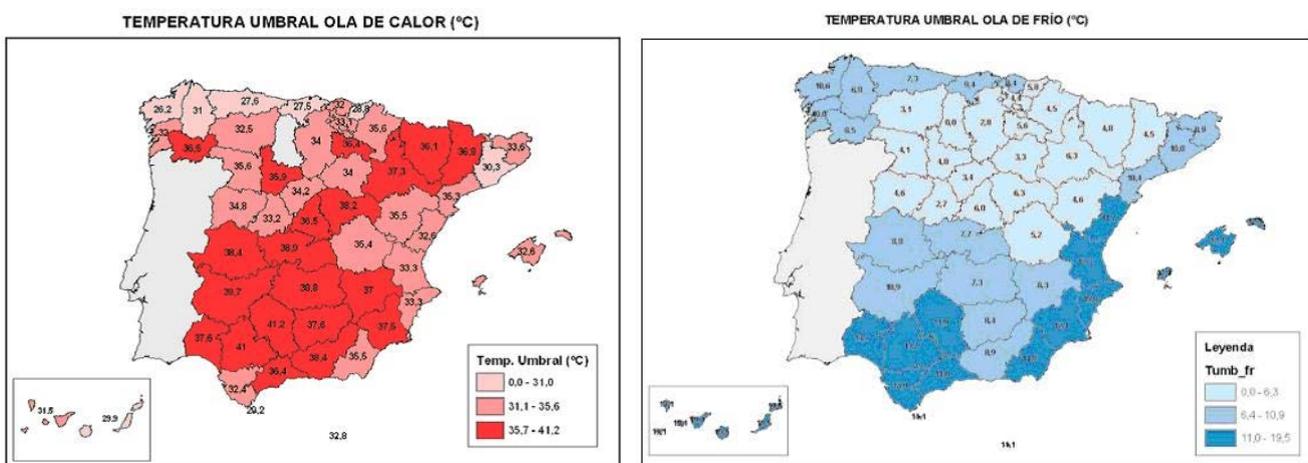


Figura 9. Evaluación preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático.

Moreno Rodríguez, J. M. Fuente: MIMAM(2005)

3.3 El concepto “Casa Cueva 2.0”

Este proyecto hace referencia en su título a una expresión un tanto sorprendente y de carácter tecnológico como lo es “Casa Cueva 2.0”. Hemos querido sugerir esta idea para que el lector sepa desde el principio que en este proyecto no sólo se habla de los orígenes de la casa cueva, la casa cueva tradicional, arcaica, falta de comodidades o equipación... Sino de una nueva concepción de la casa cueva.

La casa cueva que en este proyecto se analizará tiene una distribución funcional semejante a cualquier otra vivienda convencional, con una zona más pública y de día, y una zona privada o de noche. Consta de instalación eléctrica, iluminación a base de bombillas de bajo consumo, tomas para televisión, tomas RJ45 para conexión telefónica o de internet, dispone de conexión a la red de suministro de agua potable y también a la red de alcantarillados, un extractor de humos en la zona de cocción de la cocina...



Fotografías de la casa cueva objeto de estudio en la actualidad. Fuente propia.

Es decir, hablamos de una cueva cuya morfología se conserva prácticamente intacta desde hace más de un siglo, pero completamente renovada y equipada con todas las comodidades del siglo XXI. Es por eso que defendemos esta tipología como cualquier otra tan válida para albergar un hogar en condiciones de salubridad y comodidad. Y con la ventaja de su gran ahorro energético en acondicionamiento térmico.

Con el término 2.0 queremos denotar una “remasterización” o “nueva concepción” renovadora y tecnológica respecto de la casa cueva de los años 40. En la década de los 40 es cuando tiene lugar el momento de máximo esplendor de la casa cueva en España, debido al contexto socioeconómico que atraviesa el país. Aunque no era una tipología generalizada, sí era muy frecuente en la zona de Granada, como ya se ha dicho anteriormente.

Sin embargo, a partir de los años 70, por diversos motivos, los moradores abandonan estas viviendas y no sólo caen en el desuso sino que además adquieren una connotación negativa, hasta el punto de considerarlas como “infraviviendas”.

En España las primeras iniciativas en la concepción del Turismo Rural fueron los Programas de Vacaciones en Casas de Labranza entre los años 60 y 80 a cargo de la Agencia de Extensión Agraria y el entonces Ministerio de Información y Turismo. Esta iniciativa supuso un fuerte impulso del Turismo Rural, contribuyendo a su crecimiento y difusión. En los últimos quince años este turismo ha tomado protagonismo por el valor añadido que ofrece: fomenta la conservación del patrimonio y promueve la difusión de la arquitectura bioclimática.

En Guadix se detecta un nuevo interés por la recuperación y conservación de las casas cueva a finales de los años 90. Los emigrantes e hijos de emigrantes de la época comienzan a rehabilitar dichas viviendas por motivos, en parte debidos a la nostalgia o el valor sentimental, en parte porque se comienzan a valorar como segunda residencia de carácter rural o incluso alojamientos turísticos.

La impresión que causa en los turistas y personas que desconocen esta tipología suele ser muy positiva, pues en los últimos años el sector turístico busca alojamientos originales, sorprendentes, que marquen la diferencia. Y sin duda esta tipología cumple las expectativas, resultando ser alojamientos pintorescos y diferentes para el turista del siglo XXI.

En la actualidad los alojamientos turísticos de carácter rural en casa cueva son múltiples en la zona, y su éxito se debe a la combinación de la originalidad y la diferencia que marca la tipología arquitectónica, con los equipamientos y comodidades que ofrecen dichas cuevas. Es por eso que son cuevas “remasterizadas”, de manera que cuentan con las mismas prestaciones que otros alojamientos.

Las viviendas cueva particulares rehabilitadas también son cada vez más frecuentes en la zona, viendo que se ha producido un efecto “contagio” por parte de unos propietarios a otros. De hecho, ya no quedan relegadas en exclusiva a segunda residencia, sino que son múltiples los casos de personas que deciden establecer su residencia habitual en una casa cueva. En localidades como Guadix, Benalúa, Fonelas o también en Granada capital, en los barrios del Sacromonte o Albaicín existe bastante mercado inmobiliario de esta tipología.

En definitiva, queremos destacar la nueva concepción de la casa cueva como vivienda basada en los orígenes de una arquitectura ancestral, pero evolucionada según nuestras necesidades y requerimientos, y repleta de ventajas en lo que a impacto ambiental se refiere. ¿Alguien da más?

CAPÍTULO 4

ESTUDIO PREVIO DE LA CASA CUEVA

4. ESTUDIO PREVIO DE LA CASA CUEVA

4.1 Localización y zona climática

La vivienda se encuentra en la provincia de Granada, en Belerda de Guadix, una pedanía perteneciente al municipio de Guadix. Esta pequeña aldea se encuentra a 20 km del centro de Guadix, en la parte centro-oeste de la comarca. Cerca de ésta se encuentran los núcleos de Benalúa, Fonelas y Darro. El municipio se encuentra a una altitud de unos 1000 m por encima del nivel del mar.

El primer registro oficial de la localidad Belerda se remonta al año 1775 en que se realizó el Catastro de Ensenada^[33]. En éste aparece como uno de los cortijos de la campana de Guadix, junto con Frontina, Anchuron de Darro o Camarate, entre otros. En 1795, según el padrón del sagrario, en Belerda vivían cinco familias que posiblemente habitaban en casas cueva. Al cortijo de Belerda irían llegando pobladores de localidades vecinas como Darro, Fonelas o Purullena y de la zona de Almería para ocuparse de las tareas agrícolas, unas veces como jornaleros y otras como pequeños arrendatarios.

En la actualidad, Belerda cuenta con 110 viviendas censadas, 258 habitantes (221 habitantes según INE^[34] 2009), y subsiste fundamentalmente de la agricultura y de la ganadería; destaca por la hospitalidad de sus gentes y la espectacularidad de sus paisajes lo que hace de él un lugar con identidad propia.



Figura 10. Mapa de comarcas de Granada. Fuente: Wikipedia

La vivienda se encuentra en la parte alta del municipio como se señala en la fotografía adjunta. Al conjunto de casas cueva de la parte alta de la localidad se accede por una calle de severa inclinación, la cual da acceso a dicha parte del municipio.



Fotografía panorámica de la localidad. Fuente: Panoramio

Actualmente el acceso a la vivienda es peatonal, habilitado por el propio propietario de la cueva. El acceso con vehículo llega hasta unos 100 metros de la vivienda. Son estos 100 metros de separación entre la calle y la vivienda los que constituyen el camino peatonal que existe en la actualidad. En la documentación de propiedad de la cueva, los organismos oficiales la sitúan provisionalmente en la calle mirador de Belerda, sin número.

Hay que señalar que a día de hoy los propietarios de las cuevas vecinas a la vivienda de estudio han formado una asociación que reclama la modificación del plan de ordenación municipal para que se incluya ésta zona en el PGOU como urbana para poder ejecutar el camino hasta sus viviendas.

Granada pertenece a la zona climática C3 según el documento básico de ahorro de energía DB-HE del Código Técnico. Sin embargo, la localidad de Belerda de Guadix donde se encuentra la vivienda objeto de estudio al estar a una altitud mayor (1000m) se considera como **zona climática D2**.

| Capital de provincia | Capital | Altura de referencia (m) | Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m) | | | | |
|------------------------|-----------|--------------------------|--|-----------|-----------|------------|-------|
| | | | ≥200 <400 | ≥400 <600 | ≥600 <800 | ≥800 <1000 | ≥1000 |
| Albacete | D3 | 677 | D2 | E1 | E1 | E1 | E1 |
| Alicante | B4 | 7 | C3 | C1 | D1 | D1 | E1 |
| Almería | A4 | 0 | B3 | B3 | C1 | C1 | D1 |
| Ávila | E1 | 1054 | E1 | E1 | E1 | E1 | E1 |
| Badajoz | C4 | 168 | C3 | D1 | D1 | E1 | E1 |
| Barcelona | C2 | 1 | C1 | D1 | D1 | E1 | E1 |
| Bilbao | C1 | 214 | D1 | D1 | E1 | E1 | E1 |
| Burgos | E1 | 861 | E1 | E1 | E1 | E1 | E1 |
| Cáceres | C4 | 385 | D3 | D1 | E1 | E1 | E1 |
| Cádiz | A3 | 0 | B3 | B3 | C1 | C1 | D1 |
| Castellón de la Plana | B3 | 18 | C2 | C1 | D1 | D1 | E1 |
| Ceuta | B3 | 0 | B3 | C1 | C1 | D1 | D1 |
| Ciudad real | D3 | 630 | D2 | E1 | E1 | E1 | E1 |
| Córdoba | B4 | 113 | C3 | C2 | D1 | D1 | E1 |
| Coruña (a) | C1 | 0 | C1 | D1 | D1 | E1 | E1 |
| Cuenca | D2 | 975 | E1 | E1 | E1 | E1 | E1 |
| Donostia-San Sebastián | C1 | 5 | D1 | D1 | E1 | E1 | E1 |
| Girona | C2 | 143 | D1 | D1 | E1 | E1 | E1 |
| Granada | C3 | 754 | D2 | D1 | E1 | E1 | E1 |
| Guadalajara | D3 | 708 | D1 | E1 | E1 | E1 | E1 |
| Huelva | B4 | 50 | B3 | C1 | C1 | D1 | D1 |
| Huesca | D2 | 432 | E1 | E1 | E1 | E1 | E1 |
| Jaén | C4 | 436 | C3 | D2 | D1 | E1 | E1 |

Figura 11. Tabla D.1 DB HE del CTE

Esto significa que el clima en invierno será más severo, pero en verano en cambio será algo más templado. A continuación adjuntamos la tabla D.2a del CTE que clasifica la severidad climática en función de unos códigos de letras y números.

| A | B | C | D | E |
|----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| $SCI \leq 0,3$ | $0,3 < SCI \leq 0,6$ | $0,6 < SCI \leq 0,95$ | $0,95 < SCI \leq 1,3$ | $SCI > 1,3$ |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------|----------------------|-----------------------|--------------|
| $SCV \leq 0,6$ | $0,6 < SCV \leq 0,9$ | $0,9 < SCV \leq 1,25$ | $SCV > 1,25$ |

Figura 12 Tabla D.2 a DB HE del CTE

Como ya se ha dicho en el anterior capítulo donde hablábamos de las zonas proclives a albergar casas cueva, la existencia de esta tipología arquitectónica y la zona climática en la que se encuentren están muy relacionadas, ya que para que esta tipología tenga garantía de durabilidad es necesario que la zona donde se ubica reúna ciertas características como son la baja pluviometría, las temperaturas extremas y el terreno además sea de tipo sedimentario. La localización de la vivienda objeto de estudio vemos que cumple dichas condiciones.

4.2 Características del terreno

En este apartado vamos a analizar el terreno donde se ubica la cueva, puesto que va a ser determinante para comprender la existencia de la arquitectura troglodita en la zona. Para ello se contactó con varias empresas especializadas en estudios geotécnicos de la zona. Una de ellas, “Ingeniería Geológica 71 S.L.”, facilitó información gráfica y dos estudios geotécnicos realizados para la construcción o rehabilitación de casas cueva en zonas cercanas.

El estudio geotécnico aportado, analiza la idoneidad del terreno para rehabilitar y consolidar una casa cueva existente en el vecino municipio de Benalúa de Guadix. Dada la proximidad y la semejanza del terreno de este estudio, extrapolaremos los datos obtenidos relativos a propiedades del terreno en el caso de nuestra cueva.

Otra información de partida con la que contamos, es el Plan General de Ordenación Urbana de Guadix y sus aldeas anexas. En la memoria de este documento, hemos podido encontrar información valiosa acerca de la climatología y del terreno, del cual se han extraído algunos fragmentos en este apartado.

En este apartado por tanto nos disponemos a redactar las características básicas del terreno en lo referente a su geología, su composición, y sobre todo, los parámetros del terreno que se estudian en estos casos, y qué valores de seguridad se aceptan, para dar como válido o no un terreno. Es decir, cómo se evalúa geotécnicamente la aptitud de un terreno para albergar la excavación autoportante de una casa cueva. Este aspecto sin duda es de vital importancia en el análisis y estudio de la vivienda cueva, pues más allá de técnicas constructivas y sistemas de albañilería, la arquitectura subterránea depende fundamentalmente del clima y el terreno en el que se encuentre localizada.

A continuación se sintetiza y explica la información recopilada al respecto del terreno, basada en los dos documentos mencionados.

Desde el punto de vista geológico, la zona se sitúa en el sector occidental de la depresión de Guadix-Baza, que es una amplia cuenca sedimentaria en la zona de contacto entre los materiales subbéticos (borde Norte, Este y Oeste) y los materiales béticos (borde Sur), rellena con materiales de distinta tipología y edades comprendidas entre el Mioceno y el Cuaternario.



Figura 13. Imagen 3D de la vega de Belerda. Fuente: PGOU Guadix

Este tipo de paisaje conforma una morfología denominada “bad land” muy característica de la zona. Se caracteriza por tener colinas ruiniformes de características áridas y de litología rica en arcillas, extensamente erosionadas por el viento y el agua. Cañones, cárcavas, barrancos, canales, chimenea de hadas (columnas de roca con formas en sus picos) y otras formas geológicas del estilo son comunes en los “bad lands”.

Normalmente, estas tierras presentan una espectacular gama de color que alterna estrías que van del negro azulado oscuro, característico del carbón, al rojo brillante, característico de la arcilla, la escoria. A continuación se muestran fotografías del entorno de la cueva donde se aprecia mejor el paisaje “bad land”.



Paisaje tipo “Bad land” del entorno más próximo de la casa cueva objeto de estudio

Una vez descrito el paisaje en el que se encuentra la vivienda, así como la zona geológica a la que pertenece, nos disponemos a la caracterización geotécnica del suelo.

Para ello se ha recurrido a la información que se aporta en el estudio geotécnico donde se nos dice que en la zona estudiada los materiales aflorantes están constituidos por una potente alternancia de limos, arcillas y arenas y conglomerados. También se apunta que en el terreno se muestra una sucesión de estratos horizontales decimétricos, de espesor variable entre 0,5 y 3 cm (ocasionalmente alcanzan más de 10 cm) constituidos por arcillas, limos más o menos arenosos y conglomerados, en general parcial o totalmente cementados. Recubriendo total o parcialmente el terreno existe un nivel de suelos formado por arcillas grises con algo de arena y materia orgánica con un espesor máximo de un metro.

Además, disponemos de información concreta del análisis de una cata del suelo, recogida en el estudio geotécnico para una casa cueva en Benalúa, que como ya hemos dicho extrapolaremos sus valores a nuestro caso, por ser terrenos muy similares. (Ver Anexos, estudio geotécnico para cueva en Benalúa). En este estudio se realiza el análisis del macizo a partir de los datos obtenidos en la perforación de un sondeo mecánico de 12 m de profundidad y dos penetrómetros dinámicos de 9 y 8 de profundidad respectivamente. (Ver Anexos, fotografías de cata para estudio geotécnico). El estudio arroja que el modelo geotécnico del terreno corresponde a un medio detrítico estratificado formado por niveles decimétricos de arcillas y limos, y lentejones discontinuos, de espesor muy variable, de arenas cementadas y conglomerados. Existe además, un recubrimiento de suelos de carácter arcilloso y espesor variable aunque, como máximo, es de un metro.

A continuación se adjunta la tabla que sintetiza las características del terreno, constituido por un material muy heterogéneo, pero que afectos de cálculo y según el ensayo de una muestra obtenida en el sondeo mecánico a una profundidad aproximada de 5 metros, arroja los siguientes resultados.

| Características del terreno | | | |
|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Clasificación | CL - ML | Índice de Plasticidad | 8,2 |
| Contenido en finos | 64,3 % | Contenido en sulfatos | 0,00 % |
| Contenido en arena | 35,6 % | Contenido en yesos | 0,00 % |
| Contenido en grava | 0,1 % | Resistencia a compresión simple | 4,94 Kp/cm ² |
| Límite Líquido | 30,4 % | Cohesión | 2,47 Kg/cm ² |
| Límite Plástico | 22,2 % | Ángulo de rozamiento interno | $\phi = 30^\circ$ |
| Permeabilidad | $K = 10^{-9}$ m/s | Módulo de deformación | $E \approx 100$ Kg/cm ² |

Estos valores son los que nos interesa conocer e interpretar, pues son los que determinan la aptitud del terreno para albergar cuevas, por ser suelos de mejor o peor excavabilidad.

Para empezar la clasificación nos determina qué tipo de material geológico tenemos principalmente: en este caso tenemos arcillas (CL) y limos (ML). Por un lado es importante analizar el resultado obtenido en lo referente a plasticidad. Es este parámetro el que determina entre otros, la aptitud del terreno para soportar excavaciones sin necesidad de hacer entibaciones, y sin riesgo de producirse desmoronamientos. En este caso se ha obtenido un valor de 8.2 que se asume como un buen valor. Los sulfatos y yesos son solubles en agua, por lo tanto significa que en presencia de esta, estos materiales precipitaran a través del terreno, dejando oquedades. Por tanto, es importante tener en cuenta el porcentaje de contenido en sulfatos y yesos, pues si obtenemos un valor elevado puede ser un problema de cara a la formación de cárcavas y por tanto la merma de estabilidad del macizo. En este caso no existe este riesgo, pues el contenido en estos materiales es del 0%. Otro inconveniente de la existencia de sulfatos y yesos en el terreno, es que son dañinos para las estructuras de hormigón, por lo que se deben utilizar cementos especiales y tomar medidas preventivas especiales.

Por otro lado, la resistencia a compresión simple de esta muestra da un valor de 4.94 Kp/cm^2 , un buen valor de resistencia que nos garantizara la estabilidad de la excavación y el riesgo por derrumbe. Por último, observando conjuntamente los valores obtenidos en la cohesión del terreno ($2,47 \text{ Kg/cm}^2$ es muy cohesivo) y su ángulo de rozamiento ($\phi = 30^\circ$ muy bueno, favorece la verticalidad de las paredes), podemos decir que se obtiene un buen valor de excavabilidad, por lo que se considera un terreno apto para albergar una excavación de casa cueva.

Además, obtenemos un valor de permeabilidad muy bajo, que se estima entorno al $K = 10^{-9} \text{ m/s}$, lo cual es un valor que garantiza una gran impermeabilidad y por tanto minimiza el riesgo de filtraciones de agua. Esto sin embargo, está en contradicción con el alto porcentaje en arenas que contiene el terreno.

Por todo ello, podemos concluir que el terreno analizado es apto para albergar una excavación de casa cueva, sin necesidad de entibación y sin riesgo de desmoronamientos importantes. Y es que, como observamos en la fotografía adjunta, se trata de una ladera formada por diversos estratos visibles, que alternan estratos más fáciles de excavar con otros de mayor compacidad cada 3 o 5 metros (llamados lacha en esta zona), formando una serie formada por tres tipos de estratos y que a continuación describimos.



En la fotografía, se observan los diferentes estratos del terreno, donde destacan las capas de estrato rocoso. Fuente Propia.

a. Estrato rocoso

El estrato más cohesivo está constituido por rocas de conglomerados. Éste forma capas de espesor muy variable, entre los 70 a 1'20 cm. Estos estratos se encuentran separados entre sí una altura de unos 3 a 5 metros en la zona donde tenemos la casa cueva objeto de estudio. Sin embargo, podemos observar que esta distancia va disminuyendo conforme bajamos a la falda del macizo. El estrato rocoso en nuestra zona de actuación, es coincidente con el techo de la casa cueva, y tiene un espesor aproximado de 80cm. Esta tendencia es generalizada en todas las casas cueva de la zona, por las razones que a continuación vamos a explicar.

Las casas cueva por tanto se ubican inmediatamente debajo del estrato rocoso, haciendo coincidir este estrato más compacto e impermeable con el techo de la cueva. Esto tiene dos ventajas:

- Por una parte garantiza la estabilidad estructural de la excavación, pues actúa a modo de dintel, distribuyendo las cargas directamente a los gruesos muros, que son los encargados de transmitir las al terreno. De hecho, vemos que los techos de las casas cuevas en esta zona apenas están abovedados.
- Por otra parte, al ser un material más cohesivo y de naturaleza rocosa, es más impermeable, por lo que actúa como una capa natural de impermeabilizante, evitando filtraciones de agua del terreno, y sus consecuencias en patologías.

b. Estrato consolidado

El estrato inmediatamente inferior al rocoso, es una capa consolidada de cohesión intermedia, que hace posible una excavación relativamente fácil pero a la vez segura, ya que no presenta desmoronamientos importantes. Está constituido por arenas y conglomerados de muy variada naturaleza. Es éste estrato el que aloja la excavación de la casa cueva y por tanto el analizado en la cata del estudio geotécnico, del que disponemos datos de cohesividad, resistencia a compresión, ángulo del talud...etc.

c. Estrato arcilloso

El estrato de mayor espesor se constituye de material arcilloso y limos, de alta impermeabilidad, aunque al mismo tiempo gran capacidad de retención de agua. Es un material compacto pero fácil de excavar. Se sitúa debajo del estrato consolidado, por lo que coincide con el nivel inferior de la excavación y sus “cimientos”.

A continuación tenemos una fotografía donde se puede observar claramente como el macizo se compone por diversas capas, de las cuales resalta la capa rocosa, que vemos más resaltada, en una tonalidad más clara.



En estas fotografías puede observarse el fenómeno “sandwich” comentado, la composición de las diversas capas del terreno. Se observa también la ubicación de las cuevas, todas ellas bajo la capa dura de roca.

Fotografía de fuente propia.

Hay que decir en todo caso, que a pesar de esta aptitud del terreno para ser excavado, en algunas zonas y debido a su heterogeneidad se puede producir el fenómeno de desmoronamiento en algunos puntos de la excavación, en trozos puntuales que se deberán rellenar con mortero de cal o de cemento. Tengamos en cuenta que estamos hablando de una excavación natural sin entibación, de manera que deberemos adecuar en cada caso las condiciones del terreno a los medios auxiliares necesarios.

Características de la “cubierta” de la casa cueva

A continuación se adjunta un esquema de detalle constructivo de una sección transversal de la casa cueva, pudiéndose observar las diferentes capas del terreno mencionadas, así como sus espesores.

Este detalle se ha dibujado a partir de unas mediciones in situ, tras visitar la casa cueva el 29 de octubre de 2011. La metodología seguida para obtener espesores se obtiene triangulando y aproximando el ángulo de desnivel de la ladera mediante un nivel calibrado. A partir de este dato, por trigonometría obtenemos los espesores. En el esquema de la página siguiente se ilustra el procedimiento. En el dossier fotográfico de los anexos se incluyen imágenes del proceso.

Las capas de estrato rocoso del terreno, de más dureza, se encuentran aproximadamente cada 3 o 4 metros. Tienen un espesor aproximado entre 70 y 120 cm y el material que las constituye es de naturaleza rocosa y muy cohesivo. Como ya se ha analizado, la capa inmediatamente inferior es de material consolidado compuesto por arenas y conglomerados y el resto es material arcilloso, impermeable y fácilmente excavable.

La capa vegetal que cubre el terreno, como ya se ha comentado está compuesta por matorral xérico principalmente, matorral de secano de baja altura que necesita de muy poca humedad para vivir (esparto, retama, tomillo...) y que aporta cohesión al terreno.

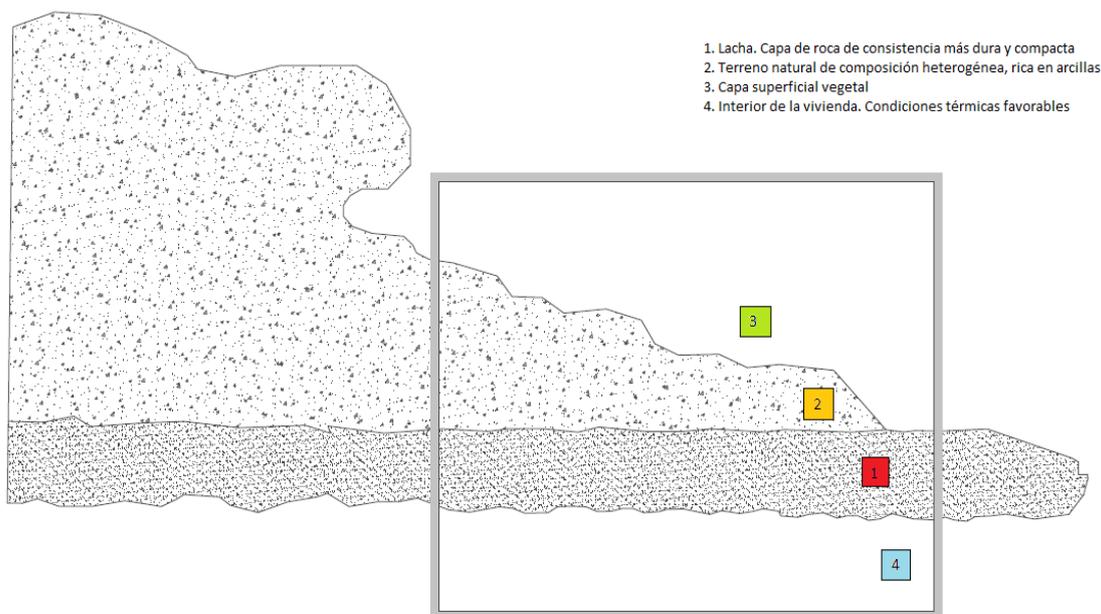
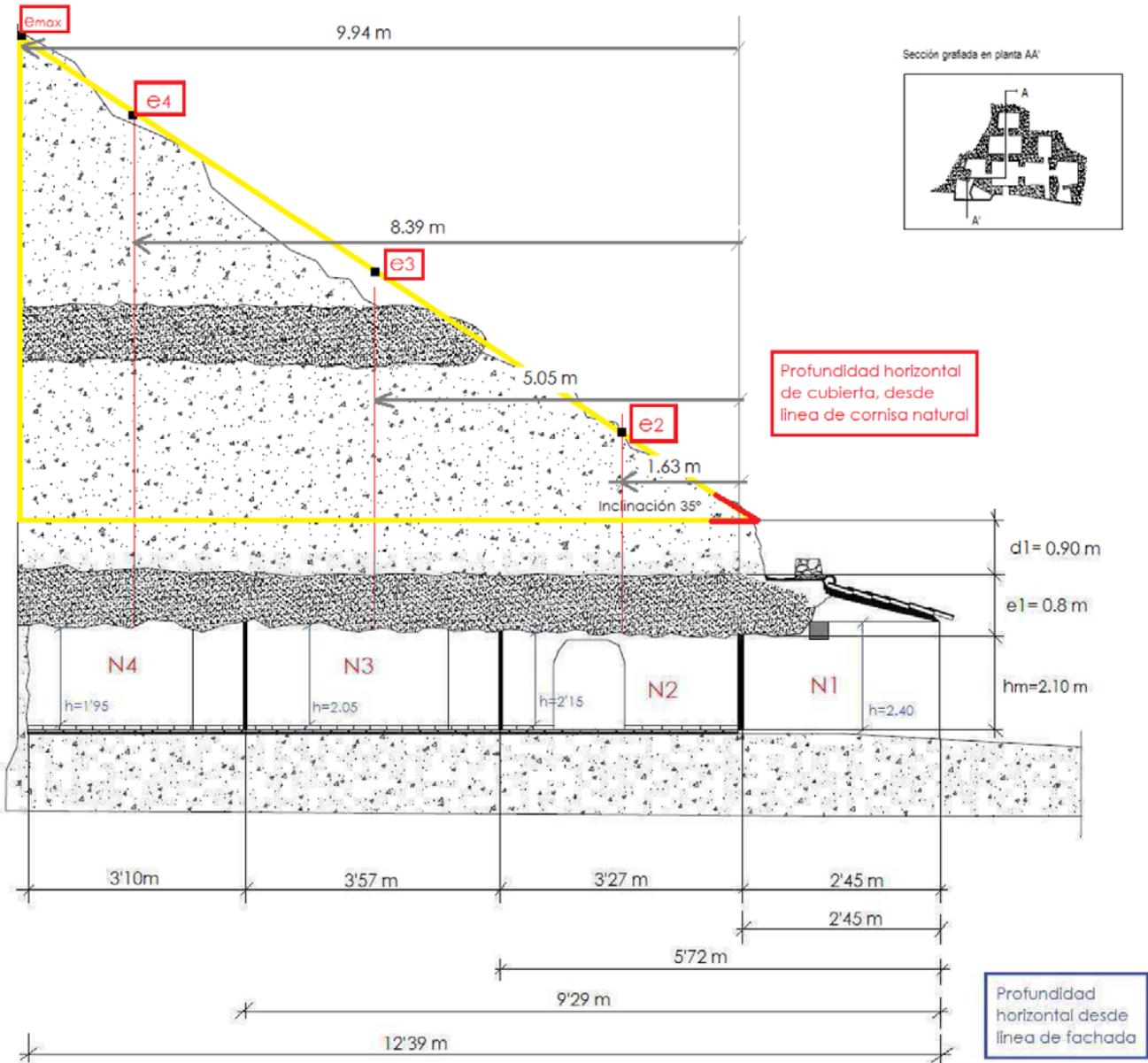


Figura 14. Detalle esquema de los estratos que componen el terreno. Fuente propia.

Detalle en esquema del cálculo del espesor de la cubierta en cada nivel de profundidad de la casa cueva



| Estancia | e (m) | e1 + d1 (m) | Espesor total (m) |
|-----------|-------|-------------|-------------------|
| N1 | - | - | 0.4 |
| N2 | 1.15 | 0.8 + 0.90 | 2.85 |
| N3 | 3.53 | 0.8 + 0.90 | 5.23 |
| N4 | 5.87 | 0.8 + 0.90 | 7.57 |
| N_{max} | 6.95 | 0.8 + 0.90 | 8.65 |

4.3 Tipología constructiva

La vivienda es de tipología arquitectónica del tipo subterránea o troglodita, muy típica de la zona. Es una cueva natural excavada en excavación horizontal, como la mayoría de cuevas del lugar.

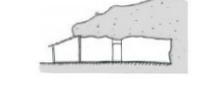
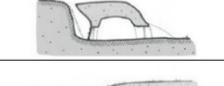
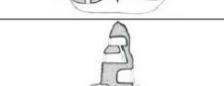
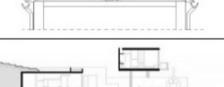
En el año 2003 fue adquirida por su actual propietario, quien promovió las obras de rehabilitación. Su estado entonces era muy deficiente, con multitud de patologías que ponían en riesgo incluso su estabilidad estructural. La rehabilitación respetó la morfología original de la cueva, que data del año 1880 según se ha podido averiguar mediante las indagaciones efectuadas. Sin embargo se realizó una pequeña construcción anexa a la fachada natural por su parte izquierda, que alberga lo que en la actualidad es una galería y un pequeño cuarto de baño. Por tanto, podemos decir que se trata de una cueva mixta, con casi la totalidad de la superficie constituida por cueva natural, pero con una pequeña construcción artificial anexa.

A continuación se adjunta el cuadro resumen de las distintas tipologías de casa cueva que pueden darse en la zona, donde podemos observar que la vivienda objeto de estudio se podría clasificar como una combinación de las tipologías A y D. Estaríamos hablando de una mezcla de ambas, pues desarrolla cámaras en fachada, y al mismo tiempo se desarrolla en una pendiente progresiva, aumentando el nivel de espesor de la cubierta a medida que nos adentramos en el terreno.

Ambas tipologías hacen de esta cueva una vivienda que funciona de manera óptima en lo que se refiere al comportamiento energético, pues el hecho de que la mayoría de estancias se desarrollen en fachada aporta iluminación natural, ventilación y por tanto un menor grado de humedad. La profundidad progresiva es otra de las ventajas en la funcionalidad de la casa cueva, ya aporta gran inercia térmica y aislamiento al conjunto.

Esta disposición es la más frecuente estadísticamente en la población, aunque muchas sólo tienen dos o tres habitaciones como máximo con huecos en fachada. Es la topografía del terreno con sus curvas, formas y pendientes, la que condiciona las diferentes clases de cuevas. En este pequeño pueblo las cuevas se sitúan en vertientes abruptas, organizadas en hileras y superpuestas en diferentes niveles horizontales, a los cuales se accede a través de angostos caminos serpenteantes que bordean la ladera.

CUADRO COMPARATIVO DE TIPOLOGÍAS DE CUEVA

| Tip. de cueva | Descripción | Profundidad en el terreno | Confort Higrotérmico | Sistema de ventilación | Sistema de Iluminación | Croquis de tipología |
|---------------|-------------------------------------|--|--|---|---|---|
| A | Con cámaras laterales | Mínima, por desarrollarse con todas las estancias dando a fachada. | Bueno. Combina la inmersión en el terreno con la ventilación directa por las ventanas | Bueno. Todas las estancias disponen de un hueco a fachada. | Bueno. Todas las estancias disponen de un hueco a fachada. |  |
| B | Con cámaras hiladas en profundidad | Crecente. Las cámaras van ganando en profundidad conforme avanzamos. | Heterogéneo. Las cámaras al primer y segundo nivel tienen buena temperaturas. Las más interiores son demasiado frescas. | Deficiente. Sólo las cámaras al primer nivel cuentan con aberturas a fachada. | Deficiente. Sólo las cámaras al primer nivel cuentan con aberturas a fachada. |  |
| C | Con cámaras desde una pieza central | Intermedia. Sólo existen cámaras a un primer y segundo nivel. | Bueno, pues no existen cámaras en excesiva profundidad. | Regular. La cámara central permite cierta ventilación intermedia a las estancias sin huecos. | Regular. Sólo las cámaras a fachadas cuentan con huecos en fachada. |  |
| D | Escalonada en ladera | Progresiva. Conforme nos internamos en la cueva, aumenta la profundidad tanto de muros como de cubierta. | Bueno, siempre y cuando se priorice la distribución lateral en detrimento de la profundidad, pues las estancias más profundas son muy frescas. | Depende de la distribución (tipologías A,B, C) | Depende de la distribución (tipologías A,B, C) |  |
| E | Con anexo construido | El anexo construido no tiene profundidad, es una estancia de obra convencional. Conforme nos internamos en la cueva, aumenta la profundidad. | Las cámaras excavadas tienen buen comportamiento higrotérmico. La estancia convencional depende del aislamiento utilizado en el muro. | Deficiente en las cámaras excavadas, pues los huecos no se abren directamente al exterior, sino a través del anexo. | Deficiente en las cámaras excavadas, pues los huecos no se abren directamente al exterior, sino a través del anexo. |  |
| F | Simple de doble acceso | La profundidad de estas cuevas depende del espesor vertical de la loma en la que estén construidas. | Bueno, pues cuentan con cubierta vegetal y el espesor de los muros es considerable. | Se mejora gracias a la doble abertura, que permite la ventilación cruzada y por tanto, la mejor calidad del aire. | Sigue siendo insuficiente, pero mejora gracias a la abertura vertical, que funciona como patio de luces. |  |
| G | Desde rampa | Profundidad superficial, pues son espesores artificiales creados a propósito para albergar la cueva. | Regular. Tienen peor comportamiento por su espesor limitado. | Muy deficiente. Suelen contar tan sólo con una puerta de entrada y un pequeño ventanuco. | Muy deficiente. Suelen contar tan sólo con una puerta de entrada y un pequeño ventanuco. |  |
| H | Semienterrada profunda | Profundidad intermedia. | Bueno. En estas cuevas la deficiencia es la funcionalidad, por tener techos inferiores a 2m. | Deficiente. Tan sólo suelen contar con la puerta de entrada y un pequeño hueco en el techo. | Deficiente. Tan sólo suelen contar con la puerta de entrada y un pequeño hueco en el techo. |  |
| I | Atravesando una loma | Intermedia. El espesor no lo da el techo, que constituye toda una loma. | Muy bueno, gracias al espesor del techo y la ventilación cruzada. | Muy buena, pues consta de dos fachadas opuestas, permitiendo la ventilación cruzada. | Buena, al constar de dos fachadas. Las habitaciones intermedias (si las hay) son las deficientes. |  |
| J | En cono | Intermedia. Las cuevas en los niveles inferiores tendrán más profundidad que las superiores. | Buena, pues suelen tener buena ventilación y profundidad intermedia. | Buena, pues al tener fachada radial, puede constar de muchos huecos. | Buena, pues al tener fachada radial, puede constar de muchos huecos. |  |
| K | Excavadas desde patio en desmonte | Superficial, pues suele excavarse sólo una cámara por hueco. | Bueno debido a su buena ventilación y profundidad intermedia. | Se ventila correctamente, por tener cada cámara huecos al exterior. | Bien iluminada, por el mismo motivo. |  |
| L | En superficie con cubierta vegetal | Mínima. Éstas de apoyan sobre la montaña, no internándose en ella. | Bueno, gracias a la construcción de la cubierta ajardinada que aporta un gran aislamiento y la correcta ventilación. | Buena, pues tienen aberturas en todas sus fachadas, excepto en la que está en contacto con la tierra. | Buena, pues tienen aberturas en todas sus fachadas, excepto en la que está en contacto con la tierra. |  |
| M | Cuevas artificiales | Suficiente, pues estas construcciones se basan en muros gruesos de hormigón y cubierta ajardinada. | Aceptable, gracias al grosor de su envolvente y a la correcta ventilación. | Buena, pues estas cuevas se hacen individuales, y todas las estancias cuentan con huecos. | Buena, pues estas cuevas se hacen individuales, y todas las estancias cuentan con huecos. |  |

4.4 Distribución funcional

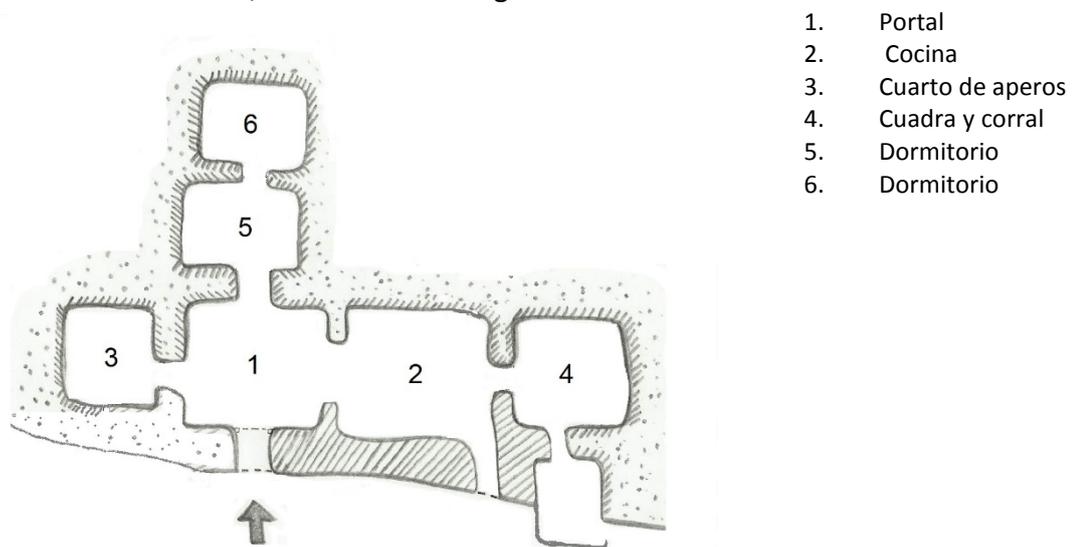
La cueva de estudio ha tenido dos propietarios a lo largo de su existencia. El propietario original la excavó hace más 100 años (según los testimonios entrevistados), aunque no se tiene constancia de su año de construcción exacta, pues se desconoce por no tener documentación al respecto.

Originalmente esta cueva constaba de las siguientes estancias: portal, cocina, cuadra y tres habitaciones, donde se alojaba una familia humilde de campesinos. Años después de la guerra civil, y una vez superada la postguerra, esta familia emigró a Valencia, pues las condiciones laborales y económicas de la localidad eran muy precarias. Así pues, la cueva fue abandonada durante más de 40 años, dejándola sin mantenimiento por lo que su estado era ya pésimo en el año 2003, año en que la adquirieron los actuales propietarios. A continuación tenemos un croquis de la distribución de la casa cueva original.

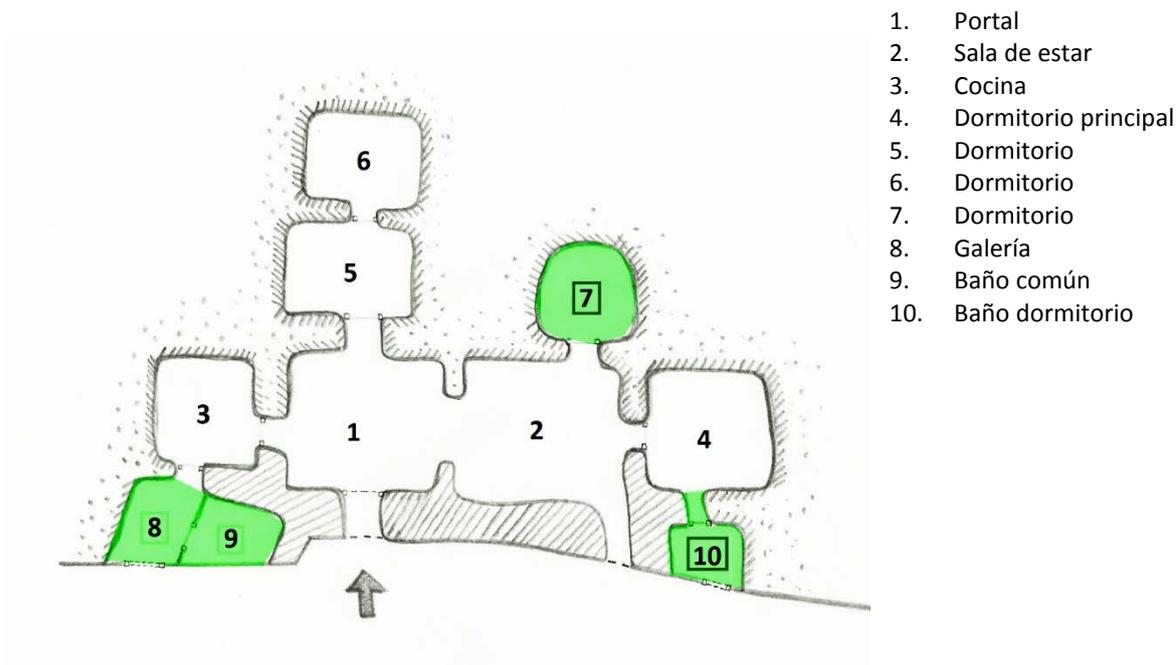
La distribución de la vivienda actual es el resultado de la rehabilitación realizada en 2004 por los actuales propietarios. En esta rehabilitación se excavó una nueva estancia (sala 7) para dormitorio. Las actuales salas 8 y 9 también se excavaron como ampliación para baño y galería. En la sala 10 se procedió a cerrar el espacio que antes era para corral, mediante un muro de bloque de hormigón en fachada.

Con todo ello se dispuso la zona de día en el primer nivel de profundidad, donde existe una buena ventilación e iluminación, y los dormitorios en los niveles más profundos. Esto favorece la habitabilidad de la vivienda y el ahorro energético.

En los croquis siguientes se pueden observar la distribución original y actual de la vivienda. A continuación, la distribución original.



A continuación, la distribución actual, donde se han señalado las estancias nuevas. En color tenemos las estancias nuevas excavadas tras la rehabilitación.



1. Portal
2. Sala de estar
3. Cocina
4. Dormitorio principal
5. Dormitorio
6. Dormitorio
7. Dormitorio
8. Galería
9. Baño común
10. Baño dormitorio

Figura 15 y 16. Croquis de planta de la casa cueva original y reformada. Fuente propia.

Con la nueva distribución, no sólo se consigue reorganizar los espacios y crear un recorrido más coherente en la vivienda, también se favorece el ahorro energético de la misma. Esto es porque la zona más pública o de día, se ubica más próxima al exterior, son estancias que tienen un mayor uso y más diurno. De manera que la mayor parte del día no es necesaria luz artificial, es suficiente con la luz natural que llega desde el exterior.

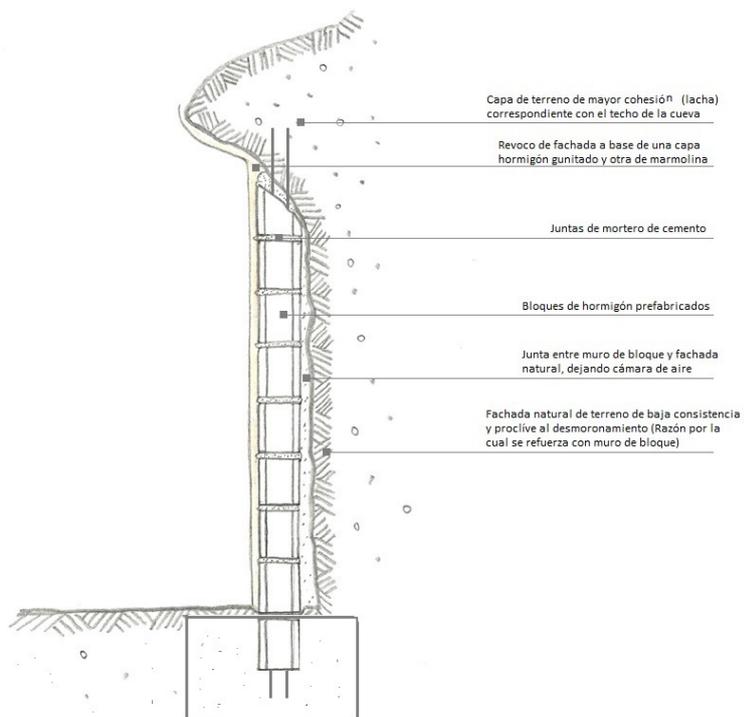
También es positivo el hecho de que las estancias donde se pasa menos tiempo (los dormitorios) son las que se relegan a un segundo o tercer nivel de profundidad, donde las condiciones de humedad son un poco más altas. Hay que decir sin embargo que en nuestro caso, se aprecia una media inferior al 60% de humedad, de manera que el nivel de humedad es adecuado. La causa de esta baja humedad, teniendo en cuenta que hablamos de una cueva, es porque el aire de admisión que entra en la cueva lo hace la mayor parte del tiempo a una humedad muy baja. Es una zona muy seca y las precipitaciones son muy escasas, de manera que el ambiente es muy seco, así como el propio terreno. Este aire seco, al entrar en la cueva contribuye a bajar la humedad relativa del ambiente interior. Otra ventaja de esta distribución es que las zonas húmedas (cocina y cuartos de baño) se ubican en la parte más externa de la vivienda. De esta forma, si existe alguna fuga o filtración de agua se evapora mucho antes que si estuviera en el interior de la cueva.

4.5 Características constructivas de la cueva

El proceso constructivo actual de las casas cueva no difiere demasiado del que se ha venido utilizando tradicionalmente. La diferencia radica básicamente en las herramientas y maquinaria disponibles en la actualidad. Antiguamente se empleaban técnicas manuales de excavación, de manera que la conclusión de las obras se alargaba bastante y el trabajo de los picadores era muy duro. Hoy en día el método de construcción es muy similar pero la herramienta y maquinaria utilizada facilita el trabajo y acorta el tiempo de obra. Además, es frecuente ver cuevas mixtas donde se conserva la cueva pero se ha anexado una o varias estancias exteriores construidas, lo que también agiliza la obra.

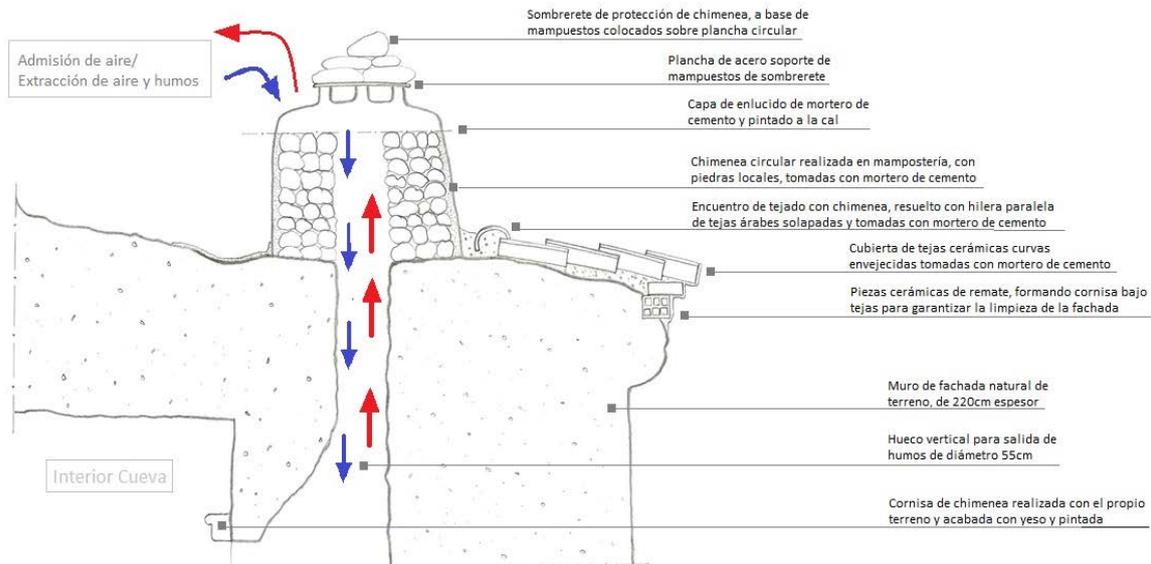
A continuación se adjuntan diferentes detalles constructivos de puntos singulares de la casa cueva. En estos detalles podemos ver aspectos constructivos de las diferentes partes de la cueva y como se solucionan los encuentros.

En el siguiente detalle podemos ver la morfología del muro de bloque de hormigón de fachada que se hizo en estancia 10. Este muro se ejecutó para reforzar la fachada natural de tierra existente, ya que debido al abandono se encontraba en mal estado de conservación. Se levanta sobre una pequeña zapata corrida de hormigón armado y se arriestra a la fachada natural mediante barras corrugadas embebidas en la última hilera de bloques.



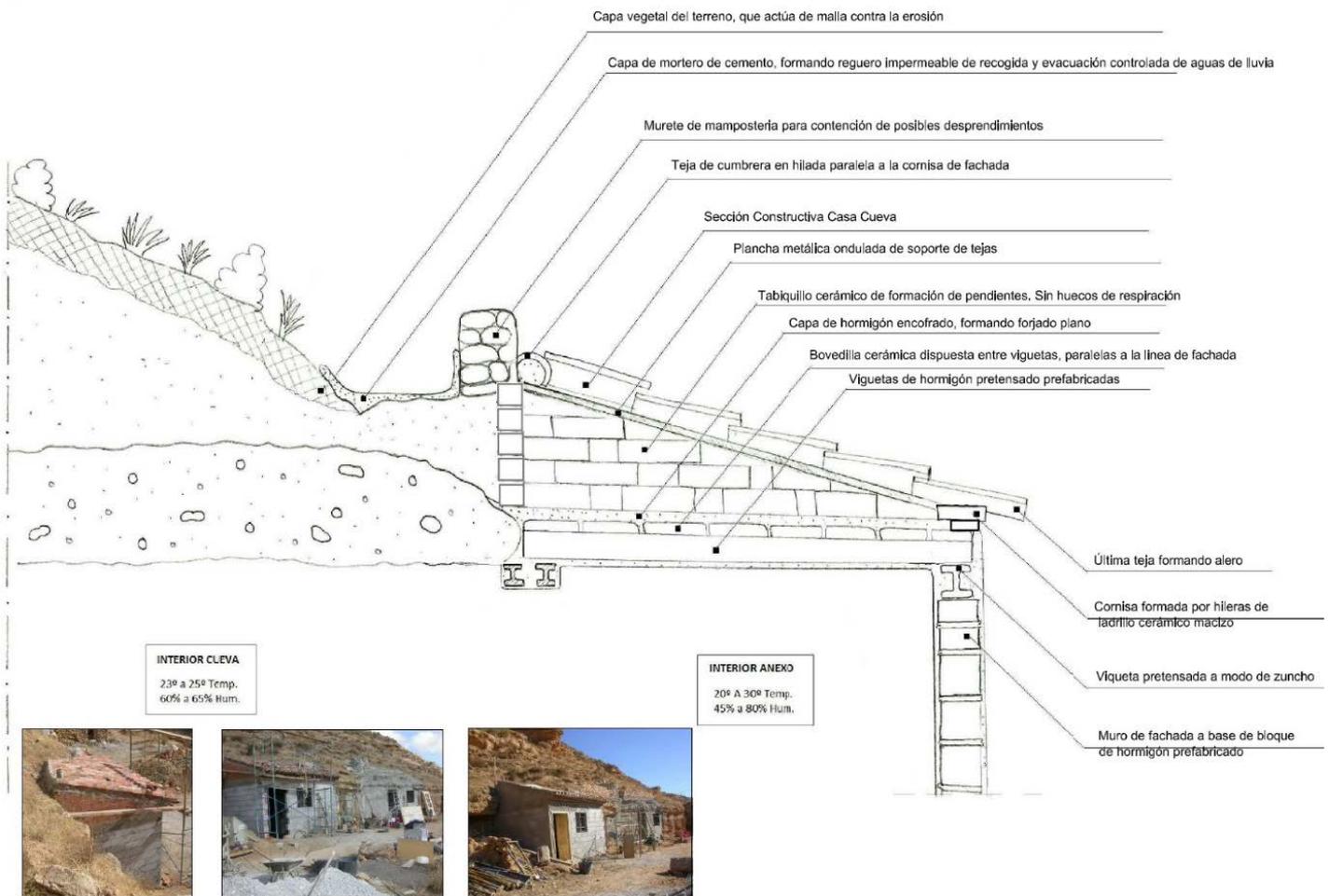
En el siguiente detalle constructivo se explica la ejecución de la chimenea. Se puede observar el hueco excavado de la sala interior (correspondiente con la sala de estar) y el conducto horadado vertical que constituye el tiro de la chimenea.

También podemos ver la construcción de un pequeño alero de tejado apoyado en la misma pendiente de la montaña, el cual favorece la evacuación del agua de lluvia y evita que se acumulen charcos de agua que puedan perjudicar a la estanqueidad de la cueva.



En el detalle que adjuntamos a continuación se ha grafiado el encuentro entre la cueva y el anexo construido, una zona de especial importancia. Se aprecia un pequeño murete de contención y una zona de evacuación de aguas de lluvia en la cubierta. Esto es muy importante para evitar patologías por filtraciones de agua en la cueva.

También se aprecia la diferencia de capas del terreno en la casa cueva, de manera que la capa que constituye el “forjado” está formada por roca conglomerada de mayor coherencia. La inmediatamente superior está constituida básicamente por arcillas y por último, la capa más externa es una capa de tierra vegetal.



Es importante destacar como característica constructiva la naturaleza del terreno. En la construcción de cualquier edificación es importante conocer el terreno sobre el que se va a trabajar, sus características geotécnicas y sus propiedades en general. Sin embargo en este tipo de construcción obviamente toma un papel protagonista. No todos los terrenos son capaces de albergar casas cueva sin entibación, es decir, sin un armazón autoportante que soporte por sí sólo los empujes del terreno.

Por ello hay que destacar que el terreno de la casa cueva que analizamos tiene unas propiedades geotécnicas que han permitido a lo largo de los siglos albergar casas cueva excavadas de manera natural y sin entibación. Éste forma una sucesión de estratos visibles, que alternan estratos más fáciles de excavar con otros de mayor compacidad y resistencia cada 3 o 5 metros (llamados lacha). Éstos últimos constituyen en la mayoría de cueva el “forjado” de cubierta, de manera que sin abovedar apenas las estancias se consigue una estabilidad estructural aceptable.

4.6 Resultados higrotérmicos anuales obtenidos

Para dar testimonio directo de las características higrotérmicas de la vivienda cueva, y demostrar mediante datos reales su idoneidad, se realizó en el PFC un estudio de temperaturas e índices de humedad. Este estudio se basó en la toma de temperaturas ambientales y grado de humedad de la cueva en una determinada visita de campo, en octubre de 2011. Para ello se confeccionaron una serie de tablas de recogida de temperaturas e índices de humedad y se utilizó instrumental doméstico. Estas tablas recogían datos de tres aspectos importantes que influyen en el confort higrotérmico:

- a. Tablas de temperatura ambiental de la cueva
- b. Tablas del índice de humedad de la cueva
- c. Tablas de caudales de ventilación de la cueva

Con los resultados obtenidos en este estudio, pudimos extraer conclusiones en lo referente al confort térmico de la cueva. Hay que destacar que en la fecha que se realizó el estudio, el clima no es extremo pues no es ni muy cálido ni muy frío. De esta manera que los gradientes térmicos obtenidos no fueron demasiado significativos. Si éste mismo estudio se hace en el mes de agosto o en el mes de enero, los resultados obtenidos dan un gradiente térmico mucho mayor.

| TABLA RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL ESTUDIO PARA EL PFC | | | | |
|--|-------------------------------------|---|--------------------------------|------------------------------|
| Fecha Toma | Tª Exterior Media (Tabla AEMET*) | Tª Interior Media (Tablas Propias**) | Gradiente térmico Ext.-Int. | Humedad Relativa media |
| Noviembre 2011 | 15.7 | 24.60 | 8.90 | 61% |

Para el PFM aquí desarrollado se amplió este estudio y se tomaron temperaturas en otros meses del año. Con todos los datos obtenidos durante las diferentes visitas a la casa cueva hemos podido obtener un perfil de comportamiento de la casa cueva bastante completo. Veremos en las tablas que a continuación adjuntamos que en algunos meses del año no se tiene registro de temperaturas. Sin embargo el estudio es lo suficientemente completo puesto que tenemos datos de cada una de las estaciones del año. También podemos ver que no todas las visitas y toma de datos se hicieron en el mismo año, tenemos datos de 2011 cuando empezamos el PFC, pero también de 2012 y 2013. Las tablas a continuación adjuntadas son una compilación de todos los datos que tenemos sobre la casa cueva. Algunas tomas se hicieron manualmente y otras mediante termohigrómetro digital.

TABLA RESÚMEN DE DATOS RECOPIADOS EN LA CASA CUEVA. SEGUIMIENTO ANUAL.

INVIERNO

| ENERO | | |
|------------------|---|--------------------------|
| Fecha de la toma | Tª exterior (Fuente: AEMET Valores medios normales) | |
| 18/01/2013 | 6,8 | |
| Profundidad 1 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 16,00 | 55,00 | 9,00 |
| 16,50 | 58,00 | 11,00 |
| 15,50 | 60,00 | 10,00 |
| 14,80 | 70,00 | 10,70 |
| 15,69 | 60,50 | 10,15 |
| Profundidad 2 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 15,50 | 55,00 | 14,00 |
| 17,50 | 59,00 | 14,00 |
| 17,00 | 56,00 | 13,00 |
| 17,80 | 65,00 | 15,00 |
| 16,93 | 58,62 | 13,98 |
| Profundidad 3 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 18,50 | 57,00 | 14,00 |
| 17,50 | 63,00 | 5,50 |
| 17,50 | 58,00 | 15,00 |
| 17,40 | 50,00 | 15,30 |
| 17,72 | 56,81 | 11,53 |
| Profundidad 4 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 19,00 | 55,00 | 15,00 |
| 16,00 | 50,00 | 16,00 |
| 15,00 | 51,00 | 15,00 |
| 15,00 | 53,00 | 16,00 |
| 16,17 | 52,21 | 15,49 |

| FEBRERO | | |
|------------------|---|--------------------------|
| Fecha de la toma | Tª exterior (Fuente: AEMET Valores medios normales) | |
| 09/02/2013 | 8,4 | |
| Profundidad 1 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 12,8 | 52 | 11,3 |
| 13 | 51 | 13,1 |
| 14,5 | 55 | 9,8 |
| 14,4 | 59 | 11,7 |
| 13,65 | 54,16 | 11,41 |
| Profundidad 2 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 15,5 | 54 | 15,1 |
| 15,7 | 60 | 13,1 |
| 13,7 | 55 | 16,8 |
| 16,8 | 64 | 14,6 |
| 15,38 | 58,11 | 14,84 |
| Profundidad 3 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 15,7 | 58 | 15,6 |
| 17,6 | 62 | 14,7 |
| 17 | 55 | 15,6 |
| 16,7 | 51 | 13,8 |
| 16,74 | 56,36 | 14,91 |
| Profundidad 4 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 16,5 | 56 | 15,8 |
| 16,8 | 52 | 15,7 |
| 17,1 | 50 | 15,8 |
| 17,5 | 55 | 15,7 |
| 16,97 | 53,20 | 15,75 |

PRIMAVERA

| MARZO | | |
|------------------|---|--------------------------|
| Fecha de la toma | Tª exterior (Fuente: AEMET Valores medios normales) | |
| 25/03/2013 | 10,7 | |
| Profundidad 1 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 13,8 | 75 | 9 |
| 12,5 | 74 | 11,6 |
| 15,5 | 72 | 14,5 |
| 16 | 75 | 11,6 |
| 14,38 | 73,99 | 11,51 |
| Profundidad 2 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 15,1 | 70 | 16,5 |
| 15,2 | 72 | 14,4 |
| 15 | 75 | 14,9 |
| 15,3 | 73 | 13,5 |
| 15,15 | 72,48 | 14,79 |
| Profundidad 3 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 17,8 | 75 | 16,3 |
| 17,6 | 73 | 15,3 |
| 18 | 70 | 18 |
| 17,5 | 74 | 14,5 |
| 17,72 | 72,98 | 15,97 |
| Profundidad 4 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 19 | 58 | 15 |
| 18,5 | 60 | 15 |
| 17 | 63 | 15 |
| 16 | 61 | 14,5 |
| 17,58 | 60,47 | 14,87 |

| ABRIL | | |
|------------------|---|--------------------------|
| Fecha de la toma | Tª exterior (Fuente: AEMET Valores medios normales) | |
| 06/04/2012 | 12,6 | |
| Profundidad 1 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 14,8 | 54 | - |
| 15,5 | 68 | - |
| 16 | 67 | - |
| 15,5 | 57 | - |
| 15,44 | 61,19 | - |
| Profundidad 2 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 16,9 | 66 | - |
| 16,9 | 64 | - |
| 15,8 | 56 | - |
| 17,1 | 63 | - |
| 16,67 | 62,13 | - |
| Profundidad 3 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 15,7 | 68 | - |
| 16,7 | 62 | - |
| 15,8 | 69 | - |
| 19 | 60 | - |
| 16,75 | 64,64 | - |
| Profundidad 4 | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento |
| 16,4 | 64 | - |
| 16,8 | 67 | - |
| 16,5 | 66 | - |
| 16,9 | 65 | - |
| 16,65 | 65,49 | - |

| AGOSTO | | | |
|------------------|--------------|---|--|
| Fecha de la toma | | Tª exterior (Fuente: AEMET Valores medios normales) | |
| 18/08/2013 | | 25,1 | |
| Profundidad 1 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| 25,8 | 51 | 25,9 | |
| 26,1 | 53 | 24,6 | |
| 24,3 | 52 | 24,1 | |
| 24,7 | 50 | 24,2 | |
| 25,21 | 51,49 | 24,69 | |
| Profundidad 2 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| 22 | 57,5 | 21,1 | |
| 21,5 | 59,5 | 20,8 | |
| 21,5 | 60,5 | 23,3 | |
| 21,5 | 62 | 20,4 | |
| 21,62 | 59,85 | 21,37 | |
| Profundidad 3 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| 23 | 53 | 19,6 | |
| 24 | 54 | 20,4 | |
| 23,3 | 55 | 17,8 | |
| 23,2 | 56 | 19,6 | |
| 23,37 | 54,49 | 19,33 | |
| Profundidad 4 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| 22 | 59 | 16,9 | |
| 21 | 58 | 17 | |
| 20,5 | 60 | 18,4 | |
| 22,6 | 60 | 18,5 | |
| 21,51 | 59,24 | 17,68 | |

| SEPTIEMBRE | | | |
|------------------|--------------|---|--|
| Fecha de la toma | | Tª exterior (Fuente: AEMET Valores medios normales) | |
| 15/09/2013 | | 21,2 | |
| Profundidad 1 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Profundidad 2 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| 22 | 67 | - | |
| 22 | 65,5 | - | |
| 22 | 64 | - | |
| 21,5 | 64,5 | - | |
| 21,87 | 65,24 | - | |
| Profundidad 3 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Profundidad 4 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| OCTUBRE | | | |
|------------------|--------------|---|--|
| Fecha de la toma | | Tª exterior (Fuente: AEMET Valores medios normales) | |
| | | 15,7 | |
| Profundidad 1 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| 21 | 80 | 14,3 | |
| 21 | 80 | 17 | |
| 25,7 | 60 | 19,4 | |
| 25,8 | 62 | 16,5 | |
| 23,25 | 69,85 | 16,70 | |
| Profundidad 2 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| 24,8 | 67 | 21,1 | |
| 24 | 60 | 20,7 | |
| 23*7 | 66 | 21,5 | |
| 25 | 55 | 19,8 | |
| 24,60 | 61,81 | 20,77 | |
| Profundidad 3 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| 26,2 | 67 | 19,5 | |
| 26,5 | 68 | 19,1 | |
| 23 | 64 | 20 | |
| 24 | 64 | 19,1 | |
| 24,88 | 65,73 | 19,42 | |
| Profundidad 4 | | | |
| Tª Ambiente | Humedad | Tª Superficial paramento | |
| 26,6 | 70 | 19,4 | |
| 25,1 | 70 | 19,9 | |
| 22 | 70 | 17,1 | |
| 24,5 | 70 | 18,1 | |
| 24,49 | 70,00 | 18,59 | |

¿Qué datos figuran en las tablas?

Las tablas son mensuales, es decir, se hace una visita en cada mes del año. Sin embargo de algunos meses no se disponen datos debido a la falta de tiempo material en la redacción del proyecto final de máster, y finalmente nuestro estudio se basa en datos estacionales, algunos que ya habíamos recopilado antes de decidir qué tema trataríamos en nuestro PFM, y otros que se tomaron con posterioridad.

En cada visita se hacen mediciones de temperatura en cada uno de los niveles de profundidad que dispone la cueva. Por tanto, de cada una de las estancias de la vivienda, se escogió una en cada profundidad, preferentemente aquella que no hubieran condiciones que alteraran la temperatura y humedad natural (ventilación excesiva, aporte de calor con estufa, chimenea o vapores de cocción...). En el croquis siguiente vemos qué estancias se seleccionaron para hacer las mediciones.

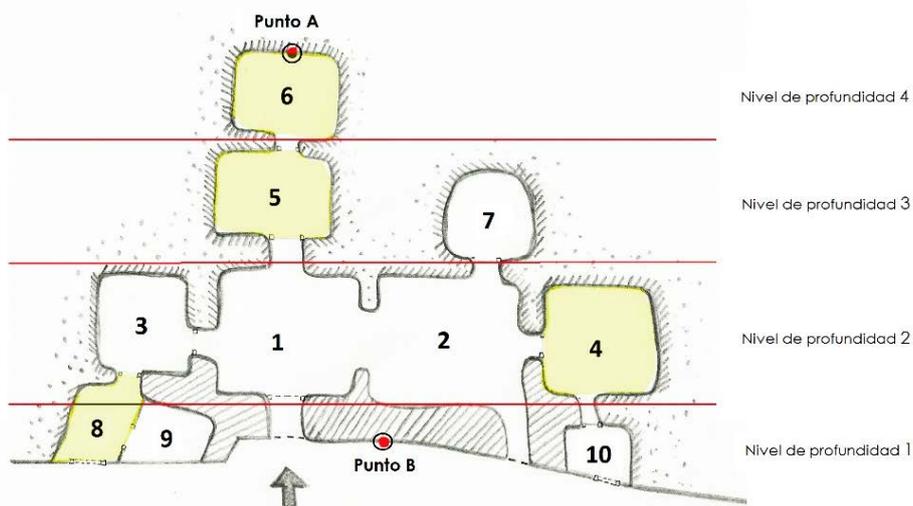


Figura 17. Croquis en planta de la cueva. Se señalan las salas de medición. Fuente propia

Las salas húmedas como la cocina y los baños se omitieron (sala 3, 9 y 10) por el aporte extra de humedad que pudieran tener. También la sala 1 por estar continuamente ventilada, ya que se hace a través de ella el acceso principal a la vivienda, y la sala 2, por ser la más caldeada en invierno al disponer de chimenea.

De cada una de las profundidades hemos seleccionado 4 datos, de los cuales hacemos media aritmética en la quinta fila de cada apartado de la tabla (destacado en negrita), para obtener un dato con fiabilidad y menor dispersión. Estos diferentes datos son de horas o días diferentes dentro de la misma visita, o pueden ser de distintas zonas de la misma estancia también.

En cada una de las tres columnas se anotan temperatura ambiental (tomada con el termohigrómetro digital o el de mercurio manual, según la visita), humedad del ambiente y también temperatura superficial del paramento de la estancia. Para este último parámetro se combinaron tomas de temperatura superficial en las diferentes paredes de una misma estancia, del techo y del suelo. En los anexos podemos ver las tablas originales donde se especifican dichos datos de origen.

Por último, para sintetizar toda esta información se creó una nueva tabla más compacta con una síntesis de los datos obtenidos. En ella, la temperatura ambiental de cada mes se refleja por la media obtenida de la profundidad 2. Esto es así porque creemos que es el nivel de profundidad más representativo de la cueva. No es demasiado externo, ni demasiado profundo. Tiene ventanas a través de las cuales circula un mínimo de ventilación, a semejanza de las viviendas convencionales. A través de ellas también entra algo de radiación solar. Y todo ello acompañado de las condiciones de aislamiento que le proporciona la inercia térmica del terreno. Además en éste nivel se desarrolla la vida en la vivienda (cocina, comedor, sala de estar, entrada...), y por superficie es el más importante.

La humedad relativa del ambiente también la representa la del nivel de profundidad 2, para que el estudio sea coherente. Además, se incluye la temperatura exterior media del mes. Ésta está extraída de la Agencia Española Meteorológica (AEMET) ^[17], basada en sus datos históricos normales, que son la media de temperaturas para ese mes desde 1971 hasta el año 2000.

VALORES CLIMATOLÓGICOS NORMALES

Granada - Base aérea

Periodo: 1971-2000 - Altitud (m): 690

Latitud: 37° 8' 10" N - Longitud: 3° 38' 0" O - Posición: Ver localización ▶

La estación climatológica más cercana al punto de estudio.

Zona climática C3

| Mes | T | TM | Tm | R | H | DR | DN | DT | DF | DH | DD | I |
|------------|------|------|------|-----|----|----|----|----|----|----|-----|------|
| Enero | 6.8 | 12.2 | 1.3 | 44 | 74 | 6 | 0 | 0 | 3 | 13 | 9 | 161 |
| Febrero | 8.4 | 14.1 | 2.6 | 36 | 69 | 6 | 0 | 0 | 2 | 6 | 7 | 161 |
| Marzo | 10.7 | 17.0 | 4.3 | 37 | 62 | 6 | 0 | 1 | 1 | 2 | 7 | 207 |
| Abril | 12.6 | 18.8 | 6.4 | 40 | 59 | 7 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 | 215 |
| Mayo | 16.5 | 23.1 | 9.8 | 30 | 55 | 5 | 0 | 2 | 1 | 0 | 5 | 268 |
| Junio | 21.3 | 28.8 | 13.9 | 16 | 48 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 11 | 314 |
| Julio | 25.3 | 33.5 | 17.1 | 3 | 41 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 22 | 348 |
| Agosto | 25.1 | 33.2 | 17.1 | 3 | 42 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 18 | 320 |
| Septiembre | 21.2 | 28.5 | 14.0 | 17 | 52 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 10 | 243 |
| Octubre | 15.7 | 21.9 | 9.5 | 40 | 64 | 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 7 | 203 |
| Noviembre | 10.6 | 16.2 | 5.1 | 46 | 73 | 6 | 0 | 1 | 2 | 3 | 8 | 164 |
| Diciembre | 7.9 | 13.1 | 2.8 | 49 | 76 | 7 | 0 | 0 | 3 | 8 | 7 | 147 |
| Año | 15.2 | 21.7 | 8.7 | 361 | 60 | 54 | 2 | 11 | 13 | 31 | 115 | 2751 |

Hay que decir que la estación meteorológica seleccionada, aun siendo la más cercana a la población de estudio, tiene condiciones climáticas diferentes, pues esta estación se encuentra en zona climática C3 (Base aérea de Granada, Armilla) y nuestra vivienda pertenece a la zona climática D2 (Belver de Guadix). Esto puede distorsionar bastante el resultado del gradiente térmico exterior-interior obtenido. Por ello se adjunta una segunda columna en la tabla de temperatura exterior, basada en los datos in situ obtenidos en nuestras propias mediciones.

Por ejemplo la temperatura exterior media que da el *AEMET* para agosto es de 25.1 grados. Lógicamente esta media se obtiene de incluir en el cálculo las temperaturas nocturnas, mucho más bajas, pues la media durante el día es mucho más alta en la población que se encuentra la cueva. Además, el clima de invierno es más severo.

Con esta tabla podemos ver el gradiente de temperaturas que existe entre el interior de la vivienda y el exterior. De esta manera podemos comparar cuantitativamente la capacidad de la vivienda para mantener la temperatura estable, cerca del confort. El primer gradiente se da tomando como temperatura exterior la de *AEMET*, el segundo, tomando nuestros propios datos. Vemos tomando nuestros propios datos el gradiente obtenido es mucho mayor.

TABLA RESÚMEN DE DATOS RECOPIADOS EN LA CASA CUEVA. SEGUIMIENTO ANUAL.

| ESTACIÓN | Fecha | Tª Exterior media 1 | Tª Exterior media 2 | Tª Interior media | Humedad media | Gradiente de temperaturas | Gradiente de temperaturas |
|------------------|------------|---------------------|---|----------------------------|----------------------------|--|--|
| | Medición | Base de datos Aemet | Datos propios del estudio | Seleccionada Profundidad 2 | Seleccionada Profundidad 2 | Diferencia absoluta entre Tª Interior y Exterior | Diferencia absoluta entre Tª Interior y Exterior 2 |
| INVIERNO | Enero | 6,8 | 5 | 16,93 | 58,62 | 10,13 | 11.93 |
| | Febrero | 8,4 | | 15,38 | 58,11 | 6,98 | |
| | Marzo | 10,7 | | 15,15 | 72,48 | 4,45 | |
| PRIMAVERA | Abril | 12,6 | 9.5 | 16,67 | 62,13 | 4,07 | 7.17 |
| | Mayo | 16,5 | | - | - | - | |
| | Junio | 21,3 | | - | - | - | |
| | Julio | 25,3 | | - | - | - | |
| VERANO | Agosto | 25,1 | 27 | 21,62 | 59,85 | -3,48 | -5.38 |
| | Septiembre | 21,2 | | 21,87 | 65,24 | 0,67 | |
| OTOÑO | Octubre | 15,7 | 12.1 | 24,60 | 61,81 | 8,90 | 12.5 |
| | Noviembre | 10,6 | Dato obtenido media entre la Tª ext.registrada en la hora fría y cálida del día | - | - | - | |
| | Diciembre | 7,9 | | - | - | - | |
| | Año | 15,2 | | 18,89 | 62.6% | | |

Las casas cuevas mantienen la temperatura ambiental interior, prácticamente constante durante todo el año, con una variación interanual de unos 5 grados, según se concluye en este apartado. Neila F.J. ^[16] apunta que las casas cueva tienen una temperatura ambiental interior alrededor de la temperatura media anual del aire de la zona, que para este caso (Granada) está entre los 17 y 23 grados. Si comprobamos estas variaciones en la tabla anterior vemos que los datos obtenidos se acercan bastante a la teoría que apuntaba el autor (15 a 24 grados, aunque se aprecia un error de más menos 1 grado centígrado, por distorsión en la medición).

Tenemos que tener en cuenta que los datos obtenidos no son absolutamente exactos, pues dependen de las características de cada cueva, la profundidad a la que se tomen, el grado de ventilación en el momento de las mediciones, y el clima exterior y la meteorología del momento de la medición. Son por tanto un media aproximada que refleja el comportamiento habitual de la temperatura de la cueva.

También decir que la temperatura de la tierra que forma o rodea la cueva suele mantenerse estable en el entorno de la media anual, en nuestro caso unos 15.2 grados, según la tabla del AEMET. Cuando la cueva tiene una profundidad media y gradual como es nuestro caso, es posible apreciar las alteraciones térmicas a lo largo del día, así como variaciones a lo largo del año.

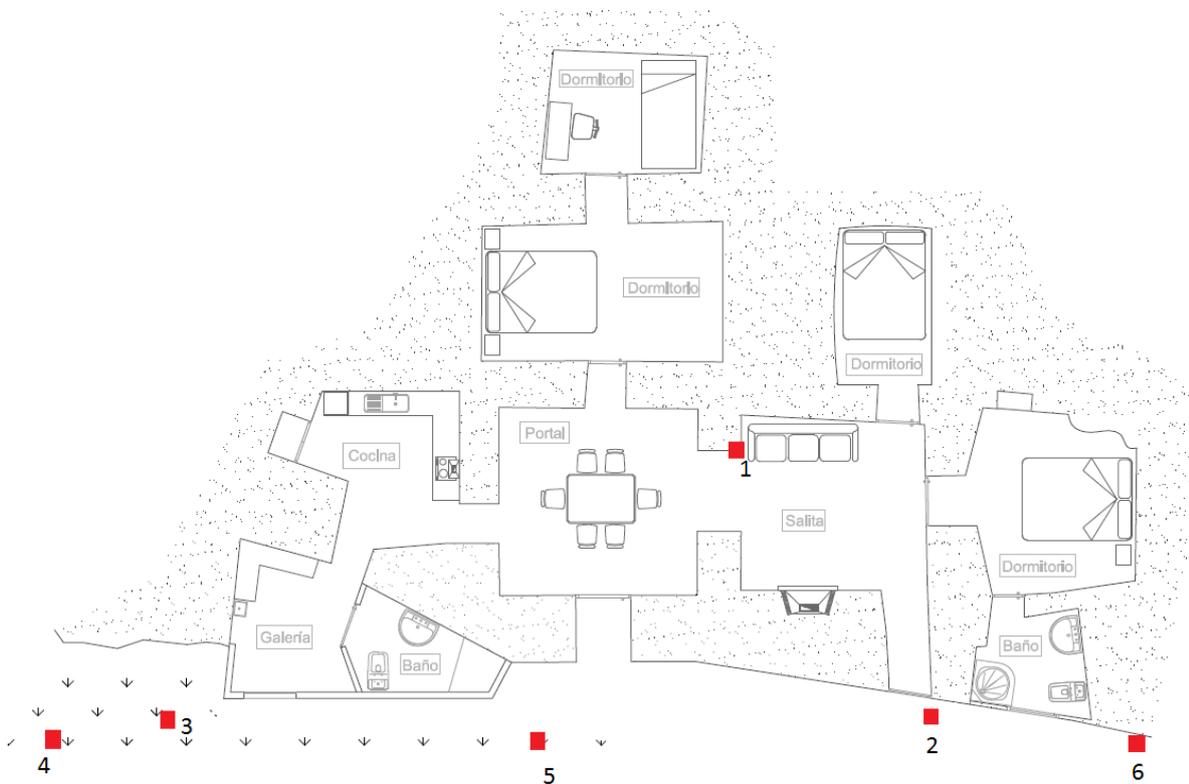
Pero en general, esta variación no supera los 5°C. Así pues, vemos que la temperatura media obtenida en el mes de octubre, seguramente está distorsionada por una medición hecha en condiciones no naturales (aporte extra de calor, exceso de ventilación, clima exterior puntualmente más cálido...).

4.7 Estudio termográfico realizado

Por último, aportamos a continuación unas termografías hechas a la casa cueva con el fin de ver las temperaturas superficiales de sus paramentos interiores, así como el comportamiento térmico de sus cerramientos al exterior. Las termografías se captaron el día 31 de marzo de 2013. La temperatura exterior ese día tuvo una media de 10.5 °C y la meteorología fue nubosa y con precipitaciones leves. El instrumental utilizado fue prestado por el Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcciones Arquitectónicas de la Universidad Jaume I.



En el croquis adjuntado a continuación vemos el punto que enfoca cada una de las termografías.



Croquis en planta. Se señalan en rojo los puntos de vista de la cámara termográfica en casa caso.

En la primera termografía se ve un paramento interior de la vivienda que se corresponde con la sala de estar, como se observa en el croquis. La cámara devuelve una imagen termográfica donde apreciamos que la temperatura superficial media ronda los 18 grados. Es una temperatura bastante alta. Esto se debe a que en el momento de la medición la chimenea estaba en funcionamiento, con el consiguiente aumento de la temperatura ambiente por carga térmica.

Si comparamos dicha temperatura con las diferentes temperaturas superficiales que se toman en las diferentes tablas de toma de datos in situ (ver Anexos) en esta estancia, veremos que la temperatura superficial de los paramentos es un valor prácticamente constante, ya que varía muy poco a lo largo del año, entre los 16 y los 20 grados.

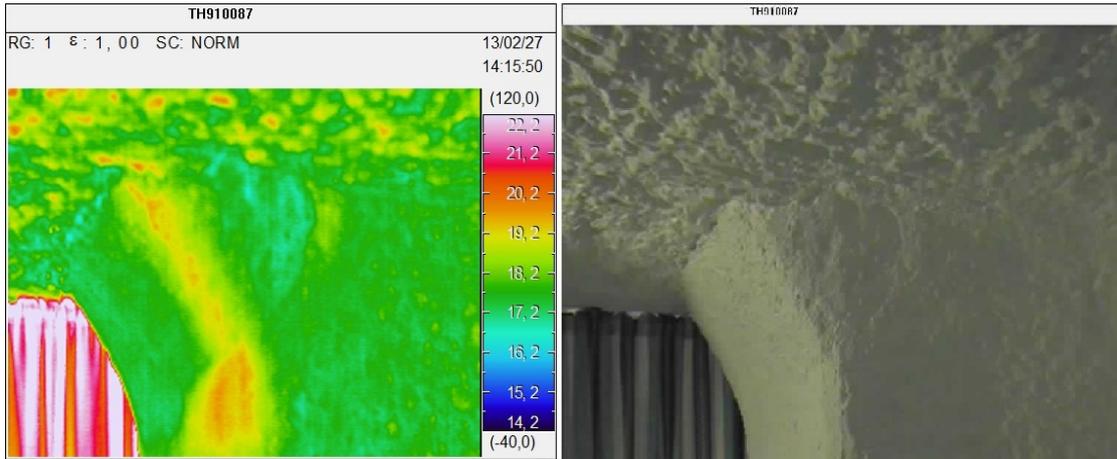
La segunda termografía se corresponde con un tramo de la fachada exterior de la cueva. En ella, también se aprecia una ventana y un ventanal. Es interesante ver cómo la fachada se mantiene a una temperatura bastante homogénea de unos 12 grados, mientras que el ventanal que da acceso a la sala donde se encontraba la chimenea en funcionamiento, tiene una temperatura aproximada de unos 16-17 grados. Es aquí por tanto donde se produce el único puente térmico, en las carpinterías.

En la termografía tercera y cuarta se aprecia el contraste entre la temperatura del terreno, más baja a unos 9 grados y la de la fachada, a unos 11,5 grados. De nuevo podemos apreciar las zonas de la carpintería más cálidas.

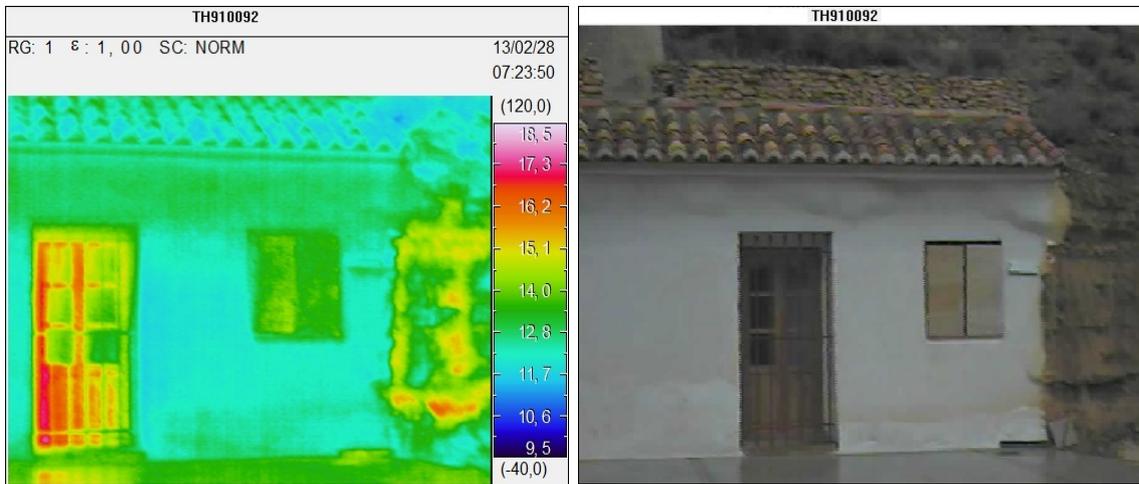
Por último, destacamos la importancia de la termografía 6. En ella vemos la diferencia entre una fachada de cueva sin revestimiento, al natural, y otra acabada, a base de hormigón proyectado. Se ve claramente que el revestimiento de hormigón hace de “abrigo” impidiendo la transmisión de temperatura.

Con este pequeño análisis hemos podido ver el comportamiento homogéneo de los paramentos de la cueva, tanto los interiores como la fachada. Esto se debe a la naturaleza continua de sus gruesos muros, los cuales están compuestos por un material homogéneo en mayor o menor medida, y que en todo caso tiene una transmitancia homogénea. No sucede esto en las viviendas convencionales de hoy en día, que tienen múltiples discontinuidades y elementos desprotegidos térmicamente que constituyen verdaderos puentes térmicos.

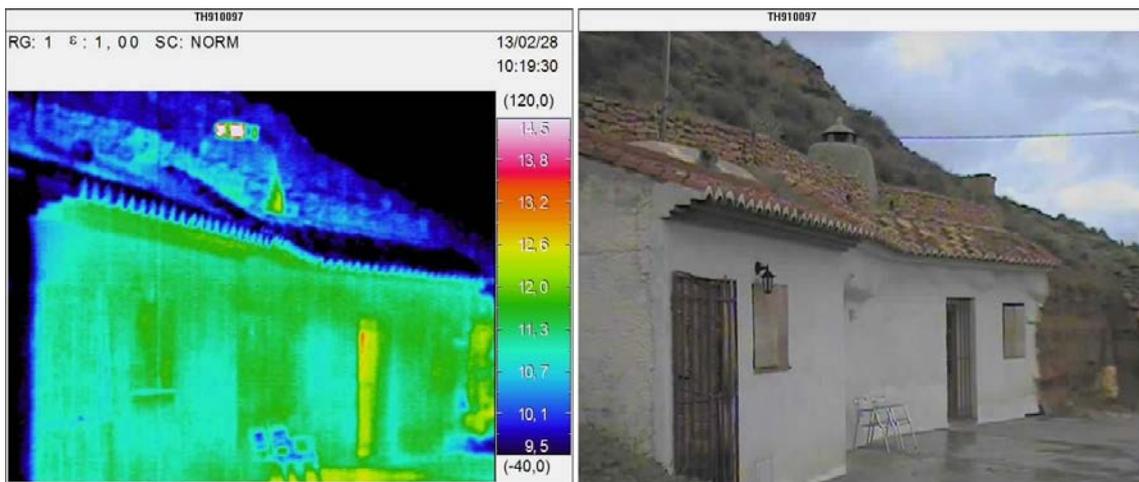
TERMOGRAFÍA 1



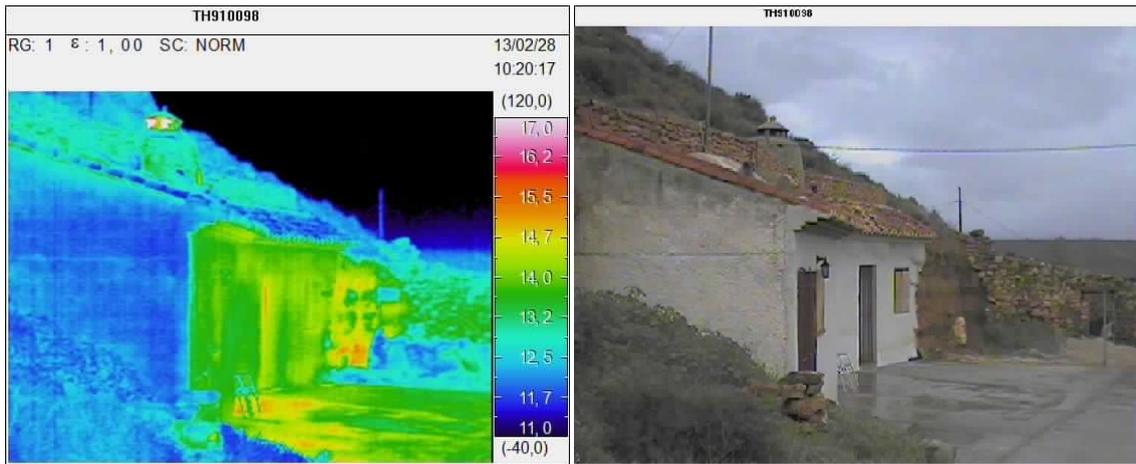
TERMOGRAFÍA 2



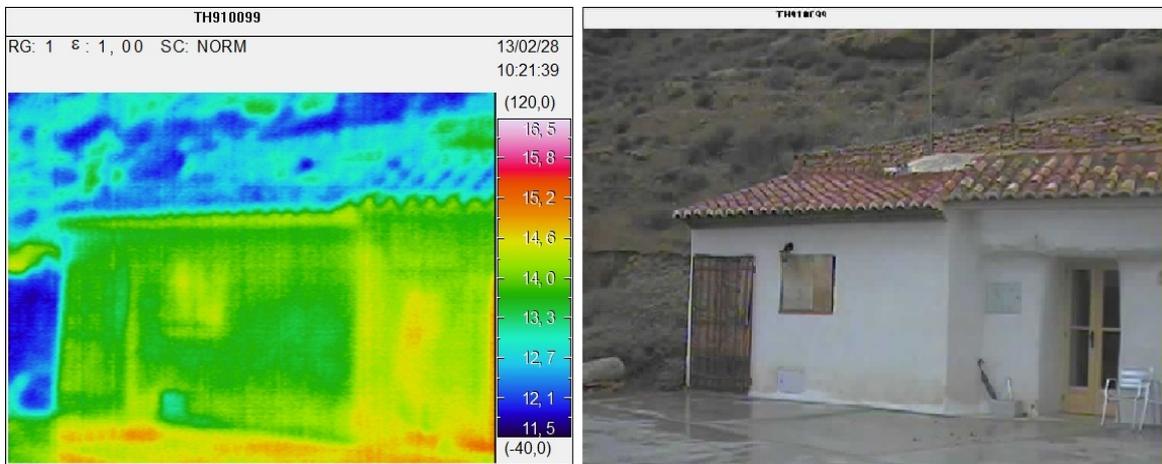
TERMOGRAFÍA 3



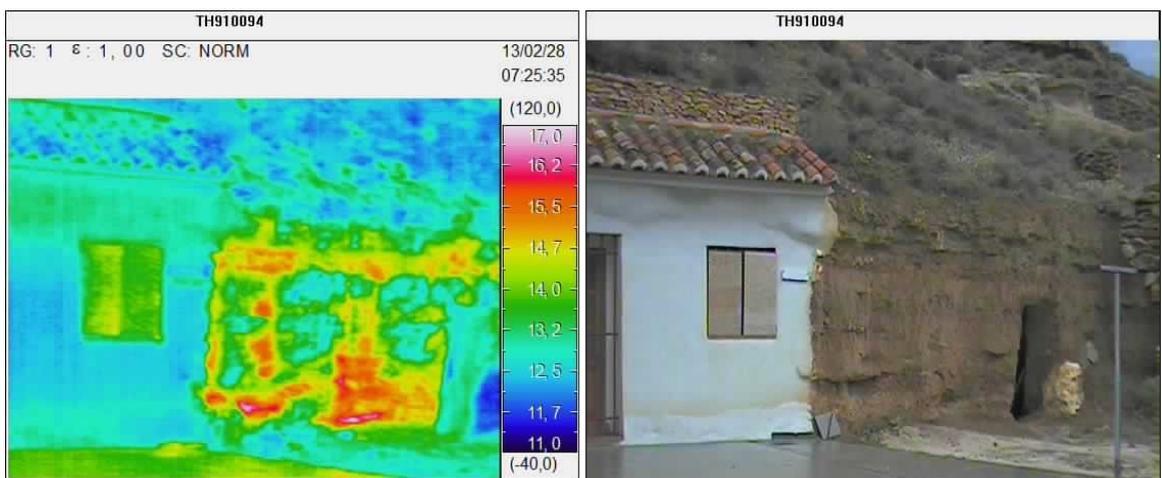
TERMOGRAFÍA 4



TERMOGRAFÍA 5



TERMOGRAFÍA 6



4.8 Conclusiones del comportamiento higrotérmico

Según los datos obtenidos en las mediciones realizadas a lo largo del año, y tomando como referencia la tabla de síntesis del apartado anterior, podemos concluir que la casa cueva tiene un comportamiento higrotérmico que destaca por su estabilidad a lo largo del año. Es decir, la variación de temperatura media de la vivienda, del día más cálido en la hora más cálida (agosto) y del día más frío a la hora más fría (marzo), es de unos **7 grados**, teniendo así un rango aproximado de temperatura media anual entre los **16 y 23 grados**. En una vivienda convencional, esta variación es mucho mayor, como veremos en el siguiente capítulo cuando comparemos con otras tipologías.

La humedad media del interior de la cueva oscila de un 50% los días más secos del año, en los que la ventilación permite la entrada de aire exterior a muy baja humedad, al 70% en los días que en el exterior hay precipitaciones y el aire exterior entra, subiendo la humedad relativa del interior. En general se mantiene una media aceptable de un **62.6%**, como vemos en la tabla de la página anterior.

El gradiente térmico entre temperatura exterior y temperatura interior es un dato muy variable, y depende de la hora del día, la época del año y las condiciones meteorológicas. Sin embargo, cabe destacar que cuando este alcanza sus valores máximos es cuando queda demostrada de manera más fehaciente la gran inercia térmica de esta tipología. Este gradiente es máximo en el mes de enero según la tabla elaborada, cuando la diferencia entre la temperatura media exterior y la temperatura media interior es de unos **11.93 grados**.

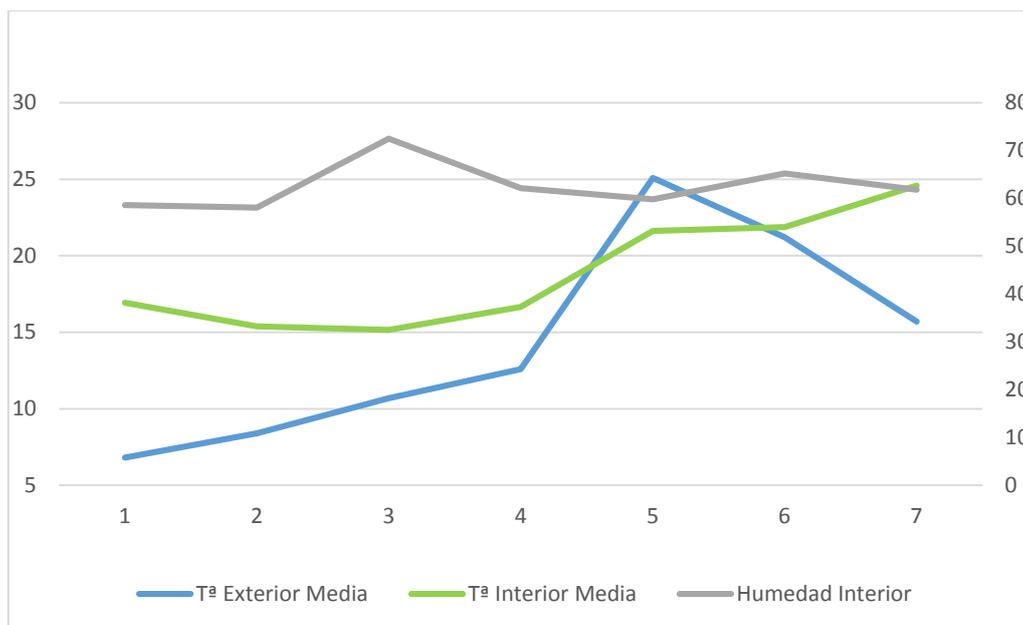
En las tablas manuscritas adjuntas en los anexos, podemos ver cómo en la fecha más calurosa del año (15 de agosto), mientras en el exterior se tomó una temperatura de 36 grados centígrados y una humedad del 33%, en el interior obtuvimos una temperatura media de 24 grados y una humedad entorno al 55%, condiciones de confort térmico óptimas. Por otro lado, en enero, que es el mes más frío del año, vemos que mientras en el exterior se comprobó una temperatura de unos 3 grados centígrados, en interior se conservaba una agradable temperatura de unos 18.7 grados. Por tanto, viendo dichos comportamientos en momentos del año de máximas y mínimas temperaturas exteriores creemos que queda demostrado el óptimo comportamiento de la casa cueva.

Estos gradientes obviamente son máximos puntuales, que corresponden con la temperatura exterior de la hora más cálida o más fría, de fechas del año de pleno invierno o pleno verano. Por eso nos da un valor tan espectacular.

Sin embargo son gradientes mucho mayores que en viviendas convencionales, a las que les afectan más los cambios de temperatura exterior, y por tanto no consiguen mantener unas condiciones higrotérmicas tan agradables en su interior.

En la siguiente gráfica hemos querido sintetizar los datos obtenidos, comparando la temperatura exterior media a lo largo del año con la temperatura interior media y la humedad interior media (se coge una muestra de 7 meses representativos).

Podemos observar que la temperatura interior media tiene un comportamiento más estable y constante que la exterior, como era de esperar. Lo interesante a destacar es que en los meses más calurosos del año, coincidentes con los valores 4, 5 y 6 del eje de abscisas, la temperatura interior media permanezca por debajo de la temperatura exterior media, aun cuando a lo largo del año su tendencia es a estar por encima. Nuevamente vemos como el confort higrotérmico de la vivienda se ve favorecido por su comportamiento natural o bioclimático.



Gráfica de contraste Tª Interior y Exterior.

Por lo tanto, viendo dichos resultados queda demostrado el comportamiento higrotérmico óptimo de dicha tipología, y el ahorro económico que repercute al prescindir de sistemas de climatización. En el próximo capítulo, analizaremos las condiciones higrotérmicas de otras tipologías constructivas en comparación con la cueva, a fin de comprobar cuantitativamente esta diferencia.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CASA CUEVA

5. ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CASA CUEVA

5.1 Estudio higrotérmico comparativo de la casa cueva

5.1.1 Planteamiento y objetivos del estudio

En esta parte del estudio, hemos querido ir más allá del estudio de temperaturas en la casa cueva. Como ampliación del estudio hemos estudiado el comportamiento higrotérmico de otras tipologías arquitectónicas diferentes, en la misma población. Esto lo hacemos con el objetivo de ver realmente cuán grande es la inercia térmica de la cueva, tomando como referencia otras viviendas, y por tanto su eficiencia energética.

Para ello, planteamos estudiar el comportamiento higrotérmico de otras viviendas convencionales, con la misma metodología que utilizamos en el estudio de la casa cueva. Por tanto se efectuarían mediciones de temperatura y humedad mediante el termohigrómetro digital y los resultados se compararían con los obtenidos en la casa cueva, de manera que podríamos obtener conclusiones respecto a la temperatura media en ambas tipologías, la variación diaria entre temperatura mínima y máxima, el nivel de humedad...

En este punto del estudio el gran inconveniente ha sido la lejanía del lugar. Al realizar pocas visitas al año a la vivienda objeto de estudio y contar tan sólo con dos termohigrómetros digitales, las tomas no se han podido hacer de manera simultánea.

En la casa cueva y la casa convencional sí se hicieron simultáneamente y además el registro de datos se prolongó todo un mes, del 18 de agosto al 18 de septiembre. Sin embargo en la casa tradicional, al no contar con un tercer termohigrómetro se tuvieron que hacer las tomas en otra fecha distinta y durante un par de días solamente. A continuación se aportan las gráficas completas de las tres tomas, donde podemos ver esta diferencia. Para la comparativa sin embargo, solo tendremos en cuenta los datos tomados en la fecha en común, de manera que la comparación esté en igualdad de condiciones.

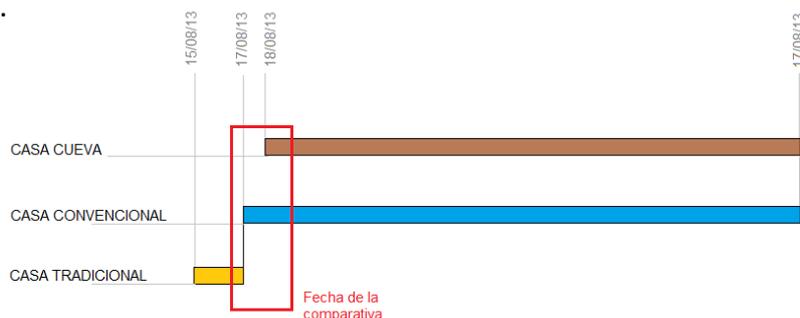


Figura 18. Diagrama temporal de mediciones. Se señala en rojo las fechas de solape.

5.1.2 Justificación de los modelos escogidos en la comparativa

Pero, ¿Qué viviendas son las más apropiadas en la comparativa? Esta pregunta sin duda ha representado un punto a pensar y reflexionar muy importante en esta parte del estudio.

En un primer momento se pensó estudiar para la comparativa una vivienda adosada construida recientemente y conforme a las exigencias del CTE ubicada en Granada capital, a la cual tenemos acceso. Esta comparativa podría haber sido muy interesante sino fuera porque las zonas climáticas de ambas tipologías difieren. La cueva está en Belerda de Guadix, que es zona climática C3 como hemos visto anteriormente, y la vivienda adosada a la que se tiene acceso está en Granada capital, zona climática D2. Por lo tanto la comparativa no tendría sentido, al tener condiciones climáticas diferentes. Aunque finalmente se rechazó esta vivienda para incluirla en la comparativa, sí se incluyen los datos obtenidos en la toma, en los anexos.

Teniendo en cuenta que lo ideal para realizar un estudio comparativo con rigor fuera elegir viviendas en la misma localidad que la cueva, para jugar en igualdad de condiciones, se hizo un pequeño análisis de las tipologías existentes en la localidad y posteriormente se escogieron dos ejemplos de viviendas de diferentes épocas y sistemas constructivos para el estudio. De esta manera, mediante el estudio del comportamiento higrotérmico de las tres viviendas, pudimos ver cómo los sistemas constructivos de las diferentes épocas influyen en el aislamiento, la inercia térmica y por tanto, su eficiencia energética.

A continuación se adjunta un esquema de las diferentes tipologías arquitectónicas que existen en la localidad de Belerda de Guadix, señaladas en rojo. El ordenamiento se hace siguiendo una línea cronológica. La cuarta tipología es una vivienda de tipo adosado en cumplimiento con la antigua norma tecnológica CT-79 y anterior al código técnico ubicada en Granada capital. Es ésta la cuarta vivienda en cuestión en la que hicimos mediciones, pero que finalmente no se incluyó en el estudio comparativo, por no estar en la localidad de estudio ni pertenecer a la misma zona climática de la cueva.

Como último escalón de tipología, se sitúa una vivienda actual construida en 2013 conforme al código técnico y todas sus especificaciones en lo que a eficiencia energética se refiere.

Estas dos últimas tipologías no se estudiarán como se ha dicho, sin embargo sería interesante ampliar el estudio siguiendo esta línea de investigación, para poder contrastar realmente las diferencias entre casa cueva y casa actual, conforme a toda la reglamentación actual.

ESQUEMA CRONOLÓGICO DE TIPOLOGÍAS ARQUITECTÓNICAS



Así pues se decidió estudiar en la comparativa con la casa cueva, una vivienda que no fuera de arquitectura vernácula, eligiendo una construida en los años 70, y otra a medio camino entre ésta y la casa cueva, una vivienda tradicional rural a base de muros de mampostería.

En el esquema se aportan fotografías de ambas viviendas. Creemos que es interesante ver qué resultados obtenemos al comparar viviendas de diferentes épocas, sobre todo por el hecho de que a priori, pensamos que la que mejor comportamiento puede tener es la más antigua y simple, la casa cueva, seguida de la tradicional y dejando en último lugar a la moderna, anterior al CTE.

5.1.3 Descripción de las viviendas analizadas en la comparativa

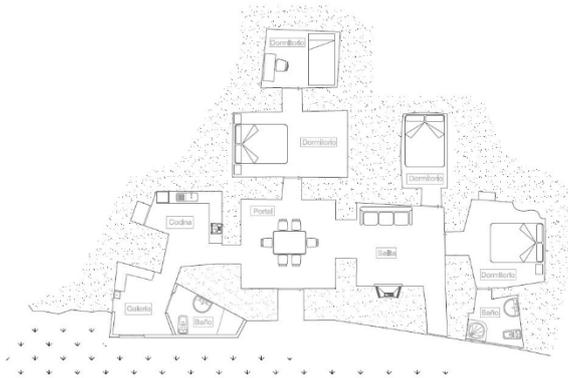
5.1.3.1 La casa cueva



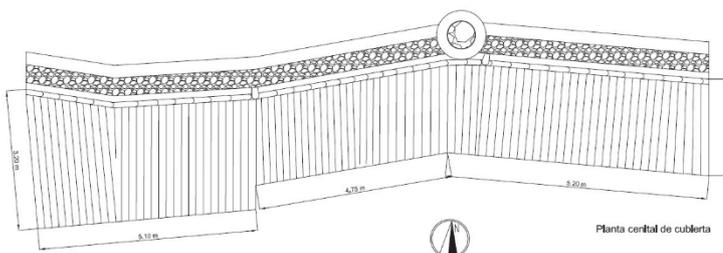
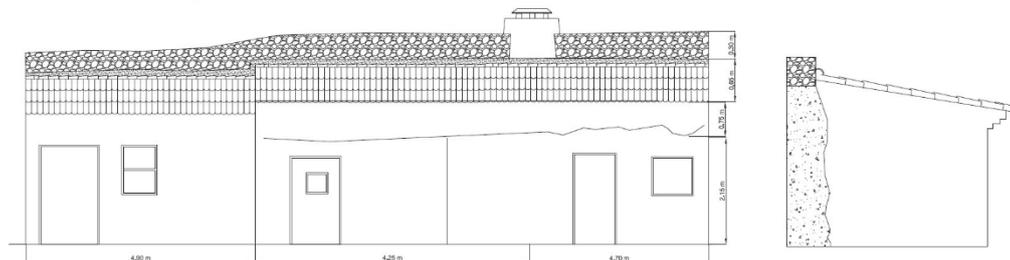
Vistas frontales y de detalle de la chimenea de la Casa cueva. Fuente propia.

Poco más hay que decir de la casa cueva, pues en los primeros capítulos de este proyecto se hace una detallada descripción de la tipología y sus particularidades. Como resumen, aportamos un plano de planta, los alzados y una sección.

PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE LA VIVIENDA



VISTAS DE ALZADO, PLANTA CENTRAL Y PERFIL



5.1.3.2 La casa tradicional rural



Casa tradicional, año 1930. Fuente propia

Por orden cronológico o como evolución a la casa cueva le sigue la tipología arquitectónica de vivienda que hemos denominado “tradicional”, una vivienda de una o dos plantas construida a base de muros gruesos de mampuestos tomados con argamasa, que constituyen muros portantes de la estructura, forjado y cubierta ejecutada con vigas macizas de madera y teja árabe curva. Los paramentos exteriores suelen ir revocados con cal.

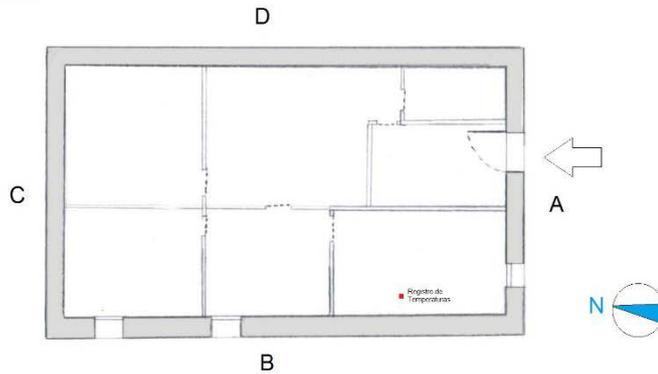
En nuestro caso, hemos seleccionado una vivienda tradicional a base de muros de mampostería cuya construcción se remonta alrededor de 1930. Esta vivienda en su origen estaba constituida por una planta baja y un semisótano, en pendiente con el terreno como podemos observar en las fotografías y croquis. Posteriormente se alzó una tercera planta hecha con ladrillo y técnicas constructivas modernas, de manera que en el estudio de temperaturas se seleccionó una estancia de la planta baja para estudiar las condiciones de vivienda tradicional que nos interesaban.

Hay que señalar que esta vivienda aprovecha la inercia térmica del terreno, ya que en su fachada posterior y su fachada nordeste están en contacto con el terreno. También influye en su aislamiento la construcción de una tercera planta. Ésta, hace la función de cámara de aire y atenúa los cambios de temperatura exterior. Las ventanas son de geometría cuadrada o rectangular y de reducidas dimensiones. Hoy en día disponen de una carpintería moderna de baja permeabilidad, de manera que no dejan pasar el aire frío de invierno ni el caluroso poniente de los meses estivales.

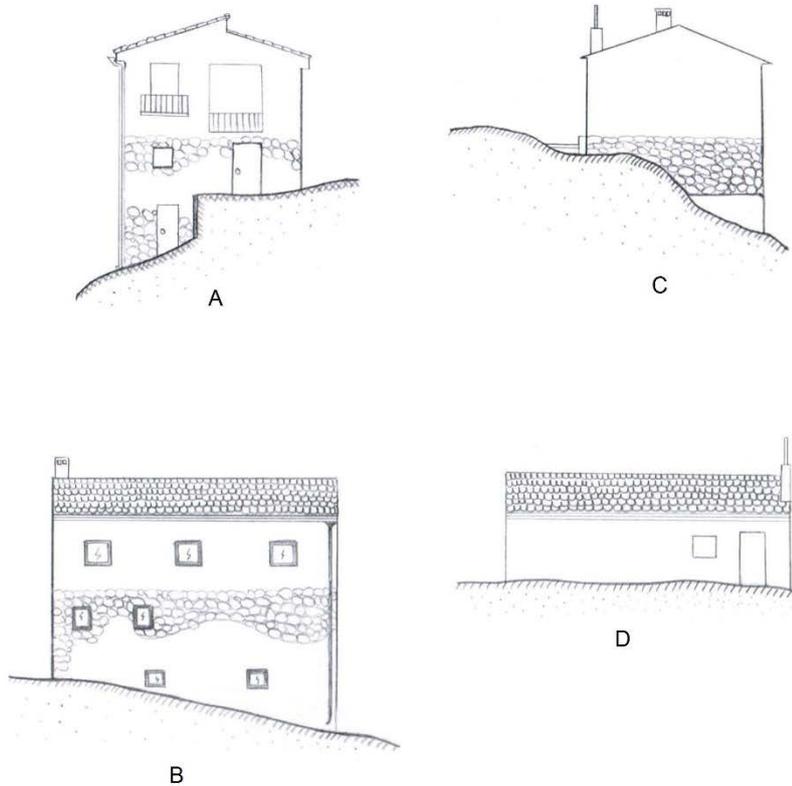
Esta vivienda se encuentra muy próxima a la casa cueva y la habitación seleccionada donde hemos colocado el termohigrómetro para realizar el registro de datos se encuentra en la fachada orientada al sur, a igualdad de condiciones que la casa cueva. En el siguiente croquis de planta se señala el punto de medida.

Los muros portantes tienen un grosor estimado de 60 cm y los materiales con los que están constituidos son locales, piedras y barro de la zona circundante. La inercia térmica es notable y se aprecia al entrar, pero los datos del termohigrómetro nos lo confirmarán.

PLANTA DE LA VIVIENDA



ALZADOS DE LAS DIFERENTES FACHADAS



5.1.3.3 La casa contemporánea



Casa contemporánea construida en los 70. Fuente propia

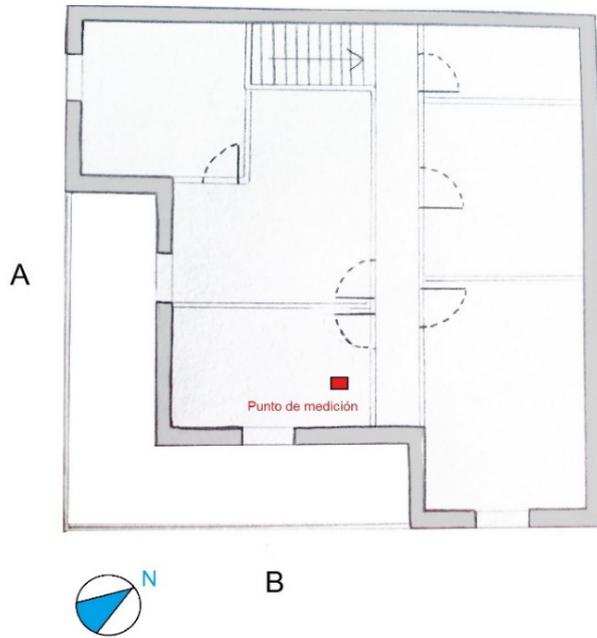
Esta vivienda fue construida alrededor de 1970, cuando la norma tecnológica CT-79 aún no estaba vigente. Por tanto hemos deducido la composición de su fachada debido a que la mayoría de edificaciones de esta época cuenta con fachadas de doble hoja de ladrillo con una pequeña cámara de aire, pero sin aislamiento térmico. Una hoja se hace mediante ladrillo cara vista de 12 cm de espesor, y la segunda hoja se hace mediante ladrillo hueco simple de 4 cm de espesor.

Esta vivienda se encuentra situada en la localidad de estudio, pero en la parte baja de la misma. La orientación de las fachadas se hace a sur y a este. Por tanto para el registro de temperaturas ubicaremos el termómetro en una estancia cuyo cerramiento dé a sur, a igualdad de condiciones que en las otras tipologías.

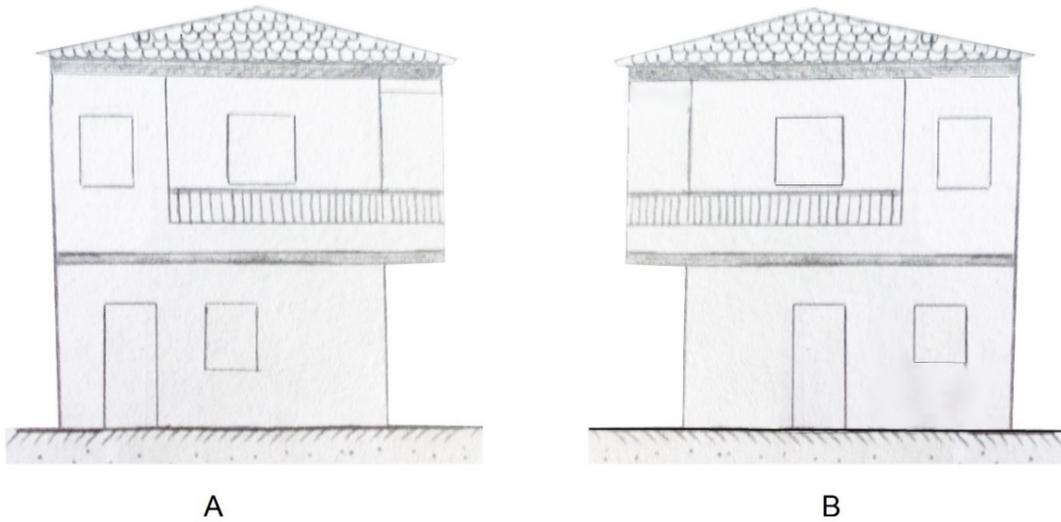
Hay señalar que esta vivienda, al tener dos de sus fachadas expuestas y otras dos que constituyen medianera, está algo más protegida que la vivienda tradicional, que es exenta.

Como podemos ver en las fotografías, la vivienda cuenta con aparatos de aire acondicionado para climatizar en días de frío o épocas de calor. Con esto ya podemos sospechar el comportamiento térmico poco óptimo que tiene la vivienda en los meses de temperaturas más extremas. Sin embargo, durante el mes de mediciones no se pusieron en marcha dichos mecanismos para evitar la distorsión en los datos.

PLANTA DE LA VIVIENDA. PRIMER PISO.



ALZADOS DE LAS FACHADAS



5.1.4 Resultados esperados en el estudio

Casa Cueva, 1880.

Viendo los datos obtenidos (apartado 4.6) durante las mediciones obtenidas en la casa cueva podemos prever que su comportamiento higrotérmico será favorable, y en todo caso será mejor que en las otras tipologías, es decir, la temperatura ambiental media en verano será la más baja y en invierno la más alta.

La casa cueva utiliza la misma estrategia de aislamiento térmico que la vivienda tradicional rural, la inercia térmica de sus cerramientos y también la del terreno. En este caso, son grandes muros conformados por el propio terreno. Aunque el espesor de estos muros es variable, se estima un espesor medio de 160 cm. Lógicamente este recurso, junto con las reducidas dimensiones de los huecos hacen que las condiciones térmicas exteriores afecten muy poco al interior de la vivienda.

Esto se comprueba en la tabla que hemos obtenido en el apartado 4.6 pues vemos que a lo largo del año la temperatura media interior tiene una variación muy pequeña, de unos 7 grados.

Vivienda Tradicional Rural, 1930.

La vivienda tradicional rural que analizamos, emplea como estrategia principal de acondicionamiento pasivo los muros de alta inercia térmica. Estos muros se han estimado en unos 60 cm de espesor. Otras estrategias pasivas que utiliza es la reducción de los huecos para evitar mayores superficies de transmitancia (zona climática D2 de alta severidad en invierno) y también el aprovechamiento de la inercia térmica del terreno, pues parte del volumen de la vivienda está enterrando, al construirse en una pendiente.

Vemos por tanto que, a pesar de no contar con los materiales aislantes actuales, la vivienda funcionará bastante bien desde el punto de vista del comportamiento térmico.

Mediante la tabla Excel de la opción simplificada del CTE DB HE hemos querido simular el cerramiento de la vivienda para obtener un valor aproximado de transmitancia térmica, y compararlo con la que marca la normativa actual. La normativa actual exige que los cerramientos cumplan con una transmitancia máxima de 0.86 W/m²K para esta zona climática, sin embargo nuestra opción (marcando como material similar “Tierra apisonada, tapia, adobe”, pues no se ofrece la opción mampostería) nos da un valor aproximado de 1.169 W/m²K.

Así pues prevemos que los valores obtenidos en las tomas experimentales, aun siendo peores que los de la casa cueva, sean aceptables y en todo caso mejores que los obtenidos en la casa contemporánea.

Tabla 2.1 Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en W/m^2K

| Cerramientos y particiones interiores | ZONAS A | ZONAS B | ZONAS C | ZONAS D | ZONAS E |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Muros de fachada, particiones interiores en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno | 1,22 | 1,07 | 0,95 | 0,86 | 0,74 |
| Suelos ⁽²⁾ | 0,69 | 0,68 | 0,65 | 0,64 | 0,62 |
| Cubiertas ⁽³⁾ | 0,65 | 0,59 | 0,53 | 0,49 | 0,46 |
| Vidrios y marcos | 5,70 | 5,70 | 4,40 | 3,50 | 3,10 |
| Medianerías | 1,22 | 1,07 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

⁽¹⁾ Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

⁽²⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de cámaras sanitarias, se consideran como suelos

⁽³⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de desvanes no habitables, se consideran como cubiertas

| Fachada Vivienda Tradicional (mampostería) | | | | | |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|
| Posición del cerramiento y sentido del flujo del calor | | | | | |
| Fachadas ventilada | | | | | |
| No se consideran las capas exteriores a la cámara ventilada | | | | | |
| | e | lamda | R | R | |
| | metros | W/mK | m2KW | m2KW | |
| Rse | | | | | |
| 2 0,130 | | | | | |
| Tierra apisonada, tapia, adobe | 146 | 0,600 | 1,1 | | 0,545 |
| | 72 | 0,120 | | | 0,000 |
| | 119 | 0,010 | | | 0,000 |
| | 71 | 0,050 | | | 0,000 |
| Enlucido de yeso | 116 | 0,015 | 0,3 | | 0,050 |
| | 71 | 0,070 | | | 0,000 |
| | 119 | 0,020 | | | 0,000 |
| | 17 | | | | 0,000 |
| Rsi | | | | | |
| 2 0,130 | | | | | |
| Resistencia térmica $R_t = \text{Suma } R_i$ | | 0,885 | m2KW | 0,855 | |
| Transmitancia $U = 1 / R_t$ | | | W/m2K | 1,169 | |
| | | | U max | 0,86 | |

Vivienda Contemporánea, 1970.

La vivienda contemporánea, como se ha dicho anteriormente se construyó antes de que entrara en vigor la norma tecnológica CT-79, que obligaba a colocar en los cerramientos aislamiento térmico. De manera que esta carencia repercute mucho en la transmitancia térmica de la fachada.

Sin este aislamiento podemos estar hablando de una $U=1.305 W/m^2K$ aproximadamente, como se ha calculado mediante la opción simplificada que ofrece el documento básico DB HE.

Aunque la normativa actual no es de aplicación en este caso, podemos comparar este valor obtenido con respecto a la máxima que establece la normativa actual para ver cuán desprotegida está esta vivienda debido a la conductividad térmica de la fachada.

El CTE DB HE1 en su tabla 2.1 a continuación adjunta, establece en $0,86 \text{ W/m}^2\text{K}$ la transmitancia máxima de la fachada para esta zona climática. A priori no es de extrañar por tanto que los valores obtenidos en las tomas realizadas experimentalmente sean desfavorables.

Tabla 2.1 Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en $\text{W/m}^2\text{K}$

| Cerramientos y particiones interiores | ZONAS A | ZONAS B | ZONAS C | ZONAS D | ZONAS E |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Muros de fachada, particiones interiores en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno | 1,22 | 1,07 | 0,95 | 0,86 | 0,74 |
| Suelos ⁽²⁾ | 0,69 | 0,68 | 0,65 | 0,64 | 0,62 |
| Cubiertas ⁽³⁾ | 0,65 | 0,59 | 0,53 | 0,49 | 0,46 |
| Vidrios y marcos | 5,70 | 5,70 | 4,40 | 3,50 | 3,10 |
| Medianerías | 1,22 | 1,07 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

⁽¹⁾ Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

⁽²⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de cámaras sanitarias, se consideran como suelos

⁽³⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de desvanes no habitables, se consideran como cubiertas

Fachada Vivienda Contemporánea 1970

Posición del cerramiento y sentido del flujo del calor: Medianera sin edificio colindante = fachada

| | e | lamda | R | R |
|---|--------|-------|-------|--------------|
| | metros | W/mK | m2KW | m2KW |
| Rse | | | | 0,040 |
| MORTERO DE CEMENTO 1800<-d<2000 | 93 | 0,010 | 1,3 | 0,008 |
| Ladrillo perforado PF | 62 | 0,120 | 0,35 | 0,343 |
| C.Aire vertical 1cm sin ventilar | 47 | 0,020 | 0,15 | 0,150 |
| Ladrillo hueco LH | 60 | 0,020 | 0,32 | 0,063 |
| Enlucido de yeso | 116 | 0,010 | 0,3 | 0,033 |
| | 30 | | | 0,000 |
| | 31 | | | 0,000 |
| | 30 | | | 0,000 |
| Rsi | | | | 0,130 |
| Resistencia térmica Rt = Suma Ri | | 0,18 | m2KW | 0,766 |
| Transmitancia U = 1 / Rt | | | W/m2K | 1,305 |
| | | | U max | 0,86 |

NO CUMPLE TRANSMITANCIA MÁXIMA

5.1.5 Resultados y conclusiones obtenidas de la comparativa

En este apartado vamos a incluir las gráficas de datos obtenidas en el estudio comparativo realizado. Estas gráficas nos las da el software de lectura de los datos registrados con el termohigrómetro digital.

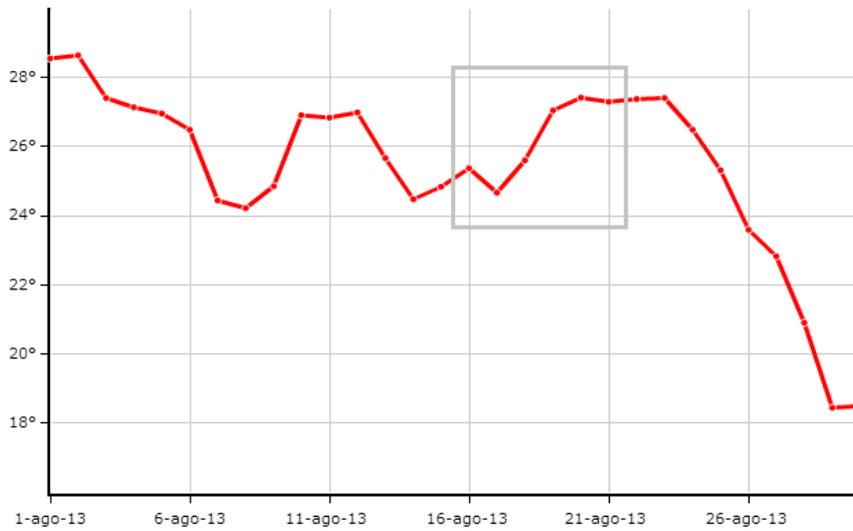
En ellas se puede leer según el momento exacto (día y hora, eje de abscisas) la temperatura ambiental (función grafiada en ROJO), la humedad ambiental (función grafiada en AZUL) y también la temperatura de punto de rocío (función grafiada en VERDE), sin embargo este último dato no lo tendremos en cuenta en nuestro estudio, pues carecemos de problemas por condensación.

Debido a que los períodos de lectura no coinciden exactamente en el tiempo, como se ha explicado en el punto introductorio de este capítulo, limitaremos la comparativa a una muestra de 48 horas únicamente, las cuales sí se aproximan en el tiempo en las tres lecturas:

- **Lectura Casa Cueva:** 18/08/2013 al 20/08//2013
- **Lectura Casa Tradicional:** 15/08/2013 al 17/08//2013
- **Lectura Casa Convencional:** 17/08/2013 al 19/08//2013

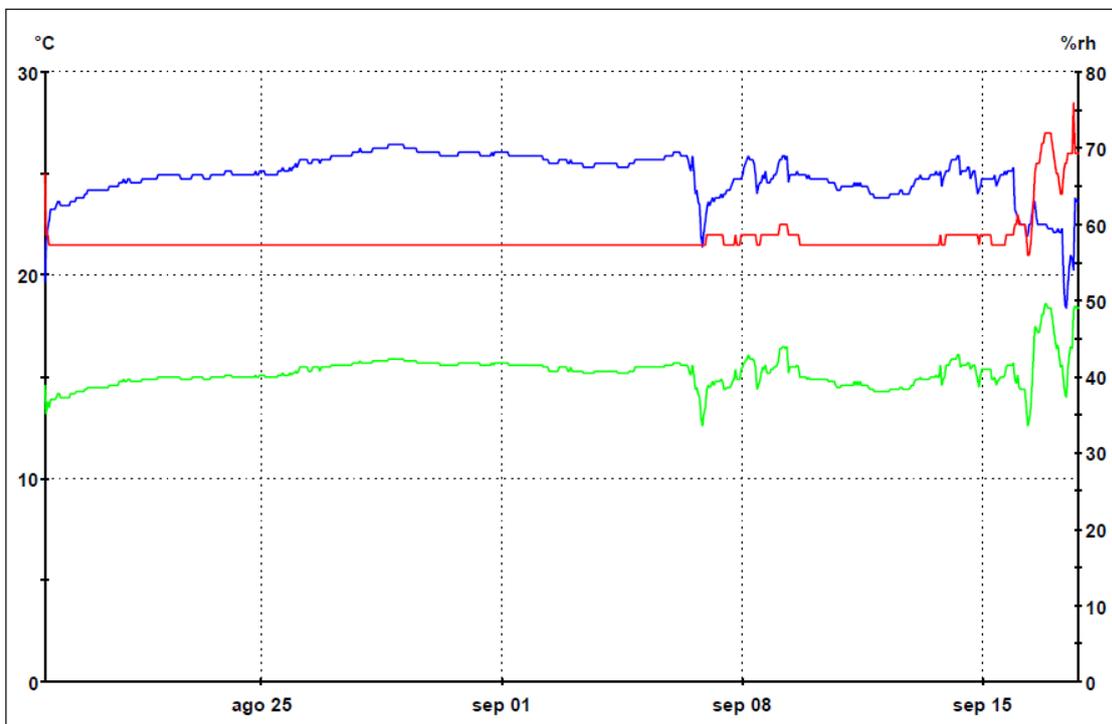
Para ver claramente los datos obtenidos, hemos pasado estas gráficas obtenidas a una tabla Excel (limitando la muestra a 48 horas) y a continuación hemos trazado en una única gráfica las funciones de cada una de las tipologías, una gráfica de tres funciones para la temperatura media interior y una gráfica con tres funciones para la humedad media interior. De esta manera tenemos solapadas las funciones de cada vivienda y podemos analizar a golpe de vista las diferencias entre ellas.

Hay que recalcar el hecho de que esta comparativa se realiza en uno de los momentos más cálidos del año, en la segunda quincena del mes de agosto. Las temperaturas exteriores son muy altas durante todo el día, aunque refrescan bastante durante la noche. Según los datos de la gráfica abajo adjunta^[34], la temperatura media del día ronda los 27 °C, llegando a superar los 30 grados en las horas centrales del día.



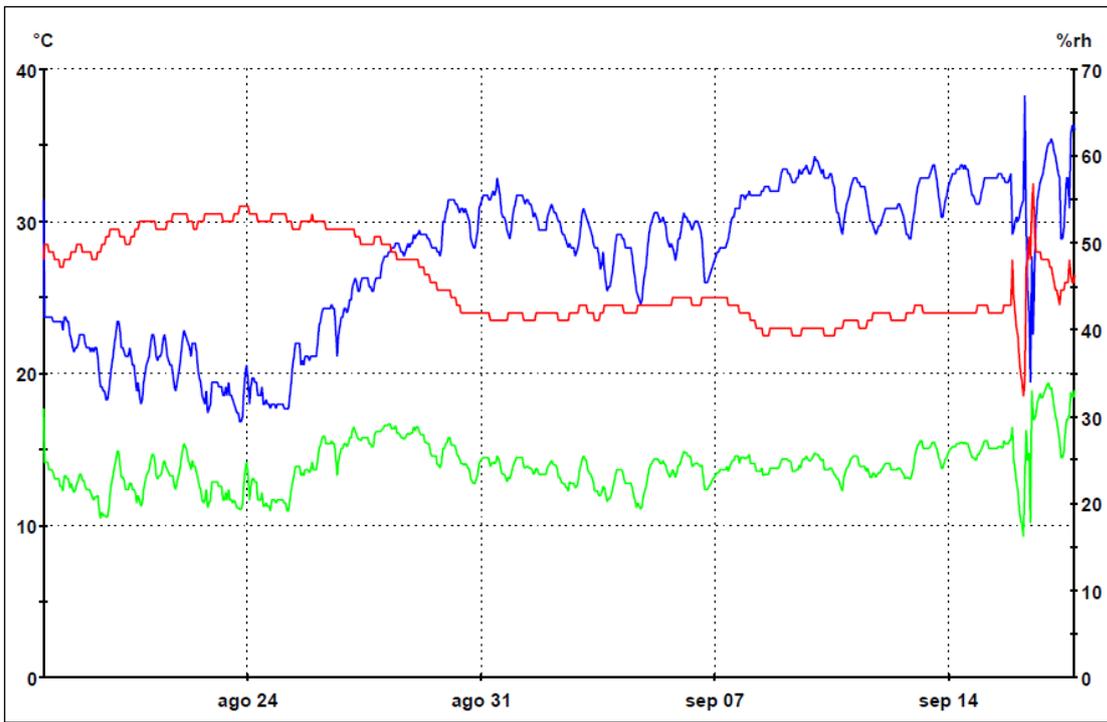
Gráfica de datos históricos en el mes de Agosto de 2013. Datos basados en las predicciones meteorológicas para el tiempo.es. Se recuadran las temperaturas de la fecha de estudio.

Lectura Casa Cueva: 18/08/2013 al 17/09/2013



From:- 18 August 2013 16:58:11 To:- 17 September 2013 18:58:11

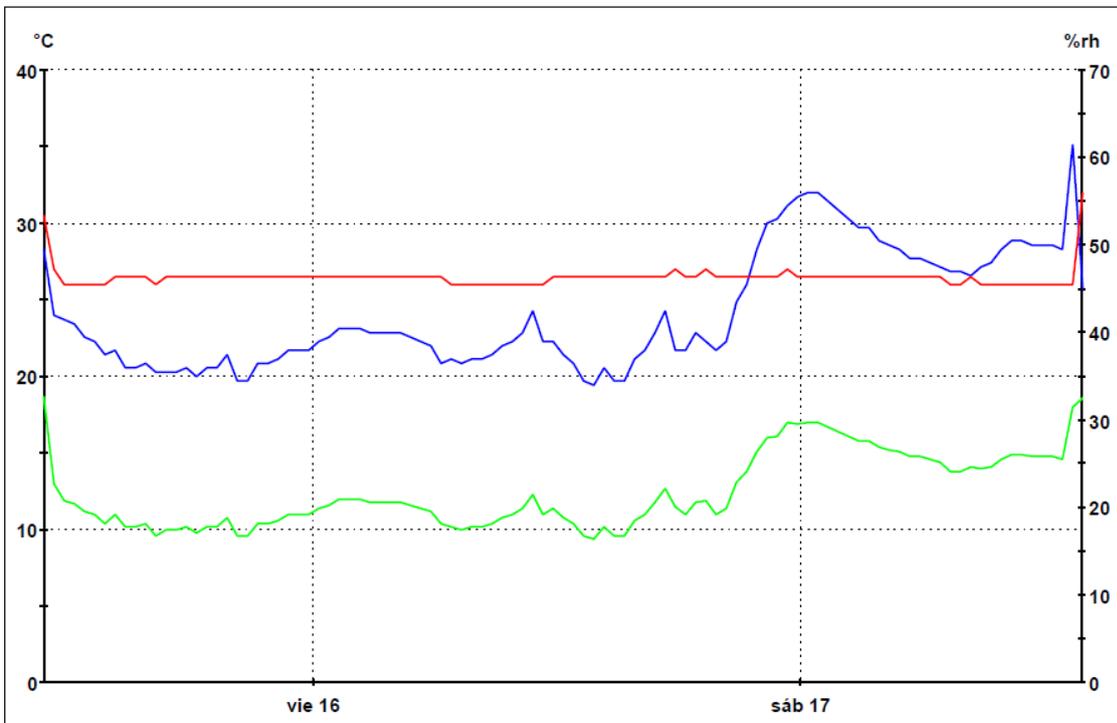
Lectura Casa Convencional 17/08/2013 al 17/09//2013



— Celsius — dew point — Humidity

From:- 17 August 2013 21:27:54 To:- 17 September 2013 18:27:54

Lectura Casa Tradicional: 15/08/2013 al 17/08//2013



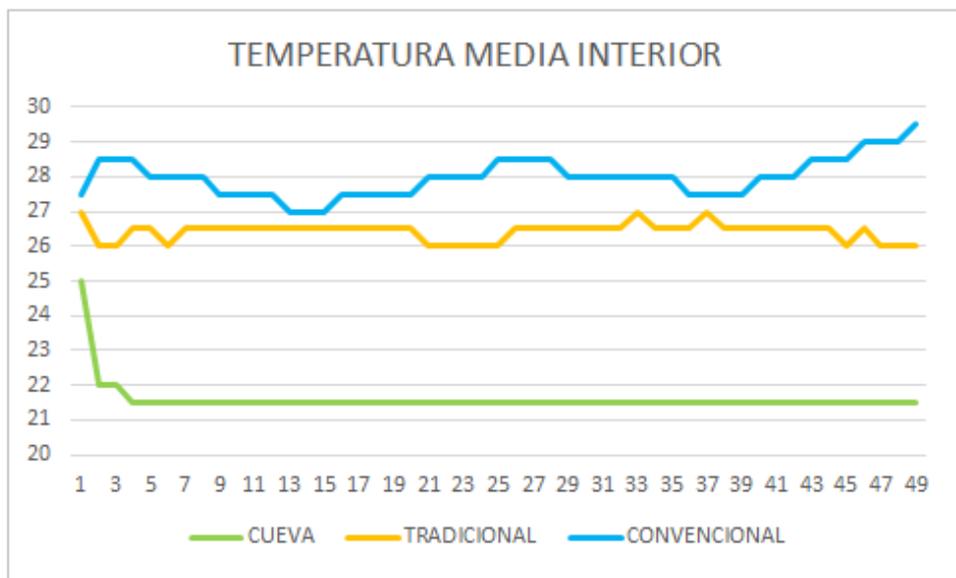
— Celsius — dew point — Humidity

From:- 15 August 2013 10:47:02 To:- 17 August 2013 13:47:02

| CUEVA | | | TRADICIONAL | | | CONVENCIONAL | | |
|------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|
| Time | Tª(°C) | H(%rh) | Time | Tª(°C) | H(%rh) | Time | Tª(°C) | H(%rh) |
| 18/08/2013 16:58 | 25 | 52,5 | 15/08/2013 11:17 | 27 | 42 | 17/08/2013 21:27 | 27,5 | 55 |
| 18/08/2013 17:58 | 22 | 57,5 | 15/08/2013 12:17 | 26 | 41 | 17/08/2013 22:27 | 28,5 | 41,5 |
| 18/08/2013 18:58 | 22 | 59,5 | 15/08/2013 13:17 | 26 | 39 | 17/08/2013 23:27 | 28,5 | 41,5 |
| 18/08/2013 19:58 | 21,5 | 60,5 | 15/08/2013 14:17 | 26,5 | 38 | 18/08/2013 0:27 | 28,5 | 41,5 |
| 18/08/2013 20:58 | 21,5 | 62 | 15/08/2013 15:17 | 26,5 | 36 | 18/08/2013 1:27 | 28 | 41,5 |
| 18/08/2013 21:58 | 21,5 | 62 | 15/08/2013 16:17 | 26 | 35,5 | 18/08/2013 2:27 | 28 | 41,5 |
| 18/08/2013 22:58 | 21,5 | 62 | 15/08/2013 17:17 | 26,5 | 35,5 | 18/08/2013 3:27 | 28 | 41,5 |
| 18/08/2013 23:58 | 21,5 | 62 | 15/08/2013 18:17 | 26,5 | 35 | 18/08/2013 4:27 | 28 | 41 |
| 19/08/2013 0:58 | 21,5 | 62,5 | 15/08/2013 19:17 | 26,5 | 36 | 18/08/2013 5:27 | 27,5 | 41 |
| 19/08/2013 1:58 | 21,5 | 63 | 15/08/2013 20:17 | 26,5 | 34,5 | 18/08/2013 6:27 | 27,5 | 41 |
| 19/08/2013 2:58 | 21,5 | 63 | 15/08/2013 21:17 | 26,5 | 36,5 | 18/08/2013 7:27 | 27,5 | 41 |
| 19/08/2013 3:58 | 21,5 | 62,5 | 15/08/2013 22:17 | 26,5 | 37 | 18/08/2013 8:27 | 27,5 | 41 |
| 19/08/2013 4:58 | 21,5 | 62,5 | 15/08/2013 23:17 | 26,5 | 38 | 18/08/2013 9:27 | 27 | 41 |
| 19/08/2013 5:58 | 21,5 | 62,5 | 16/08/2013 0:17 | 26,5 | 39 | 18/08/2013 10:27 | 27 | 41 |
| 19/08/2013 6:58 | 21,5 | 62,5 | 16/08/2013 1:17 | 26,5 | 40,5 | 18/08/2013 11:27 | 27 | 40 |
| 19/08/2013 7:58 | 21,5 | 62,5 | 16/08/2013 2:17 | 26,5 | 40,5 | 18/08/2013 12:27 | 27,5 | 41,5 |
| 19/08/2013 8:58 | 21,5 | 62,5 | 16/08/2013 3:17 | 26,5 | 40 | 18/08/2013 13:27 | 27,5 | 41,5 |
| 19/08/2013 9:58 | 21,5 | 62,5 | 16/08/2013 4:17 | 26,5 | 40 | 18/08/2013 14:27 | 27,5 | 41 |
| 19/08/2013 10:58 | 21,5 | 63 | 16/08/2013 5:17 | 26,5 | 39 | 18/08/2013 15:27 | 27,5 | 41 |
| 19/08/2013 11:58 | 21,5 | 63 | 16/08/2013 6:17 | 26,5 | 36,5 | 18/08/2013 16:27 | 27,5 | 39,5 |
| 19/08/2013 12:58 | 21,5 | 63 | 16/08/2013 7:17 | 26 | 36,5 | 18/08/2013 17:27 | 28 | 39 |
| 19/08/2013 13:58 | 21,5 | 63 | 16/08/2013 8:17 | 26 | 37 | 18/08/2013 18:27 | 28 | 38 |
| 19/08/2013 14:58 | 21,5 | 63,5 | 16/08/2013 9:17 | 26 | 38,5 | 18/08/2013 19:27 | 28 | 37,5 |
| 19/08/2013 15:58 | 21,5 | 63,5 | 16/08/2013 10:17 | 26 | 40 | 18/08/2013 20:27 | 28 | 38 |
| 19/08/2013 16:58 | 21,5 | 63,5 | 16/08/2013 11:17 | 26 | 39 | 18/08/2013 21:27 | 28,5 | 38 |
| 19/08/2013 17:58 | 21,5 | 63,5 | 16/08/2013 12:17 | 26,5 | 37,5 | 18/08/2013 22:27 | 28,5 | 38,5 |
| 19/08/2013 18:58 | 21,5 | 63,5 | 16/08/2013 13:17 | 26,5 | 34,5 | 18/08/2013 23:27 | 28,5 | 39,5 |
| 19/08/2013 19:58 | 21,5 | 63,5 | 16/08/2013 14:17 | 26,5 | 36 | 19/08/2013 0:27 | 28,5 | 39,5 |
| 19/08/2013 20:58 | 21,5 | 64 | 16/08/2013 15:17 | 26,5 | 34,5 | 19/08/2013 1:27 | 28 | 39,5 |
| 19/08/2013 21:58 | 21,5 | 64 | 16/08/2013 16:17 | 26,5 | 38 | 19/08/2013 2:27 | 28 | 39,5 |
| 19/08/2013 22:58 | 21,5 | 64,5 | 16/08/2013 17:17 | 26,5 | 42,5 | 19/08/2013 3:27 | 28 | 38,5 |
| 19/08/2013 23:58 | 21,5 | 64,5 | 16/08/2013 18:17 | 26,5 | 38 | 19/08/2013 4:27 | 28 | 38 |
| 20/08/2013 0:58 | 21,5 | 64,5 | 16/08/2013 19:17 | 27 | 39 | 19/08/2013 5:27 | 28 | 38 |
| 20/08/2013 1:58 | 21,5 | 64,5 | 16/08/2013 20:17 | 26,5 | 39 | 19/08/2013 6:27 | 28 | 38 |
| 20/08/2013 2:58 | 21,5 | 64,5 | 16/08/2013 21:17 | 26,5 | 45,5 | 19/08/2013 7:27 | 28 | 37,5 |
| 20/08/2013 3:58 | 21,5 | 64,5 | 16/08/2013 22:17 | 26,5 | 52,5 | 19/08/2013 8:27 | 27,5 | 38 |
| 20/08/2013 4:58 | 21,5 | 64,5 | 16/08/2013 23:17 | 27 | 54,5 | 19/08/2013 9:27 | 27,5 | 37,5 |
| 20/08/2013 5:58 | 21,5 | 64,5 | 17/08/2013 0:17 | 26,5 | 56 | 19/08/2013 10:27 | 27,5 | 38 |
| 20/08/2013 6:58 | 21,5 | 64,5 | 17/08/2013 1:17 | 26,5 | 55 | 19/08/2013 11:27 | 27,5 | 38 |
| 20/08/2013 7:58 | 21,5 | 64,5 | 17/08/2013 2:17 | 26,5 | 53 | 19/08/2013 12:27 | 28 | 37 |
| 20/08/2013 8:58 | 21,5 | 64,5 | 17/08/2013 3:17 | 26,5 | 52 | 19/08/2013 13:27 | 28 | 35 |
| 20/08/2013 9:58 | 21,5 | 64,5 | 17/08/2013 4:17 | 26,5 | 50 | 19/08/2013 14:27 | 28 | 33,5 |
| 20/08/2013 10:58 | 21,5 | 64,5 | 17/08/2013 5:17 | 26,5 | 48,5 | 19/08/2013 15:27 | 28,5 | 33,5 |
| 20/08/2013 11:58 | 21,5 | 64,5 | 17/08/2013 6:17 | 26,5 | 48 | 19/08/2013 16:27 | 28,5 | 33 |
| 20/08/2013 12:58 | 21,5 | 64,5 | 17/08/2013 7:17 | 26 | 47 | 19/08/2013 17:27 | 28,5 | 33 |
| 20/08/2013 13:58 | 21,5 | 65 | 17/08/2013 8:17 | 26,5 | 46,5 | 19/08/2013 18:27 | 29 | 32 |
| 20/08/2013 14:58 | 21,5 | 65 | 17/08/2013 9:17 | 26 | 48 | 19/08/2013 19:27 | 29 | 32 |
| 20/08/2013 15:58 | 21,5 | 65 | 17/08/2013 10:17 | 26 | 50,5 | 19/08/2013 20:27 | 29 | 33 |
| 20/08/2013 16:58 | 21,5 | 65 | 17/08/2013 11:17 | 26 | 50 | 19/08/2013 21:27 | 29,5 | 34,5 |
| MEDIA | 21.5 | 63.0 | | 26.5 | 42.0 | | 28.0 | 39.0 |

Con estos datos obtenidos hemos elaborado las gráficas adjuntas a continuación donde podemos observar el comportamiento de cada una de las tipologías.

Se ve claramente que la curva de la casa cueva es la más constante, de hecho en las 48 horas de medición la temperatura permanece constante en los 21.5 grados. Esta temperatura está dentro del rango de temperatura de confort que marca la RITE o el CTE.



La curva de la casa tradicional se queda por debajo de la casa convencional, aunque bastante alejada de la casa cueva. La casa tradicional por tanto tiene un mejor comportamiento que la vivienda contemporánea analizada, como era de esperar. También se observa menor variabilidad de datos. Su temperatura media está en torno a los 26.5 grados. Esta temperatura es algo más alta de lo que marca el confort térmico.

La curva de la casa contemporánea demuestra claramente que esta vivienda tiene un peor comportamiento higrotérmico. La temperatura media es demasiado alta, entorno a los 28 grados. A partir de los 26 grados la sensación térmica es desagradable, así que con 28 grados es bastante incómoda en los meses calurosos del año. Además, viendo este comportamiento en verano suponemos que será igualmente desfavorable, incluso más aun, en invierno cuando las condiciones se recrudecen debido a la zona climática en que nos encontramos en este caso (zona climática D2).

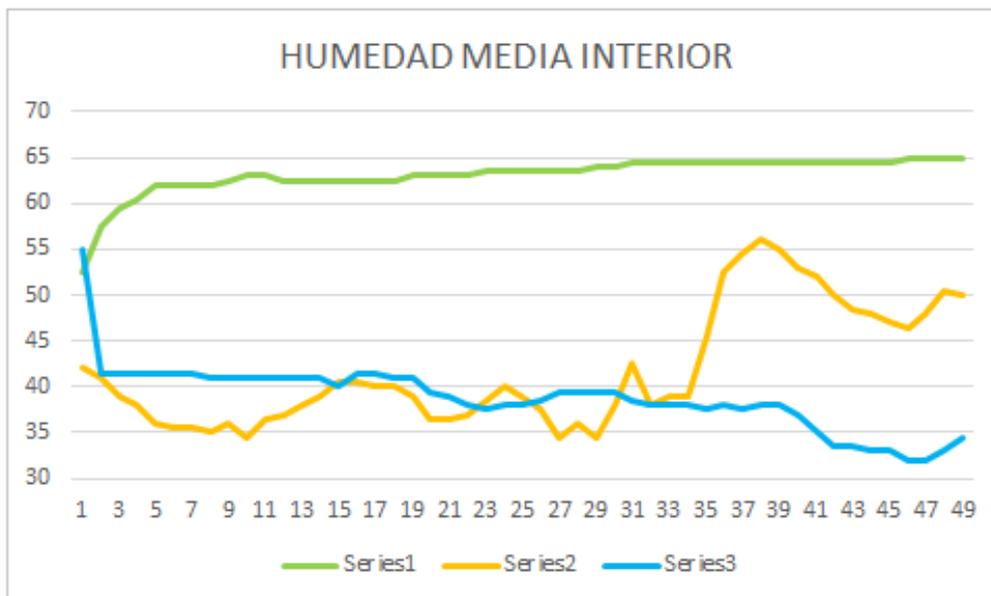
Respecto a la variabilidad de la función, vemos que es aún más variable que la función de la casa tradicional. Esto es así porque las variaciones diarias de temperatura exterior afectan irremediabilmente a la temperatura interior, debido a la gran transmitancia de sus cerramientos.

En esta otra gráfica se comparan los niveles de humedad de las diferentes tipologías. En este caso la tipología que más humedad tiene es claramente la casa cueva.

La casa cueva conserva prácticamente estable también su nivel de humedad, entorno al 63%. Este nivel de humedad está también dentro del rango de humedad de confort que marca la RITE o el CTE, establecido entre un 40% y un 70%.

Sin embargo en los otros dos casos, existen importantes variaciones de humedad a lo largo de las 48 horas de la medición. La casa tradicional varía de una humedad mínima del 33%, por debajo del nivel de confort, hasta un 56%. En todo caso la humedad ambiental media se sitúa en un 42%, por lo que está por debajo del nivel ideal de confort.

En el caso de la casa contemporánea también se observan variaciones, aunque menos. En general es más constante que el nivel de humedad de la casa tradicional aunque la media se sitúa por debajo de esta, en torno a un 39%. Este bajo nivel de humedad provoca sequedad en la piel y las mucosas.



5.2 Estudio luminotécnico de la casa cueva

5.2.1 Cálculo del factor de iluminación natural en cada estancia

En este apartado vamos a estudiar las condiciones luminotécnicas naturales de la casa cueva. Es uno de los aspectos arquitectónicos que menos se tiene en cuenta en los diseños bioclimáticos y sin embargo, este tipo de iluminación presenta una serie de ventajas como son el ahorro energético y la mejora de la calidad y confort del ambiente luminoso interior.

Lógicamente el nivel de iluminación natural dependerá de ciertas condiciones naturales inamovibles y otras características modificables: situación geográfica, latitud, orientación, época del año y del día, número, tamaño y posición de los huecos... etc.

- Nivel de iluminación exterior.
- Características formales, dimensionales y ópticas de los elementos del entorno a efectos de obstáculos y reflexiones.
- Orientación en la que se encuentre la fachada, ya que la cantidad, calidad y uniformidad de la luz depende de ésta:

- SUR: mayor ganancia solar en cantidad y periodo de tiempo, produciendo ambientes más luminosos. Existe posibilidad de deslumbramiento por lo que se recomienda la inclusión de filtros solares en estancias donde se necesite alta calidad visual.

- ESTE Y OESTE: deslumbramiento directo debido al bajo ángulo de inclinación solar en ambas orientaciones. Comportamiento térmico regular.

- NORTE: no hay problemas de deslumbramientos; es la orientación más adecuada a efectos de tareas de alta calidad visual como bibliotecas y centros de trabajo, la peor para aprovechamiento de ganancias térmicas de la exposición solar en invierno.

- Tamaño de los huecos y espesor de los muros
- Tipos de acristalamiento y elementos de control solar
- Posición relativa de los huecos respecto al espacio a iluminar
- Forma y dimensiones del espacio a ser iluminado
- Color de las superficies del espacio interior y, en consecuencia, absortividad y reflectividad. Los acabados claros, de alta reflectividad, resultan adecuados a efectos de iluminación, siempre que no se produzcan deslumbramientos.

Estudiar el factor de iluminación natural de una vivienda nos permite aprovechar el potencial ahorro energético derivado de un menor consumo de luz artificial. Para estudiar el nivel de iluminación natural de la casa cueva hemos recurrido a un software de simulación especializado en recreación de condiciones luminotécnicas, DIALUX.

Para ello debemos introducir en el programa la geometría de la vivienda. Se puede introducir estancia por estancia, para hacer un estudio particularizado de casa sala, o bien se introduce la geometría general. En nuestro caso hemos optado por introducir la vivienda completa.

Le indicamos los huecos que tenemos, definiendo en casa caso posición en la fachada, tamaño y material. Se puede introducir también el mobiliario, pero influye muy poco en el resultado de manera que en este caso lo hemos obviado. También conviene, para ser rigurosos, indicar el color de las paredes, el techo y el suelo, así como también el del mobiliario.

Por último introducimos la ubicación y orientación de la vivienda, y el día del año y la hora para el cual vamos a calcular dicho factor. En este caso, calcularemos para una época del año intermedia, el equinoccio de primavera (21 de marzo) a las 10.30 de la mañana. De esta manera no calculamos para un momento demasiado favorable o demasiado desfavorable, y por lo tanto obtenemos un factor de iluminancia natural (FIN) representativo y fiel a la realidad.

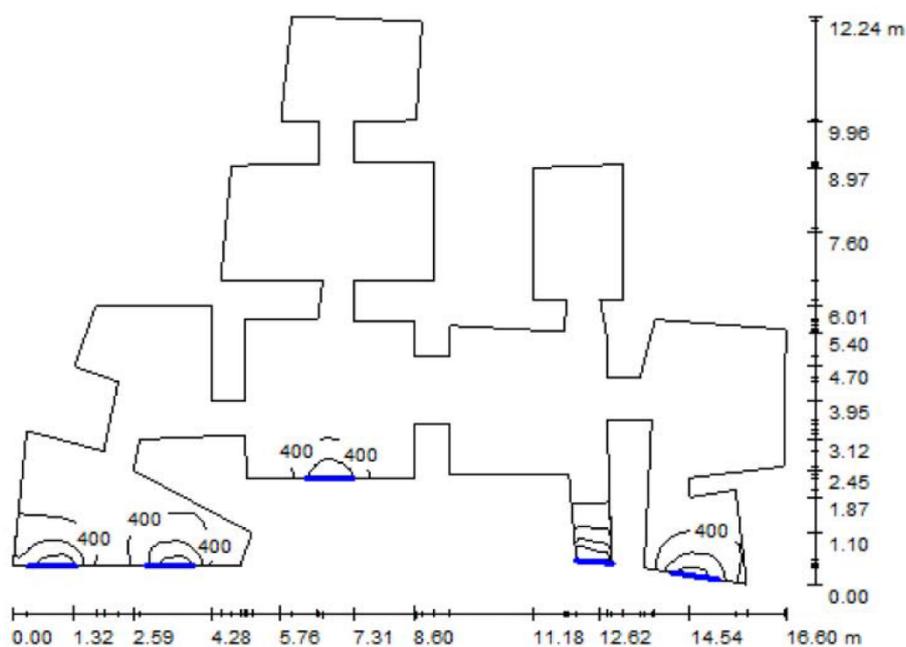
Clasificación del nivel de iluminación según el FIN

| FIN | Valoración |
|-----------|-------------|
| >6 % | Luminosas |
| 3 ... 6 % | Intermedias |
| 1 ... 3 % | Oscuras |
| <1 % | Muy oscuras |

A continuación adjuntamos el informe que arroja el software en el cual se detallan los datos obtenidos en lo referente a la iluminación natural. En este informe se detalla el dato que nos confirma nuestras suposiciones: el factor de iluminación natural (FIN) global de la vivienda está muy por debajo de lo que se considera como aceptable, pues se determina en un 0.6%.

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Local 1 / Escena de luz 1 / Resumen



Altura del local: 2.800 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:158

| Superficie | ρ [%] | E_m [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | E_{min} / E_m |
|--------------|------------|------------|----------------|----------------|-----------------|
| Plano útil | / | 122 | 0.60 | 2000 | 0.005 |
| Suelo | 20 | 125 | 0.71 | 2580 | 0.006 |
| Techo | 78 | 40 | 0.62 | 258 | 0.015 |
| Paredes (66) | 90 | 75 | 1.57 | 1519 | / |

Plano útil:

Altura: 0.850 m
Trama: 128 x 128 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

Escena de luz diurna pura, sin participación de luminarias.

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Local 1 / Escena de luz 1 / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 0 lm
Potencia total: 0.0 W
Factor mantenimiento: 0.80
Zona marginal: 0.000 m

| Superficie | Intensidades lumínicas medias [lx] | | | Grado de reflexión [%] | Densidad lumínica media [cd/m ²] |
|------------|------------------------------------|-----------|-------|------------------------|--|
| | directo | indirecto | total | | |
| Plano útil | 81 | 40 | 122 | / | / |
| Suelo | 72 | 53 | 125 | 20 | 7.98 |
| Techo | 0.00 | 40 | 40 | 78 | 10.00 |
| Pared 1 | 0.00 | 25 | 25 | 90 | 7.04 |
| Pared 2 | 40 | 75 | 115 | 90 | 33 |
| Pared 3 | 0.00 | 125 | 125 | 90 | 36 |
| Pared 4 | 97 | 116 | 213 | 90 | 61 |
| Pared 5 | 115 | 120 | 234 | 90 | 67 |
| Pared 6 | 5.68 | 80 | 86 | 90 | 25 |
| Pared 7 | 0.00 | 20 | 20 | 90 | 5.87 |
| Pared 8 | 0.00 | 22 | 22 | 90 | 6.32 |
| Pared 9 | 3.33 | 22 | 26 | 90 | 7.32 |
| Pared 10 | 6.56 | 19 | 26 | 90 | 7.46 |
| Pared 11 | 6.01 | 36 | 42 | 90 | 12 |
| Pared 12 | 0.98 | 29 | 30 | 90 | 8.55 |
| Pared 13 | 0.83 | 25 | 26 | 90 | 7.38 |
| Pared 14 | 2.97 | 23 | 26 | 90 | 7.43 |
| Pared 15 | 0.00 | 5.33 | 5.33 | 90 | 1.53 |
| Pared 16 | 0.00 | 6.73 | 6.73 | 90 | 1.93 |
| Pared 17 | 0.00 | 6.44 | 6.44 | 90 | 1.85 |
| Pared 18 | 0.00 | 7.24 | 7.24 | 90 | 2.07 |
| Pared 19 | 3.41 | 9.96 | 13 | 90 | 3.83 |
| Pared 20 | 0.00 | 7.57 | 7.57 | 90 | 2.17 |
| Pared 21 | 0.00 | 5.94 | 5.94 | 90 | 1.70 |
| Pared 22 | 2.47 | 21 | 24 | 90 | 6.74 |
| Pared 23 | 6.66 | 39 | 45 | 90 | 13 |
| Pared 24 | 0.00 | 35 | 35 | 90 | 9.92 |
| Pared 25 | 20 | 35 | 55 | 90 | 16 |

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Local 1 / Escena de luz 1 / Resultados luminotécnicos

| Superficie | Intensidades lumínicas medias [lx] | | | Grado de reflexión [%] | Densidad luminica media [cd/m ²] |
|------------|------------------------------------|-----------|-------|------------------------|--|
| | directo | indirecto | total | | |
| Pared 26 | 17 | 46 | 63 | 90 | 18 |
| Pared 27 | 37 | 38 | 76 | 90 | 22 |
| Pared 28 | 4.79 | 22 | 27 | 90 | 7.73 |
| Pared 29 | 0.00 | 2.94 | 2.94 | 90 | 0.84 |
| Pared 30 | 0.00 | 2.87 | 2.87 | 90 | 0.82 |
| Pared 31 | 2.00 | 3.81 | 5.82 | 90 | 1.67 |
| Pared 32 | 0.45 | 2.35 | 2.81 | 90 | 0.80 |
| Pared 33 | 0.00 | 1.96 | 1.96 | 90 | 0.56 |
| Pared 34 | 0.00 | 1.66 | 1.66 | 90 | 0.47 |
| Pared 35 | 1.19 | 1.76 | 2.95 | 90 | 0.84 |
| Pared 36 | 0.00 | 1.86 | 1.86 | 90 | 0.53 |
| Pared 37 | 0.00 | 1.88 | 1.88 | 90 | 0.54 |
| Pared 38 | 0.25 | 2.43 | 2.68 | 90 | 0.77 |
| Pared 39 | 0.49 | 3.73 | 4.22 | 90 | 1.21 |
| Pared 40 | 0.00 | 3.08 | 3.08 | 90 | 0.88 |
| Pared 41 | 0.00 | 2.81 | 2.81 | 90 | 0.80 |
| Pared 42 | 6.67 | 22 | 29 | 90 | 8.32 |
| Pared 43 | 38 | 39 | 77 | 90 | 22 |
| Pared 44 | 25 | 43 | 68 | 90 | 19 |
| Pared 45 | 27 | 31 | 58 | 90 | 17 |
| Pared 46 | 1.45 | 24 | 26 | 90 | 7.32 |
| Pared 47 | 3.64 | 21 | 25 | 90 | 7.16 |
| Pared 48 | 2.51 | 17 | 19 | 90 | 5.52 |
| Pared 49 | 0.00 | 17 | 17 | 90 | 4.85 |
| Pared 50 | 14 | 43 | 57 | 90 | 16 |
| Pared 51 | 71 | 113 | 184 | 90 | 53 |
| Pared 52 | 86 | 117 | 203 | 90 | 58 |
| Pared 53 | 0.00 | 148 | 148 | 90 | 42 |
| Pared 54 | 20 | 138 | 157 | 90 | 45 |
| Pared 55 | 127 | 116 | 244 | 90 | 70 |
| Pared 56 | 17 | 81 | 98 | 90 | 28 |
| Pared 57 | 0.00 | 29 | 29 | 90 | 8.43 |

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Local 1 / Escena de luz 1 / Resultados luminotécnicos

| Superficie | Intensidades lumínicas medias [lx] | | | Grado de reflexión [%] | Densidad lumínica media [cd/m ²] |
|------------|------------------------------------|-----------|-------|------------------------|--|
| | directo | indirecto | total | | |
| Pared 58 | 24 | 45 | 69 | 90 | 20 |
| Pared 59 | 0.00 | 48 | 48 | 90 | 14 |
| Pared 60 | 6.65 | 50 | 57 | 90 | 16 |
| Pared 61 | 0.00 | 34 | 34 | 90 | 9.87 |
| Pared 62 | 0.00 | 31 | 31 | 90 | 8.78 |
| Pared 63 | 0.00 | 30 | 30 | 90 | 8.70 |
| Pared 64 | 117 | 333 | 450 | 90 | 129 |
| Pared 65 | 0.00 | 452 | 452 | 90 | 129 |
| Pared 66 | 107 | 234 | 341 | 90 | 98 |

Simetrías en el plano útil

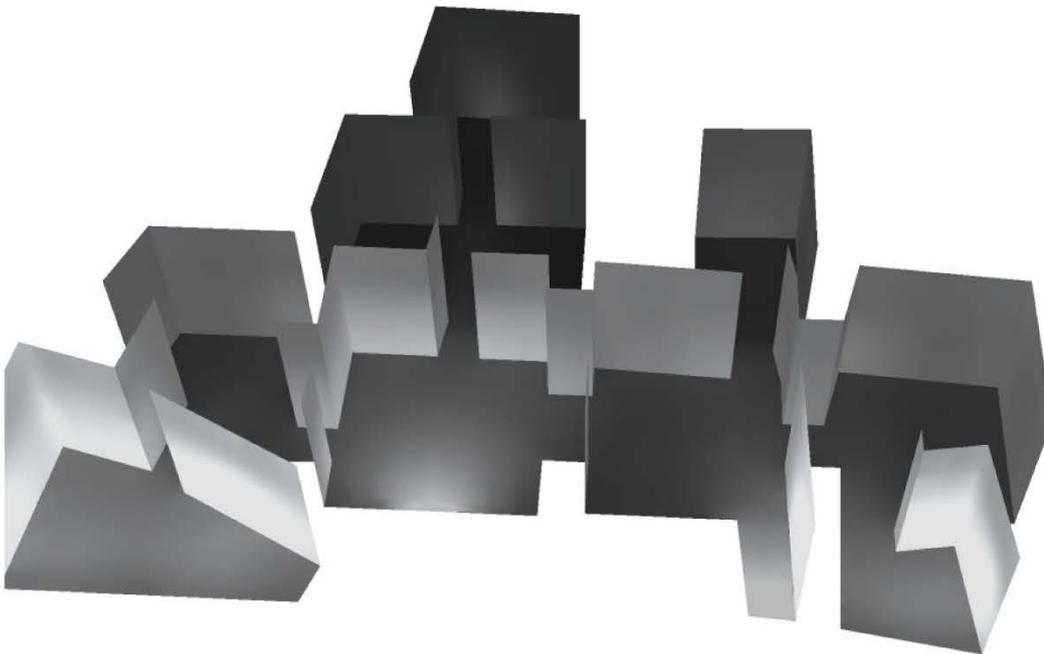
E_{\min} / E_m : 0.005 (1:203)

E_{\min} / E_{\max} : 0.000 (1:3340)

Valor de eficiencia energética: 0.00 W/m² = 0.00 W/m²/ lx (Base: 82.35 m²)

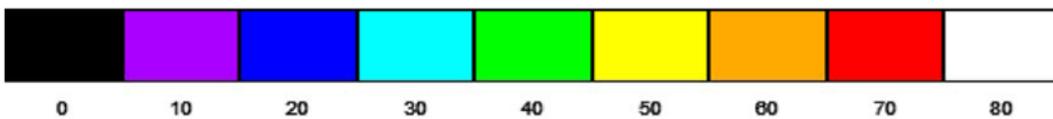
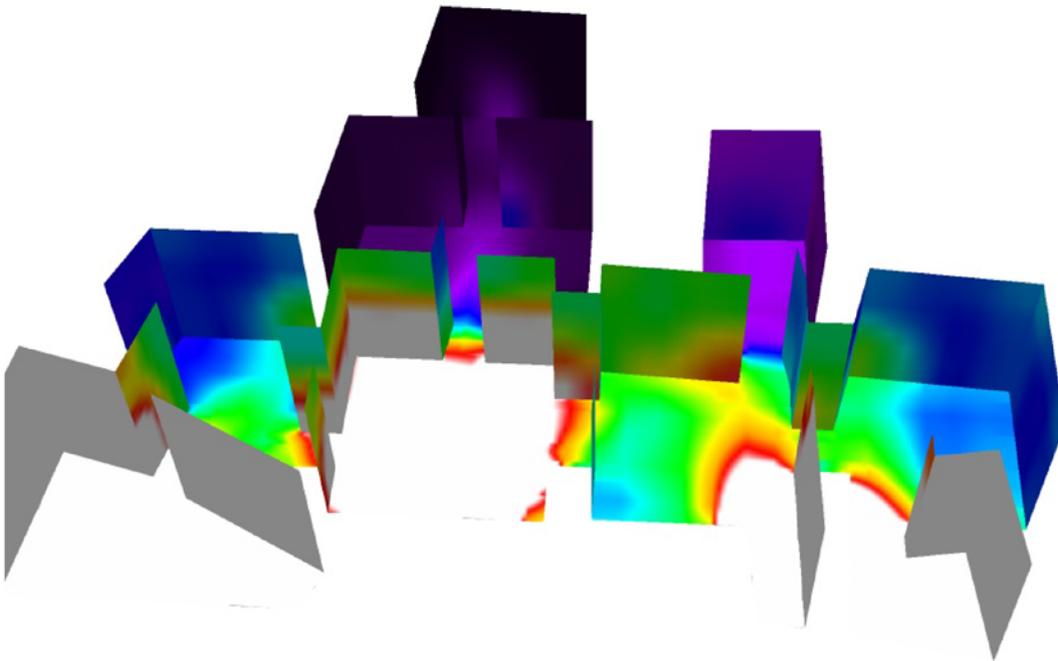
Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Local 1 / Escena de luz 1 / Rendering (procesado) en 3D



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

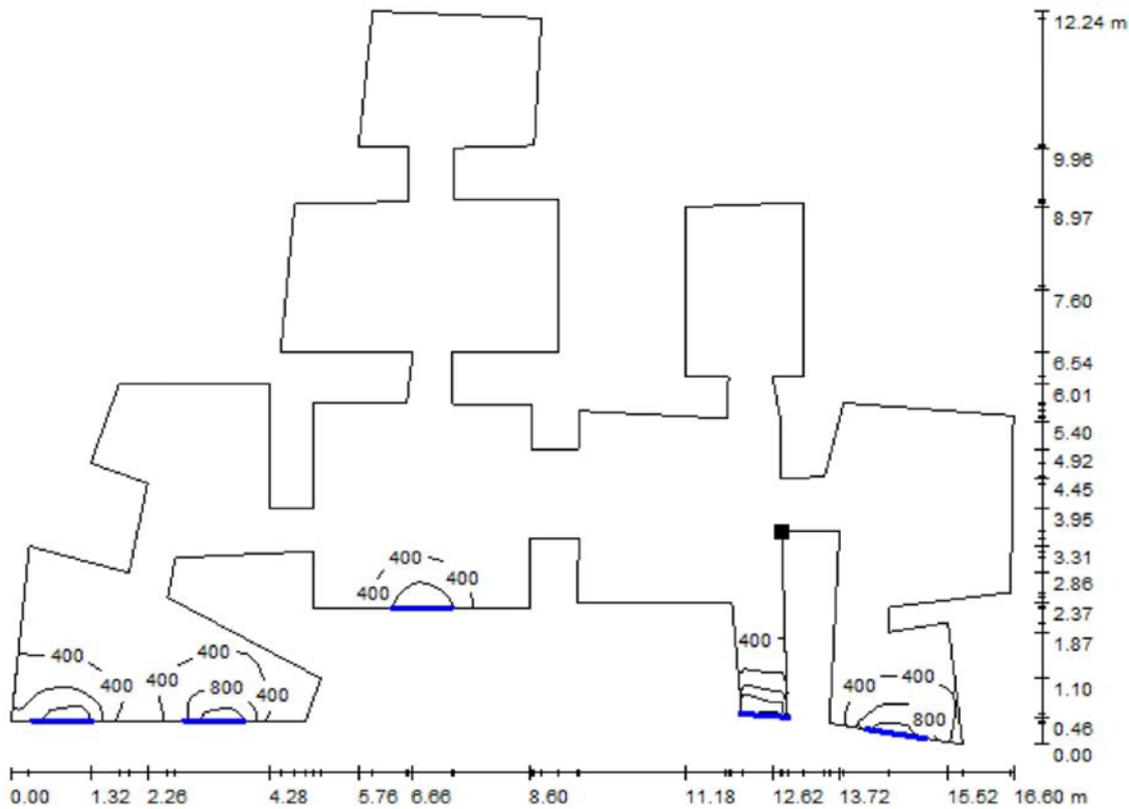
Local 1 / Escena de luz 1 / Rendering (procesado) de colores falsos



lx

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Local 1 / Escena de luz 1 / Plano útil / Isolíneas (E)

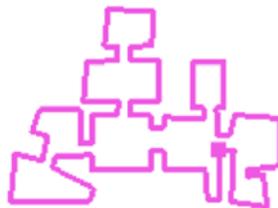


Valores en Lux, Escala 1 : 119

Situación de la superficie en el local:

Punto marcado:

(43.241 m, 8.890 m, 0.850 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]
122

E_{min} [lx]
0.60

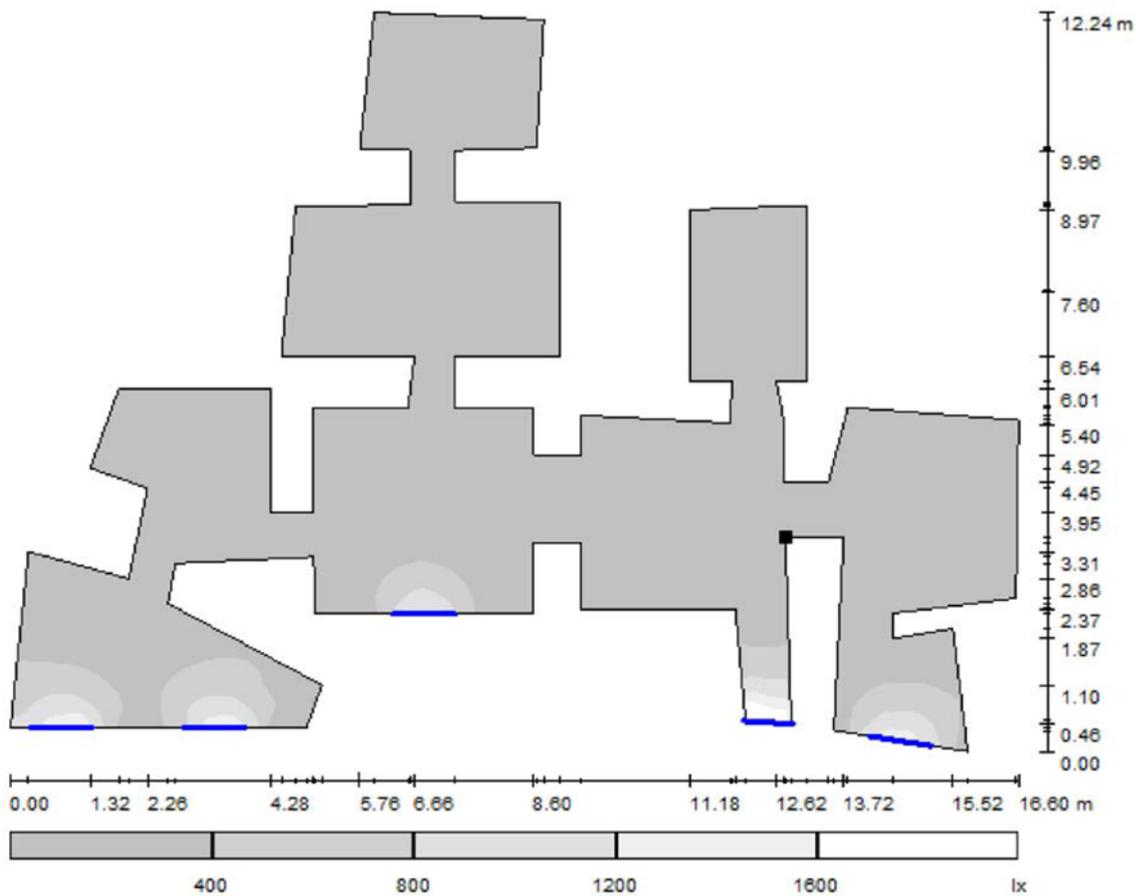
E_{max} [lx]
2000

E_{min} / E_m
0.005

E_{min} / E_{max}
0.000

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Local 1 / Escena de luz 1 / Plano útil / Gama de grises (E)

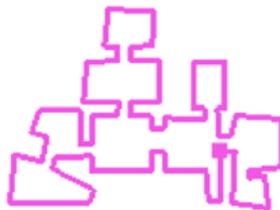


Escala 1 : 119

Situación de la superficie en el local:

Punto marcado:

(43.241 m, 8.890 m, 0.850 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]
122

E_{min} [lx]
0.60

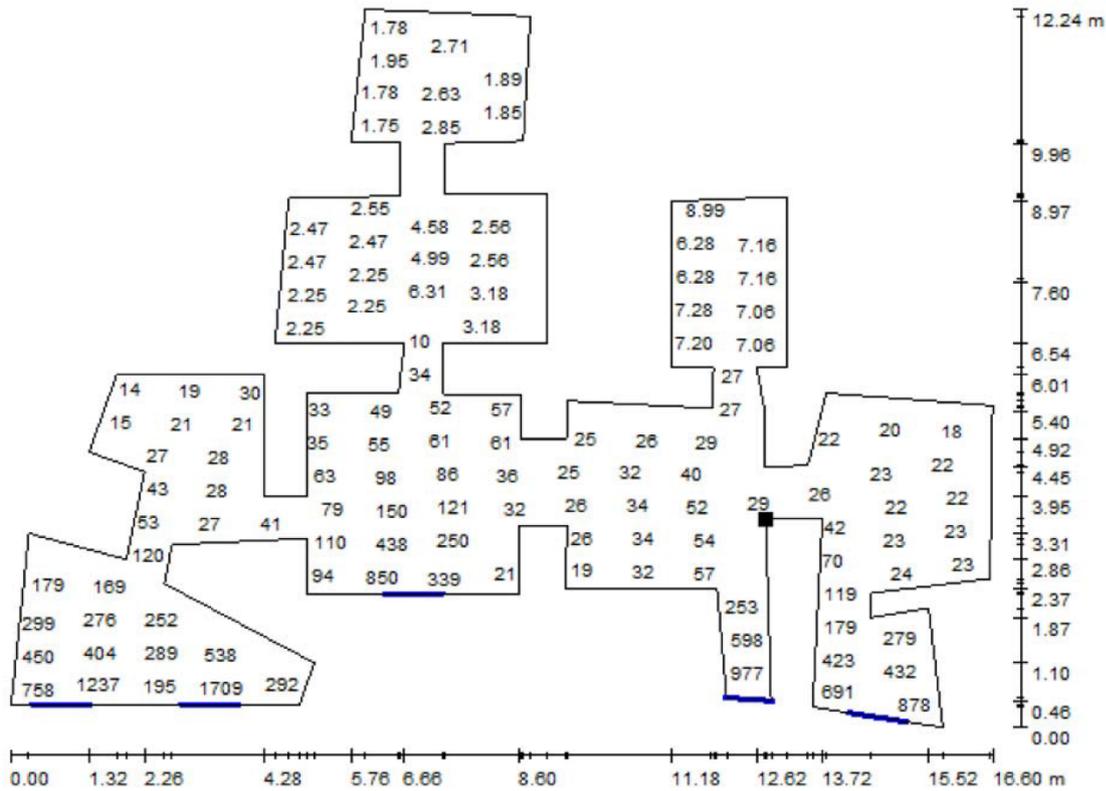
E_{max} [lx]
2000

E_{min} / E_m
0.005

E_{min} / E_{max}
0.000

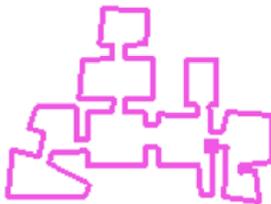
Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Local 1 / Escena de luz 1 / Plano útil / Gráfico de valores (E)



No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
Punto marcado:
(43.241 m, 8.890 m, 0.850 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]
122

E_{min} [lx]
0.60

E_{max} [lx]
2000

E_{min} / E_m
0.005

E_{min} / E_{max}
0.000

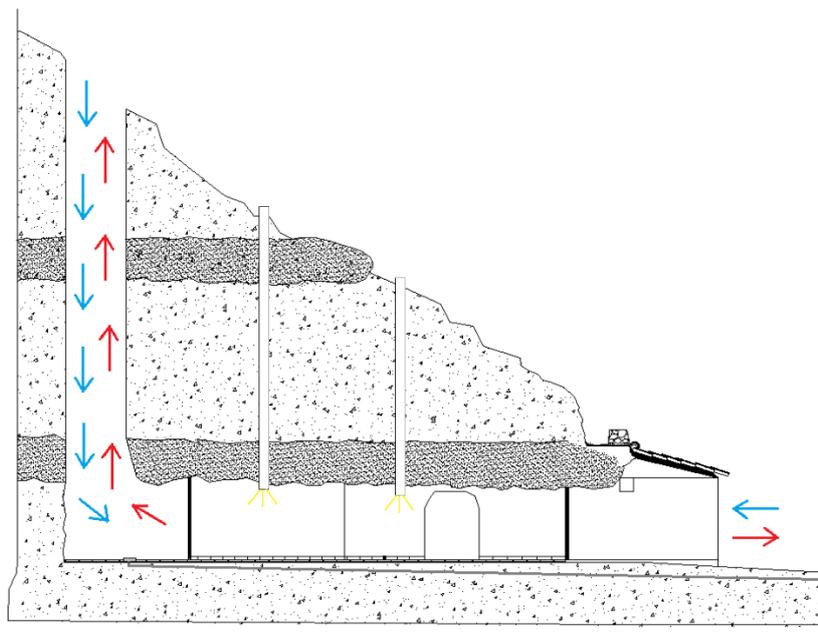
5.2.2 Identificación de deficiencias y propuestas de mejora

En las casas cueva la iluminación es sin duda un punto débil, pues solamente contarán iluminación natural las estancias con aberturas directas a la fachada. Sin embargo esto suele compensarse haciendo el mayor número de estancias posible con abertura a la fachada, la cual a ser posible se orientará al sur. Las habitaciones que quedan en la segunda línea, suelen concebirse con aberturas amplias, que permitan el paso de la luz desde estancias más externas, pero siempre necesitan un apoyo de luz artificial.



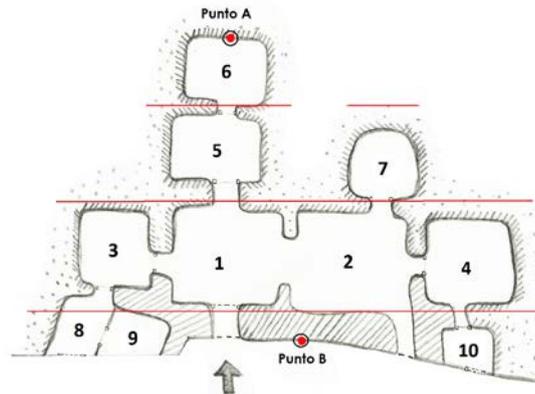
En las imágenes podemos observar la ausencia de ventanas en las habitaciones interiores y el apoyo de luz artificial en ellas. Fuente propia.

En algunas casas cueva se hacen pequeños patios de luz por donde las habitaciones más internas pueden ventilar y aprovechar la luz natural. Sin embargo no siempre esto es posible, depende de las condiciones del terreno y los medios disponibles. Otra solución menos invasiva y de menor presupuesto sería instalar tragaluces reflectantes tipo SOLARTUBE®, los cuales con una perforación relativamente sencilla aportarían gran cantidad de luz.



Croquis de propuestas de soluciones. Solución A: Patio de luces trasero con desagüe.

Solución B: Tragaluces tubulares reflectantes tipo SOLARTUBE®.



EVALUACIÓN DE LA ILUMINACIÓN POR ESTANCIAS

Entrada (Sala 1). La iluminación es aceptable debido a la contrapuerta de cristal que permite el paso de mayor cantidad de luz.

Cocina (Sala 3). Su iluminación es deficiente, pues no cuenta con huecos directos al exterior, sino que se ilumina a través de la estancia contigua. Un tragaluz tubular reflectante sería una buena medida de corrección.

Salón (Sala 2). La iluminación es aceptable en las horas centrales del día, insuficiente cuando hay menos luz en el exterior, pues la abertura en esta estancia se hace a través de un estrechamiento.

Galería y baño (Salas 8 y 9). Por su orientación y sus huecos amplios directos a fachada estas estancias están iluminadas de manera óptima.

Baño (Sala 10). Al igual que en el caso anterior, por su orientación y su amplio hueco directo a fachada esta estancia está iluminada de manera óptima.

Dormitorio A (Sala 4). Este dormitorio tiene una iluminación parecida al caso de la cocina, pues cuenta con una puerta que da acceso a una estancia con iluminación directa. Es por tanto insuficiente.

Dormitorio B (Sala 5). En este dormitorio se hace imprescindible el apoyo de luz artificial a cualquier hora del día. Sería necesario un sistema alternativo como el propuesto, un tragaluz tubular reflectante.

Dormitorio C (Sala 7). En este dormitorio se hace imprescindible el apoyo de luz artificial a cualquier hora del día. Sería necesario un sistema alternativo como el propuesto, un tragaluz tubular reflectante.

Dormitorio D (Sala 6). En este dormitorio se hace imprescindible el apoyo de luz artificial a cualquier hora del día. Sería necesario un sistema alternativo como el propuesto, un tragaluz tubular reflectante.

5.3 Estudio de la ventilación natural de la casa cueva

5.3.1 Identificación de los flujos de ventilación natural

Para obtener los flujos de ventilación natural de la vivienda el primer paso que debemos dar es la identificación del viento dominante de la zona. Está claro que la variable meteorológica del viento tiene mucha variabilidad y depende de múltiples factores (hora del día, momento del año, orografía del entorno, climatología...).

Por eso, para hacer una aproximación del flujo principal que entra en la vivienda suele adoptarse como dato la velocidad del viento y la dirección del viento dominante de la zona. Mediante la búsqueda de información acerca de este dato en la red, hemos encontrado una página web (windfinder.com) [18] donde se da este dato mensualmente en cada zona del planeta. A continuación se adjunta la tabla obtenida.

Obtención del viento dominante de la zona

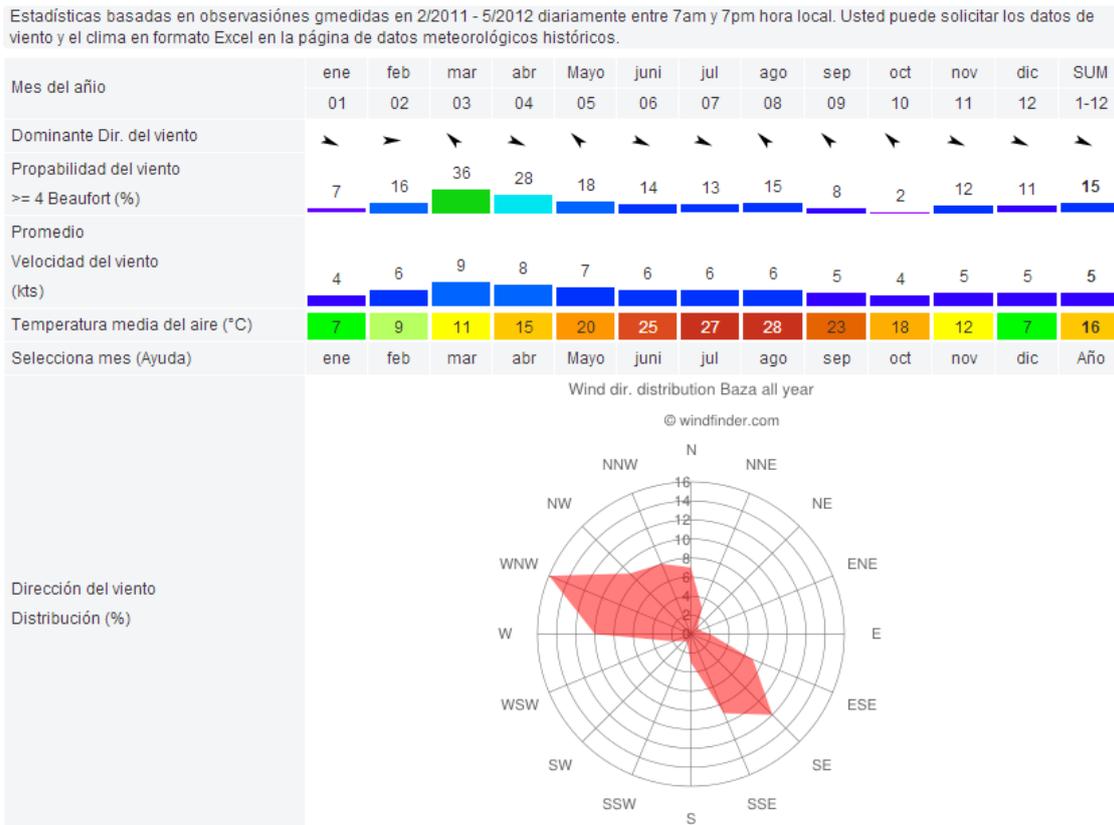
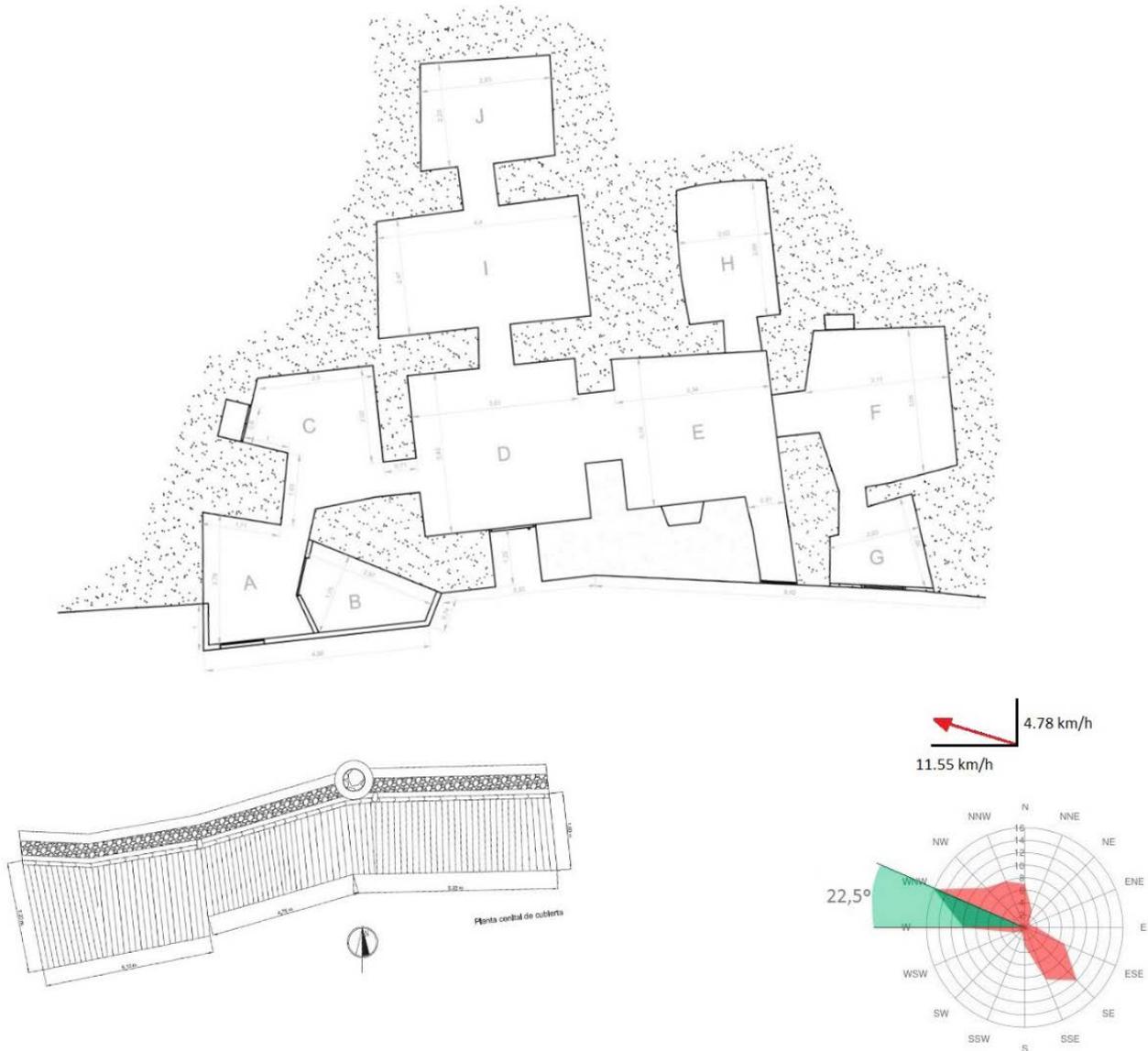


Figura 19. Tabla estadística mensual de viento dominante en la zona de Baza. Fuente: Windfinder.com

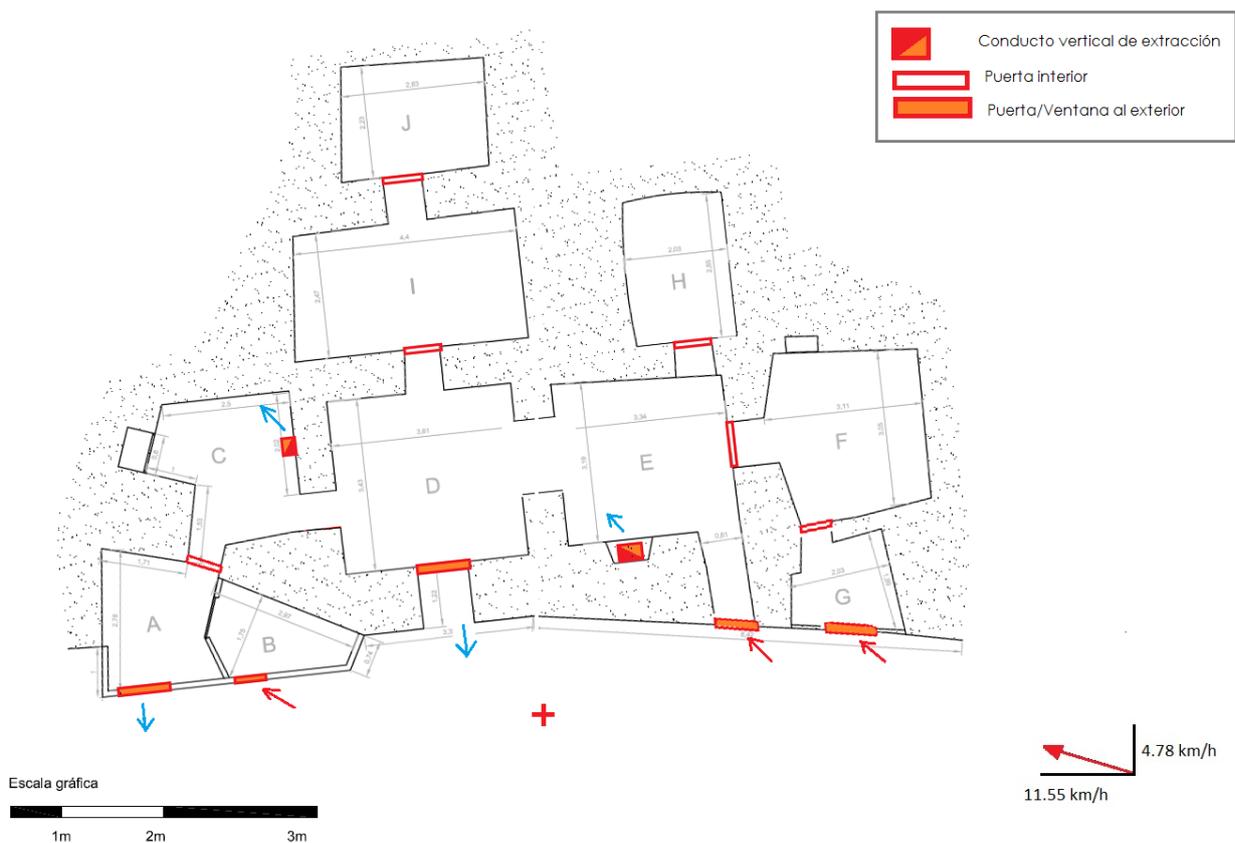
La zona de Guadix está muy próxima a la estación de medida de Baza, de donde se han obtenido los resultados arriba expuestos, y por tanto tiene un comportamiento meteorológico muy similar.

Si nos fijamos en los meses estivales, que es cuando necesitaremos el recurso de la ventilación para refrigeración, y hacemos la media aritmética de los cuatro meses más calurosos del año (junio, julio, agosto y septiembre) vemos que la velocidad media del viento sería de unos 12.5km/h en dirección noroeste. Realmente vemos en la rosa de los vientos conformada que existen dos direcciones predominantes, una noroeste y otra a sureste. Sin embargo la noroeste es más importante, por tanto adoptaremos esta para nuestro estudio. Sabiendo este dato ya estamos en condiciones de analizar los flujos de ventilación interna de la vivienda objeto de estudio.



En este caso vemos que la mayor parte de la fachada conforma una zona de sobrepresión, y que como zona de depresión no existe una fachada a tal efecto, pues al tratarse de una cueva que se desarrolla en línea a la fachada no existen ángulos.

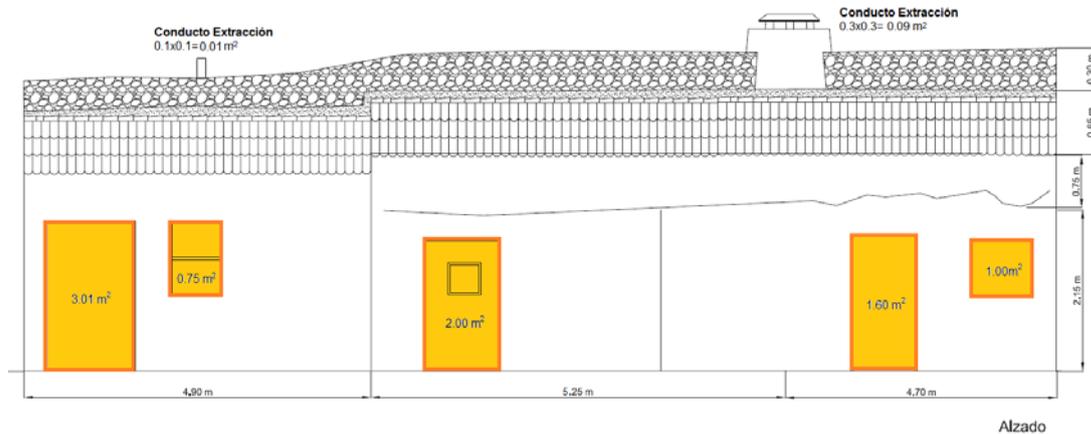
Por tanto los puntos de admisión serán todos los huecos de fachada y los puntos de extracción los constituirán los dos conductos de extracción forzada (el extractor y la chimenea). Como huecos de extracción también se considerarán para el cálculo la puerta de entrada principal (Sala D) y la puerta de entrada al lavadero (Sala A), por encontrarse en la parte de salida de la dirección del viento y provocar el flujo de *ventilación en la vivienda, cuando estos huecos están abiertos.



Croquis de flujos de ventilación interna de la vivienda.

5.3.2 Cálculo de los caudales de ventilación

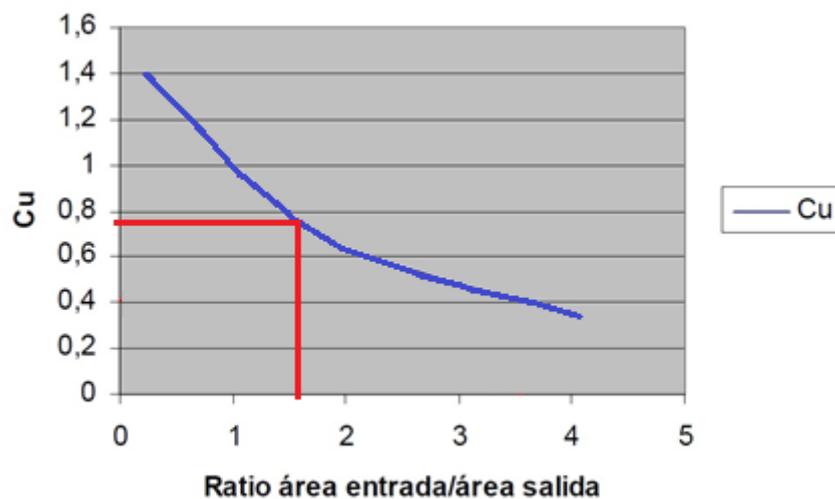
En primer lugar vamos a ver la superficie total de aberturas de admisión de la vivienda, así como la superficie total de aberturas de salida de los flujos de ventilación. Con ello obtendremos el *ratio* área entrada /salida y el valor *Cu*.



$$A_E = 3.01 + 0.75 + 2.00 + 1.60 + 1.00 = 8.36 \text{ m}^2$$

$$A_S = 3.01 + 2.00 + 0.01 + 0.09 = 5.11 \text{ m}^2$$

$$\text{Ratio E/S} = 8.36 \text{ m}^2 / 5.11 \text{ m}^2 = 1.636 \rightarrow Cu = 0.75$$



Sabiendo el valor *Cu* podemos obtener los caudales de entrada de ventilación natural a la vivienda. Para ello utilizaremos la siguiente fórmula. Se ha tenido en cuenta la velocidad media de los vientos dominantes de Guadix, tal y como se muestra en el apartado anterior.

$$Q = Cu \times V_{\max} \times A$$

Sin embargo, como la dirección del viento no es perpendicular a ninguna fachada, deberemos descomponer en dirección X y dirección Y el vector velocidad:

- Velocidad de componente Oeste:

$$V_O = 12.5 \times \cos 22.5^\circ = 11.55 \text{ km/h} = \mathbf{3.21 \text{ m/s}}$$

- Velocidad de componente Norte:

$$V_N = 12.5 \times \sin 22.5^\circ = 4.78 \text{ km/h} = \mathbf{1.33 \text{ m/s}}$$

Si aplicamos el factor C_u sabremos la verdadera velocidad del aire en cada componente:

$$V_O = 3.21 \text{ m/s} \times 0.75 = \mathbf{2.406 \text{ m/s}} \longrightarrow \text{INADECUADO}$$

$$V_N = 1.33 \text{ m/s} \times 0.75 = \mathbf{0.99 \text{ m/s}} \longrightarrow \text{AGRADABLE}$$

| Velocidad (m/s) | Sensación |
|-----------------|--|
| Hasta 0.2 | Inapreciable |
| 0.2 a 0.5 | Agradable |
| 0.5 a 1 | Agradable, aunque se percibe el movimiento del aire |
| 1 a 1.5 | Molestia leve a molestia fuerte |
| >1.5 | Inadecuado para el confort humano. Necesidad de medidas correctoras |

A continuación averiguamos los caudales de aire que entran de manera natural en la vivienda:

$$Q_T = Q_O + Q_N$$

$$Q_O = C_u \times V_O \times A_O = 0,75 \times 11.750 \times (4.18) = 36.836,25 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_N = C_u \times V_N \times A_N = 0,75 \times 4.780 \times (4.18) = 14.895,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_T = Q_O + Q_N = 2.438,4 \text{ m}^3/\text{h} + 33.803,2,4 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{36.241,6 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Seguidamente obtenemos las renovaciones/hora que se hacen en la vivienda de manera natural, si todos los huecos están abiertos de par en par.

$$Q_T / \text{Volumen libre vivienda} = 51.821,55 / (80.95 \times 2,50) = \mathbf{258.3 \text{ renov/hora}}$$

5.3.3 Identificación de deficiencias y propuestas de mejora

La ventilación tiene como cometido sustituir el aire viciado interior por aire exterior limpio, pero también reducir los riesgos de condensaciones al aportar aire más seco; este cometido es particularmente importante en una construcción en la que pueden alcanzarse temperaturas superficiales bajas, próximas a la temperatura del rocío.

La ventilación en las cuevas sufre el mismo problema que la iluminación, las habitaciones interiores son ciegas. Por ello, las estancias donde se hace la vida dan siempre a la zona más externa de la cueva, donde existen ventanas al exterior. Las habitaciones de segunda línea de profundidad se ventilan parcialmente a través de la estancia contigua, que dispone siempre de al menos una abertura. La ventilación de la tercera línea de profundidad es muy precaria. Por esa razón los dormitorios, que son estancias donde sólo se habitan por la noche, se ubican en las salas más internas.

La cocina tradicional de la casa cueva dispone de un sistema de extracción del aire contaminado: la chimenea. La chimenea es el emblema de la casa cueva. A través de ella se extraen los vapores de cocción, los humos y permite una cierta circulación del aire en el interior de la vivienda, que renueva y mejora la calidad del aire interior de ésta. Actualmente, además de la extracción de la chimenea, que básicamente se utiliza para hacer lumbre como método de calefacción y se ubica en la sala de estar, existe un segundo extractor en la cocina, para expulsar los vapores de cocción y olores de la cocina. Este tubo se puede sacar practicando un orificio en el terreno por encima de la cueva o más a menudo se evita esto, sacando el tubo colgado en el techo hasta la fachada. Es éste el caso de nuestra cueva objeto de estudio.



Detalle de remate exterior de la salida de humos. Campana extractora y tubo de extracción colgado.

Una solución al problema de la ventilación, puede ser como se ha dicho en el apartado anterior, excavar un patio de luces vertical o lumbrera, pero esta solución no es siempre posible y depende de los condicionantes del terreno. De esta manera podríamos obtener una ventilación cruzada suficiente para garantizar la calidad del aire interior.

También en las casas cuevas más modernas y utilizando las tecnologías y medios más avanzados, se practican cúpulas o claraboyas que permiten la ventilación e iluminan. Incluso otro método es construir shunts para zonas húmedas o incluso para dormitorios interiores, se hacen en forma de chimenea tradicional. Si añadimos a esta solución, una ventilación mecánica con extractores, podemos incrementar con facilidad el caudal del aire en el momento deseado. Lo ideal sería ubicar las aberturas de admisión en los puntos más bajos de la fachada y las chimeneas o shunts de extracción en los puntos más altos y profundos de la cueva.

Estas soluciones modernas, son innovadoras por el hecho de que en esta zona las casas cuevas no han utilizado tradicionalmente sistemas de ventilación. Sin embargo en las casas cueva de la Anatolia central (Turquía) o las de Matmata (Túnez), existen soluciones tradicionales de ventilación cruzada natural mediante shunts o chimeneas excavadas. La estrategia de ventilación se produce por chimeneas verticales situadas sobre las estancias que se desea ventilar. Para que se pueda establecer a través de ellas un tiro natural, se sitúan siempre en parejas, siendo una más alta que la otra. De este modo se crean diferencias de presión entre sus remates, de tal modo que el aire entra por una, la más baja (0.25 m) y sale por la otra, la más alta (1.90 m).

A continuación adjuntamos imágenes tomadas durante la visita de campo, donde se pueden observar patologías en la vivienda por causas de la deficiente ventilación. Estas patologías son un leve olor a humedad en las salas 5, 6 y 7, desconchamientos puntuales en paredes y algunas grietas en la solera de limpieza de las salas 6 y 7 del suelo.

Las patologías son leves, debidas a la humedad por capilaridad del propio terreno. La propuesta de solución sería ventilar la casa cueva de manera frecuente, pues se observa que al cabo de 48h de habitar la casa cueva, desaparecen los olores. El tema de los desconchamientos en la pared y las grietas en la solera, creemos puede paliarse con esta ventilación frecuente. Sin embargo la deficiencia no se cortará de raíz mediante esta medida pasiva. Para eliminar por completo las patologías y asegurar que no volvieran a salir, deberíamos ejecutar los sistemas de ventilación cruzada vistos anteriormente: bien mediante un patio de luces trasero, bien mediante la instalación de parejas de shunts de admisión-extracción.

Patologías detectadas por humedades en los niveles de profundidad N3 y N4



Grietas sucesivas, paralelas, rectas y húmedas



Detalle de grietas en sala 7



Grieta en Y, húmeda y perpendiculares a la pared



Grietas en paramento opuesto de la sala 6



Esconchamiento de pintura en sala 7



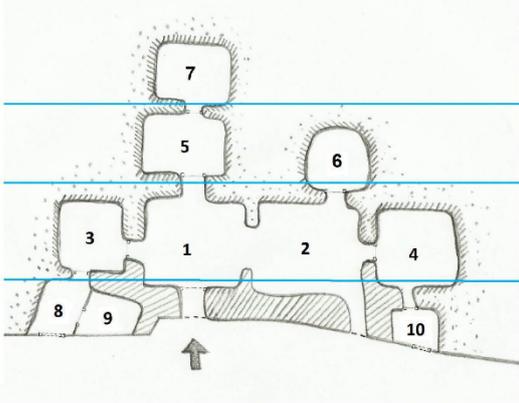
Detalle del desconchamiento de pintura

A continuación se adjunta una tabla de recogida de datos in situ, donde se ha calculado el volumen de cada estancia, y se ha estudiado la ventilación en cada caso. Vemos que el primer y segundo nivel de profundidad se ventila de forma correcta y suficiente, pero el tercero y el cuarto nivel tienen graves deficiencias de ventilación, que han afectado a la salubridad de las estancias y se ha comprobado mediante los elevados índices de humedad recogidos en las tablas, de las cuales hacemos a continuación un extracto.

En estas tablas se observa que la humedad es constante en estos dos últimos niveles de profundidad, siempre en torno al 70%. En espacios con humedades similares pero con ventilación natural, esto no sería un problema, pues la renovación del aire impediría las patologías. Sin embargo en este caso debido a la falta de ventilación, que además se acentúa por la ocupación ocasional de la vivienda, se han detectado patologías por humedad en estos niveles de profundidad.

TABLA DE TOMA DE DATOS IN SITU. VISITA OCTUBRE DE 2011.

| TABLA DE DATOS: HUMEDAD RELATIVA EN EL AIRE | | | | |
|--|----------------------------|--|-------------------------------------|--|
| Hora toma: 7.00 | Temp. exterior: 14.1 °C | Técnico responsable: Rocío Granell Berbel | Lugar de toma: Belerda (Granada) | Fecha de toma: 30-10-2011 |
| Lugar de toma | | Humedad (%) | Ventilación directa | Patologías |
| Profundidad 1: Superficial, con al menos una pared de obra convencional, en contacto con el exterior. | | | | |
| Sala (8) | 21° | 80% * | Sí | No |
| Sala (9) | 21° | 80%* | Sí | No |
| Sala (10) | 25.7° | 60% | Sí | No |
| Profundidad 2: Parcial, con huecos directamente al exterior o a través de estancia contigua. | | | | |
| Sala (1) | 25.6° | 67% | Sí | No |
| Sala (2) | 26.3° | 66% | Sí | No |
| Sala (3) | 25.5° | 60% | No (Vent. mecánica) | No |
| Sala (4) | 26.7° | 55% | No | No |
| Profundidad 3: Completa, sin ventilación directa y a un segundo nivel de profundidad | | | | |
| Sala (5) | 26.2° | 67% | No | Olor a humedad |
| Sala (6) | 26.5° | 68% | No | Olor, algunas grietas y desconchamientos |
| Profundidad 4: Completa, sin ventilación directa y a un tercer nivel de profundidad | | | | |
| Sala (7) | 26.6° | 70% | No | Olor, bastantes grietas y desconchamientos |



Nivel de profundidad 4

Nivel de profundidad 3

Nivel de profundidad 2

Nivel de profundidad 1

Conclusiones:

1. La humedad más alta la tienen las salas 5, 6 y 7, que son también aquellas que presentan algunas patologías derivadas de la humedad transmitida por el terreno.
2. Los niveles N1 y N2 de profundidad presentan humedades dentro del margen de salubridad y confort higrotérmico, pues cuentan con mejor ventilación.
3. Las salas 8 y 9 (que no son cueva) presentan un elevado grado de humedad a primera hora de la mañana, debido al mal aislamiento e impermeabilización del muro de fachada, que es muy permeable y de gran transmitancia térmica. En estas salas las temperaturas superficiales son muy bajas, mientras que la temperatura ambiente transmitida desde la sala 3 es bastante cálida (entre 24° y 25°). Esto puede provocar condensaciones que aumentarán el índice de humedad de esta sala.

TABLA DE TOMA DE DATOS IN SITU. VISITA OCTUBRE DE 2011.

| HOJA DE TOMA DE DATOS IN SITU | | | |
|--|--|---|--|
| HOJA DE MEDICIÓN DE VOLÚMENES DE ADMISIÓN/EXTRACCIÓN DE AIRE | | | |
| | Técnico responsable: Rocío Granell Berbel | Lugar de toma: Belerda (Granada) | Fecha de toma: 29-10-2011 |
| Estancia | Volumen estancia | Área de hueco | Hueco al exterior/ hueco interno |
| Profundidad 1: Superficial, con al menos una pared de obra convencional, en contacto con el exterior. | | | |
| Sala A | 13.01 m ³ | 2.46 m ² | Hueco exterior |
| Sala B | 7.39 m ³ | 0.12 m ² | Hueco exterior |
| Sala G | 7.35 m ³ | 0.81 m ² | Hueco exterior |
| Profundidad 2: Parcial, con huecos directamente al exterior o a través de estancia contigua. | | | |
| Sala C | 18.0 m ³ | 1.365 m ² + Conducto 10cmØ ($2.15 * 0.10^2 * \pi = 0.0675 \text{ m}^3$) | Hueco interior + Conducto extractor |
| Sala D | 28.53 m ³ | 1.56 m ² | Hueco exterior |
| Sala E | 22.24 m ³ | 1.71 m ² + Conducto 15cmØ ($2.90 * 0.15^2 * \pi = 0.205 \text{ m}^3$) | Hueco exterior + Conducto chimenea |
| Sala F | 20.92 m ³ | 1.365 m ² + 1.365 m ² | 2 Huecos internos |
| Profundidad 3: Completa, sin ventilación directa y a un segundo nivel de profundidad | | | |
| Sala I | 25.32 m ³ | 1.365 m ² | Hueco interno |
| Sala H | 11.58 m ³ | 1.365 m ² | Hueco interno |
| Profundidad 4: Completa, sin ventilación directa y a un tercer nivel de profundidad | | | |
| Sala J | 13.71 m ³ | 1.365 m ² | Hueco interno |

■ Conducto vertical de extracción
 Puerta interior
 Puerta/Ventana al exterior
➔ Conducto extracción forzada
➔ Extracción natural
➔ Admisión natural
↔ Ventilación cruzada
■ Extracción deficiente
■ Extracción normal
■ Admisión deficiente
■ Admisión normal

Escala gráfica
1m 2m

CAPÍTULO 6

LA CASA CUEVA, EFICIENCIA ENERGÉTICA
POR DEFINICIÓN. CONCLUSIONES

6. LA CASA CUEVA, EFICIENCIA ENERGÉTICA POR DEFINICIÓN.

CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones sobre el comportamiento energético de la casa cueva y su carácter sostenible

En resumen, creemos que queda más que demostrada la eficiencia energética de la casa cueva y su buen comportamiento higrotérmico. La temperatura interior se mantiene prácticamente constante todo el año, a una temperatura de confort que oscila entre los 16 y 23°C. Esto supone un ahorro energético enorme, pues en estas viviendas no se precisan sistemas de climatización artificial, a diferencia de la vivienda convencional que hace uso de dichos sistemas durante seis o siete meses al año.

Respecto a los índices de humedad observados, vemos que en la casa cueva el nivel de humedad varía respecto al nivel de profundidad en el terreno. Mientras el primer y segundo nivel obtienen una humedad en torno al 55%, conforme nos adentramos aumenta este índice hasta un 70% de los niveles de profundidad N3 y N4. Esto se debe fundamentalmente a la deficiente ventilación de los niveles de profundidad N3 y N4.

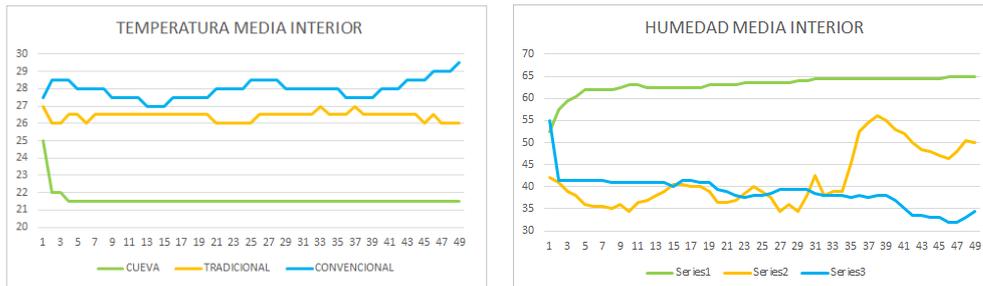
El exceso de humedad contenida en el aire, cuando existe una buena ventilación se compensa con el aire más seco de la corriente de admisión y por tanto disminuye. Al no existir esta ventilación la humedad se mantiene siempre constante en estas sala, que, al estar inmersas en el terreno natural, lógicamente tendrán un índice elevado. En todo caso no se supera el 70% de humedad, por lo que nos encontramos en todo momento en un rango óptimo.

Estudiados otros dos casos de tipologías frecuentes en la población donde se ubica la casa cueva, podemos extraer información interesante que demuestra la validez del modelo casa cueva.

El estudio de la casa tradicional rural nos ha revelado que, aunque es un modelo que atenúa bastante las fluctuaciones de temperatura exterior debido a sus gruesos muros que le proporcionan gran inercia térmica, tiene peor comportamiento higrotérmico que la casa cueva.

Esto es porque mientras la cueva se mantiene en 21.5 grados y un 63% de humedad un 18 de agosto (fecha de las mediciones), la casa tradicional arroja un temperatura media 5 grados más alta y un índice de humedad del 42%, por debajo del confort.

En el caso de la vivienda convencional, obtenemos resultados aún peores. La temperatura media durante el periodo de medición se sitúa en 28 grados, casi 7 grados por encima de la de la casa cueva. Respecto a la humedad, observamos un índice mucho inferior respecto al de la cueva, situado en torno al 39%, por debajo del confort.



Viendo los resultados obtenidos en la comparativa realizada en condiciones de verano, suponemos que dichos modelos se comportarán de manera semejante en condiciones de invierno, por lo que podemos deducir un comportamiento igualmente desfavorable a la cueva, la cual ronda una temperatura media de 18 grados en los meses invernales.

Así pues, es evidente que el modelo de casa cueva permite un ahorro energético enorme, pues prescinde de sistemas de climatización. A continuación aportamos un gráfico donde se aprecian los porcentajes desglosados de gasto energético en un hogar tipo. Podemos observar que el aire acondicionado y la calefacción consumen casi un 50% de los recursos energéticos de un hogar, por lo que la factura se reduciría a la mitad.

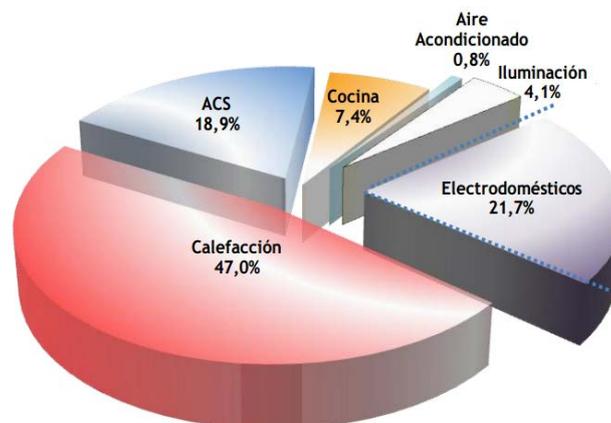


Figura 20. Gráfica de estructura de consumo según usos energéticos. Fuente: Informe final de análisis del consumo energético en el sector residencial de España. IDAE. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

La casa cueva, además de un ejemplo magnífico de vivienda bioclimática de alta eficiencia energética, es verdaderamente sostenible por varias razones.

Aislamiento térmico: Ofrece un potente aislamiento acústico natural, de manera que prescinde de materiales aislantes tóxicos como el plomo, el caucho u otros elastómeros. Los muros de tierra transmiten mal las vibraciones sonoras, de modo que se convierten en una eficaz barrera contra los ruidos indeseados.

Protección e integración en el paisaje: Las casas cueva se integran perfectamente en el paisaje. Sus tejados cubiertos por la tierra o integrados en la montaña, se funden de manera natural con el entorno y, de esta manera, respetan la armonía del paisaje. Suelen construirse de manera tradicional, por lo que encontramos paredes encaladas en blanco, pequeños aleros de cubierta en teja cerámica y a lo sumo, muretes o zócalos revestidos en piedra natural. Es por tanto una estética que se integra perfectamente en su entorno.

Además en las casas cueva naturales no se degrada el medio ambiente ni existe ningún impacto que lo deteriore, pues la única modificación que se le hace al talud es una excavación de pequeña proporción.

Cultivo de la cubierta: En el caso de casas cueva naturales no suele cultivarse la cubierta, siendo la vegetación existente la propia del terreno: hierbas bajas, pequeñas matas de secano...etc. En este caso hemos comprobado, tras la visita in situ, que el manto vegetal superficial de la cubierta está compuesto por arbusto de baja altura como esparto, retama o tomillo.

La cubierta recoge el agua de lluvia y esto fomenta el control de los grandes aumentos de caudal espontáneos de los ríos, además aprovecha el agua de lluvia alimentando plantas que posteriormente repondrán oxígeno a la atmósfera y absorberán dióxido de carbono, a través de la fotosíntesis. También es ventajoso el que crezcan pequeñas plantas en el terreno que conforma la cubierta por el hecho de que éstas tejen una malla subterránea que proporciona cohesión a la tierra, y la hace más resistente a la erosión en épocas de lluvia.

Aprovechamiento de recursos naturales: La característica básica de las cuevas, es que aprovechan el medio en el que se encuentran. En estas viviendas no se hace necesaria la fabricación de una materia prima, como es el hormigón o el ladrillo en los edificios convencionales, sino que aprovechan la materia existente, en este caso el propio terreno natural, para hacer de él la estructura y cerramientos de la vivienda. Esto supone un ahorro tanto económico como energético.

Mencionar sin embargo los contras que tiene este modelo, como se ha visto a largo del proyecto. No es un modelo que pueda estandarizarse de manera masiva. Este modelo es sólo apto para enclaves que reúnan ciertas condiciones: un terreno apto para ser excavado, unas oscilaciones térmicas importantes a lo largo del año, bajas precipitaciones..etc.

Las deficiencias relacionadas con el bajo nivel de ventilación y la escasa iluminación son también desventajas que juegan en su contra. Sin embargo son características que pueden solucionarse de manera sencilla mediante diferentes alrnativas, como hemos explicado anteriormente: shunts o chimeneas de ventilación, tragaluces tubulares...etc.

En todo caso, tenemos ante nosotros una tipología de un gran potencial. Debido a su óptimo comportamiento energético es un modelo muy interesante y a tener en cuenta en los núcleos de población donde existen antecedentes de esta tipología, como el que nos ocupa, la zona de Guadix. La casa cueva del siglo XXI es una alternativa inteligente, que ahorra energía, recursos materiales y se integra perfectamente en el entorno. Todo ello sin sacrificar la comodidad del usuario, pues como se ha visto, estas viviendas se equipan como cualquier otra.

6.2 Posibles líneas de investigación futuras

La investigación de la casa cueva como modelo bioclimático tiene su origen en 2011 cuando se escogió como tema para el proyecto final de carrera, como ya se ha mencionado anteriormente. Desde entonces se ha continuado el trabajo de campo mediante la recogida de datos y muestras con el fin de recopilar la máxima cantidad de información posible acerca del comportamiento higrotérmico de la casa cueva.

En este proyecto final de máster nos hemos centrado en analizar en profundidad las condiciones relativas al comportamiento higrotérmico de la cueva. También se ha estudiado el tema de la ventilación. La iluminación sin embargo se ha estudiado de manera más superficial debido a la falta de tiempo material. Este aspecto es fundamental también en la evaluación de la eficiencia energética de la vivienda, por lo que apuntamos como futura línea de investigación un análisis más profundo de este aspecto.

Otra línea de investigación que pretendemos seguir en la investigación de la casa cueva es el aspecto más puramente económico. Aunque en este proyecto ya se apuntan ciertos datos económicos acerca del ahorro económico derivado de prescindir de sistemas de climatización, el estudio se podría ampliar. Podríamos obtener datos del coste económico de la construcción de una casa cueva, en comparación con el de una casa convencional de similares prestaciones. También el coste de mantenimiento o la comparación de facturas de suministro eléctrico de una casa cueva y una casa convencional. A efectos prácticos, estos datos son los verdaderamente importantes para estudiar la viabilidad del modelo como producto, de cara al mercado.

Y como último aspecto a considerar en una ampliación de la investigación y continuación del estudio, sería la definición de un método particularizado para obtener un certificado de eficiencia energética en el caso de las casas cuevas. Como bien es sabido, desde el pasado 1 de junio de 2013 el Real Decreto 235/2013 de 5 de abril obliga a disponer de un certificado energético a todos aquellos inmuebles que pretendan ser vendidos o alquilados. El problema en este caso es que esta tipología constructiva no se considera en los softwares oficialmente reconocidos para la obtención de dichas etiquetas energéticas. Creemos que podría ser interesante estudiar este tema y proponer soluciones para estos casos.

Decir también que este proyecto y la información aquí recopilada pretende ser la base para elaborar un futuro artículo de divulgación científico-técnica, de manera que los datos y la información se han tratado con el mayor rigor y precisión posibles. Estas líneas de investigación mencionadas completarían la información a tal efecto, de manera que es nuestra intención seguir trabajando en el tema.

6.3 Bibliografía y referencias

Referencias bibliográficas

- [1] R. Granell Berbel, P.M. Huedo Dorda. Proyecto Final de Carrera Arquitectura Técnica. «Análisis de estrategias bioclimáticas de la casa cueva y su aplicación en vivienda sostenible». Universidad Jaime I Castellón. 2011.
- [2] L. Maldonado, F. Vela-Cossío. «El patrimonio arquitectónico construido con tierra. Las aportaciones historiográficas y el reconocimiento de sus valores en el contexto de la arquitectura popular española». *Para Informes de la construcción*. Vol 63, 523, 71-80. Universidad Politécnica de Madrid. 2011.
- [3] Carta de Atenas, 1931. 1942 Manifiesto urbanístico redactado en el IV Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM). Sert J.L. y Le Corbusier.
- [4] Carta de Venecia. 1964 Venecia - Italia. II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos.
- [5] Declaración de Ámsterdam (1975). Carta Europea de Patrimonio Arquitectónico por el Consejo de Europa. Ámsterdam. 1975.
- [6] Gil Albarracín. «Arquitectura y tecnología popular en Almería». Ediciones Anel. Granada. 1992.
- F. Jové Sandoval. «La vivienda excavada en tierra. El barrio del Castillo en Aguilar de Campos: Patrimonio y técnica constructiva Valladolid». COACYL. Universidad de Valladolid. 2006.
- [7] I. Cañas y S. Martín. «Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture». Revista *Building & Environment*. Editorial Elsevier. Universidad Complutense de Madrid. 2004.
- [8] D. Gelabert. «Turquía: Arquitectura troglodita de la Capadocia». Para *Cuadernos de Arquitectura y Urbanismo*, nº99, pp 40-45. Colegio de Arquitectos de Catalunya. 1973.
- [9] F. Wang y Y. Liu. «Thermal environment of the courtyard style cave dwelling in winter». Para *Energy and Buildings*, editorial Elsevier. Department of Building Engineering and Surveying. Heriot-Watt University, Edinburg, UK. Department of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou, PR China. 2001.

[10] M.J. Lasaosa Castellanos, A. Ron Cáceres, J.A. Santiago Lardón, R. de Torres López-Muñoz. «Arquitectura Subterránea: Cuevas de Andalucía, conjuntos habitados». Dirección general de Arquitectura y Vivienda de la Junta de Andalucía. 1989.

[11] A. Pérez Casas. «Los gitanos y las cuevas, en Granada». La Gaceta de Antropología. Granada. 1982.

[12] J. Cárdenas y Chávarri, L. Maldonado Ramos, M. M. Barbero Barrera, I. Javier Gil Crespo. «Sostenibilidad y mecanismos bioclimáticos de la arquitectura vernácula española: el caso de las construcciones subterráneas». 14ª Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. 2008.

[13] M.A. Boukli Hacene y N. E. Chabane Sari. «Economic, energy and environmental comparision between an ecological and conventional house». *Indoor and Built Environment*. Materials and renewable energies research unit (URMER). Universidad Abou. Baker Belkaid, Algeria. 2011.

[14] Kazuhide Ito y Keita Hattori. «Numerical prediction of thermal environment and energy consumption in tunnel-type greenhouse whith supplementary air-mixing and heating device». *Indoor and Built Environment*. Interdisciplinary Graduate School of Engineering Science. Universidad Kyushu. Fukuoka, Japon. 2011.

[15] K. Heathcote. «The thermal performance of earth buildings». *Informes de la Construcción* Vol.63, 523, 117-126. Universidad de Tecnología de Sydney. Australia. 2011.

[16] F.J. Neila González. «Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible». Editorial MUNILLALERIA. 2004. ISBN 9788489150645.

Páginas web consultadas

- [17] <http://www.aemet.es/es/portada> Visitada 06/11/13
- [18] http://es.windfinder.com/windstats/windstatistic_baza.htm
Visitada 06/11/13
- [19] <http://www.guillenderohan.com/EXPOGRIL/troglodita-memoria.htm> Visitada 15/10/13
- [20] <http://www.belerda.com/> Visitada 20/05/13
- [21] <http://www.solociencia.com/noticias/0410/01124230.htm>
Visitada 23/08/13
- [22] <http://www.arqhys.com/articulos/bioclimatica-sostenible.html>
Visitada 26/09/13
- [23] <http://www.probicosl.com/index.php> Visitada 30/10/13
- [24] http://www.casascueva.org/ESP/116_Como-se-excavan
Visitada 04/11/13
- [25] <http://conny.dahost.net/hoehle/casascueva.htm> Visitada 14/09/13
- [26] <http://vivirbajotierra.blogspot.com/> Visitada 02/11/13
- [27] <http://www.farfanestella.es/bioclimatica/?p=2086> Visitada 25/10/13
- [28] http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_sustentable
Visitada 09/09/13
- [29] <http://www.tucueva.com/> Visitada 16/08/13
- [30] http://huespedes.cica.es/aliens/gimadus/17/03_materiales.html
Visitada 27/10/13
- [31] <http://sol-arq.com/> Visitada 05/09/13
- [32] <http://www.arqhys.com/> Visitada 04/08/13
- [33] <http://www.eco2site.com/arquit/earquit.asp> Visitada 30/08/13
- [34] <http://www.eltiempo.es/> Visitada 11/11/13

CAPÍTULO 7

ANEXOS

ANEXOS

Dossier fotográfico

Datos climáticos del AEMET para la zona

Tablas y gráficas de toma de datos obtenidas

Planos y croquis realizados

 Bocetos previos y Croquis realizados

 Plano urbano de la localidad (extraído del PGOU)

 Plano de antecedentes

 Plano de cotas y superficies

 Plano de distribución

 Plano de instalación eléctrica

 Plano de instalación de fontanería

 Plano de instalación de saneamiento

 Plano de Vistas (Alzado, planta cubierta y perfil izquierdo)

 Plano de sección constructiva AA'

 Plano de sección constructiva BB'

 Detalles constructivos

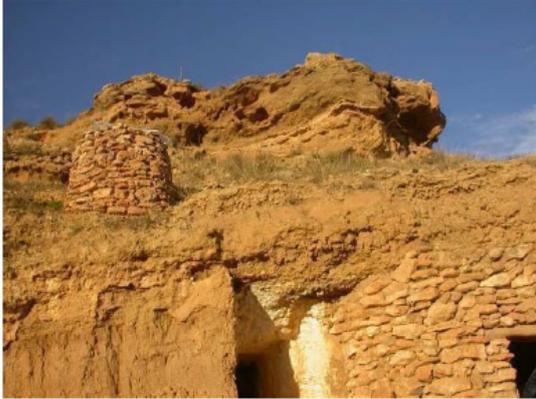
Estudio geotécnico en cueva similar

Agradecimientos

DOSSIER FOTOGRAFICO

Fotografías Casa Cueva. Pág.1

Dossier fotográfico de labores de rehabilitación y construcción de la casa cueva



Estado anterior a la rehabilitación. 2003



Camino de acceso a la cueva. 2003



Fachada de la cueva. 2003



Puerta de entrada a la cueva. 2003



Desperfectos en el interior de la cueva. 2003



Chimenea parcialmente hundida. 2003

Fotografías Casa Cueva. Pág.2

| | |
|--|---|
|  <p>Antiguos abrevaderos en la cuadra. 2003</p> |  <p>Detalle de esconchamiento de capas de cal. 2003</p> |
|  <p>Labores de repicado de abrevadero. 2004</p> |  <p>Detalle de picoleta mecánica. 2004</p> |
|  <p>Labores de excavación de un armario. 2004</p> |  <p>Detalle de hormigonera y chimenea. 2004</p> |
|  <p>Labores de extracción manual de las tierras de excavación. 2004</p> |  <p>Labores de remozado de paredes con mortero de cemento. 2004</p> |

Fotografías Casa Cueva. Pág.3



Armario excavado. 2004



Habitación de nueva excavación. 2004



Labores transporte de material. 2004



Detalle del minidúmpmer para transporte. 2004



Detalle de pala del minidúmpmer. 2004



Acopio de materiales. 2004



Acopio de materiales. 2004



Acopio de materiales. 2004

Fotografías Casa Cueva. Pág.4



Consolidado de paredes y repicado. 2004



Solera de hormigón de limpieza. 2004



Colocación de pavimento y premarcos. 2004



Detalle de chimenea. 2004



Colocación de carpinterías interiores. 2004



Colocación de pavimento en cocina. 2004



Refuerzo de fachada. 2004



Proyectado de hormigón gunitado en la fachada

Fotografías Casa Cueva. Pág.5



Ejecución de cubierta convencional. 2004



Ejecución de murete de contención. 2004



Encalado de paredes interiores. 2004



Barnizado de carpinterías. 2004



Encalado de fachada. 2004



Vista de la fachada mixta (natural y convencional)



Alicatado de la cocina. 2004



Alicatado del cuarto de baño. 2004

Fotografías Casa Cueva. Pág.6



Fotografías Casa Cueva. Pág.7



Dormitorio H (Plano 3). 2005



Dormitorio I (Plano 3). 2005



Dormitorio F (Plano 3). 2005



Sala de estar y al fondo el portal. 2005



Chimenea en la sala de estar. 2005



Cocina. 2005



Estado acabado de la fachada. 2005



Fachada acabada.2005

Dossier fotográfico de trabajos de campo en la recogida de datos



Alineación de pendiente



Se observa la cuerda de alineación



Obtención de la inclinación de la colina



Detalle del nivel calibrado. Marca 35°



Obtención de la inclinación de cubierta



Detalle del nivel calibrado. Marca 25°



Colocación de cuerda de desnivel



Medidas para triangulación de la pendiente



Detalle de la obtención de la inclinación



Detalles de mediciones



Detalles de mediciones



Obtención de medida para triangulación



Observación del material de cubierta



Obtención de temperaturas ambientales.

En la foto, se observa la obtención de la temperatura exterior a la cueva, comparandola con una base de datos climática online (YR.No), comprobando la concordancia de datos.

Dossier fotográfico del proceso de obtención de catas, para estudio geotécnico.



DATOS CLIMÁTICOS DEL AEMET PARA LA ZONA

VALORES CLIMATOLÓGICOS NORMALES

Granada - Base aérea

La estación climatológica más cercana al punto de estudio.

Periodo: 1971-2000 - **Altitud (m):** 690

Latitud: 37° 8' 10" N - **Longitud:** 3° 38' 0" O - **Posición:** Ver localización ▶

Zona climática **C3**

| Mes | T | TM | Tm | R | H | DR | DN | DT | DF | DH | DD | I |
|------------|------|------|------|-----|----|----|----|----|----|----|-----|------|
| Enero | 6.8 | 12.2 | 1.3 | 44 | 74 | 6 | 0 | 0 | 3 | 13 | 9 | 161 |
| Febrero | 8.4 | 14.1 | 2.6 | 36 | 69 | 6 | 0 | 0 | 2 | 6 | 7 | 161 |
| Marzo | 10.7 | 17.0 | 4.3 | 37 | 62 | 6 | 0 | 1 | 1 | 2 | 7 | 207 |
| Abril | 12.6 | 18.8 | 6.4 | 40 | 59 | 7 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 | 215 |
| Mayo | 16.5 | 23.1 | 9.8 | 30 | 55 | 5 | 0 | 2 | 1 | 0 | 5 | 268 |
| Junio | 21.3 | 28.8 | 13.9 | 16 | 48 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 11 | 314 |
| Julio | 25.3 | 33.5 | 17.1 | 3 | 41 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 22 | 348 |
| Agosto | 25.1 | 33.2 | 17.1 | 3 | 42 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 18 | 320 |
| Septiembre | 21.2 | 28.5 | 14.0 | 17 | 52 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 10 | 243 |
| Octubre | 15.7 | 21.9 | 9.5 | 40 | 64 | 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 7 | 203 |
| Noviembre | 10.6 | 16.2 | 5.1 | 46 | 73 | 6 | 0 | 1 | 2 | 3 | 8 | 164 |
| Diciembre | 7.9 | 13.1 | 2.8 | 49 | 76 | 7 | 0 | 0 | 3 | 8 | 7 | 147 |
| Año | 15.2 | 21.7 | 8.7 | 361 | 60 | 54 | 2 | 11 | 13 | 31 | 115 | 2751 |

Leyenda

T Temperatura media mensual/anual (°C)

TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)

Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)

R Precipitación mensual/anual media (mm)

H Humedad relativa media (%)

DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm

DN Número medio mensual/anual de días de nieve

DT Número medio mensual/anual de días de tormenta

DF Número medio mensual/anual de días de niebla

DH Número medio mensual/anual de días de helada

DD Número medio mensual/anual de días despejados

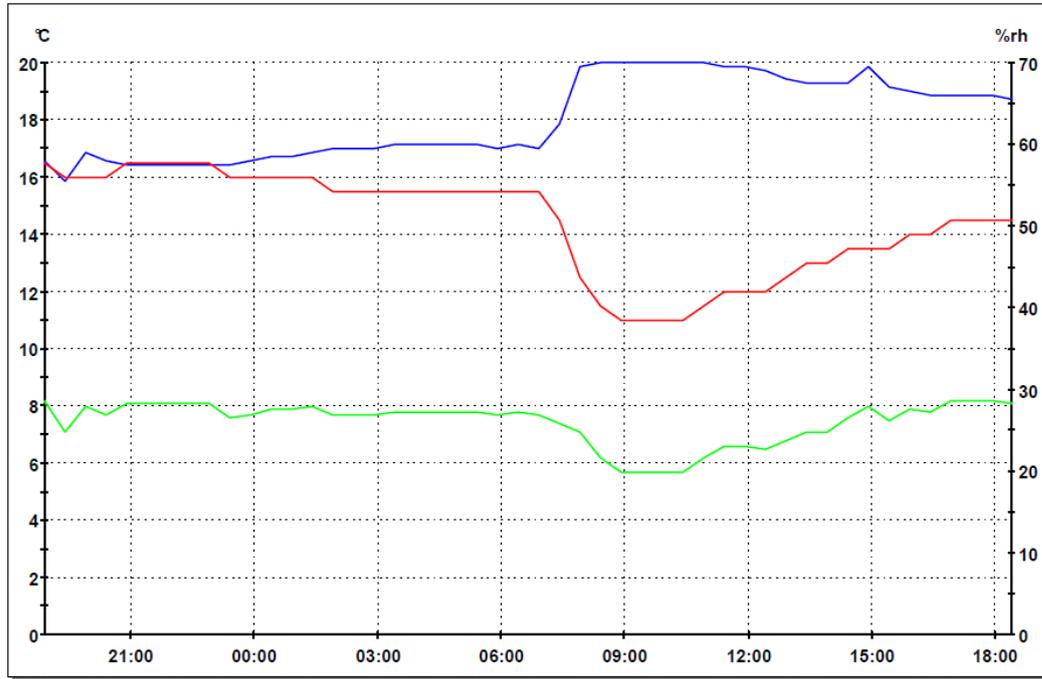
I Número medio mensual/anual de horas de sol

TABLAS Y GRÁFICAS DE TOMA DE DATOS OBTENIDAS

TABLAS CASA CUEVA

Enero 2013. CASA CUEVA

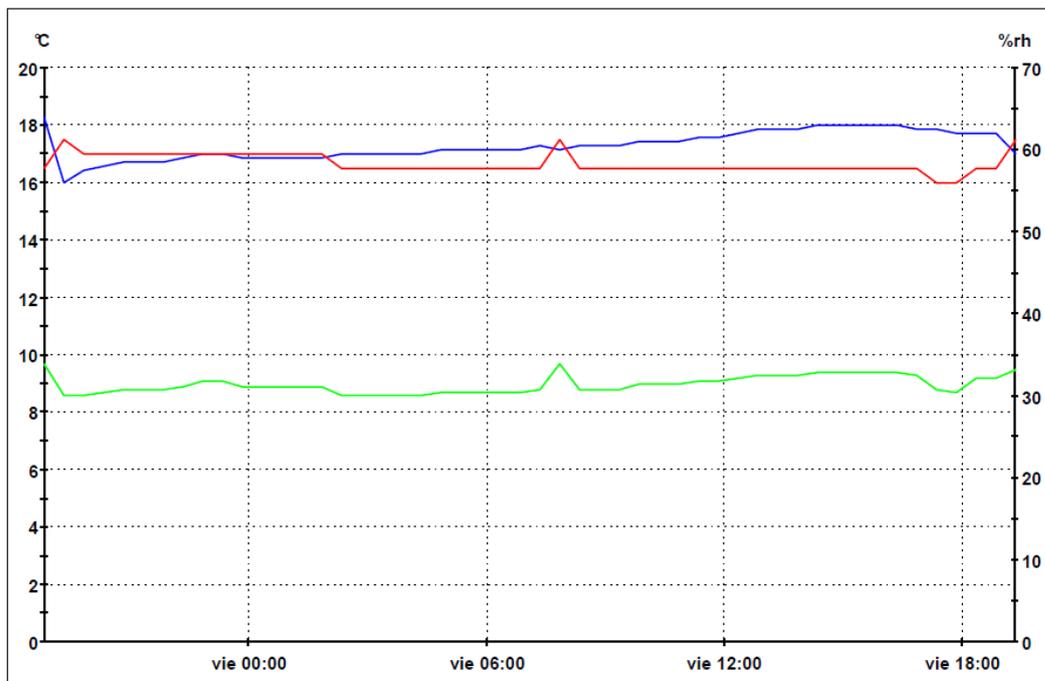
Profundidad N1



— Celsius — dew point — Humidity

From:- 16 January 2013 18:54:16 To:- 17 January 2013 18:24:16

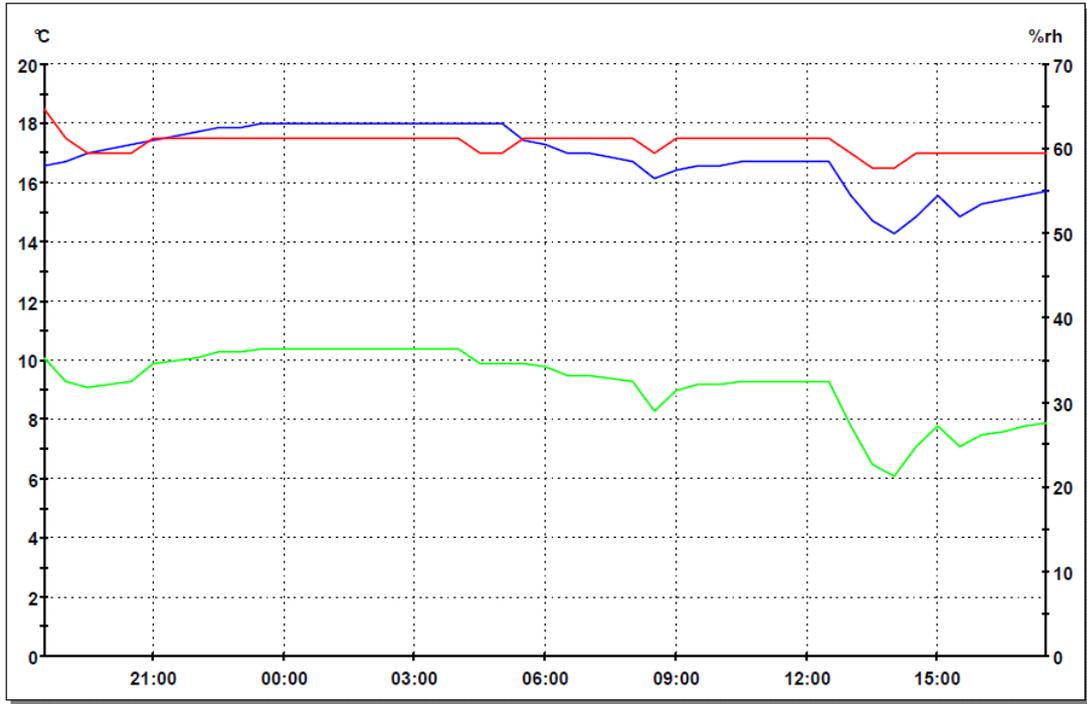
Profundidad N2



— Celsius — dew point — Humidity

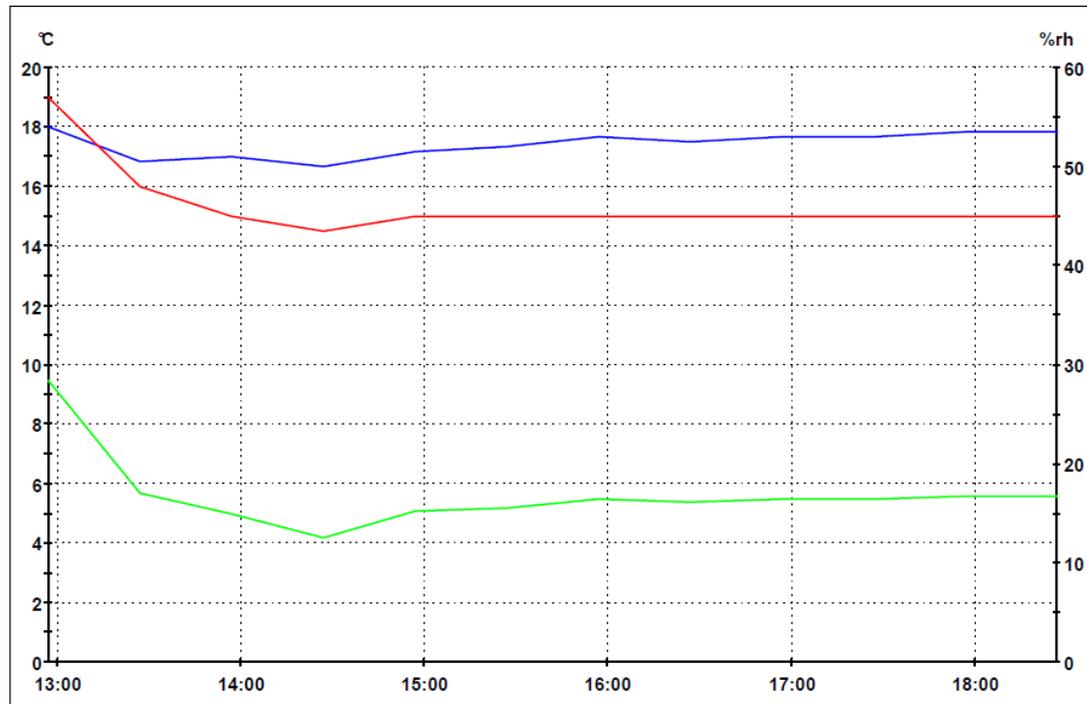
From:- 17 January 2013 18:50:08 To:- 18 January 2013 19:20:08

Profundidad N3



From:- 19 January 2013 18:29:46 To:- 20 January 2013 17:29:46

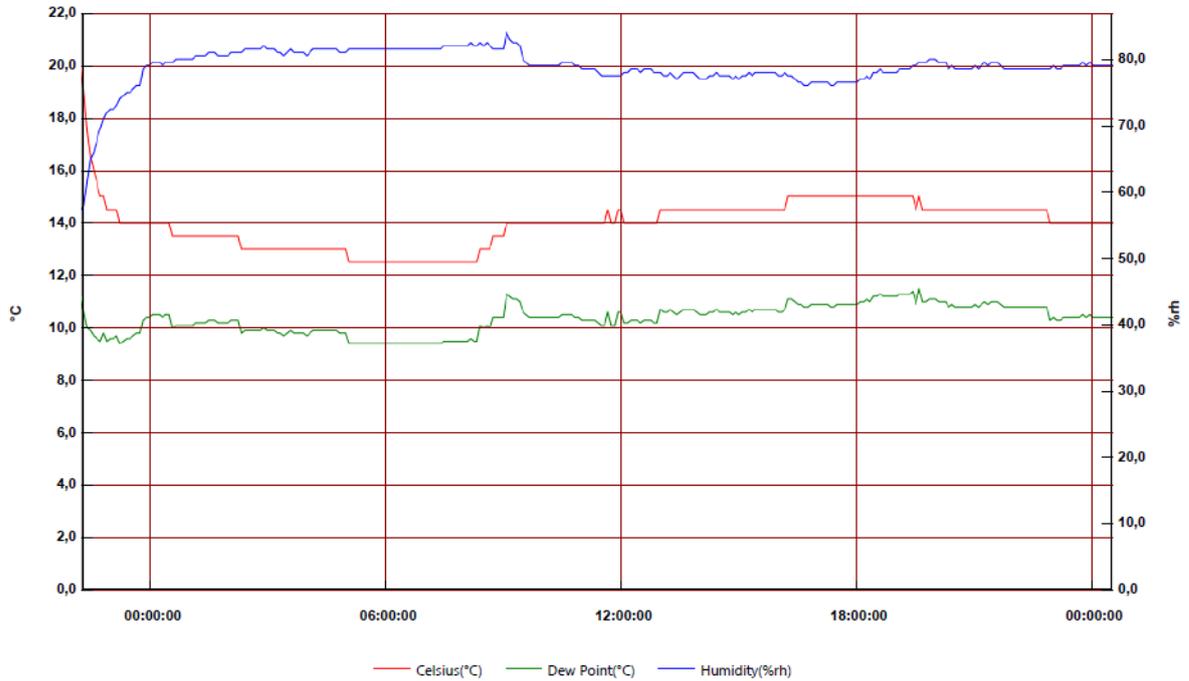
Profundidad N4



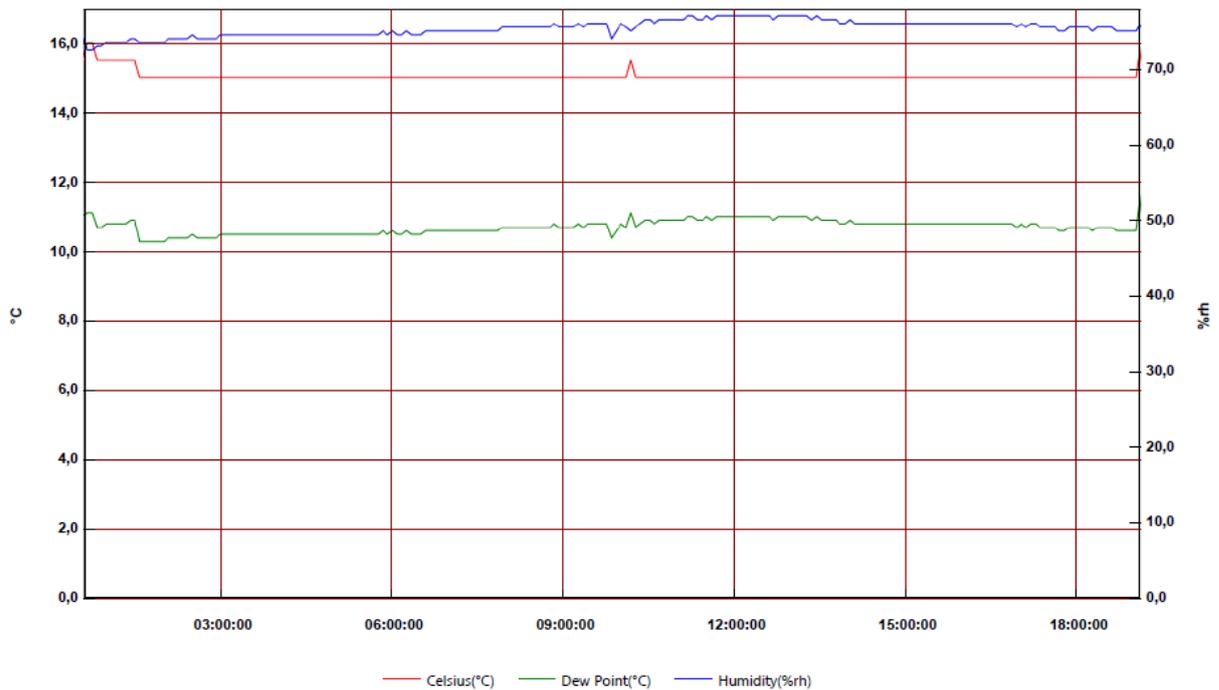
From:- 16 January 2013 12:56:53 To:- 16 January 2013 18:26:53

Marzo 2013. CASA CUEVA

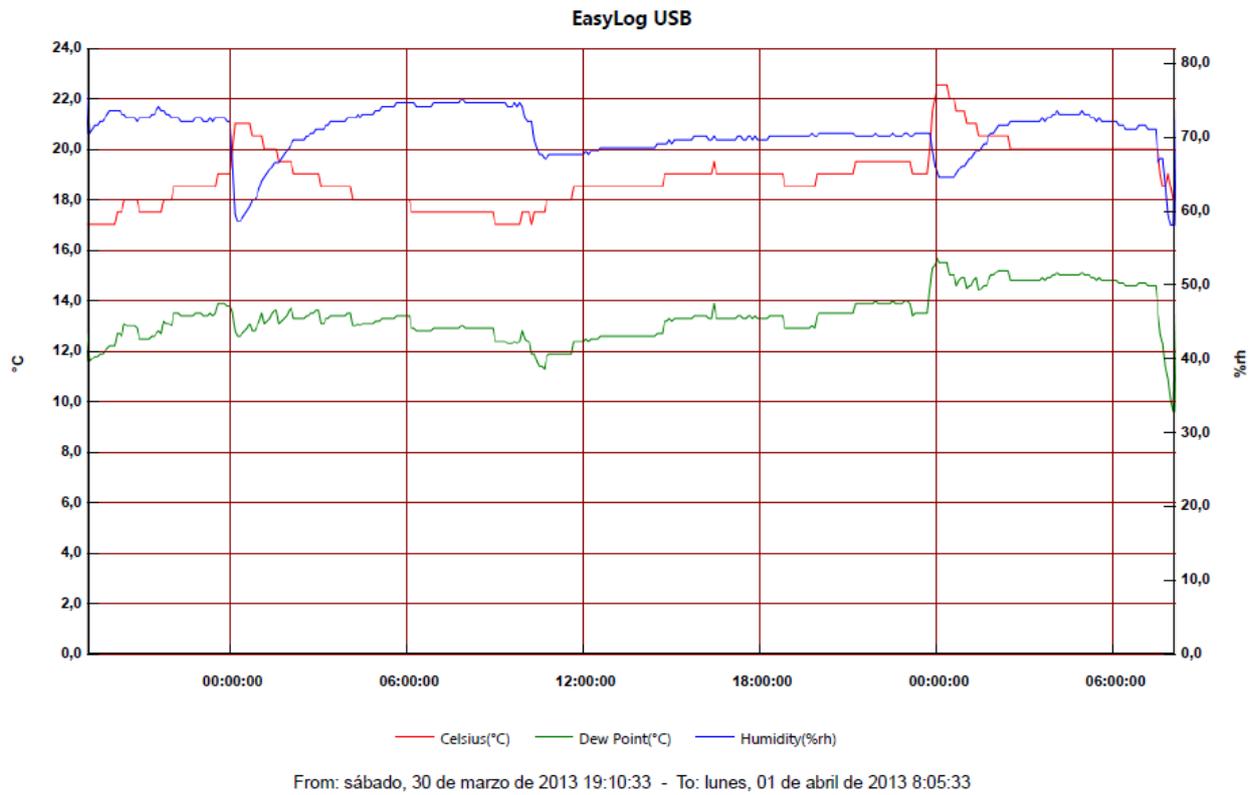
Profundidad N1



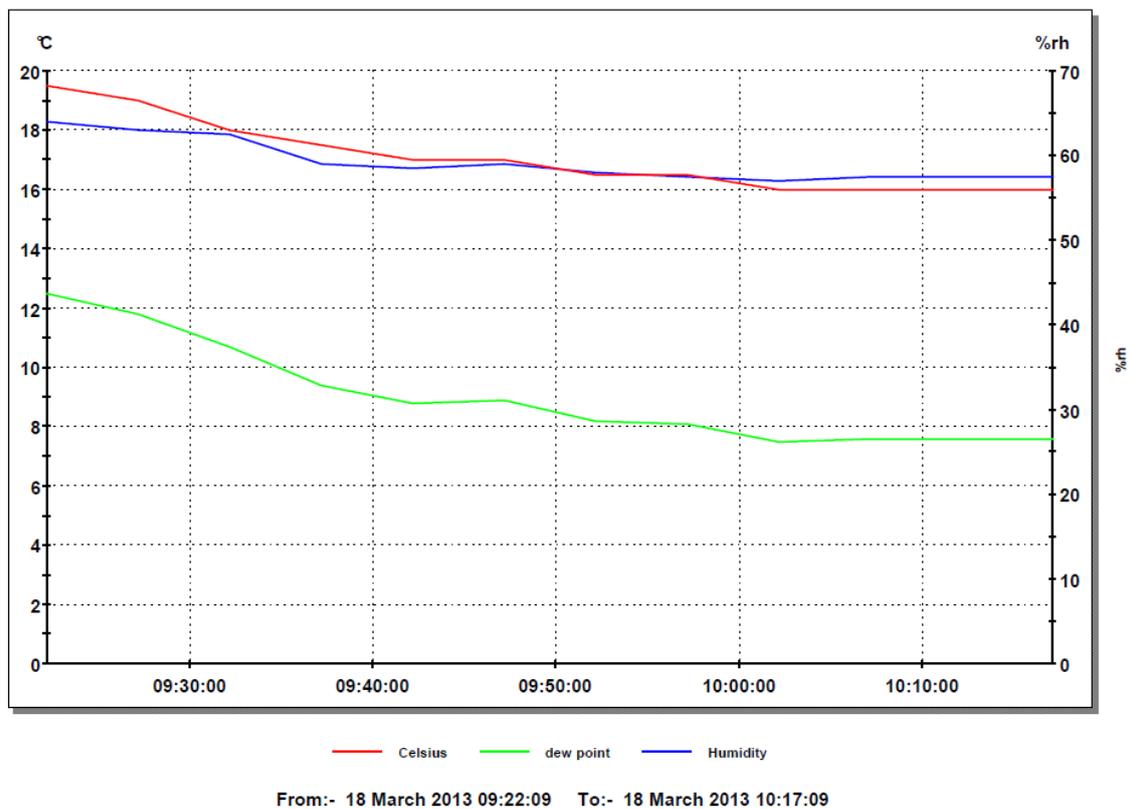
Profundidad N2



Profundidad N3

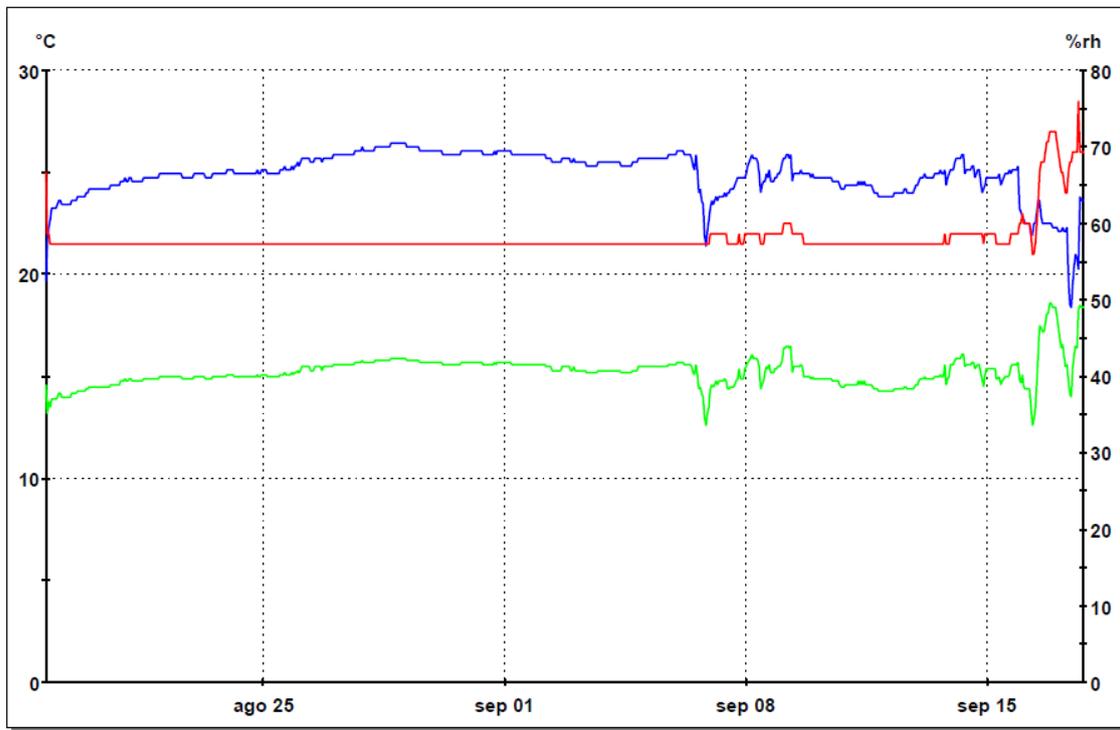


Profundidad N4



Agosto 2013. CASA CUEVA

Profundidad N3



From:- 18 August 2013 16:58:11 To:- 17 September 2013 18:58:11

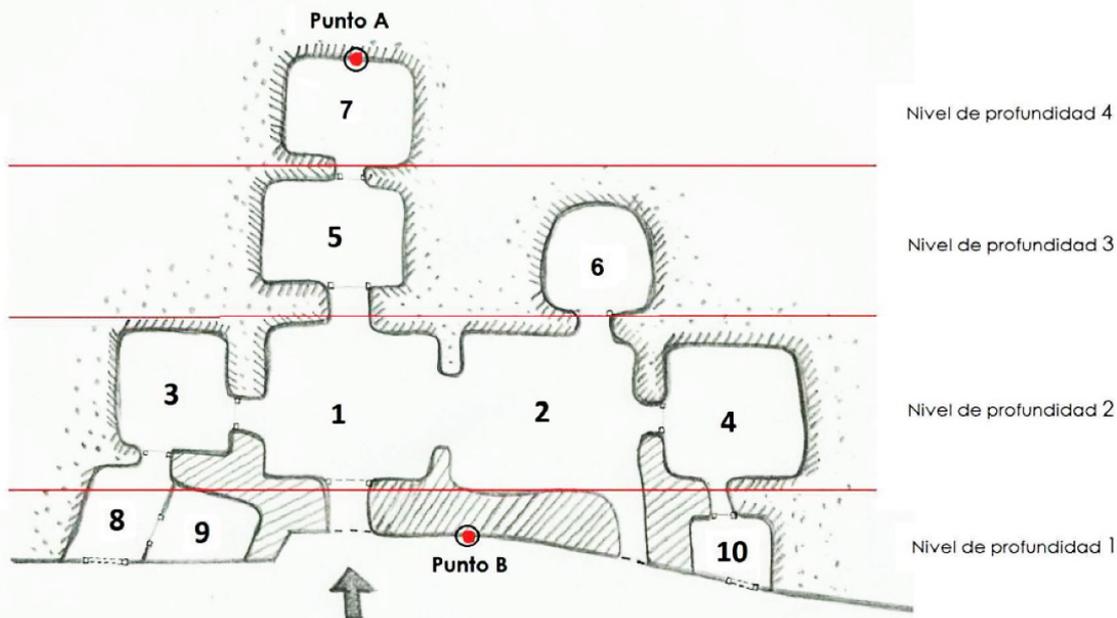
| TABLA DE TOMA DE DATOS IN SITU | | | | |
|--|-----------------------------------|----------------------------------|------------|-------------------------------------|
| HOJA DE TEMPERATURAS POR ESTANCIA | | | | |
| Hora fría (Temperatura exterior) | | | | |
| Hora de toma: 07.00 | Temp. exterior: 12.1 °C | Climatología: Soleado | | Lugar de toma: Belerda (Granada) |
| Fecha de toma: 29-10-2011 | | | | |
| Estancia | Temperatura ambiente | Temperatura superficial de pared | | Temperatura superficial de techo |
| | | Pared ext. | Pared int. | |
| Temperatura superficial de suelo | | | | |
| Profundidad 1: Superficial, con al menos una pared de obra convencional, en contacto con el exterior. | | | | |
| Sala (8) | 21° | 14.3°/17.8° | | 16.5° |
| Sala (9) | 21° | 13.1°/17.9° | | 17° |
| Sala (10) | 25.7° | 15.8°/20.4° | | 20.4° |
| Profundidad 2: Parcial, con huecos directamente al exterior o a través de estancia contigua. | | | | |
| Sala (1) | 25.6° | 20.8/20.5° | | 21.1° |
| Sala (2) | 26.3° | 20.5/20.7° | | 21.3° |
| Sala (3) | 25.5° | 19.8/21.4° | | 21.5° |
| Sala (4) | 26.7° | 21.4/21.5° | | 22.4° |
| Profundidad 3: Completa, sin ventilación directa y a un segundo nivel de profundidad | | | | |
| Sala (5) | 26.2° | 20.3°/20.3° | | 20.5° |
| Sala (6) | 26.5° | 20.7°/20.7° | | 20.8° |
| Profundidad 4: Completa, sin ventilación directa y a un tercer nivel de profundidad | | | | |
| Sala (7) | 26.6° | 19.8°/19.9° | | 19.9° |

Diagrama de planta de la casa cueva que muestra la distribución de las estancias (1-10) y los niveles de profundidad (1-4). El Nivel de profundidad 4 está en la parte superior, con el Punto A. El Nivel de profundidad 3 está en el nivel superior. El Nivel de profundidad 2 está en el nivel inferior. El Nivel de profundidad 1 está en el nivel más bajo, con el Punto B. Una flecha apunta hacia el Nivel de profundidad 1.

HOJA DE TEMPERATURAS POR ESTANCIA

Hora cálida (Temperatura exterior)

| Hora de toma: 15.00 | Temp. exterior: 19.4 °C | Climatología: Soleado | | Lugar de toma: Belerda (Granada) | Fecha de toma: 29-10-2011 |
|--|----------------------------|----------------------------------|------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Estancia | Temperatura ambiente | Temperatura superficial de pared | | Temperatura superficial de techo | Temperatura superficial de suelo |
| | | Pared ext. | Pared int. | | |
| Profundidad 1: Superficial, con al menos una pared de obra convencional, en contacto con el exterior. | | | | | |
| Sala (8) | 24° | 17.1°/18° | | 17.3° | 17.2° |
| Sala (9) | 23.8° | 17.3°/17.6° | | 17.4° | 17.1° |
| Sala (10) | 24.3° | 18°/19.5° | | 20° | 19.1° |
| Profundidad 2: Parcial, con huecos directamente al exterior o a través de estancia contigua. | | | | | |
| Sala (1) | 22.7° | 18.4°/19.4° | | 19.8° | 18.9° |
| Sala (2) | 23.5° | 19.9°/20.1° | | 20° | 19.1° |
| Sala (3) | 24.2° | 19°/20.6° | | 20.5° | 18.6° |
| Sala (4) | 23.8° | 20°/19.5° | | 20.5° | 19.6° |
| Profundidad 3: Completa, sin ventilación directa y a un segundo nivel de profundidad | | | | | |
| Sala (5) | 24.8° | 20°/20° | | 20° | 19.6° |
| Sala (6) | 25.1° | 19.8°/19.6° | | 20.4° | 19.4° |
| Profundidad 4: Completa, sin ventilación directa y a un tercer nivel de profundidad | | | | | |
| Sala (7) | 25.2° | 19.1°/19.4° | | 19.1° | 19.1° |



| TABLA DE TOMA DE DATOS IN SITU | | | | |
|---|----------------------------|--------------------------------------|--|-----------------------------------|
| HOJA DE TEMPERATURAS EXTREMAS | | | | |
| Hora fría (Temperatura exterior) | | | | |
| Hora de toma: 07.00 | Temp. exterior: 12.1 °C | Climatología: Soleado | Lugar de toma: Belerda (Granada) | Fecha de toma: 29-10-2011 |
| Estancia | Temperatura ambiente | Temperatura superficial de pared | Temperatura superficial de techo | Temperatura superficial de suelo |
| Punto A: nivel más profundo de la cueva (Sala 7) | | | | |
| Sala 7 | 26.6° | 19.7° | 19.7° | 19.6° |
| | | Tª superficial pared (zona superior) | Tª superficial pared (zona intermedia) | Tª superficial pared (zona suelo) |
| Punto B: nivel más externo de la cueva (Fachada) | | | | |
| Fachada | 12.1° | 9.1° | 8.6° | 11.5° |
| Hora cálida (Temperatura exterior) | | | | |
| Hora de toma: 15.00 | Temp. exterior: 19.4 °C | Climatología: Soleado | Lugar de toma: Belerda (Granada) | Fecha de toma: 29-10-2011 |
| Estancia | Temperatura ambiente | Temperatura superficial de pared | Temperatura superficial de techo | Temperatura superficial de suelo |
| Punto A: nivel más profundo de la cueva (Sala 7) | | | | |
| Sala (7) | 25.3° | 19° | 19.2° | 18.8° |
| | | Tª superficial pared (zona superior) | Tª superficial pared (zona intermedia) | Tª superficial pared (zona suelo) |
| Punto B: nivel más externo de la cueva (Fachada) | | | | |
| Fachada | 19.4° | 15.9° | 16.5° | 20.1° |
| Croquis de la casa cueva | | | | |
| <p>The diagram shows a cross-section of a cave house with 10 rooms. Room 7 is at the top, and room 10 is at the bottom. Rooms 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, and 9 are arranged in a complex layout. Four horizontal red lines indicate different depth levels: Nivel de profundidad 4 (top), Nivel de profundidad 3, Nivel de profundidad 2, and Nivel de profundidad 1 (bottom). Punto A is marked with a red dot at the top of room 7, and Punto B is marked with a red dot at the bottom of room 1. An arrow points upwards from the bottom of the diagram.</p> | | | | |

TABLA DE TOMA DE DATOS IN SITU

HOJA DE HUMEDAD RELATIVA EN EL AIRE

Hora fría (Temperatura exterior)

| Hora toma: | Temp. exterior: | Humedad exterior: | Climatología: | Fecha de toma: |
|--|-------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| 7.00 | 12.1 °C | 98% | Soleado | 29-10-2011 |
| Lugar de toma | Temperatura sala | Humedad (%) | Ventilación directa | Patologías por humedad |
| Profundidad 1: Superficial, con al menos una pared de obra convencional, en contacto con el exterior. | | | | |
| Sala (8) | 21 ^o | 80% | Sí | |
| Sala (9) | 21 ^o | 80% | Sí | |
| Sala (10) | 25.7 ^o | 60% | Sí | |
| Profundidad 2: Parcial, con huecos directamente al exterior o a través de estancia contigua. | | | | |
| Sala (1) | 25.6 ^o | 67% | Sí | |
| Sala (2) | 26.3 ^o | 66% | Sí | |
| Sala (3) | 25.5 ^o | 60% | No (Vent. mecánica) | |
| Sala (4) | 26.7 ^o | 55% | No | |
| Profundidad 3: Completa, sin ventilación directa y a un segundo nivel de profundidad | | | | |
| Sala (5) | 26.2 ^o | 67% | No | |
| Sala (6) | 26.5 ^o | 68% | No | |
| Profundidad 4: Completa, sin ventilación directa y a un tercer nivel de profundidad | | | | |
| Sala (7) | 26.6 ^o | 70% | No | |

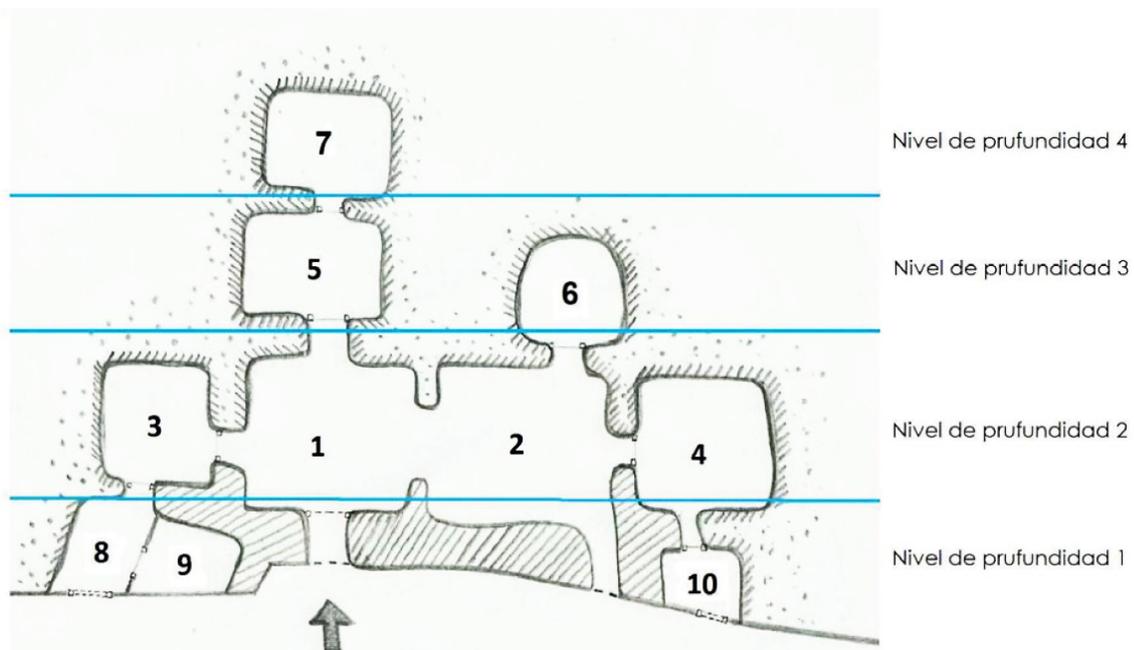
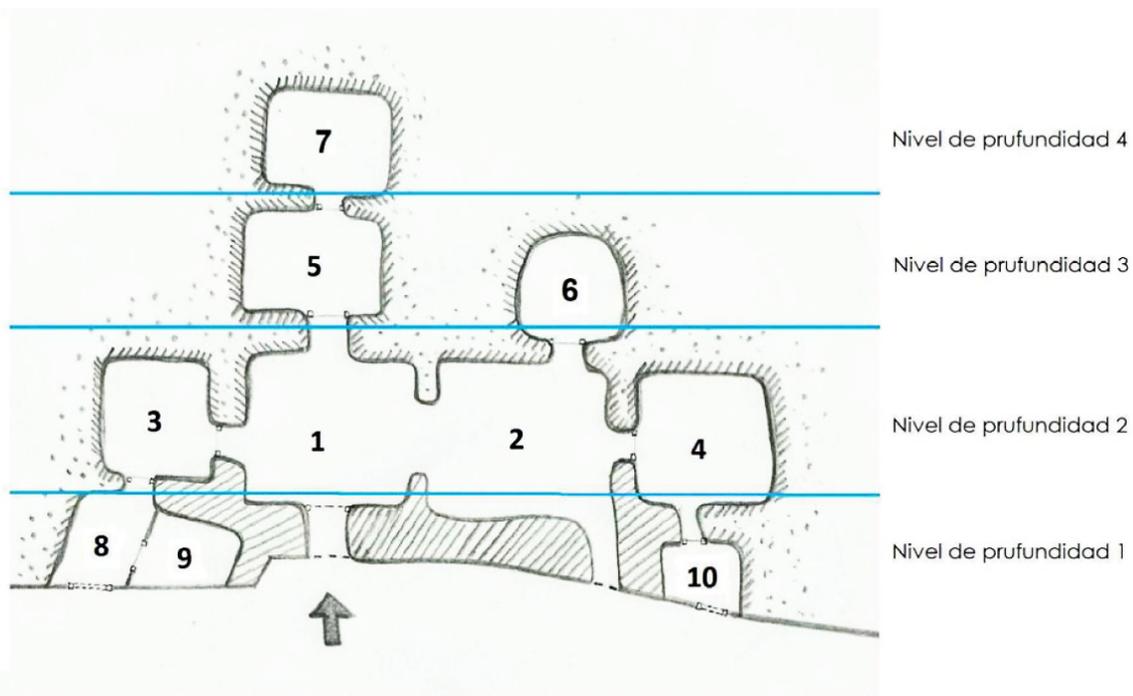


TABLA DE TOMA DE DATOS IN SITU

HOJA DE HUMEDAD RELATIVA EN EL AIRE

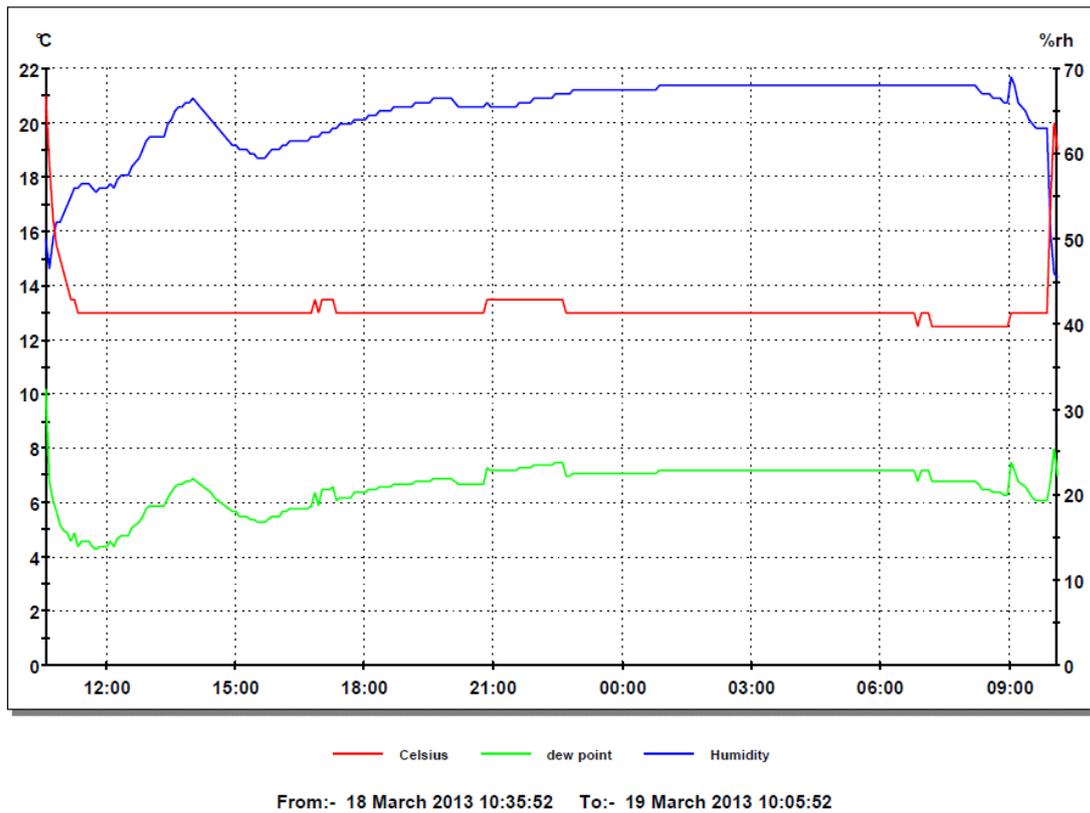
Hora cálida (Temperatura exterior)

| Hora toma: | Temp. exterior: | Climatología: | Lugar de toma: | Fecha de toma: |
|--|---------------------|---------------|---------------------|------------------------|
| 15.00 | 19.4 °C | Soleado | Belerda (Granada) | 29-10-2011 |
| Lugar de toma | Temperatura de sala | Humedad (%) | Ventilación directa | Patologías por humedad |
| Profundidad 1: Superficial, con al menos una pared de obra convencional, en contacto con el exterior. | | | | |
| Sala (8) | 23.7 | 64 | Sí | No |
| Sala (9) | 23.5 | 65 | Sí | No |
| Sala (10) | 23.9 | 65 | Sí | No |
| Profundidad 2: Parcial, con huecos directamente al exterior o a través de estancia contigua. | | | | |
| Sala (1) | 24.2 | 60 | Sí | No |
| Sala (2) | 24.3 | 62 | Sí | No |
| Sala (3) | 24.1 | 63 | No (Vent. mecánica) | No |
| Sala (4) | 24.6 | 62 | No | Si |
| Profundidad 3: Completa, sin ventilación directa y a un segundo nivel de profundidad | | | | |
| Sala (5) | 24 | 64 | No | Si |
| Sala (6) | 24.6 | 64 | No | Sí |
| Profundidad 4: Completa, sin ventilación directa y a un tercer nivel de profundidad | | | | |
| Sala (7) | 25 | 70 | No | Si |

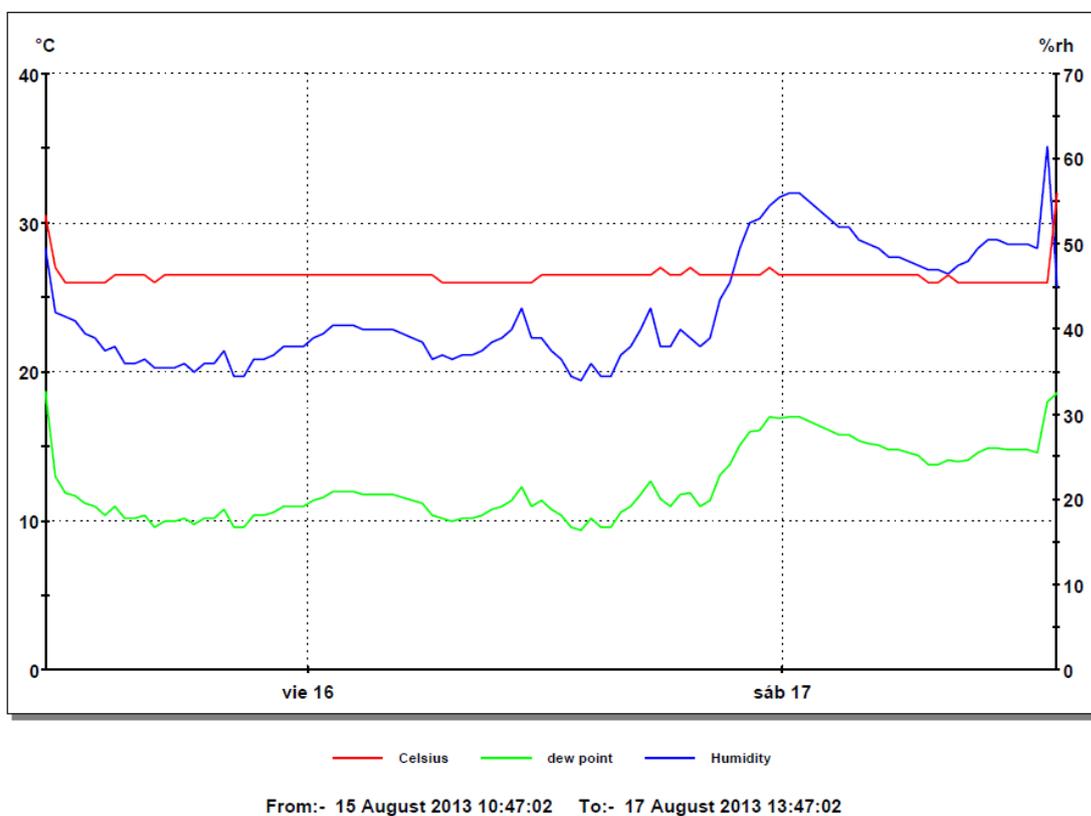


TABLAS CASA TRADICIONAL

Marzo 2013. CASA TRADICIONAL

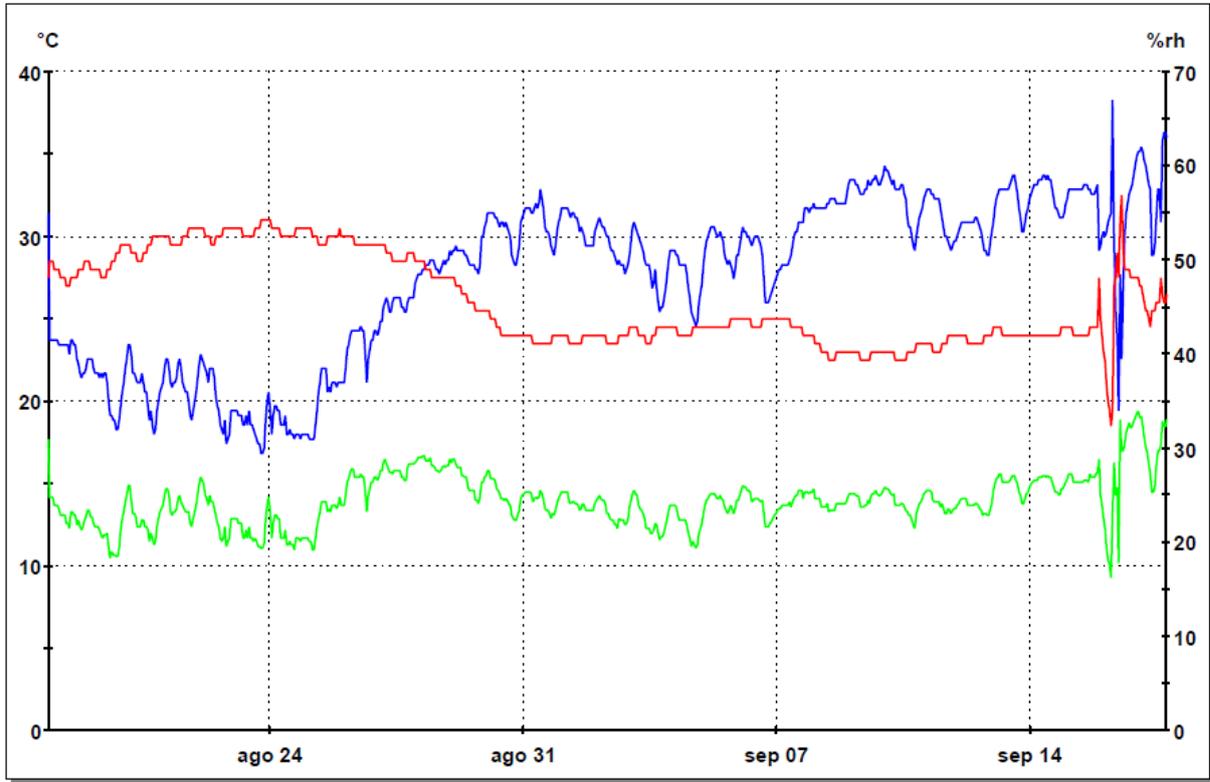


Agosto 2013. CASA TRADICIONAL



TABLAS CASA CONVENCIONAL

Agosto y Septiembre 2013. CASA CONVENCIONAL



— Celsius — dew point — Humidity

From:- 17 August 2013 21:27:54 To:- 17 September 2013 18:27:54

TABLAS ADOSADO GRANADA

Agosto 2013. ADOSADO GRANADA

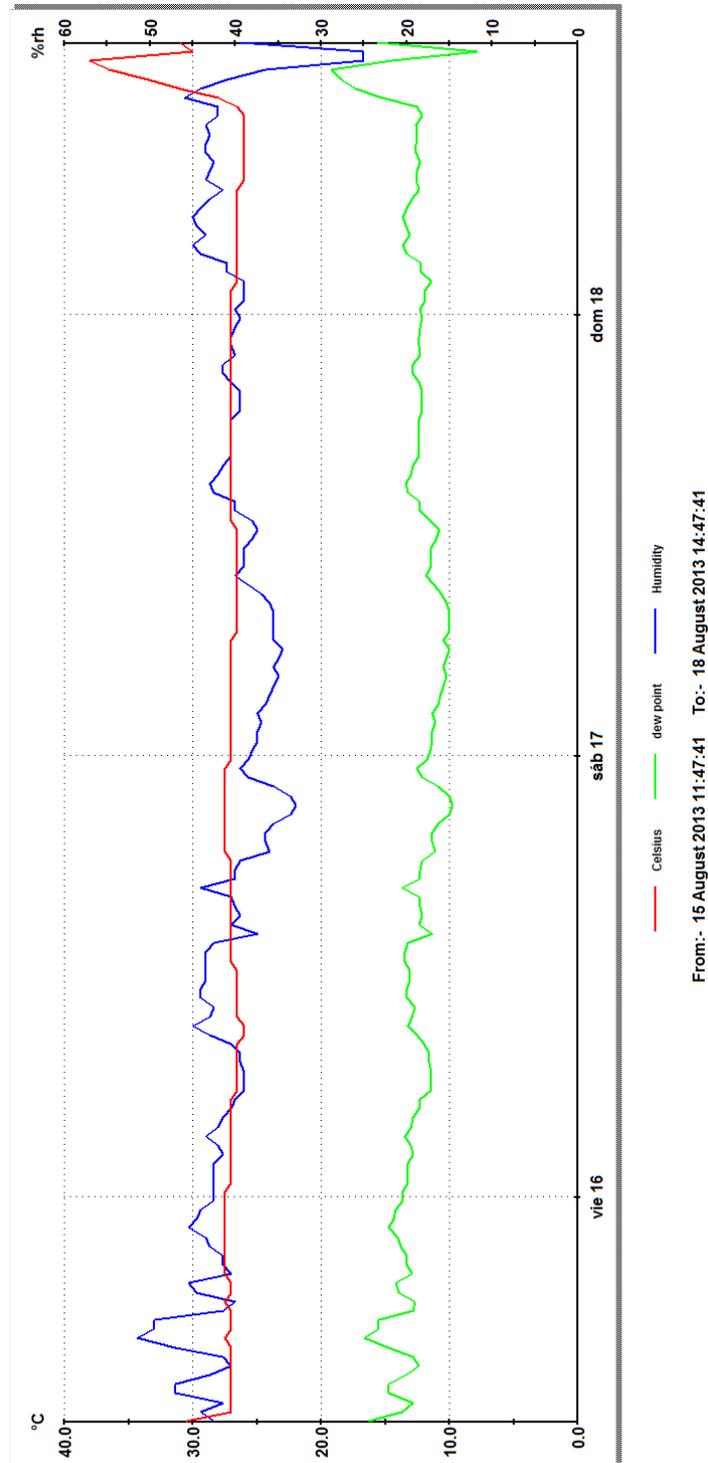


TABLA MEDICIONES IN SITU

HOJA DE TOMA DE DATOS IN SITU

HOJA DE MEDICIÓN DEL ESPESOR DE LA CUBIERTA

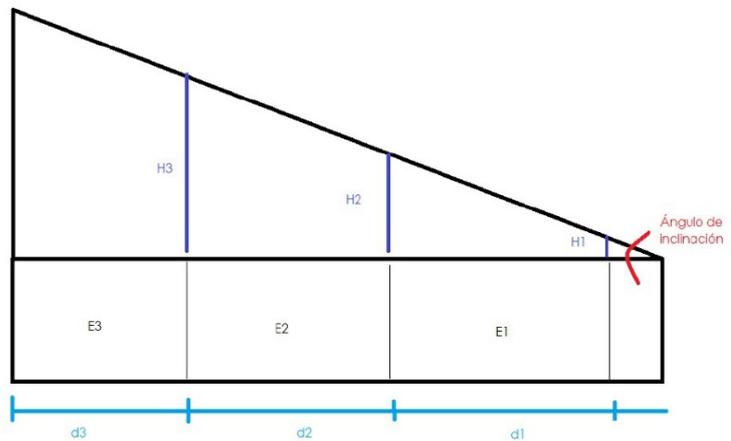
Procedimiento Utilizado:

Dadas las características de la medición y la posibilidad de medios a nuestro alcance, se ha tenido que utilizar un método de aproximación para calcular el espesor de cubierta.

Se ha estudiado la inclinación de la colina donde se ubica la cueva, viendo que la inclinación se puede modelar de manera aproximada con una recta. Para ello se han clavado dos picas en el terreno, donde se han sujetado los extremos de un cordel. De esta manera, si obtenemos el ángulo de inclinación respecto de la normal mediante un nivel de burbuja calibrado, y teniendo como datos conocidos las medidas de profundidad de la cueva (d_1 , d_2 , d_3), podremos establecer una relación trigonométrica para obtener el espesor aproximado de la cubierta, en cada punto de profundidad (H_1 , H_2 , H_3).



Imagen de la pendiente con indicación de línea de inclinación

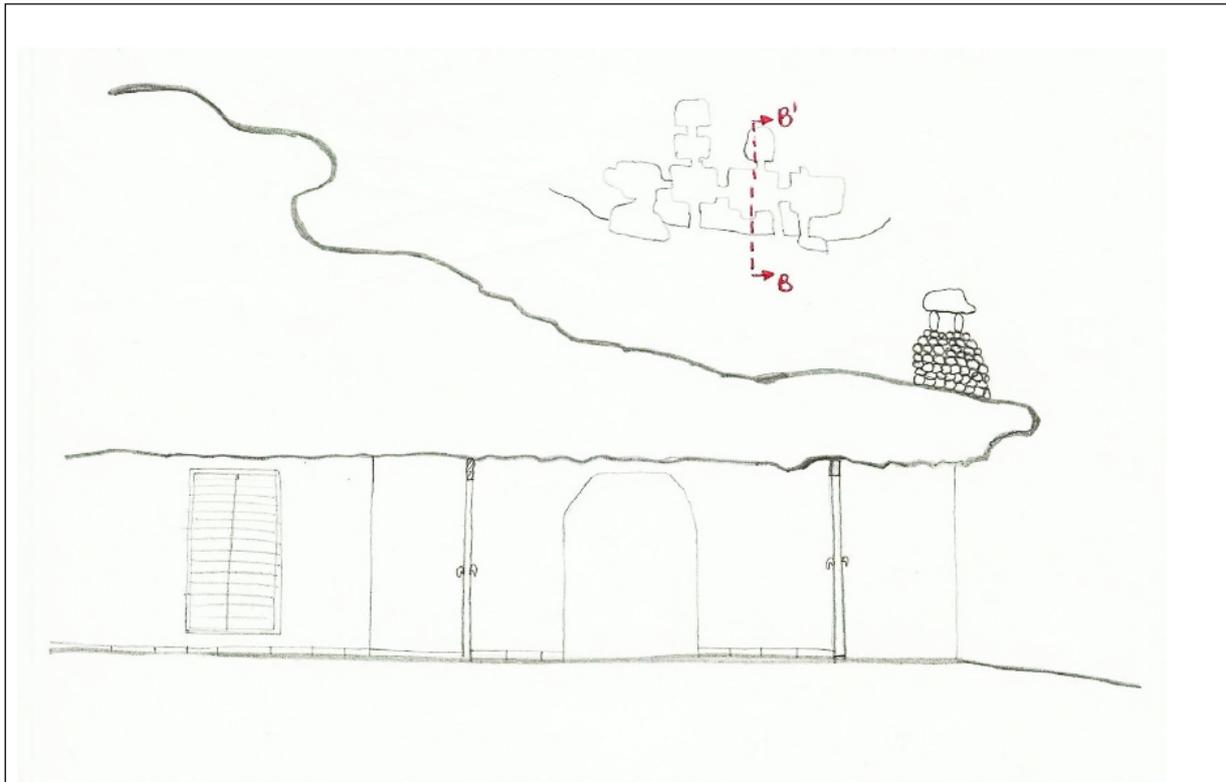
**Instrumentos de medida empleados:**

Flexómetro, nivel de burbuja calibrado, cuerda y dos picas.

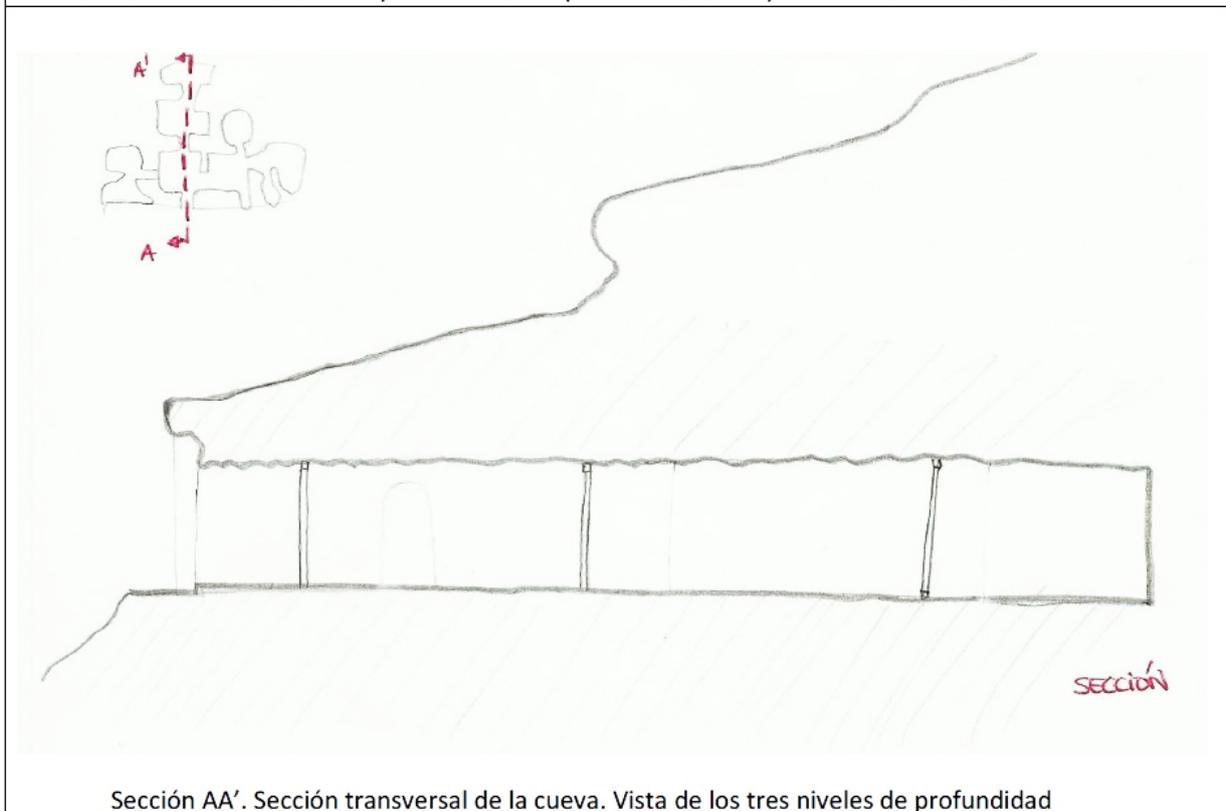


PLANOS Y CROQUIS REALIZADOS

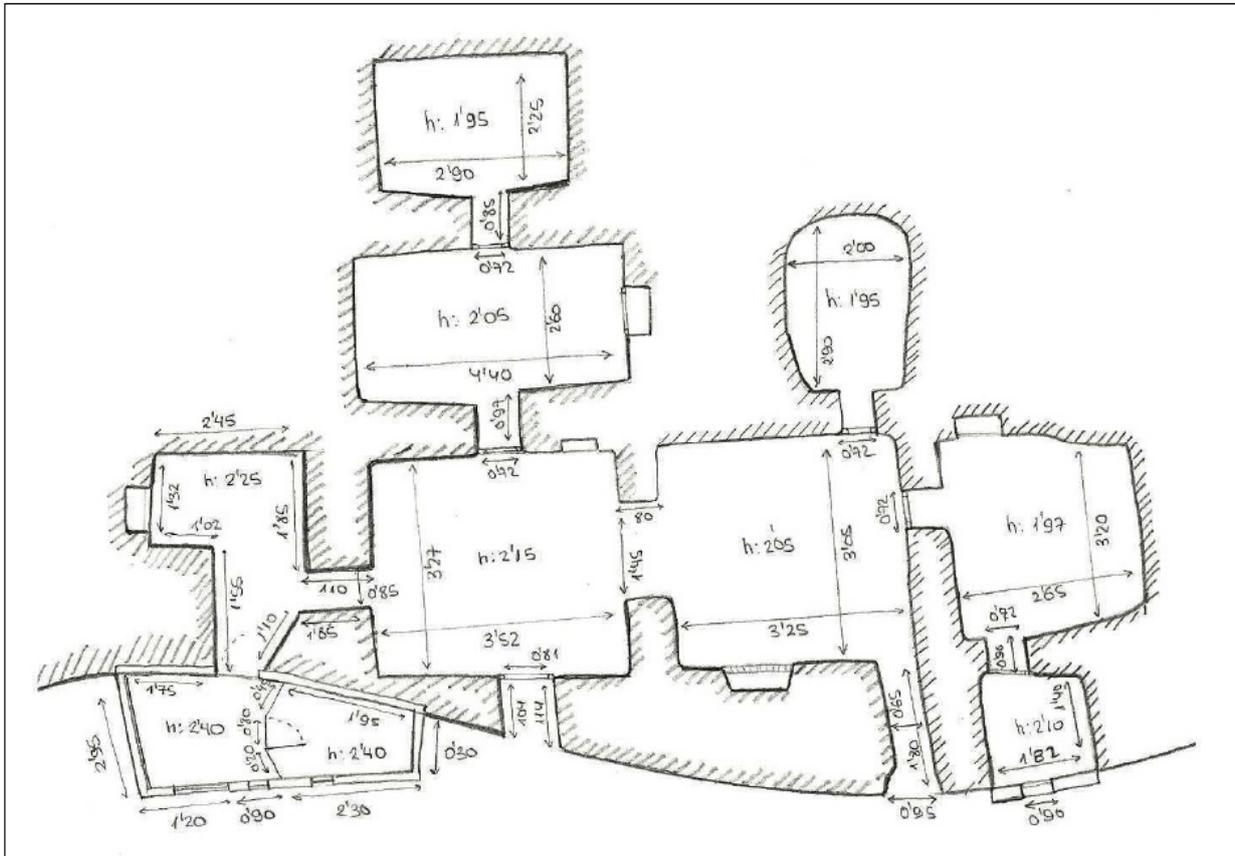
Bocetos Previos



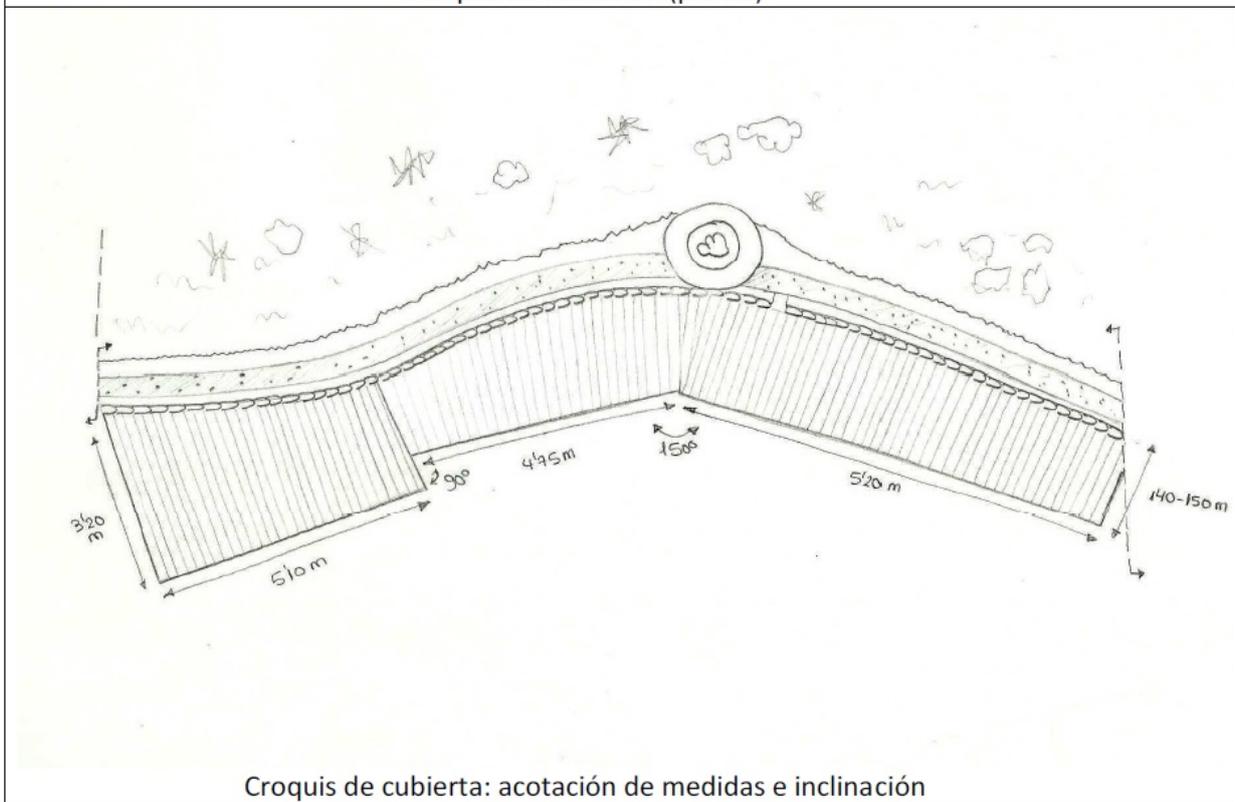
Sección BB'. Estudiamos la aproximación del perfil de cubierta y la ubicación de la chimenea.



Sección AA'. Sección transversal de la cueva. Vista de los tres niveles de profundidad

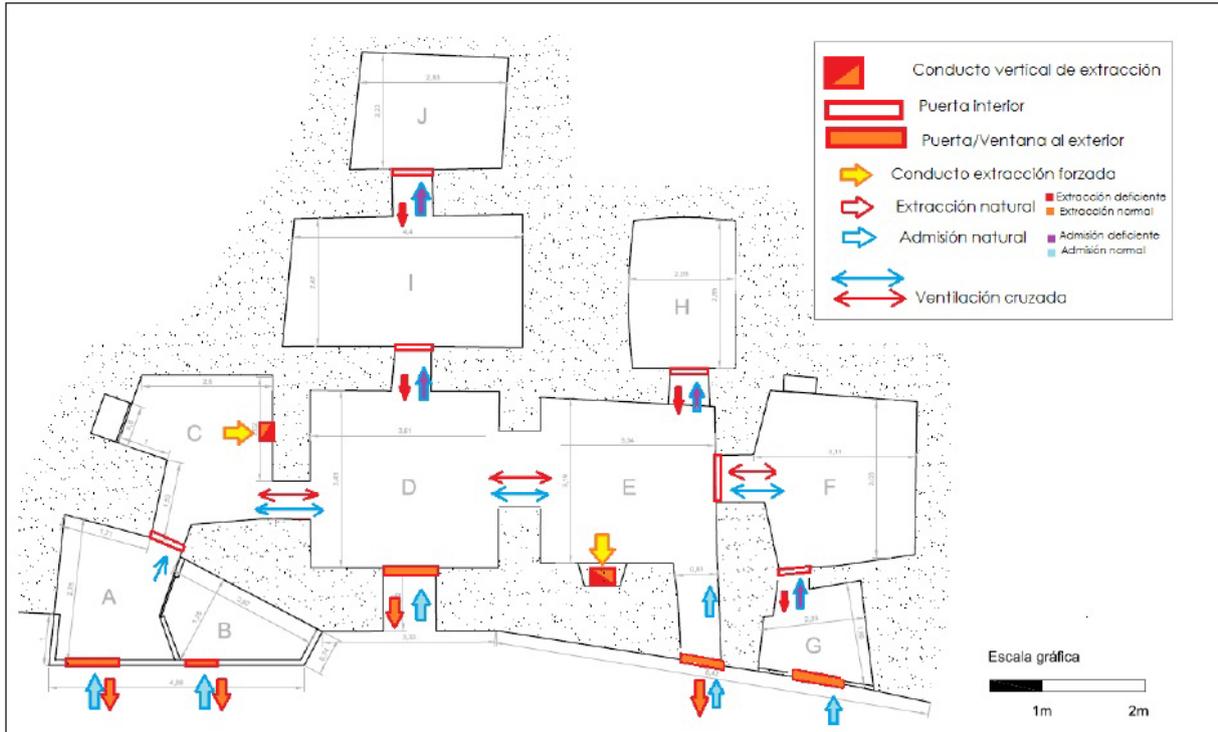


Croquis de acotación (planta)

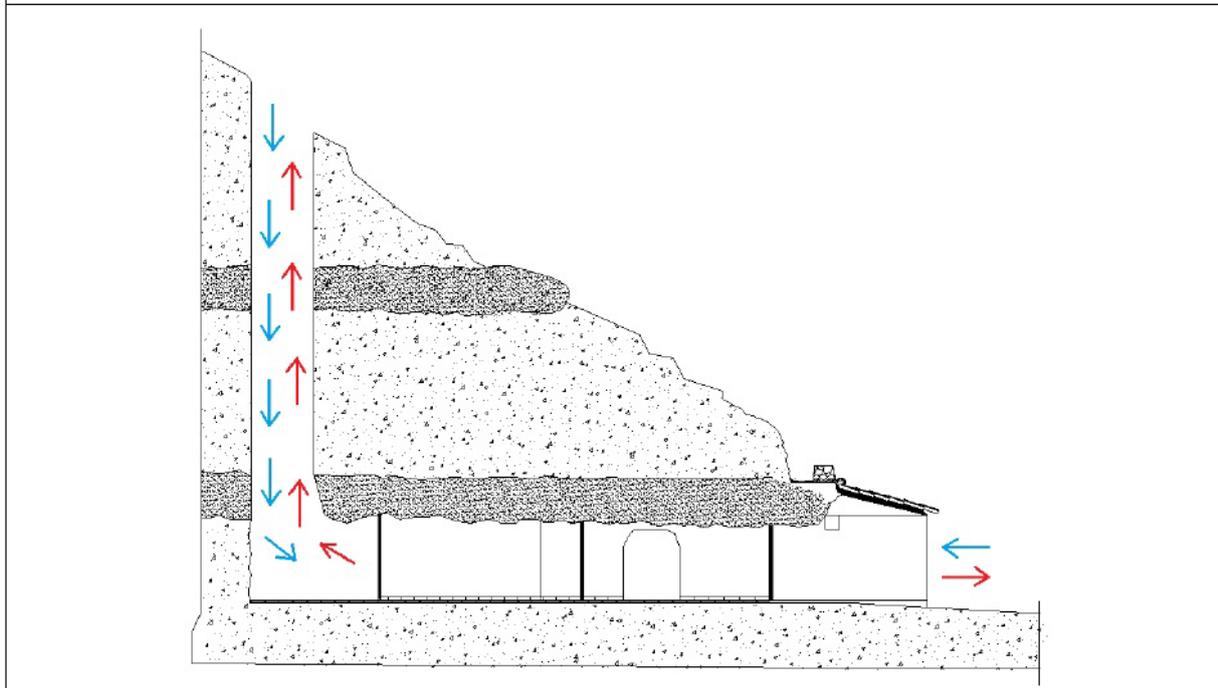


Croquis de cubierta: acotación de medidas e inclinación

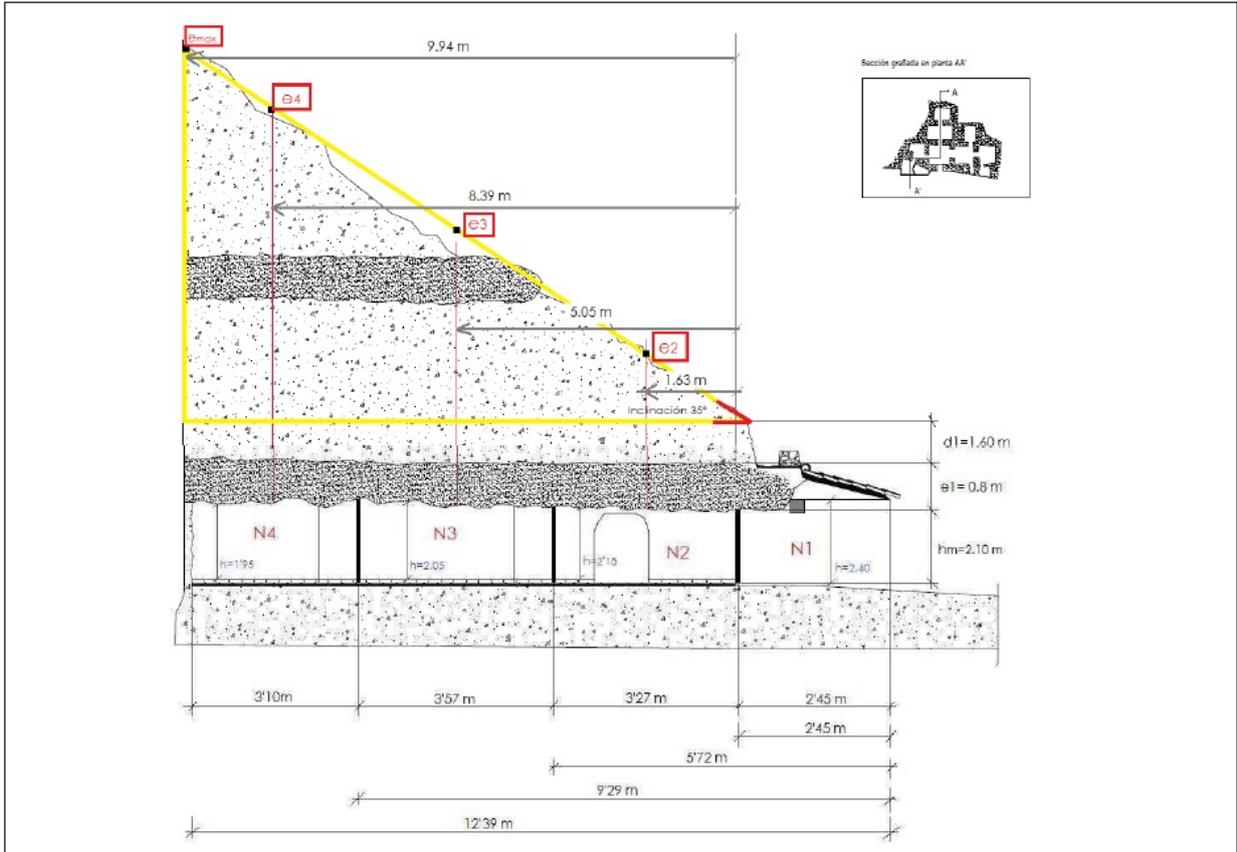
Croquis



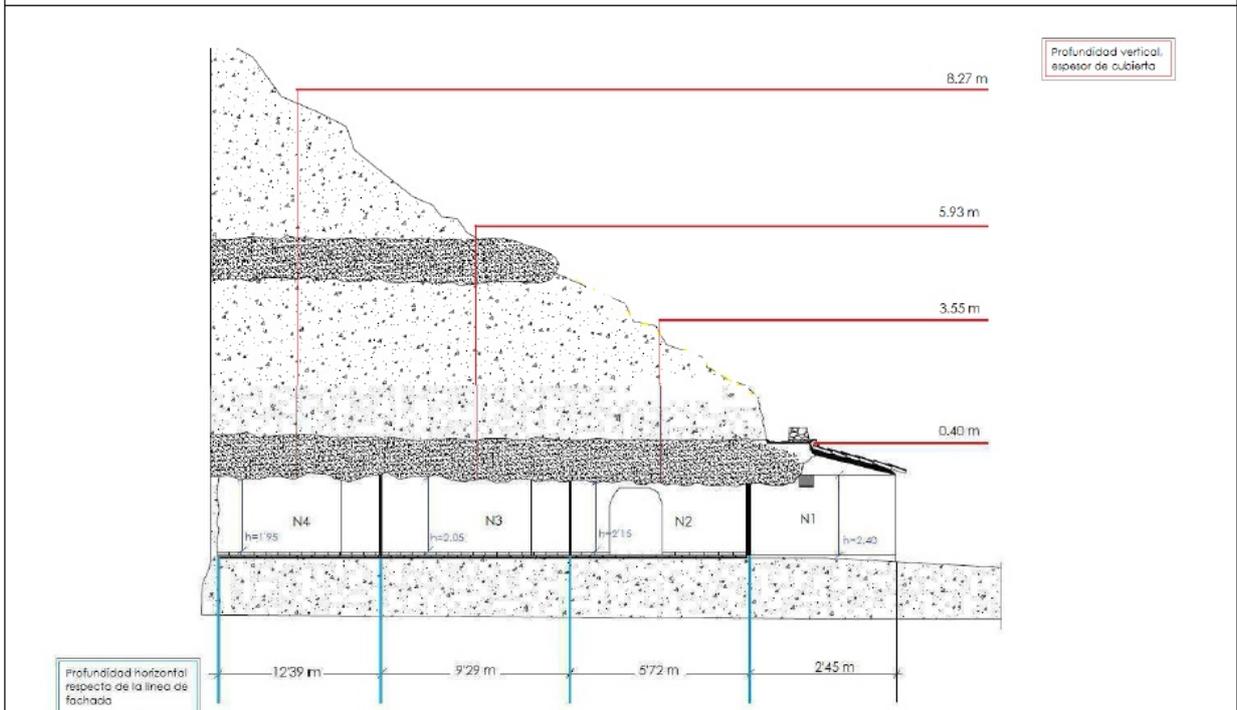
Croquis de Ventilación de la casa cueva: huecos de admisión/extracción



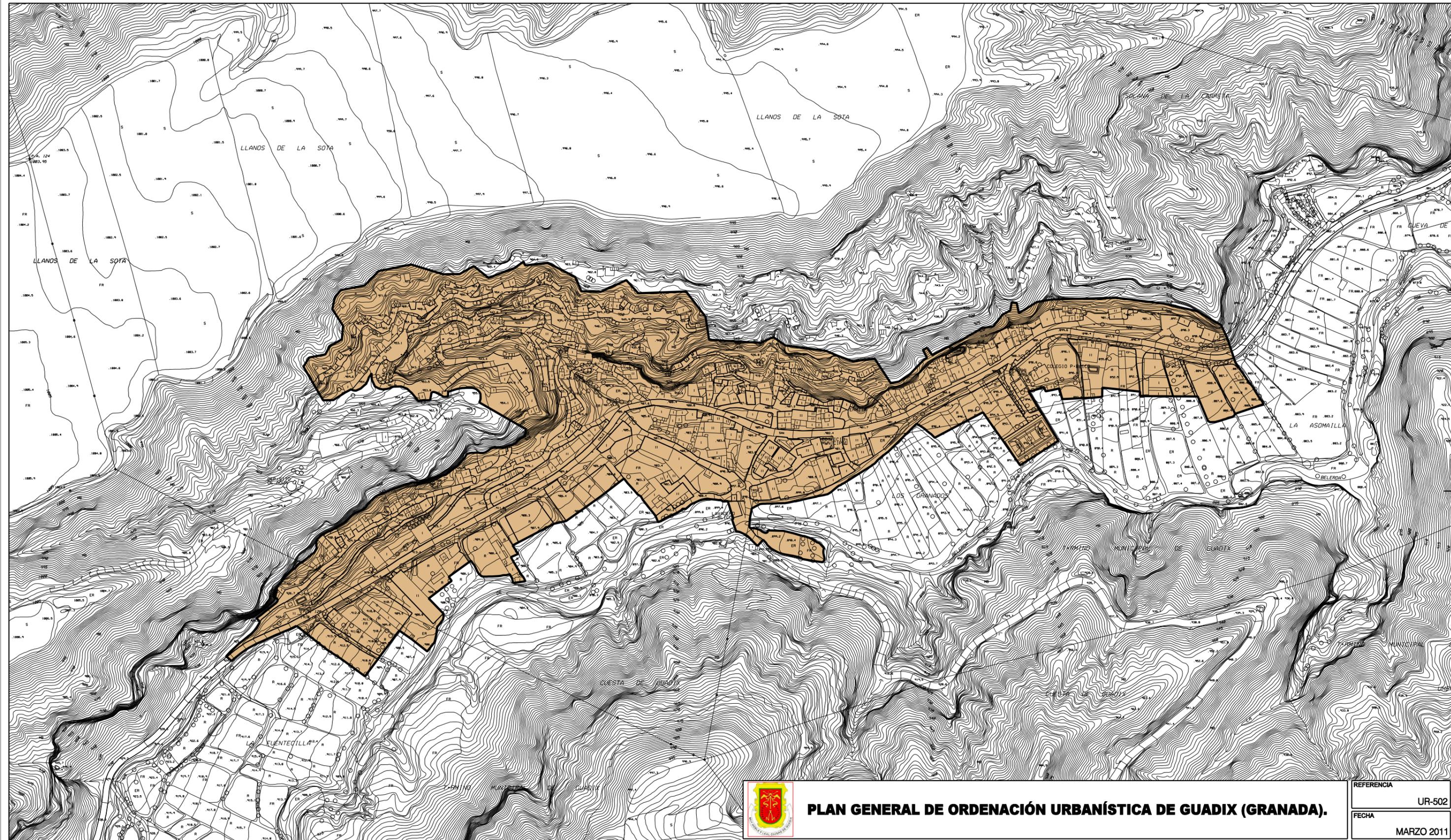
Croquis de propuesta de solución para deficiencias de ventilación en niveles N3 y N4 de la cueva. Apertura de patio de luces excavado en la parte más profunda de la casa cueva.



Esquema de cálculo de espesor de la cubierta



Esquema de espesores de la cubierta



PLAN GENERAL DE ORDENACIÓN URBANÍSTICA DE GUADIX (GRANADA).

| | |
|------------|------------|
| REFERENCIA | UR-502 |
| FECHA | MARZO 2011 |

CATEGORIZACIÓN SUELO URBANO-URBANIZABLE

| | |
|--|--|
|  SUELO URBANO CONSOLIDADO |  SUELO URBANIZABLE ORDENADO |
|  SUELO URBANO NO CONSOLIDADO |  SUELO URBANIZABLE SECTORIZADO |
| |  SUELO URBANIZABLE NO SECTORIZADO |

 LÍMITE DEL SUELO URBANO

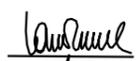
PLANO DE:
CLASIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DEL SUELO URBANO Y URBANIZABLE. BELEDA

| | | |
|-----------|--------|-----------|
| PLANO DE: | ESCALA | PLANO Nº. |
| GESTIÓN | 1/3000 | G-BE-1 |



EQUIPO REDACTOR:

- CARMELO LOPERENA, Arquitecto
- LUIS TURIEL, Arquitecto
- JOSÉ MARI AIZCORBE, Arquitecto
- IÑAKI GARDE, Geógrafo

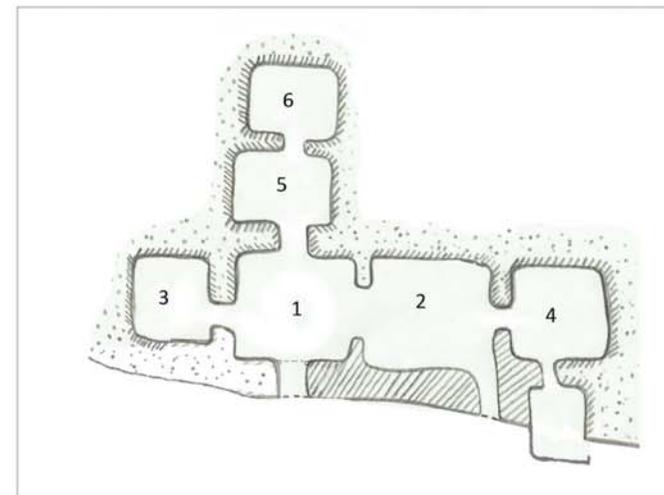
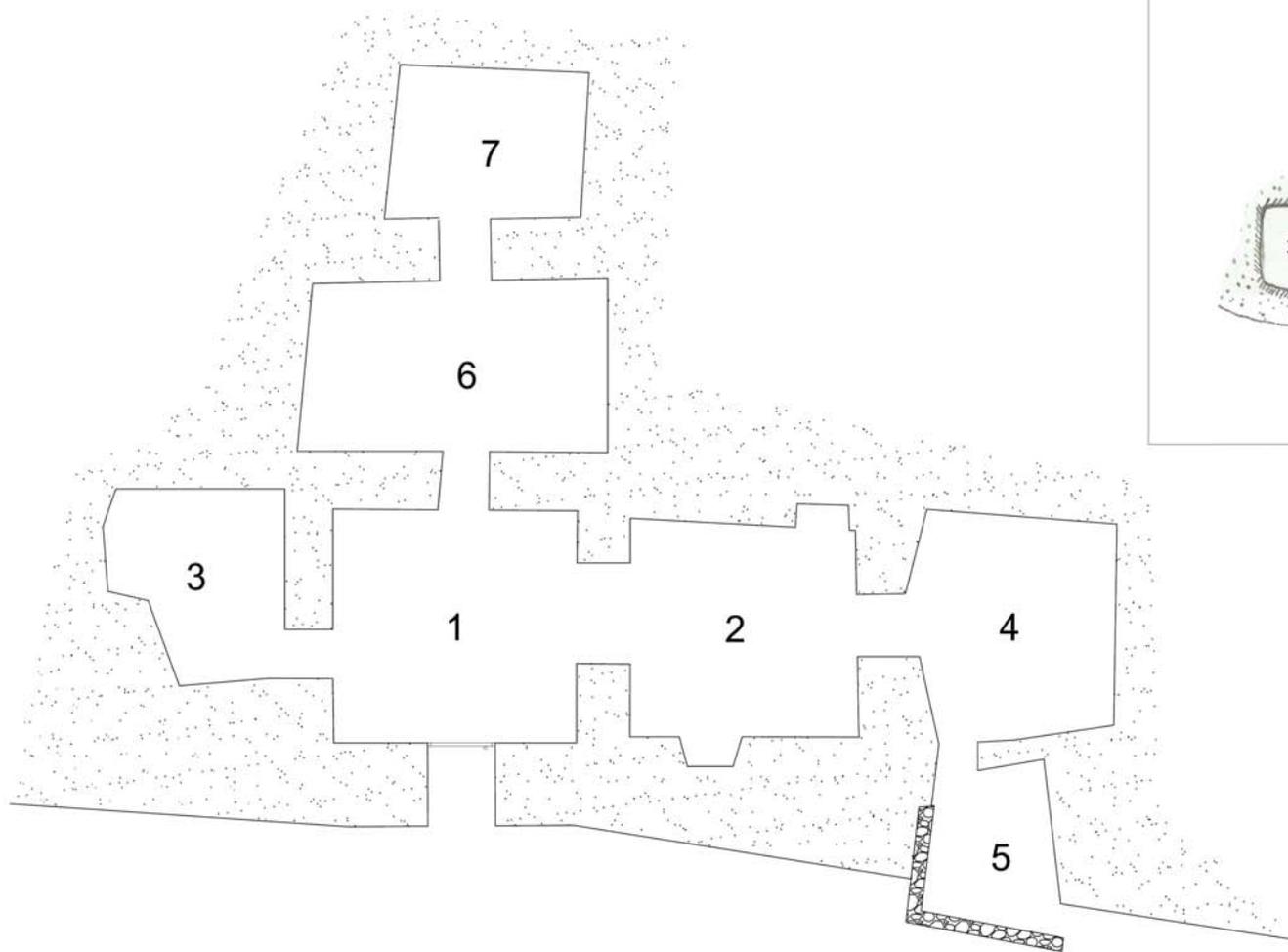





COLABORADORES:

- MANUEL MINGORANCE, Abogado
- MARTÍN RAMÍREZ, Arquitecto
- CLAUDIA ZABALETA, Arquitecto
- MIGUEL SORROCHE, Historiador
- FFCEO S.L.

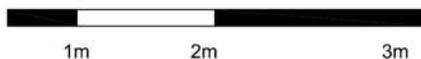
| | |
|-----------------------|----------------------------|
| APROBACIÓN INICIAL | APROBACIÓN PROVISIONAL |
| APROBACIÓN DEFINITIVA | DOCUMENTO |
| | PROYECTO TRAMITABLE |



Distribución original de la cueva

- 1. Portal de entrada
- 2. Cocina
- 3. Cuarto de aperos
- 4. Cuadra
- 5. Corral
- 6. Dormitorio principal
- 7. Dormitorio

Escala gráfica



UNIVERSITAT
JAUME I

PLANO 1. DISTRIBUCIÓN ORIGINAL DE LA CASA CUEVA.

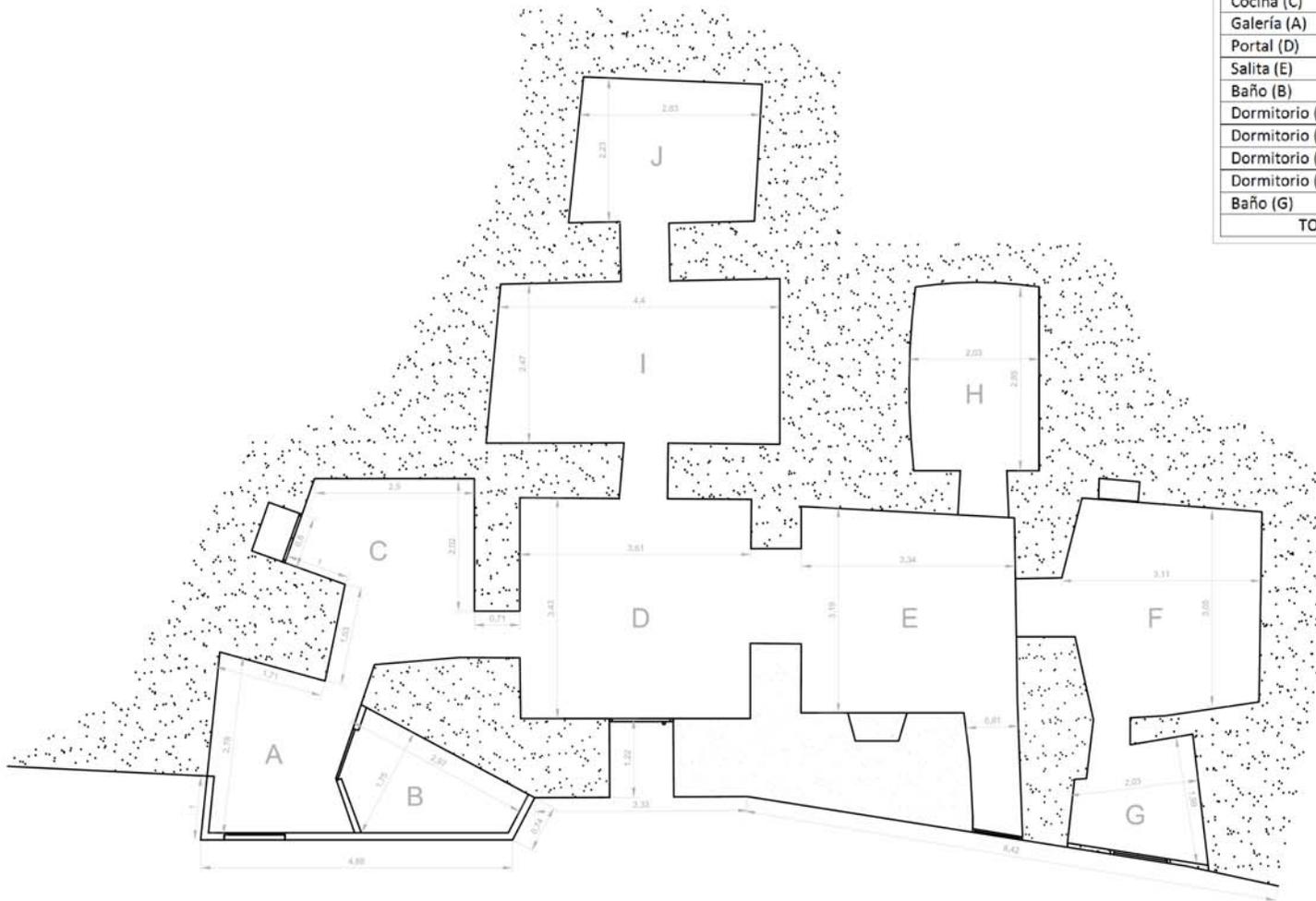
CASA CUEVA 2.0
ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA DEL S.XXI

Escala 1/100

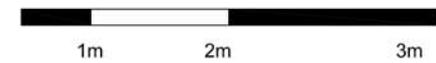
PROYECTO FINAL DE MÁSTER
MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

NOVIEMBRE 2013

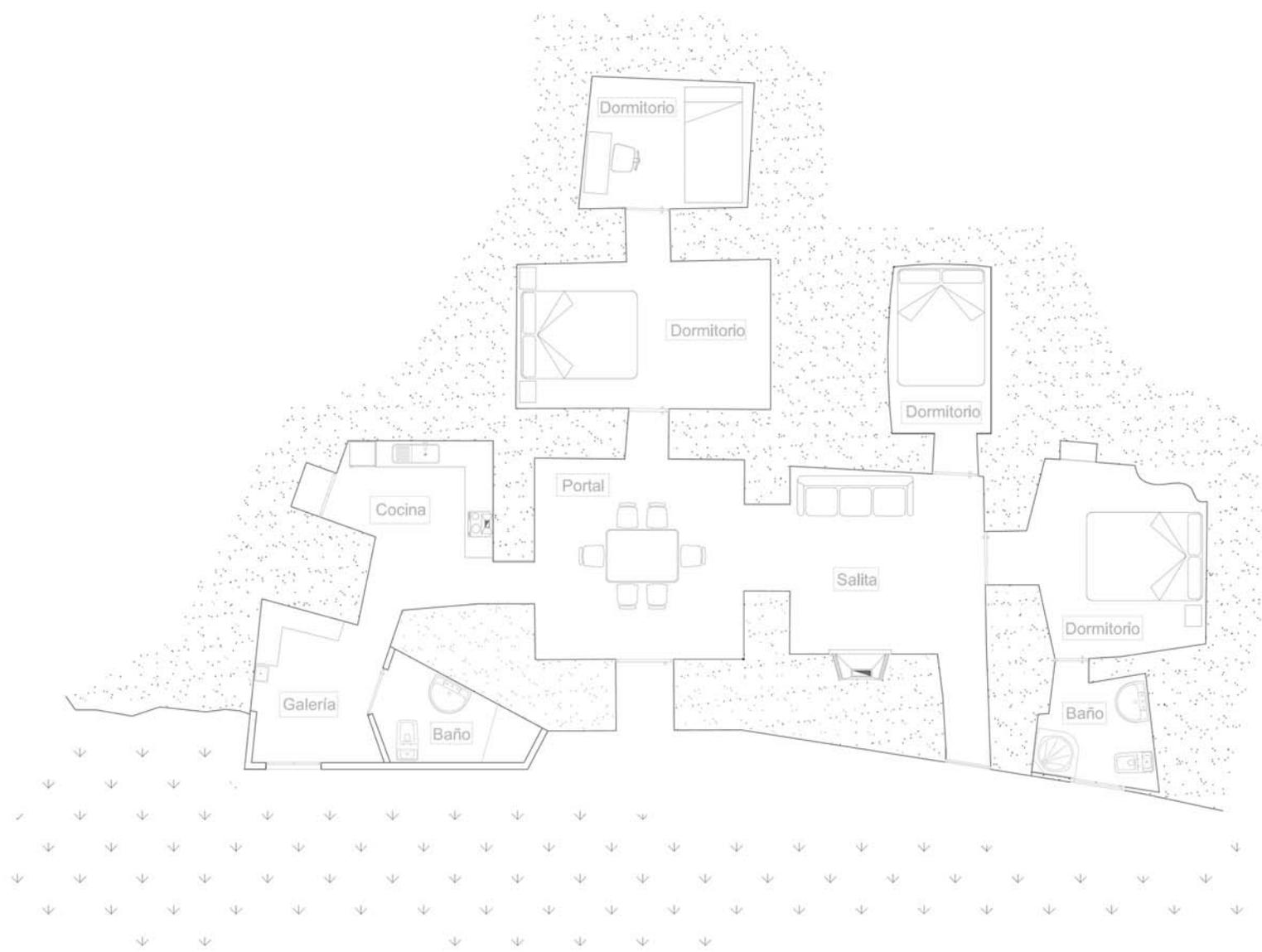
| SUPERFÍCIES CASA CUEVA (m ²) | | |
|--|----------------------------|----------------------|
| Estancia | Superficie construida (SC) | Superficie útil (SU) |
| Cocina (C) | 7.39 | 6.94 |
| Galería (A) | 6.06 | 5.70 |
| Portal (D) | 13.46 | 13.46 |
| Salita (E) | 13.50 | 13.17 |
| Baño (B) | 4.07 | 3.54 |
| Dormitorio (F) | 10.53 | 10.36 |
| Dormitorio (H) | 6.30 | 6.10 |
| Dormitorio (I) | 11.48 | 11.28 |
| Dormitorio (J) | 7.00 | 7.00 |
| Baño (G) | 3.40 | 3.40 |
| TOTAL | 83.19 | 80.95 |



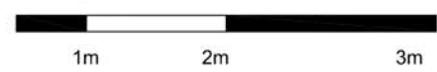
Escala gráfica



| | |
|--|----------------|
| PLANO 2. PLANTA ACOTACIÓN | |
| CASA CUEVA 2.0 ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA DEL S.XXI | Escala 1/100 |
| PROYECTO FINAL DE MÁSTER MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD | NOVIEMBRE 2013 |



Escala gráfica



UNIVERSITAT
JAUME·I

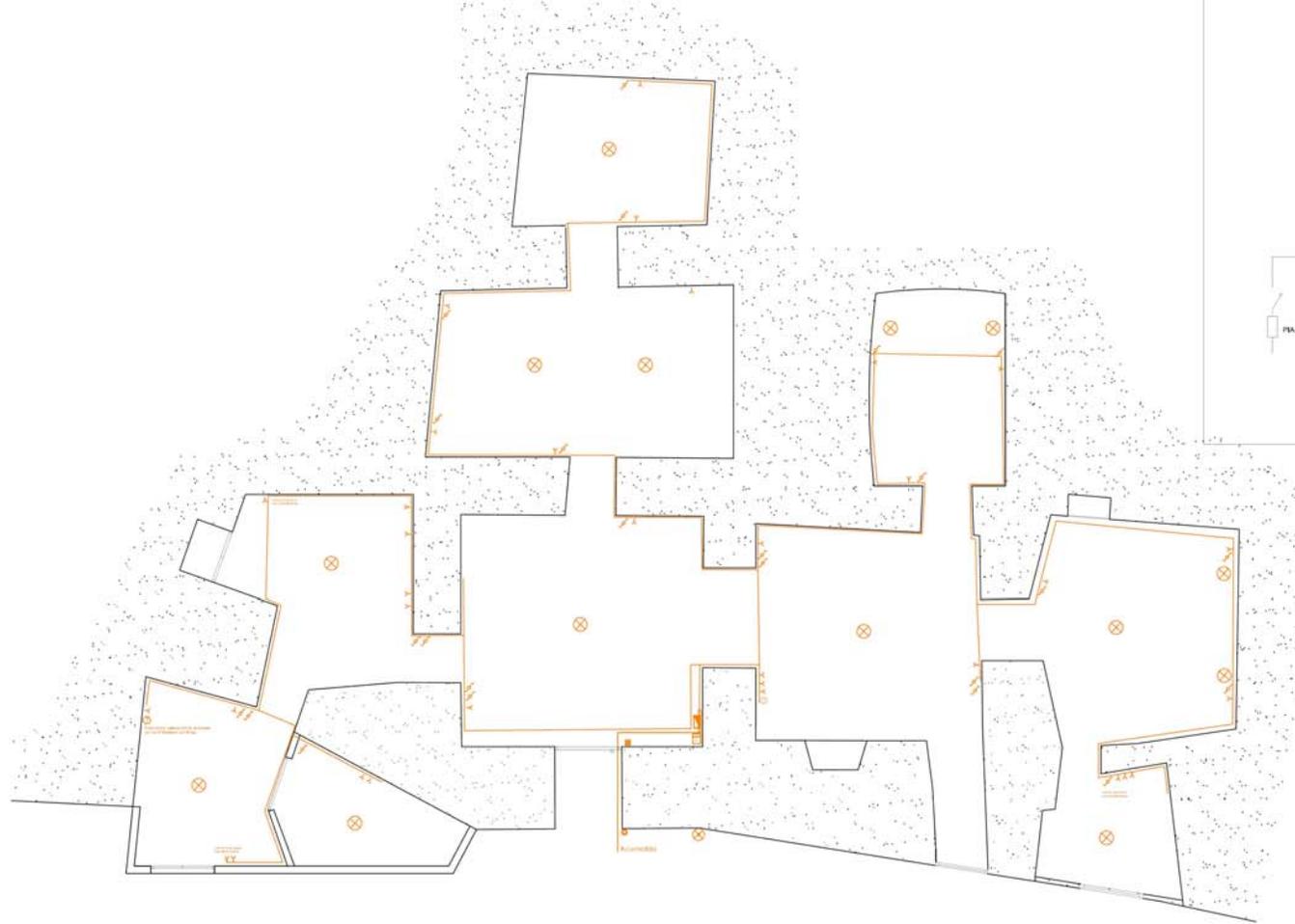
PLANO 3. PLANTA DISTRIBUCIÓN ACTUAL

CASA CUEVA 2.0
ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA DEL S.XXI

Escala 1/100

PROYECTO FINAL DE MÁSTER
MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

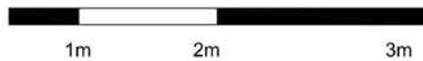
NOVIEMBRE 2013



LEYENDA ELECTRICIDAD

| | |
|--|--|
| | Tubo plástico conugado de alojamiento para circuitos de la instalación eléctrica |
| | Conmutadores |
| | Toma de corriente |
| | Contador de consumo |
| | Cuadro general de distribución |
| | Punto de luz sencillo |
| | Plafón estanco para exterior |
| | Termostato de caldera 2x1.5 Ø13 |
| | Pulsador timbre |
| | Zumbador |
| | Toma de antena de TV |

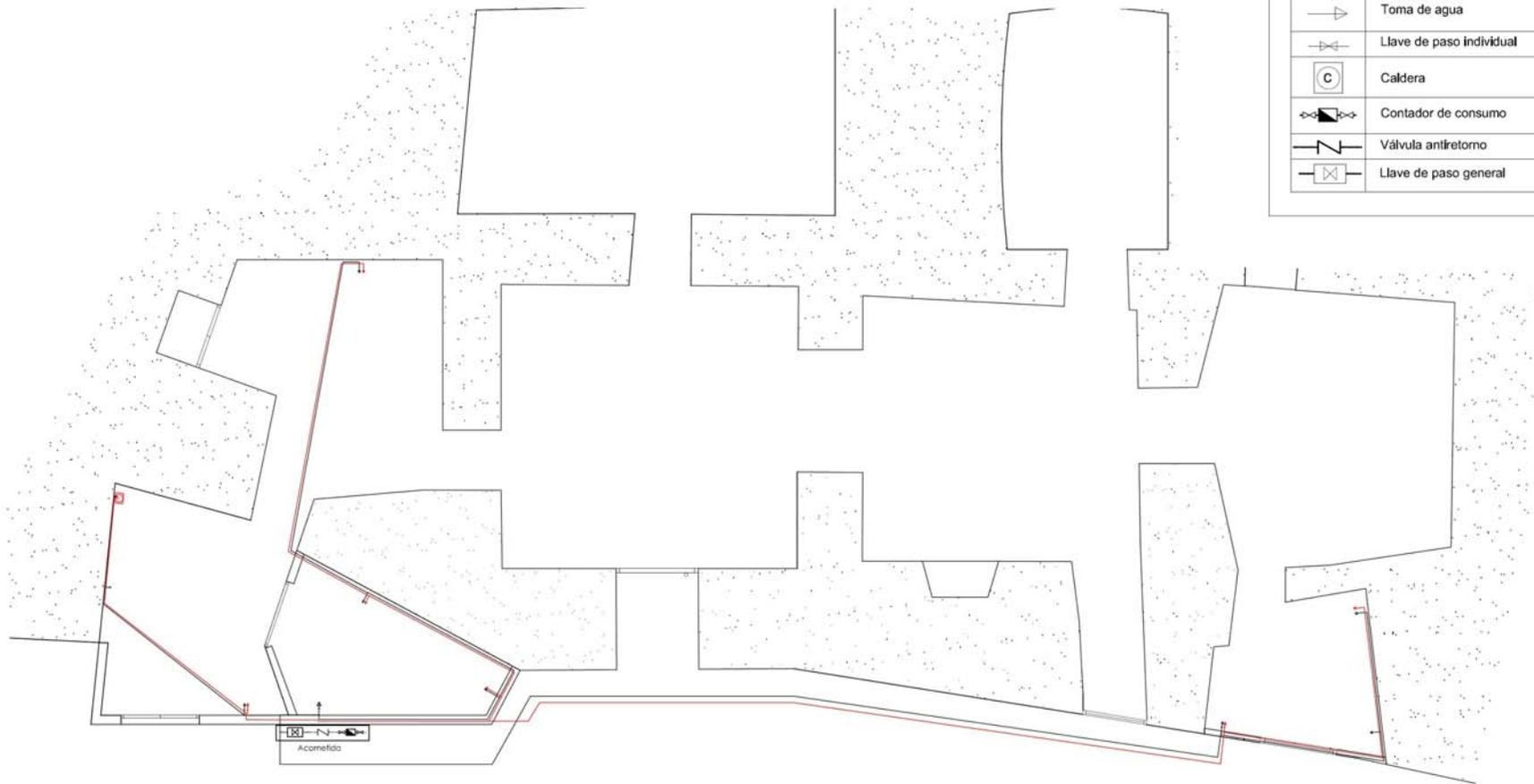
Escala gráfica



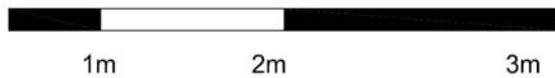
| | |
|--|----------------|
| PLANO 4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA | |
| CASA CUEVA 2.0 ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA DEL S.XXI | Escala 1/100 |
| PROYECTO FINAL DE MÁSTER MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD | NOVIEMBRE 2013 |

Legenda de instalaci3n de fontanería

| | |
|---|--------------------------|
|  | Circuito de AFS |
|  | Circuito de ACS |
|  | Toma de agua |
|  | Llave de paso individual |
|  | Caldera |
|  | Contador de consumo |
|  | Válvula antiretorno |
|  | Llave de paso general |



Escala gráfica



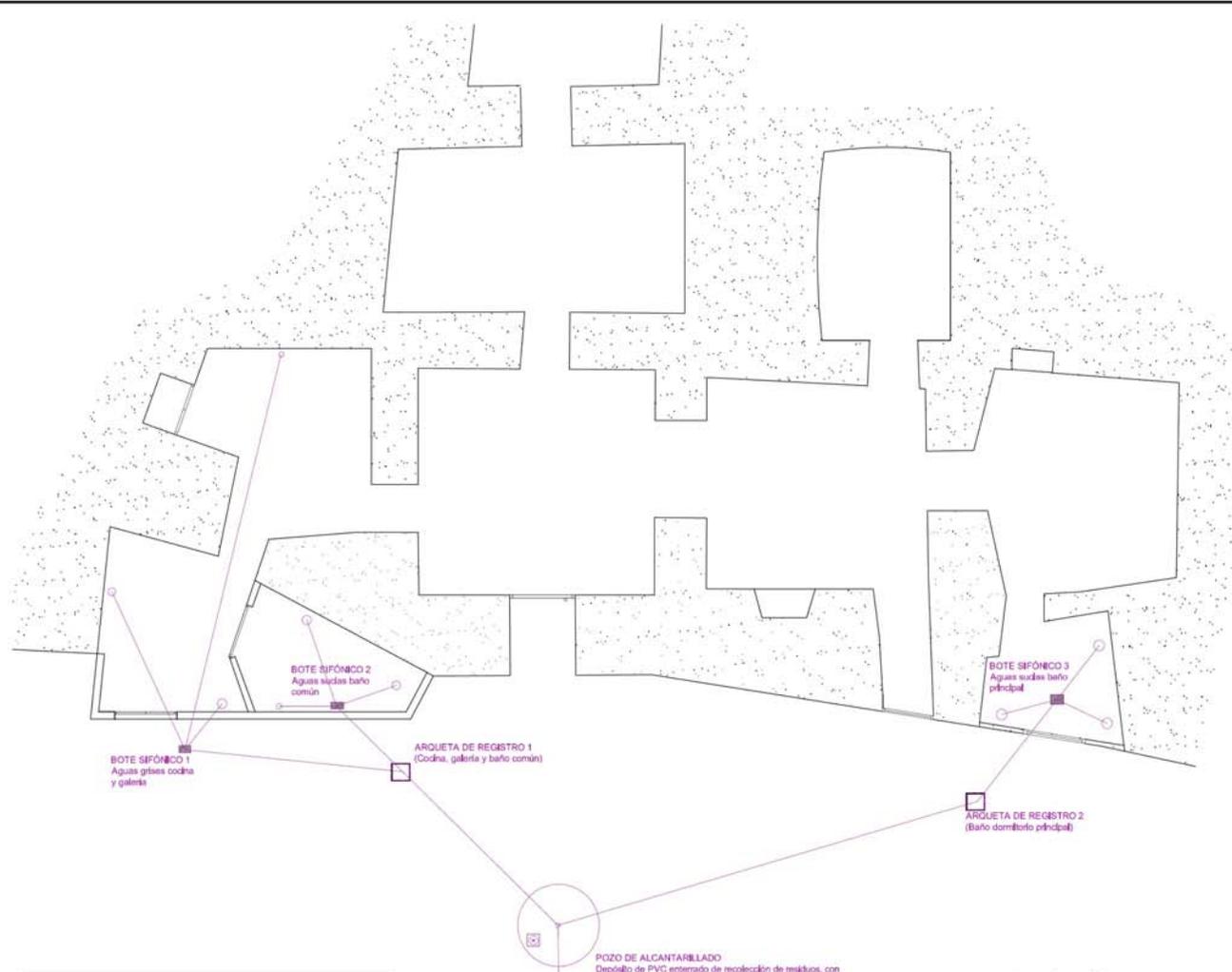
PLANO 5. INSTALACI3N DE FONTANERÍA

CASA CUEVA 2.0
ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA DEL S.XXI

Escala 1/75

PROYECTO FINAL DE MÁSTER
MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

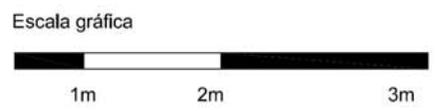
NOVIEMBRE 2013



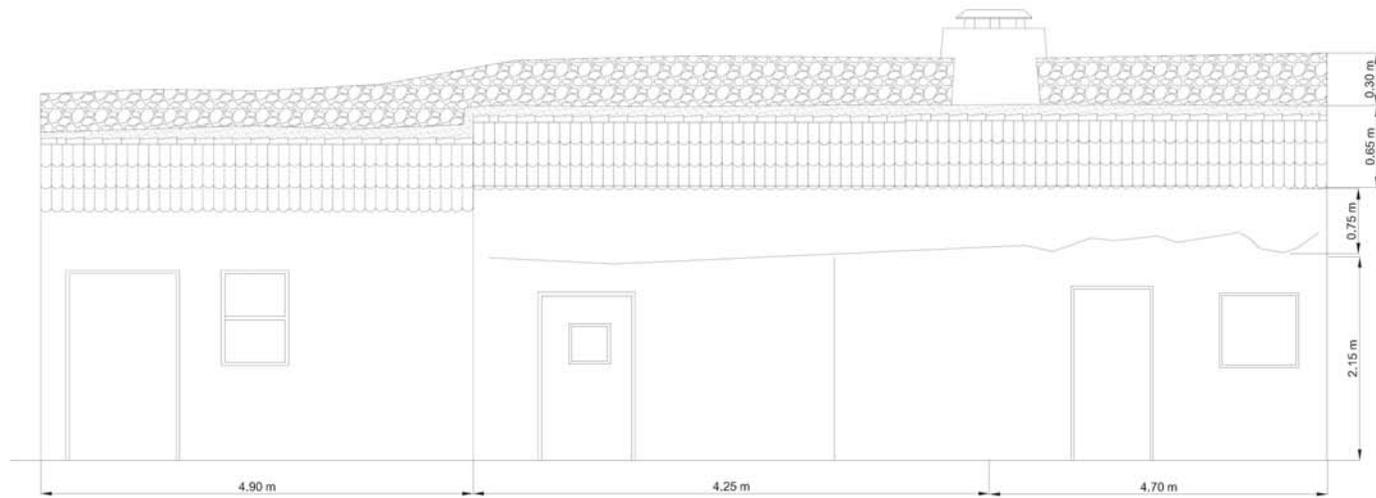
Legenda de instalación de saneamiento

| | |
|--|--------------------------------------|
| | Tuberías de saneamiento |
| | Desagüe aparato |
| | Bote sífónico |
| | Arqueta PVC prefabricada de registro |
| | Bomba trituradora para residuos |

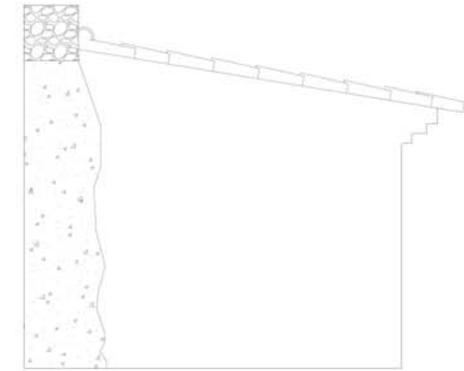
POZO DE ALCANTARILLADO
 Depósito de PVC enterrado de recolección de residuos, con bomba trituradora y salida por conducto estrecho soterrado hasta red de alcantarillado urbano, a 25 metros de la vivienda



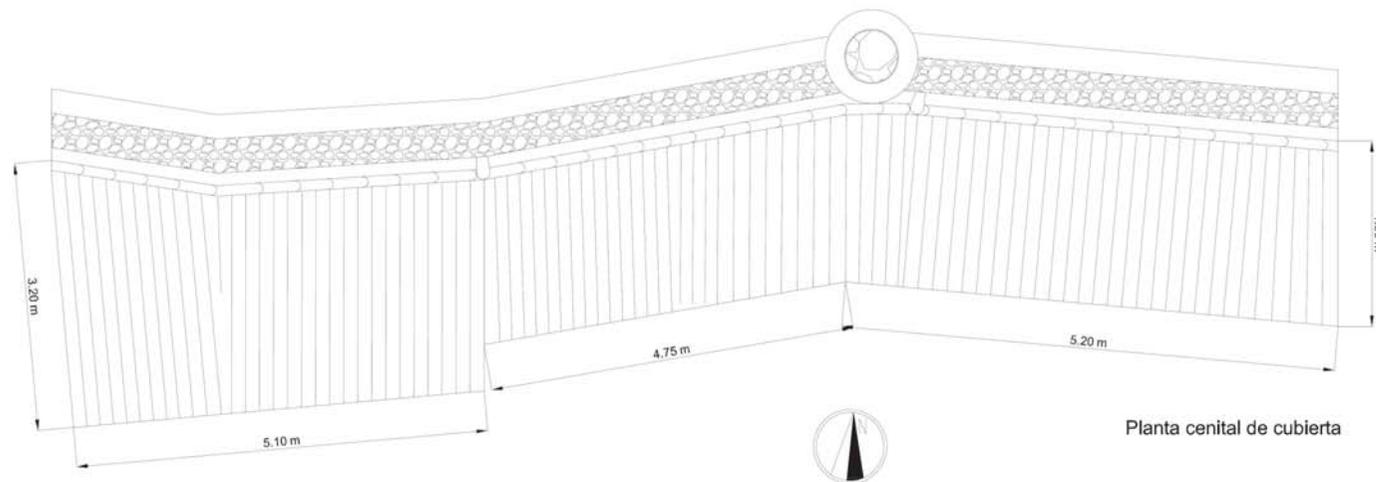
| | | |
|--|--|----------------|
| | PLANO 6. INSTALACIÓN DE SANEAMIENTO | |
| | CASA CUEVA 2.0 ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA DE S.XXI | Escala 1/100 |
| | PROYECTO FINAL DE MÁSTER MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD | NOVIEMBRE 2013 |



Alzado



Perfil izquierdo



Planta cenital de cubierta



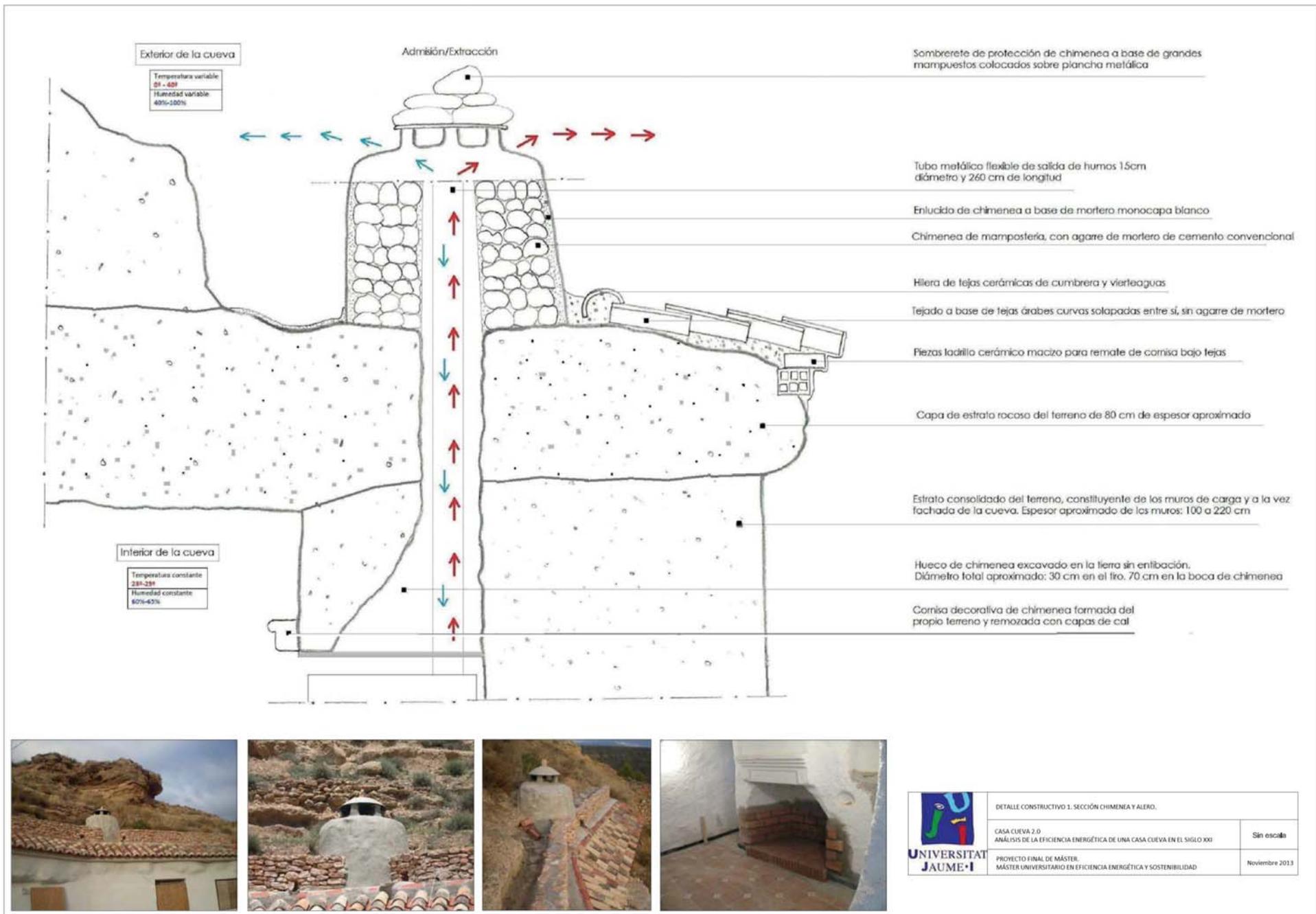
PLANO 7. VISTAS DE ALZADO, PLANTA CENITAL Y PERFIL IZQUIERDO

CASA CUEVA 2.0 ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA EN EL SIGLO XXI

Sin escala

PROYECTO FINAL DE MÁSTER.
MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Noviembre de 2013



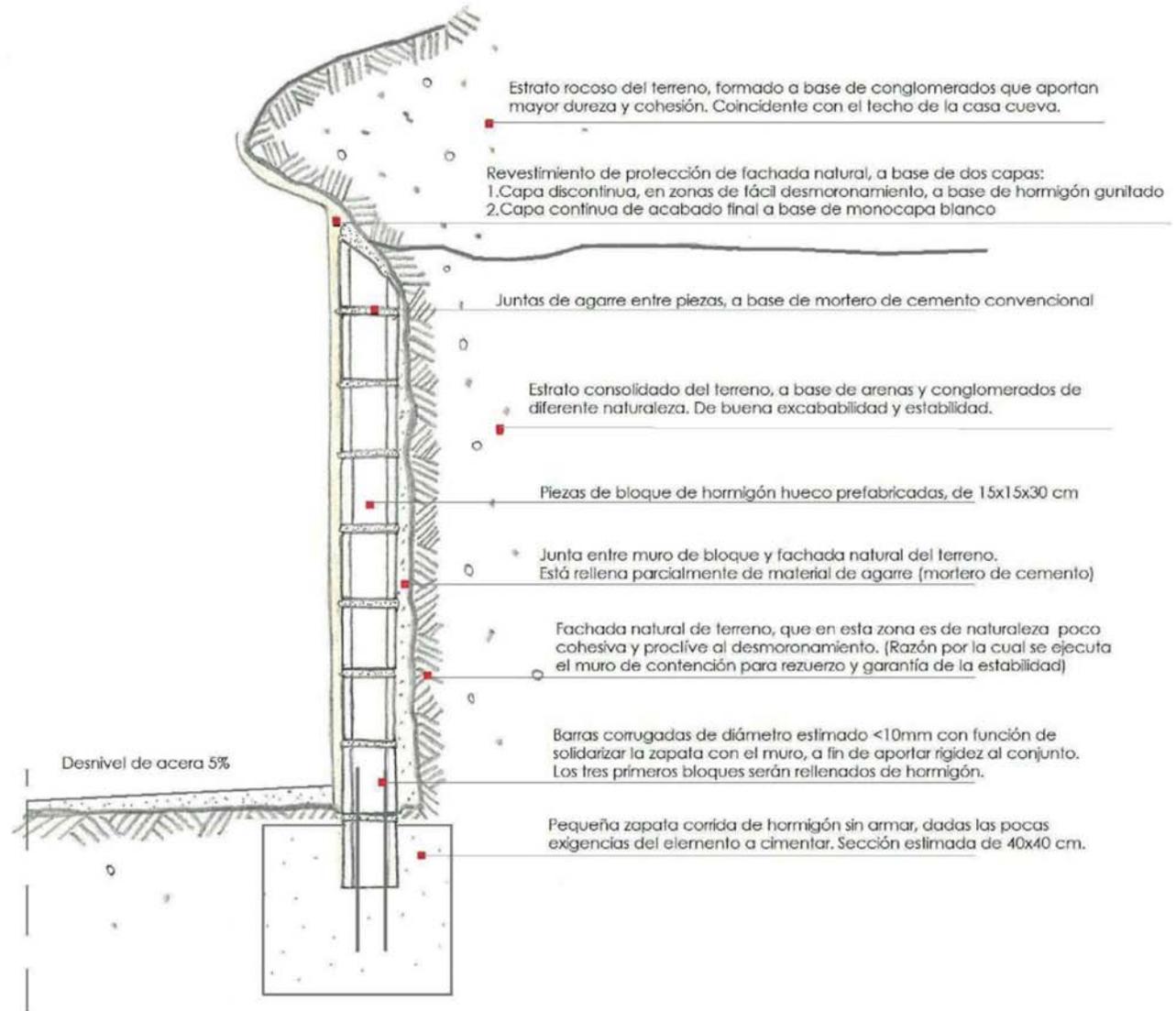
DETALLE CONSTRUCTIVO 1. SECCIÓN CHIMENEA Y ALERO.

CASA CUEVA 2.0
 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA EN EL SIGLO XXI

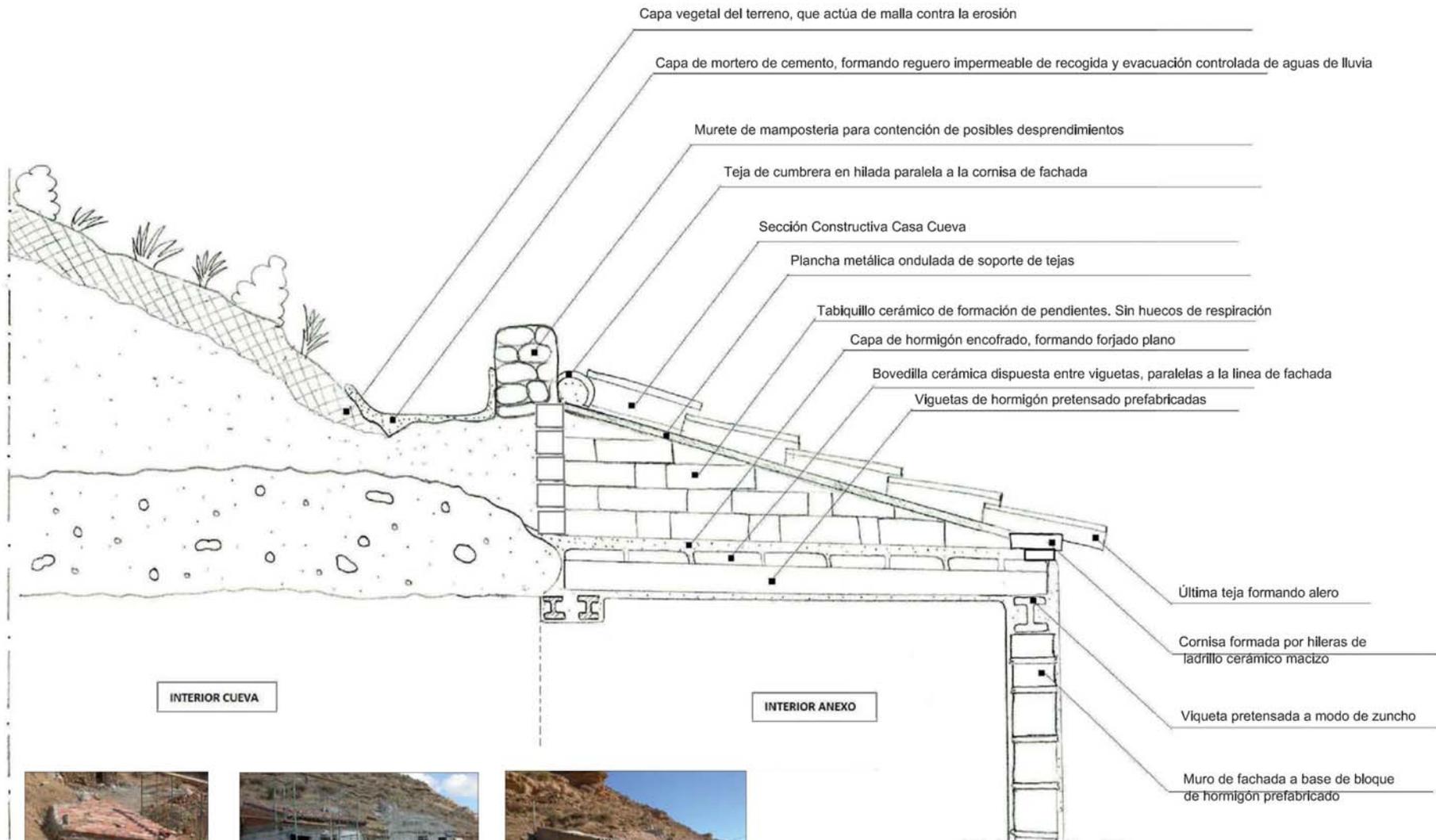
Sin escala

PROYECTO FINAL DE MÁSTER.
 MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Noviembre 2013



| | | |
|---|---|----------------|
|  | DETALLE CONSTRUCTIVO 2. SECCIÓN DEL MURO DE CONTENCIÓN Y ENCUENTRO CON EL TERRENO | |
| | CASA CUEVA 2.0 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA EN EL SIGLO XXI | Sin escala |
| | PROYECTO FINAL DE MÁSTER. MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD | Noviembre 2013 |



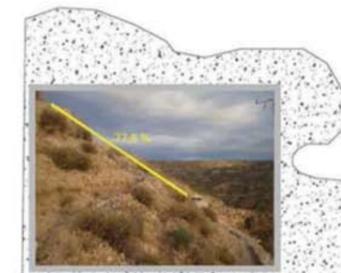
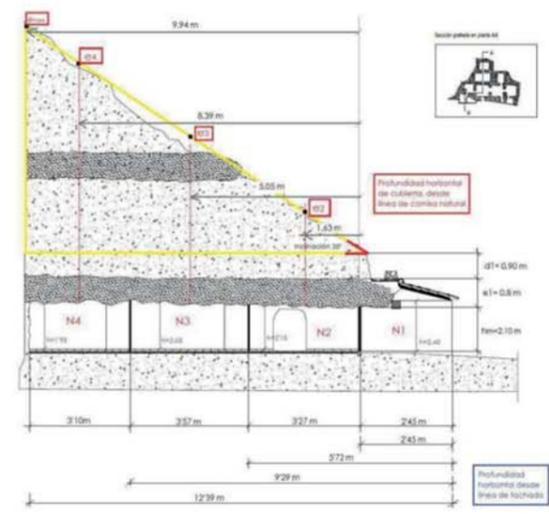
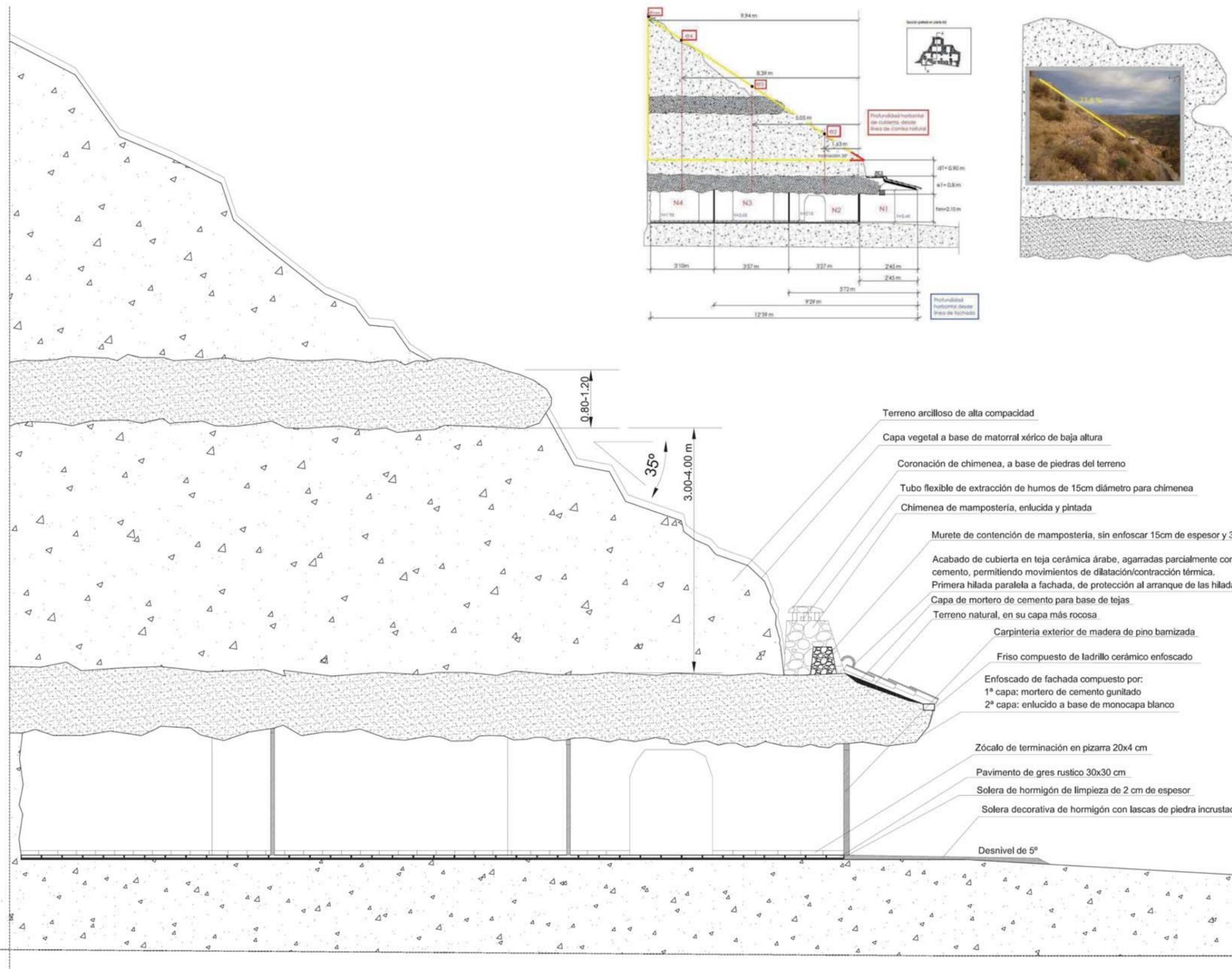
DETALLE CONSTRUCTIVO 3. ENCUENTRO DE ANEXO CONSTRUIDO CON CUEVA

CASA CUEVA 2.0
ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA EN EL SIGLO XXI

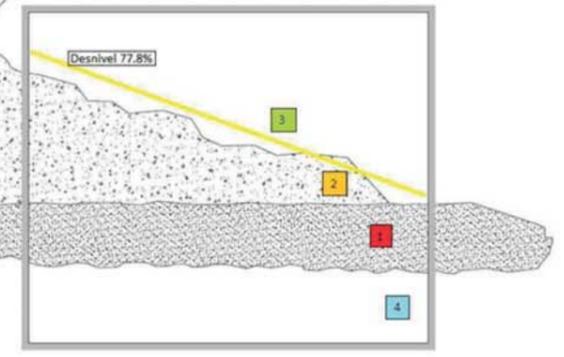
Sin escala

PROYECTO FINAL DE MÁSTER.
MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Noviembre 2013



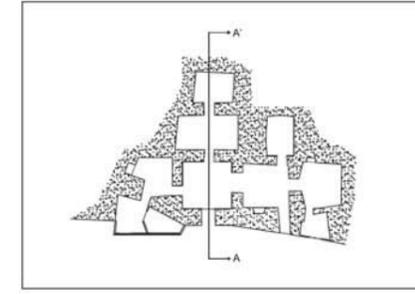
1. Estrato rocoso del terreno (lacha), de mayor cohesión y dureza.
2. Estrato de alto contenido arcilloso del terreno, de menor cohesión y alta impermeabilidad.
3. Capa superficial del terreno, a base vegetación xérica (esparto, retama, tomillo...).
4. Interior de la cueva, coincidente con el estrato consolidado del terreno, a base de arenas y conglomerados de diferente naturaleza. Cohesión intermedia. Buena excavabilidad.



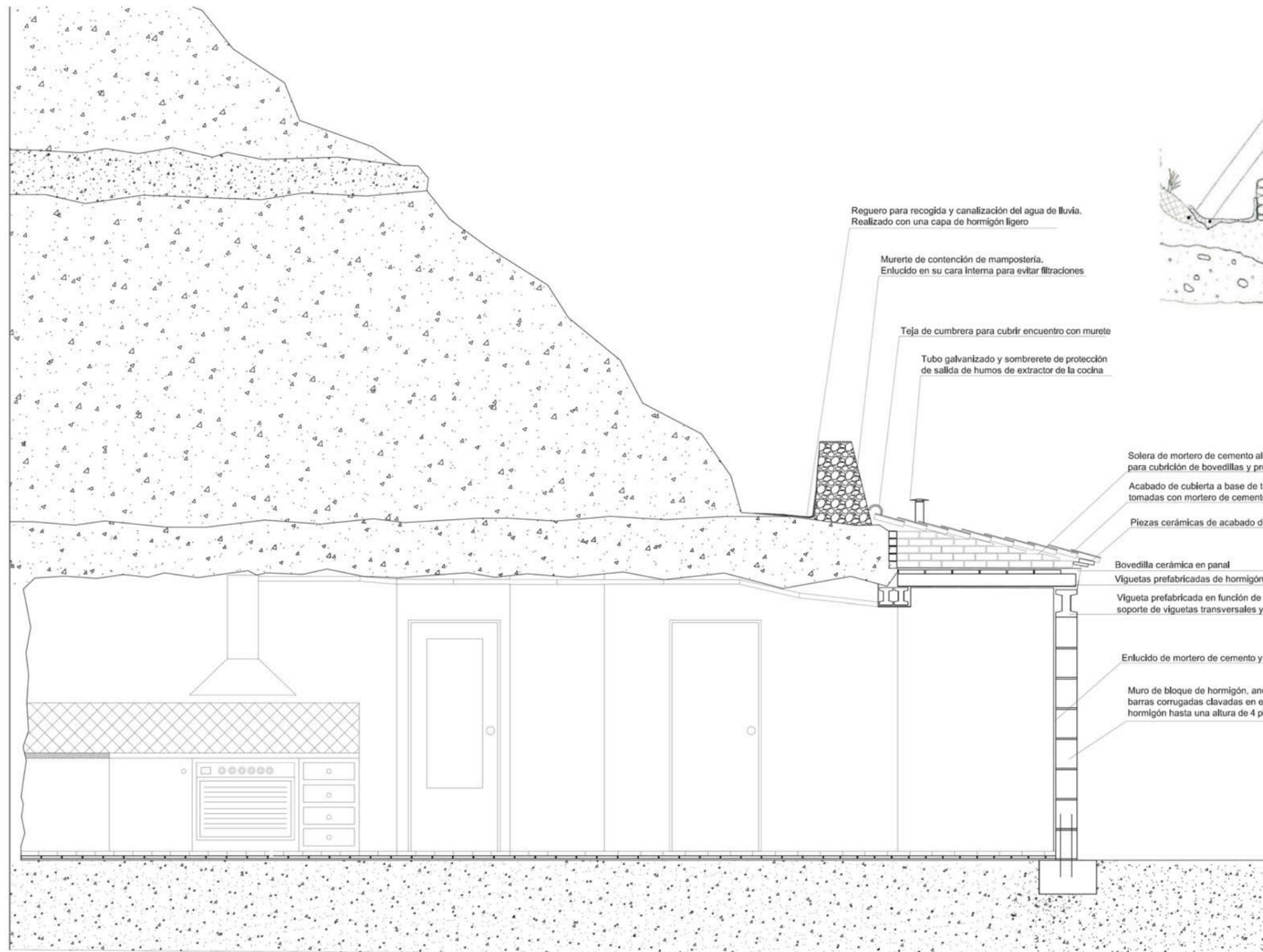
- Terreno arcilloso de alta compacidad
- Capa vegetal a base de matorral xérico de baja altura
- Coronación de chimenea, a base de piedras del terreno
- Tubo flexible de extracción de humos de 15cm diámetro para chimenea
- Chimenea de mampostería, enlucida y pintada
- Murete de contención de mampostería, sin enfoscar 15cm de espesor y 30 de altura
- Acabado de cubierta en teja cerámica árabe, agarradas parcialmente con mortero de cemento, permitiendo movimientos de dilatación/contracción térmica.
- Primera hilada paralela a fachada, de protección al arranque de las hiladas perpendiculares
- Capa de mortero de cemento para base de tejas
- Terreno natural, en su capa más rocosa
- Carpintería exterior de madera de pino barnizada
- Friso compuesto de ladrillo cerámico enfoscado
- Enfoscado de fachada compuesto por:
 - 1ª capa: mortero de cemento gunitado
 - 2ª capa: enlucido a base de monocapa blanco
- Zócalo de terminación en pizarra 20x4 cm
- Pavimento de gres rustico 30x30 cm
- Solera de hormigón de limpieza de 2 cm de espesor
- Solera decorativa de hormigón con lascas de piedra incrustadas
- Desnivel de 5°



Sección grafiada en planta AA'



| | |
|--|----------------|
| SECCIÓN CONSTRUCTIVA AA' | |
| CASA CUEVA 2.0 ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA DEL S.XXI | Sin escala |
| PROYECTO FINAL DE MÁSTER MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD | NOVIEMBRE 2013 |



Reguero para recogida y canalización del agua de lluvia. Realizado con una capa de hormigón ligero

Murete de contención de mampostería. Enlucido en su cara interna para evitar filtraciones

Teja de cubrera para cubrir encuentro con murete

Tubo galvanizado y sombrerete de protección de salida de humos de extractor de la cocina

Solera de mortero de cemento aligerado, para cubrición de bovedillas y protección contra filtraciones

Acabado de cubierta a base de tejas árabes cerámicas curvas, tomadas con mortero de cemento y solapadas entre sí

Piezas cerámicas de acabado de cornisa, bajo teja

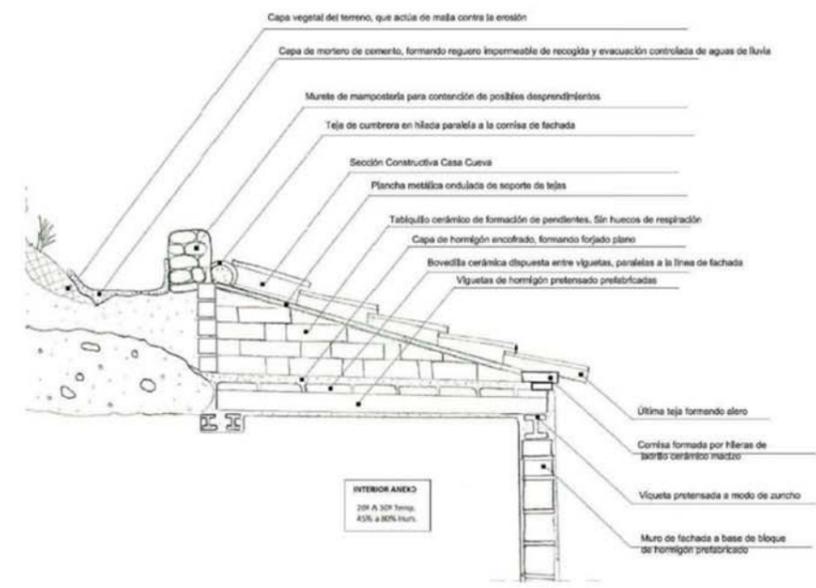
Bovedilla cerámica en panel

Viguetas prefabricadas de hormigón pretensado

Vigueta prefabricada en función de viga de canto, de soporte de viguetas transversales y apoyada en muro

Enlucido de mortero de cemento y pintado

Muro de bloque de hormigón, anclado en su base con barras corrugadas clavadas en el terreno y relleno de hormigón hasta una altura de 4 piezas



Capa vegetal del terreno, que actúa de malla contra la erosión

Capa de mortero de cemento, formando reguero impermeable de recogida y evacuación controlada de aguas de lluvia

Murete de mampostería para contención de posibles desprendimientos

Teja de cubrera en hilada paralela a la cornisa de fachada

Sección Constructiva Casa Cueva

Plancha metálica ondulada de soporte de tejas

Tablillo cerámico de formación de pendientes, sin huecos de respiración

Capa de hormigón encofrado, formando forjado plano

Bovedilla cerámica dispuesta entre viguetas, paralela a la línea de fachada

Viguetas de hormigón pretensado prefabricadas

Última teja formando alero

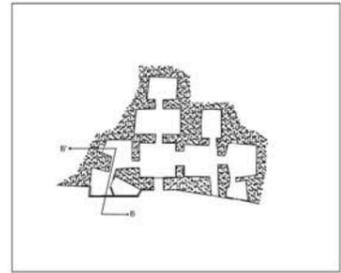
Cornisa formada por hiladas de ladrillo cerámico macizo

Vigueta pretensada a modo de zuncha

Muro de fachada a base de bloque de hormigón prefabricado

INTERIOR ANEXO
20% A 30% Hum. 45% a 60% Hum.

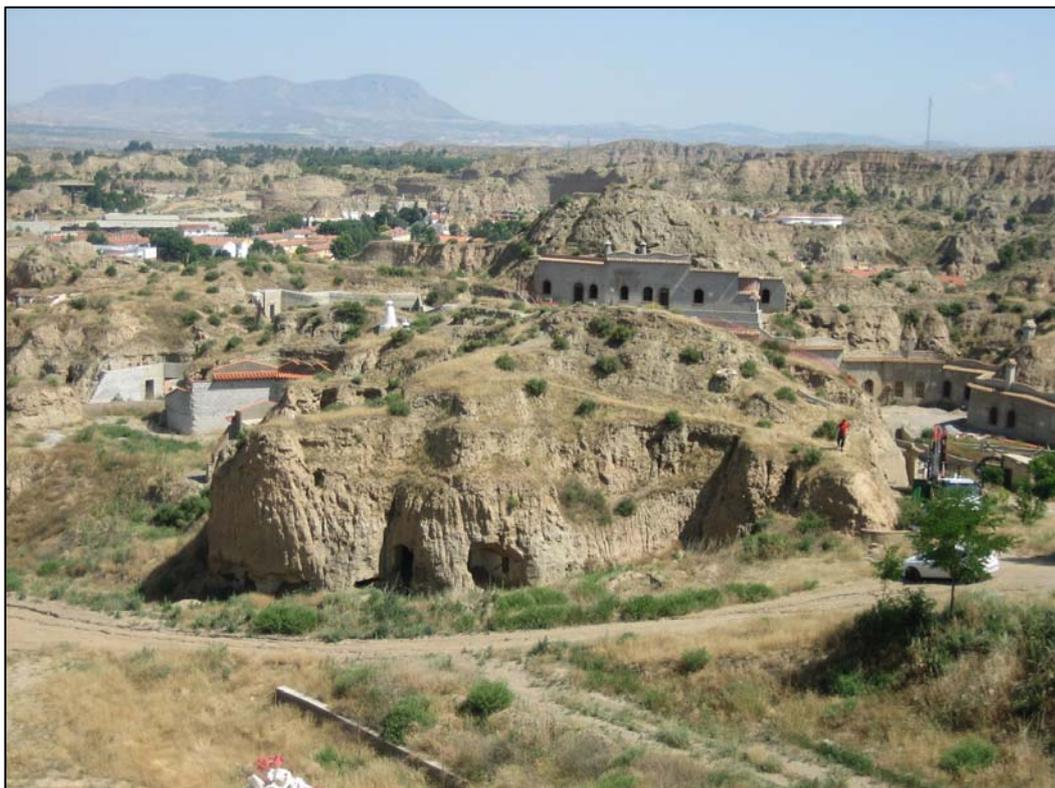
Sección grafiada en planta BB'



| | | |
|--|--|----------------|
| SECCIÓN CONSTRUCTIVA BB' | | |
| CASA CUEVA 2.0 ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA DEL S.XXI | | Sin escala |
| PROYECTO FINAL DE MÁSTER MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD | | NOVIEMBRE 2013 |

ESTUDIO GEOTÉCNICO

PROMOTOR: EXCMA. DIPUTACIÓN DE GRANADA



**REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DE
CUEVA PARA CENTRO DE ATENCIÓN
TURÍSTICA Y DOCUMENTACIÓN EN
BANALÚA (GRANADA)**



**ALTO ALMANZORA
CONSULTORÍA GEOLÓGICA**

*C/ Hermigua, Nº 14, 5º-A, 18014 GRANADA
Tlfno/Fax: 958 16 37 22 - Móvil: 630 53 21 12*

Expediente: 11/024

Fecha: 4/07/2011

ÍNDICE

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 1.- <u>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</u> | 2 |
| 1.1. TRABAJOS REALIZADOS | 3 |
| 2.- <u>CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO</u> | 5 |
| 3.- <u>CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y CONDICIONES DE ESTABILIDAD</u> | 8 |
| 4.- <u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u> | 15 |

FIGURAS

FIGURA 1.- Localización.

FIGURA 2.- Situación de puntos investigados, y localización de fracturas.

FIGURA 3.- Perfil interpretado I-I'

ANEJOS

ANEJO I. - Registro de penetrómetros

ANEJO II.- Registro de sondeo

ANEJO III.- Ensayos de laboratorio

ANEJO IV.- Claves para la descripción de suelos



1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Se presentan en este informe, los trabajos realizados y las conclusiones y recomendaciones del estudio geotécnico para la ampliación y rehabilitación de una cueva para el Centro de Atención Turística y Documentación en Benalúa (Granada). La situación se expresa en la figura 1.

El proyecto contempla la rehabilitación y acondicionamiento de una cueva y la ampliación de la misma mediante la construcción de una nueva estancia dedicada a recepción y sala de conferencias. Así mismo, se contempla la construcción de un módulo de aseos, adyacente a la nueva estancia.

El objetivo del estudio consiste en la caracterización geotécnica del emplazamiento que aporte los datos necesarios para el correcto diseño y ejecución de las obras previstas. Específicamente se contemplan los siguientes aspectos:

- . Características geológicas e hidrogeológicas.
- . Características geotécnicas de los materiales: clasificación y parámetros.
- . Capacidad portante y deformabilidad del macizo.
- . Estudio de estabilidad.
- . Procesos constructivos.

El presente estudio se realiza a petición de la DIPUTACIÓN DE GRANADA según las especificaciones contenidas en la oferta de ALTO ALMANZORA CONSULTORÍA GEOLÓGICA S.L.

- **Datos del cliente.-**

Nombre o Razón Social: EXCELENTÍSIMA DIPUTACIÓN DE GRANADA.

Domicilio: Calle Periodista Barrios Talavera Nº1, 18014 Granada

C.I.F.- P-1800000-J



1.1.- TRABAJOS REALIZADOS

Para la consecución de los objetivos previstos se han realizado las siguientes actividades:

- Análisis de información preexistente. Se ha consultado el proyecto básico de la actuación y la hoja nº 993 (Benalúa de Guadix) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 editado por el Instituto Geológico y Minero de España.
- Reconocimiento del terreno y obtención de datos litológicos y estructurales del macizo.
- Inspección del interior de las cuevas objeto de la actuación y de otras adyacentes con observación de patologías y medidas estructurales.
- Perforación de dos penetrómetros dinámicos (Figura 2 y Anejo I).

Los ensayos se realizan mediante un equipo de penetración dinámica automático fabricado por TECOINSA según la Norma Tecnológica NTE-CEG (BOE 20 y 27-12-1975) y la NI de la S.I.M.S.F.E. El ensayo consiste en la hincada de una puntaza de sección cilíndrica de 20 cm² conectada a un tren de varillas de 32 mm de diámetro, utilizando una maza de 63'5 Kg. con una altura de caída de 50 cm, anotándose el número de golpes "N" necesarios para introducir la puntaza 20 cm en el terreno.

Los resultados se expresan en gráficos en los que, en el eje de abscisas se representa el número de golpes y en el de ordenadas la profundidad en metros.

- Perforación de un sondeo de reconocimiento con recuperación de testigo continuo y obtención de muestras inalteradas, hasta una profundidad de 12 metros (Figura 2 y Anejo II). El sondeo se ha realizado con un equipo ISSA CANARIAS, montado sobre orugas.
- Ensayos de laboratorio sobre muestras obtenidas en el sondeo. Se han realizado los siguientes (Anejo III):

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado (UNE 103.101/95)
- Límites de Atterberg (UNE 103.103/94 y 103.104/93)



- Ensayo de rotura a Compresión Simple (UNE 103.400/93)
 - Sulfatos (UNE 103.200)
- Síntesis de todos los datos obtenidos, cálculos y elaboración de informe.

2.- CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO

Las actuaciones previstas se localizan en el sector Sureste del núcleo urbano de Benalúa (Granada), en la vertiente Sur de una colina de forma irregular que se inscribe en el contexto de una morfología tipo “bad land” característica de la zona, donde existen numerosas cuevas, algunas de ellas abandonadas (Figura 1).

Actualmente, la cueva a rehabilitar consta de seis estancias rectangulares de superficies variables entre 9 y 13 m² aproximadamente. Los techos son planos o ligeramente abovedados con recubrimientos máximos del orden de 9 metros. Las paredes y techos se encuentran encalados prácticamente en su totalidad limitando las condiciones de observación de sus características litológicas detalladas.

No se observan caídas importantes en ninguna de las estancias, salvo ligeros desconchones y pequeños desprendimientos en los macizos de los pasillos de conexión entre ellas. Son, sin embargo patentes, las fracturas que afectan al macizo, algunas de las cuales presentan evidencias de filtraciones. (Fotos nº 1 y nº 2)

La nueva estancia a excavar tendrá una longitud de unos 11 metros y una anchura de 3,5 metros y se dedicará a las instalaciones de recepción y sala de conferencias. Adyacente a ella está previsto un módulo de unos 4 x 4 metros dedicado a aseos.

Desde el punto de vista geológico, la zona se sitúa en el sector occidental de la Depresión de Guadix-Baza, que es una amplia cuenca sedimentaria en la zona de contacto entre los materiales subbéticos (borde Norte, Este y Oeste) y los materiales béticos (borde Sur), rellena con materiales de distinta tipología y edades comprendidas entre el Mioceno y el Cuaternario. En la zona estudiada los materiales aflorantes pertenecen al Plioceno de facies continental constituido por una potente alternancia de arcillas, limos, arenas y conglomerados.



Fotografía nº 1.- Filtración de agua a través de fracturas.



Fotografía nº 2.- Fracturas y pequeñas caídas.

Las observaciones realizadas en la cueva y en su entorno, así como los datos suministrados por el sondeo perforado, muestran una sucesión de estratos horizontales, de espesor decimétrico, constituidos por arcilla y limos con frecuentes intercalaciones discontinuas de arenas y conglomerados, en general parcial o totalmente cementados.

Esta serie está afectada por fracturas de direcciones aproximadas NE-SW y NW-SE con buzamientos variables, en general verticales, muy continuas tanto en dirección como en buzamiento, con un espaciado irregular comprendido entre 2 y más de 3 metros. (Figura 2)

Recubriendo total o parcialmente el macizo existe un nivel de suelos formado por arcillas grises más o menos arenosas con un espesor máximo de un metro.

3.- CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y CONDICIONES DE ESTABILIDAD

El modelo geotécnico del terreno corresponde a un medio detrítico estratificado formado por niveles decimétricos de arcillas y limos, y lentejones discontinuos, de espesor muy variable, de arenas cementadas y conglomerados. Existe además, un recubrimiento de suelos de carácter arcilloso y espesor variable aunque, como máximo, es de un metro.

La caracterización geotécnica del macizo se realiza a partir de los datos obtenidos en la perforación de un sondeo mecánico y de los penetrómetros dinámicos.

Los penetrómetros muestran un medio heterogéneo en su conjunto (ver figura 3 y registros en Anejos I y II) donde el valor de N (número de golpes por cada 20 cm de perforación) se sitúa en el intervalo de **N = 4 - 14** para los niveles arcillosos y limosos, **N = 20 - 30** para los niveles granulares de arenas cementadas y **N > 50** para los conglomerados..

A efectos de cálculo se considerará el macizo constituido por un material que, según el ensayo de una muestra obtenida en el sondeo mecánico a una profundidad aproximada de 5 metros, tiene las siguientes características:

- Clasificación: CL - ML
- Contenido en finos: 64,3 %
- Contenido en arena: 35,6 %
- Contenido en grava: 0,1 %
- Límite Líquido: 30,4 %
- Límite Plástico: 22,2 %
- Índice de Plasticidad: 8,2
- Contenido en sulfatos: 0,00 %
- Contenido en yesos: 0,00 %
- Resistencia a compresión simple: 4,94 Kp/cm².
- Cohesión: 2,47 Kg/cm².
- Ángulo de rozamiento interno: $\phi = 30^\circ$ (estimado).
- Módulo de deformación E ≈ 100 Kg/cm².

La permeabilidad de los materiales es muy baja, probablemente del orden de $K = 10^{-9} \text{ m/s}$ aunque las discontinuidades existentes la pueden incrementar, localmente, de forma notable, sobre todo las fracturas verticales que afectan al macizo y en menor medida a los planos de estratificación.

Para evaluar las condiciones de estabilidad se emplearán los siguientes criterios:

- Tiempo de permanencia de las cuevas.
- Patologías detectadas.
- Factores externos adversos.
- Teorías sobre excavación de túneles.

La excavación de una galería supone una modificación del estado tensional del terreno en el entorno del hueco excavado, produciéndose desplazamientos o relajaciones del terreno que en caso de superar un determinado umbral provoca la caída total o parcial de la excavación, requiriéndose, en este caso, la adopción de medidas de sostenimiento adecuadas.

Tanto la estabilidad como las medidas de sostenimiento dependen de varios factores:

- Tipo de terreno: litología y estructura.
- Geometría de la galería: dimensiones, espesor de recubrimiento, etc.
- Método constructivo que puede alterar en mayor o menor grado el entorno del hueco.
- Acciones externas que pueden actuar sobre la galería: cargas sobre el macizo, cambios en las condiciones de humedad, procesos evolutivos en los materiales, etc.

En el presente caso, las cuevas se excavaron hace decenas de años (posiblemente más de 50 años) sin medidas de sostenimiento, salvo una delgada capa de cal aplicada sobre paredes y bóvedas. La excavación se realizó con medios manuales según un proceso necesariamente lento por lo que los reajustes del estado tensional del terreno se han producido paulatinamente de forma que las zonas libres alcanzan su estado de equilibrio a medida que progresa la excavación.

Las patologías observadas son de escasa entidad y están en relación con la ausencia de mantenimiento de la cueva. Consisten en pequeños desprendimientos y alteraciones del macizo en zonas muy localizadas, casi siempre en relación con la presencia de fracturas muy continuas, algunas de las cuales presentan indicios de filtraciones.

La estabilidad a corto plazo puede estimarse según DEERE (1969) y PECK (1969) a partir del factor de sobrecarga definido como:

$$F_c = \frac{q}{S_u}$$

donde:

q = presión total del terreno al nivel del eje de la galería.

S_u = resistencia al corte sin drenaje.

La inestabilidad se produce para valores de $F_c \geq 6$. Puesto que **q** \approx 20 tn/m² la inestabilidad se produce para valores de **S_u** iguales o inferiores a 3,3 tn/m².

En general el valor medio del material es superior a 3,5 tn/m² (del orden de 25 tn/m² según el ensayo realizado) lo que garantizaría la estabilidad. Sin embargo, es posible que se produzcan, localmente, disminuciones de la resistencia del macizo por efecto de meteorización o por saturación de agua procedente de la infiltración del agua de lluvia a través de fracturas existentes en la parte superior de la colina sobre el emplazamiento de las cuevas. En tales condiciones una disminución brusca o progresiva de la resistencia al esfuerzo cortante provocaría la inestabilidad de la galería.

La aplicación, al caso de las cuevas, de las clasificaciones geomecánicas utilizadas para el proyecto y ejecución de túneles, puede aportar argumentos para la evaluación de la estabilidad y sistemas de sostenimiento, teniendo en cuenta que no existe ninguna clasificación con validez universal que se adapte bien para definir cualquier tipo de terreno, debido a los múltiples factores que intervienen y a los diferentes criterios con que los diferentes autores han elaborado sus respectivas clasificaciones. Se exponen a continuación tres de las teorías que pueden adaptarse al caso estudiado:

- Terzaghi.
- Protodyakonov.
- Lauffer.

CLASIFICACIÓN DE TERZAGHI

Clasifica los terrenos en 9 tipos atendiendo esencialmente a las condiciones de fracturación de las rocas y a la cohesión o expansividad de los suelos. Con respecto a la disposición de la estratificación en relación a la galería refiere que con estratos horizontales de pequeña potencia y/o gran cantidad de juntas, se desarrollarán en el techo roturas tipo arco con anchura equivalente a la galería y altura la mitad de esta dimensión. Este proceso es progresivo y se detendrá si se coloca rápidamente un sostenimiento.

Para estratificación horizontal de gran potencia y con pocas juntas, la excavación sería estable sin roturas.

En el peor de los casos, la distribución de cargas para el sostenimiento se hace suponiendo:

- Presión uniforme vertical sobre la bóveda: $P_m = \gamma \cdot H_r$
- Presión uniforme vertical sobre las paredes: $P_h \approx 0,3 \cdot P_m$

siendo:

γ = densidad de la roca.

$$H_r = (B + H)$$

(considerando la presencia de niveles cementados).

B = ancho de la galería.

H = alto de la galería.

En este caso los valores máximos son:

$$P_m = 13,5 \text{ tn/m}^2$$

$$P_h = 4,05 \text{ tn/m}^2$$

CLASIFICACIÓN DE PROTODYAKONOV

Se basa en la asignación de un parámetro “**f**” llamado coeficiente de resistencia que, para suelos tiene el siguiente valor:

$$f = \text{tg } \phi + \frac{c}{r_c}$$

siendo:

ϕ = ángulo de rozamiento interno.

c = cohesión a largo plazo.

r_c = resistencia a compresión simple.

Suponiendo $\frac{c}{r_c} \approx 0,5$ y $\phi \approx 30-45^\circ$ (el valor máximo corresponde a

niveles cementados) el valor de **f** $\approx 1,1$ a **1,5** (se adopta **f = 1,3**).

La distribución de cargas sobre el túnel se hace suponiendo:

- Presión uniforme vertical sobre la clave: $P_v = \gamma \cdot h$
- Presión uniforme lateral: $P_L = \gamma \cdot (h + 0,5 \text{ m}) \text{tg}^2 (45 - \phi/2)$

donde:

$$h = \frac{B}{2 \cdot f}$$

$$B = b + 2 \cdot m \cdot \operatorname{tg} (45 - \phi/2)$$

siendo:

b = ancho de la galería.

m = altura de la galería.

γ = densidad del terreno.

Con estos valores resulta:

$$P_V = 5,5 \text{ tn/m}^2$$

$$P_L = 2,3 \text{ tn/m}^2$$

CLASIFICACIÓN DE LAUFFER

Se basa en experiencias de estudios sistemáticos sobre el tiempo que permanecían estables excavaciones en diferentes tipos de rocas, incluso en minas abandonadas. La clasificación se efectúa atendiendo a dos parámetros:

- Longitud libre: es la menor de las dos dimensiones, diámetro o longitud, de la excavación abierta sin revestimiento.
- Tiempo de estabilidad: es el tiempo que permanece sin desmoronarse la longitud libre anteriormente definida.

De acuerdo con estos parámetros, aplicado a este caso concreto, se concluye que el terreno pertenece al **tipo A** (terreno muy bueno) que no necesita entibación.

Desde el punto de vista empírico, la clasificación de Lauffer se adapta bien al análisis de las condiciones de estabilidad de las cuevas. Sin embargo, los procesos de meteorización de materiales sometidos a la intemperie así como las posibles filtraciones de agua, contribuyen a la degradación de los materiales y a la disminución de sus parámetros resistentes, aunque el principal factor de estabilidad está en



relación con la posible presencia de niveles arenosos no cementados susceptibles de provocar caídas locales o generalizadas en función de las dimensiones y geometría de tales niveles.

En función de ello se considera necesario realizar un control sistemático de la excavación para evaluar la existencia de niveles arenosos sueltos y su geometría para adoptar las soluciones puntuales de sostenimiento adecuadas para cada caso.

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio geotécnico para la ampliación y rehabilitación de una cueva para el Centro de Atención Turística y Documentación en Benalúa (Granada) ha permitido caracterizar el terreno así como las condiciones de estabilidad de las cuevas.

El terreno está constituido por una potente serie pliocena de relleno de la Depresión de Guadix-Baza, formada por una alternancia de estratos decimétricos de arcillas, limos, arenas y conglomerados, afectados todos ellos por fracturas verticales muy continuas aunque relativamente espaciadas.

La cueva actual consta de seis estancias rectangulares de superficies comprendidas entre 9 y 13 m² aproximadamente con paredes y techos encalados en su práctica totalidad. Fue excavada hace varias decenas de años y presenta aceptables condiciones de estabilidad a pesar de la ausencia de mantenimiento. Solo presenta desprendimientos relacionados con la presencia de fracturas.

En función del estudio realizado y datos obtenidos se presentan las siguientes recomendaciones:

- Las labores de ampliación de galerías y excavación de otras nuevas puede realizarse con medios manuales o medios mecánicos convencionales, teniendo en cuenta que si se emplean medios mecánicos, la excavación no se realizará a sección completa, sino que es aconsejable dejar en resguardo del orden de 50 cm cuya excavación final se efectuará manualmente con el fin de evitar una excesiva alteración del macizo.
- En general la cueva se considera estable sin necesidad de sostenimiento, salvo en zonas localizadas muy alteradas o fracturadas que pueden requerir refuerzos locales, sobre todo si aparecen niveles arenosos no cementados.
- Las fracturas existentes deben ser tratadas mediante la construcción de pequeñas rozas que eliminen las zonas alteradas y su posterior relleno con un mortero de cal.

- Los posibles refuerzos de hormigón que puedan requerirse se construirán con cementos convencionales dada la ausencia de elementos agresivos en el macizo.
- Es aconsejable la construcción de chimeneas o conductos de ventilación que garanticen la circulación de aire y eviten problemas de condensación.
- El frente o fachada de las cuevas se protegerá de la erosión mediante la construcción de muros.
- En el caso de que se requiera realizar cimentaciones sobre el terreno actual, estas pueden plantearse para transmitir cargas de cimentación del orden de $1,5 \text{ Kg/cm}^2$ en el caso más desfavorable..
- Se evitará la impermeabilización total o parcial del terreno de la colina sobre las cuevas para facilitar la evaporación del agua y evitar su acumulación en el subsuelo.
- Las pequeñas cárcavas existentes sobre la colina se rellenarán con arcilla compactada para evitar su progresión tanto en sentido horizontal como vertical y eliminar posibles entradas puntuales de agua.
- Finalmente es recomendable que las obras de excavación y revestimiento sean supervisadas por personal técnico especializado con el fin de adoptar, en cada caso, las decisiones constructivas más adecuadas a las características reales del terreno, sobre todo en la construcción de la nueva estancia cuya longitud es del orden de 11 metros.

Granada, 4 de Julio de 2011

 Alto Almanzora
Consultoría Geológica
Luis Berruezo Resina
N.I.F. - 75224152-F
C/ Hermigua nº 14, 5º A
18014 GRANADA



Fdo.: Luis Berruezo Resina

Geólogo. Colegiado nº 296



FIGURAS



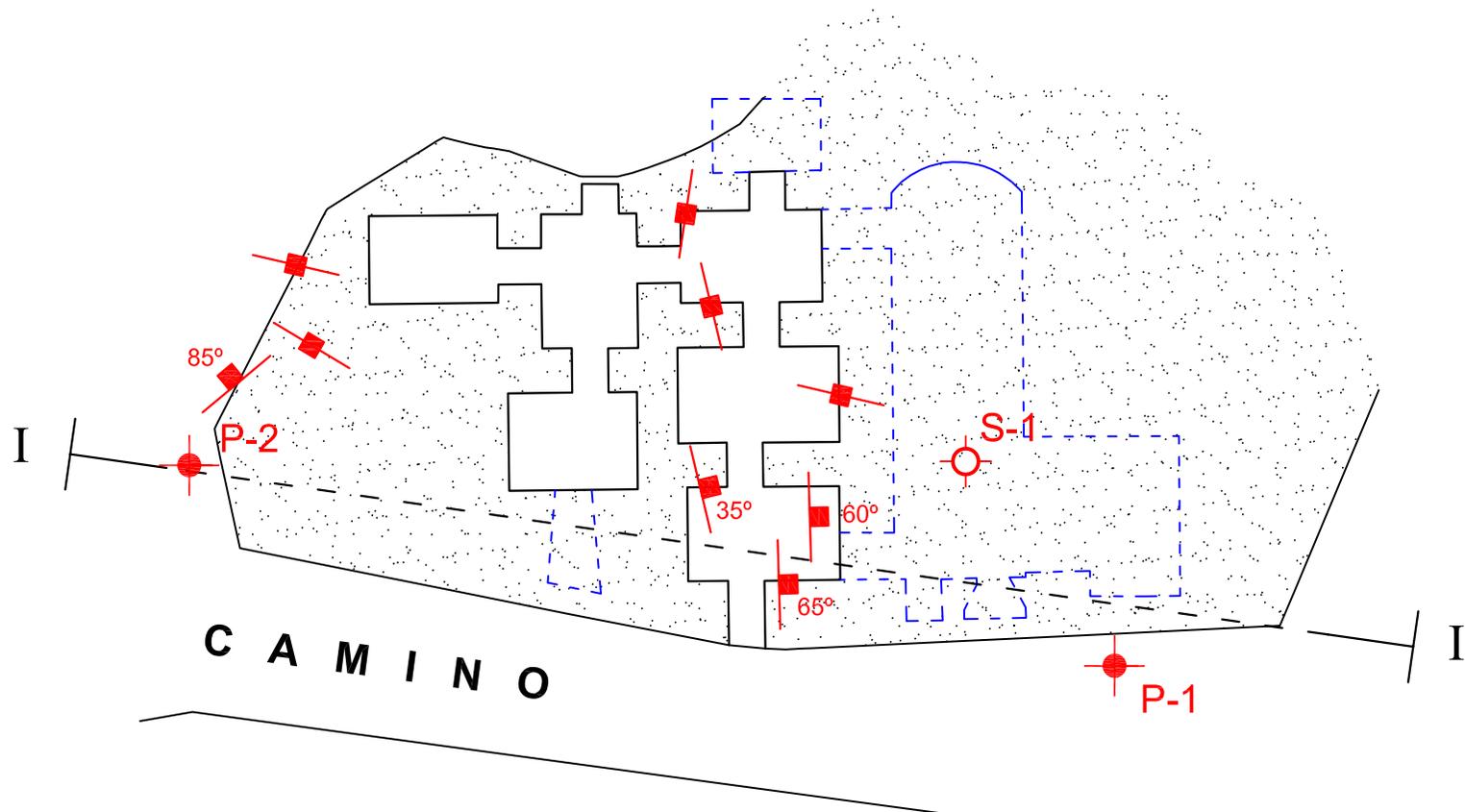
ESCALA 1:10.000



ALTO ALMANZORA
CONSULTORÍA GEOLÓGICA

REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DE CUEVA EN BENALÚA DE GUADIX (GRANADA)
LOCALIZACIÓN DE LA PARCELA.

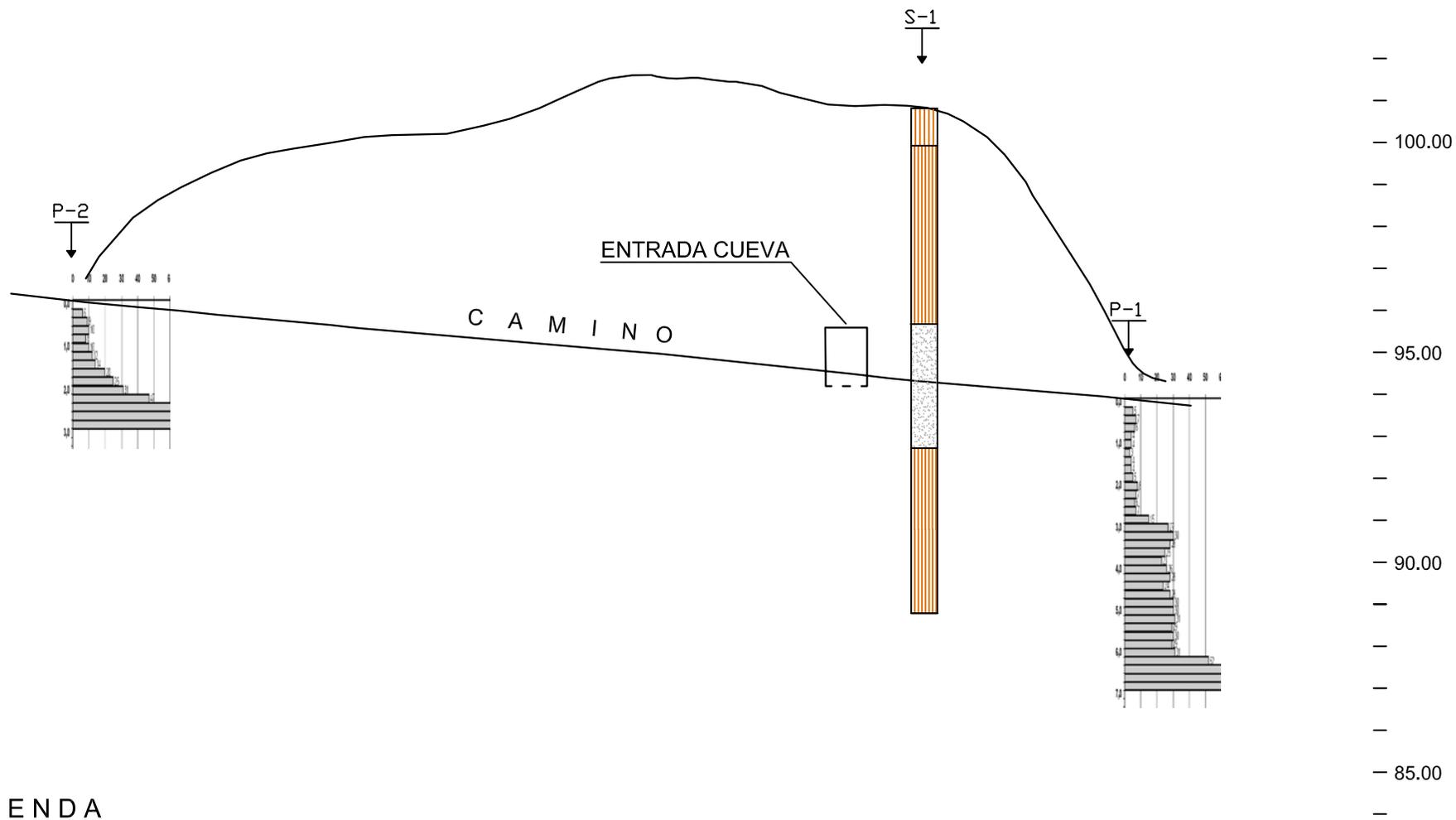
Figura 1



LEYENDA

-  S-1. SONDEO
-  P-1. PENETRÓMETRO
-  DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO DE FRACTURAS
-  DIRECCIÓN DE FRACTURA VERTICAL
-  ACTUACIONES PREVISTAS
-  I-I' PERFIL INTERPRETADO

Escala 1:200



LEYENDA

-  ARCILLA LIMOSA
-  ARENAS

Escala 1:150



ANEJOS



ANEJO I.- Registro de penetrómetros



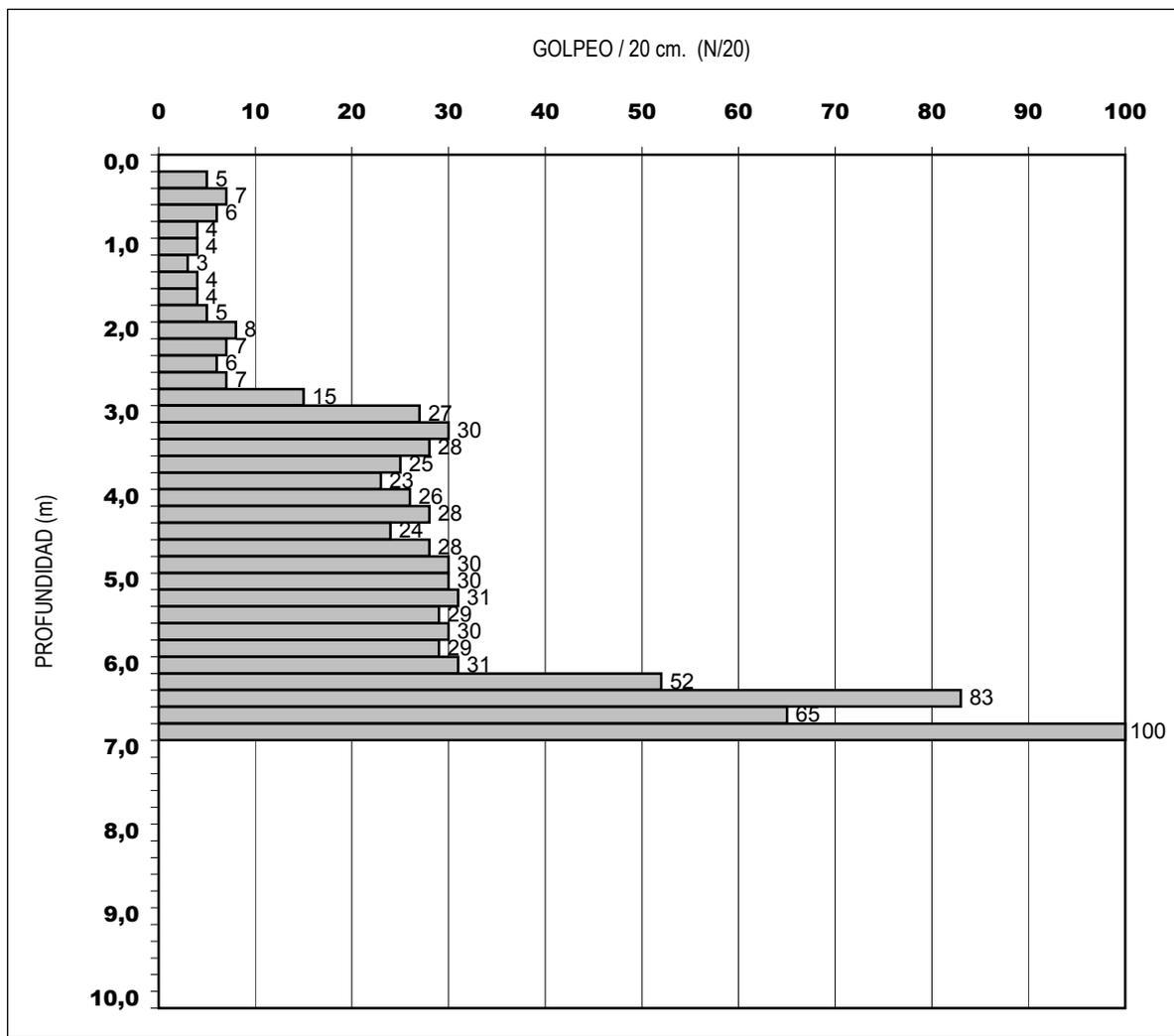
Geotécnica y Control 2.004, S.L.
 C/ Perez Ayala nº 7
 18.100 Armilla – Granada
 Tfno: 958 124 027
 C.e.: info@geotecnicaycontrol.com

Laboratorio acreditado por la Junta de Andalucía
 Inscrito en el R.E.A. Nº LE072-GR05
 AREAS EHA, EHC, VSG,VSF,GTL,GTC,EAP,EAS,AFC,
 AFH,ACH y APH.
 Publicado BOJA nº 243 de 15/12/2005 y 141 de 16/07/2008

**GT-020 ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA SUPERPESADA.
 UNE 103-801:94**

| | | | |
|------------------------------------|--|--------------------------|------------|
| Nº de expediente: GT-110606 | | Nº ensayo: DPSH-1 | |
| Peticionario: | EXCELENTÍSIMA DIPUTACIÓN DE GRANADA | | |
| Domicilio: | C/ Periodista Barrios Talavera, Nº 1, 18014 (Granada). | | |
| Obra: | Rehabilitación y ampliación de cueva en Benalúa, (Granada) | | |
| Ubicación: | | | |
| Fecha: | 22/06/2011 | Fecha del ensayo: | 22/06/2011 |

Tipo de cono: Perdido. Peso de la maza: 63,5 kg. Altura de caída: 75 cm. Cabeza de golpeo: 85 kg. Diámetro varillaje: 32 mm. Longitud varillaje: 1,00 m. Masa del varillaje: 6,3 kg



Sociedad inscrita en el Registro Mercantil de Granada. Tomo 1.096. Folio 27. Hoja GR-24.376. C.I.F. B-18.684.167

Responsable de ensayo físico

Fdo: Luis Berruezo Resina
 Lcda. Geológicas. Col nº 296



Armilla a 22/06/2011
 Director Técnico

Fdo: Mateo López Sánchez
 Arquitecto Técnico. Col nº 2733



Geotécnica y Control 2.004, S.L.
 C/ Perez Ayala nº 7
 18.100 Armilla – Granada
 Tfno: 958 124 027
 C.e.: info@geotecnicaycontrol.com

Laboratorio acreditado por la Junta de Andalucía

Inscrito en el R.E.A. Nº LE072-GR05

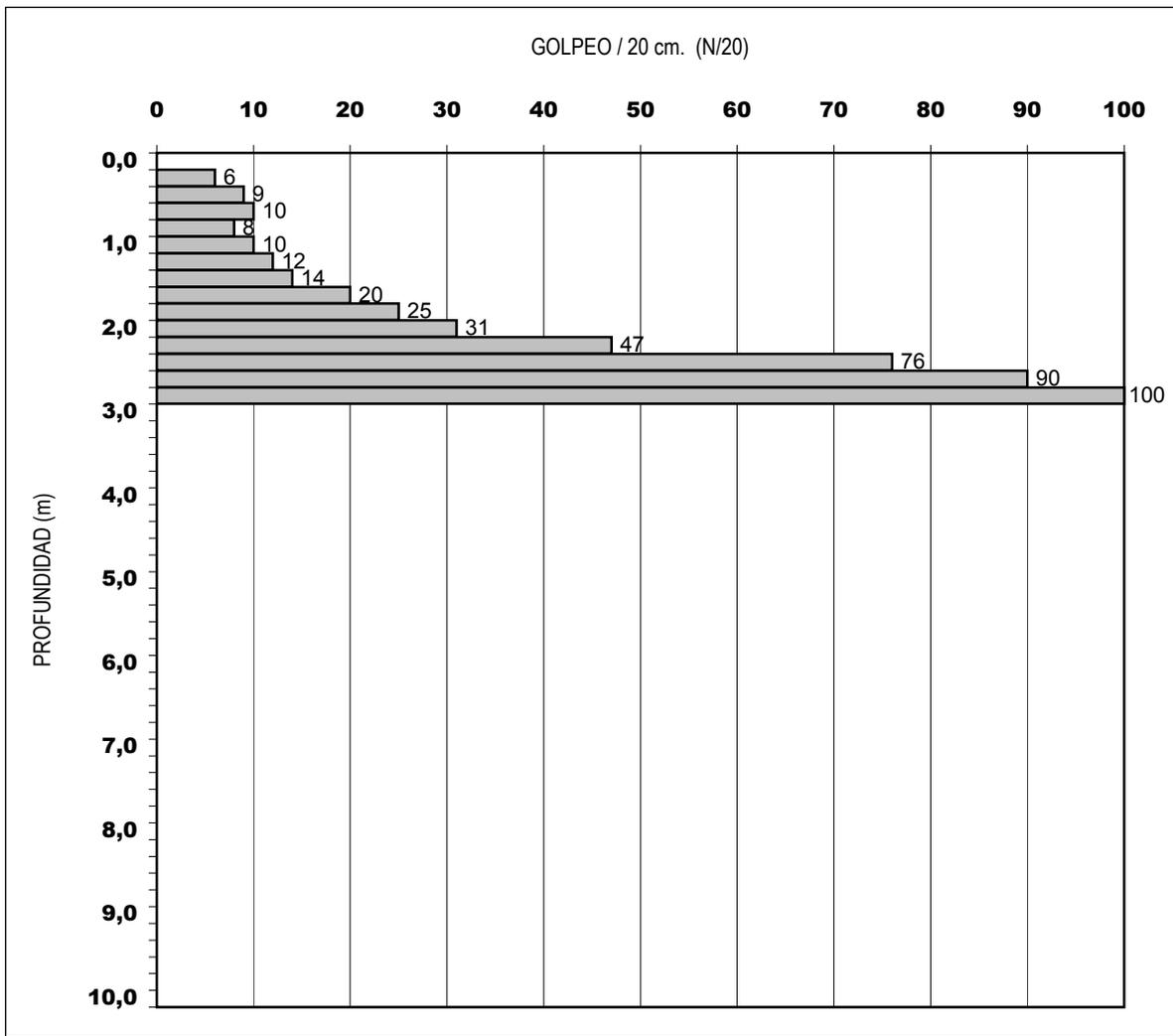
AREAS EHA, EHC, VSG,VSF,GTL,GTC,EAP,EAS,AFC,
 AFH,ACH y APH.

Publicado BOJA nº 243 de 15/12/2005 y 141 de 16/07/2008

**GT-020 ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA SUPERPESADA.
 UNE 103-801:94**

| | | | |
|------------------------------------|--|--------------------------|------------|
| Nº de expediente: GT-110606 | | Nº ensayo: DPSH-2 | |
| Peticionario: | EXCELENTÍSIMA DIPUTACIÓN DE GRANADA | | |
| Domicilio: | C/ Periodista Barrios Talavera, Nº 1, 18014 (Granada). | | |
| Obra: | Rehabilitación y ampliación de cueva en Benalúa, (Granada) | | |
| Ubicación: | | | |
| Fecha: | 22/06/2011 | Fecha del ensayo: | 22/06/2011 |

Tipo de cono: Perdido. Peso de la maza: 63,5 kg. Altura de caída: 75 cm. Cabeza de golpeo: 85 kg. Diámetro varillaje: 32 mm. Longitud varillaje: 1,00 m. Masa del varillaje: 6,3 kg



Sociedad inscrita en el Registro Mercantil de Granada. Tomo 1.096. Folio 27. Hoja GR-24.376. C.I.F. B-18.684.167

Responsable de ensayo físico

Luis B

Fdo: Luis Berruezo Resina
 Lcda. Geológicas. Col nº 296



Armilla a 22/06/2011
 Director Técnico

Mateo López Sánchez

Fdo: Mateo López Sánchez
 Arquitecto Técnico. Col nº 2733



PENETRÓMETRO P-1



PENETRÓMETRO P-2



ANEJO II.- Registro de sondeo

Responsable de ensayo físico

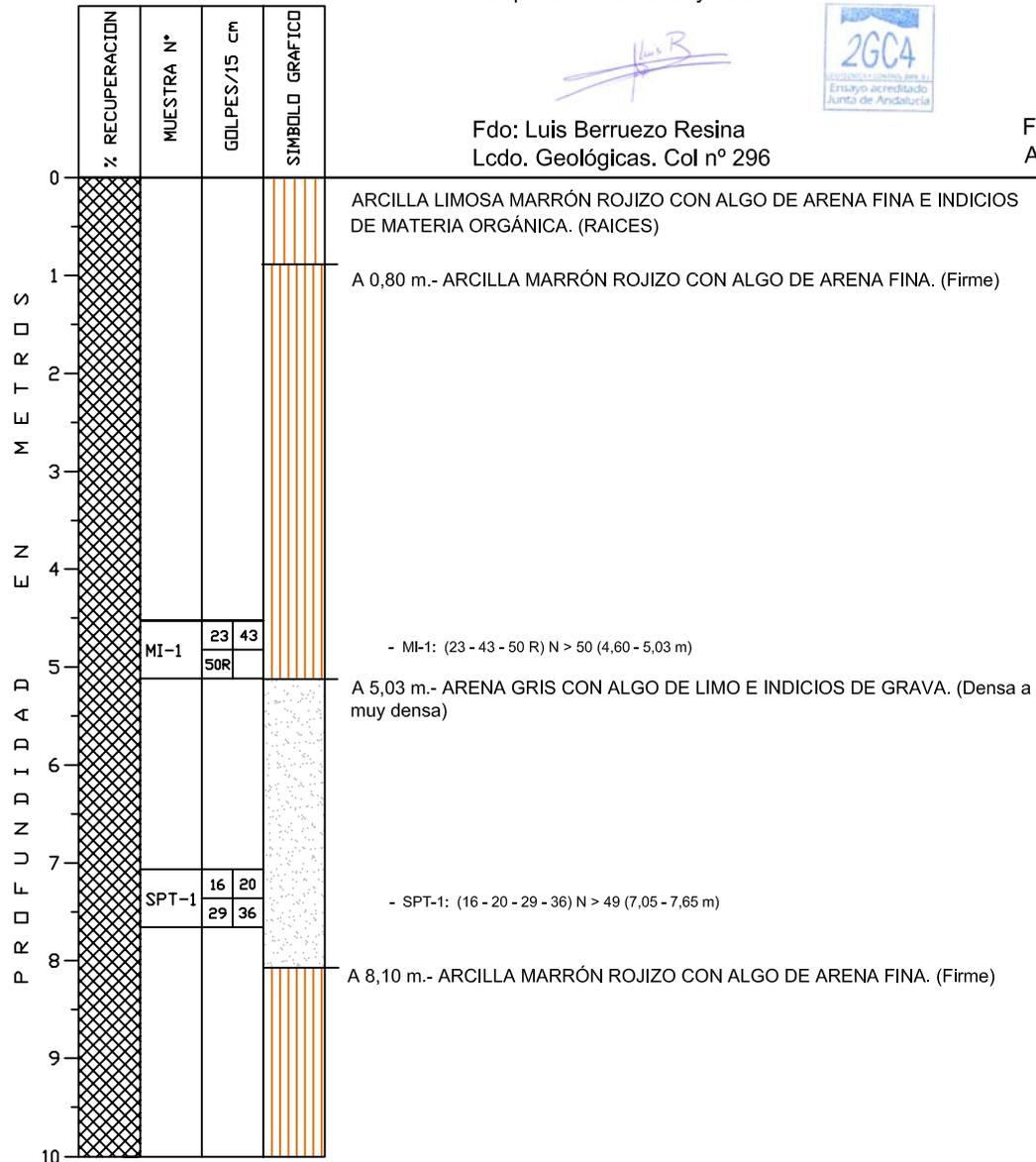
Director Técnico

Fdo: Luis Berruezo Resina
Lcdo. Geológicas. Col nº 296



Fdo: Mateo López Sánchez
Arquitecto Técnico. Col nº 2733

| HUMEDAD NATURAL % | COMPRESION SIMPLE Kp/cm² | LIMITE DE ATTERBERG | | | GRANULOMETRIA | | | CLASIFICACION USCS | CONTENIDO EN SULFATOS SOLUBLES | NIVEL PIEZOMETRICO |
|-------------------|--------------------------|---------------------|-----|------|---------------|----------|---------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| | | L | P | I.P. | % GRAVAS | % ARENAS | % FINOS | | | |
| 6,26 | 4,94 | 30,4 | 8,2 | | 0,1 | 35,6 | 64,3 | | | N.D. |



REGISTRO DE SONDEO (ASTMD 2113-99 y XP P94-202)



GEOTÉCNICA Y CONTROL 2004, S.L.

C/ Pérez Ayala, Nº 7
18100 Armilla - Granada
Tfno: 958 127 027
C.e.: gyc2004@telefonica.net

Laboratorio acreditado por la Junta de Andalucía

Inscrito en el R.L.E. Nº LE072-GR05
Ensayos de áreas: EHA, EHC, VSG, VSF, GTL,
GTC, EAP, EAS, AFC, AFH, ACH Y APH.
Publicado BOJA 243 de 15/12/2005 y 141 de 16/07/2008

Referencia: S-110505

Peticionario: EXCMA. DIPUTACIÓN DE GRANADA

Domicilio: Calle Periodista Barrios Talavera Nº1, 18014 Granada

Obra: Rehabilitación de cueva en Benalúa (Granada)

Fecha: 21 de Junio de 2011

SONDEO

S-1

2 de 2

Responsable de ensayo físico

Armilla a 21/06/2011

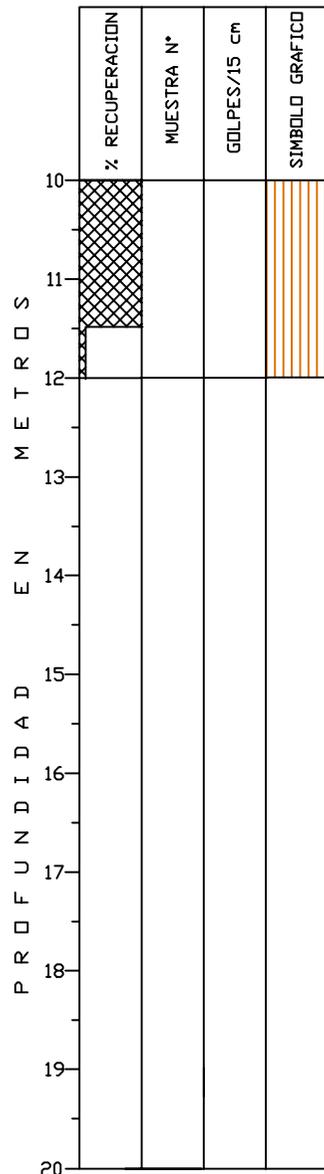
Director Técnico

Fdo: Luis Berrueto Resina
Lcdo. Geológicas. Col nº 296



Fdo: Mateo López Sánchez
Arquitecto Técnico. Col nº 2733

| HUMEDAD NATURAL % | COMPRESIÓN SIMPLE Kp/cm² | LÍMITES DE ATTERBERG | | | GRANULOMETRÍA | | | CLASIFICACIÓN USCS | CONTENIDO EN SULFATOS SOLUBLES | NIVEL PIEZOMÉTRICO |
|-------------------|--------------------------|----------------------|---|---|---------------|----------|---------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| | | L | P | I | % GRAVAS | % ARENAS | % FINOS | | | |
| | | | | | | | | | | |



ARCILLA MARRÓN ROJIZO CON ALGO DE ARENA FINA. (Firme)

Fin de sondeo a 12,00 m.





SONDEO S-1.- Labores de emplazamiento de equipo.



SONDEO S-1.- Emplazamiento



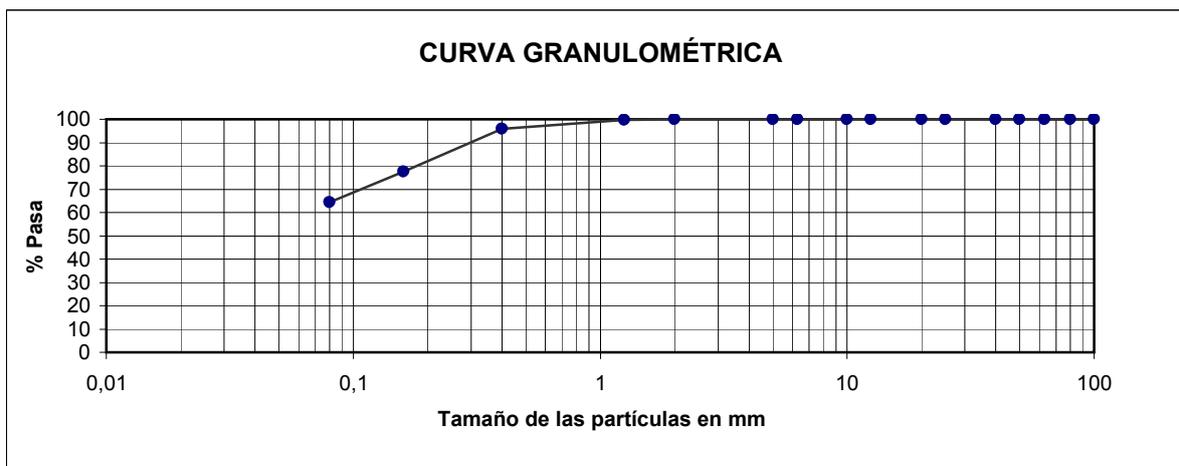
ANEJO III.- Ensayos de laboratorio

**VS-011 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO.
UNE 103-101-95**

| | | | |
|------------------------------------|--|---------------------------|------------|
| Nº de expediente: GT-110201 | | Nº muestra: 110523 | |
| Peticionario: | Alto Almazora Consultoría Geológica | | |
| Domicilio: | | | |
| Obra: | Restauración y ampliación de cuevas en Benalua | | |
| Muestra: | Suelo | | |
| Procedencia: | M.I. | | |
| Fecha: | 29/06/2011 | Fecha del ensayo: | 01/07/2011 |

RESULTADOS

| Tamiz mm | % pasa |
|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| 100 | 100,0 | 40 | 100,0 | 10 | 100,0 | 1,25 | 99,7 |
| 80 | 100,0 | 25 | 100,0 | 6,3 | 100,0 | 0,4 | 95,8 |
| 63 | 100,0 | 20 | 100,0 | 5 | 100,0 | 0,16 | 77,7 |
| 50 | 100,0 | 12,5 | 100,0 | 2 | 99,9 | 0,08 | 64,3 |



| | |
|---------------------------------|-------|
| PASA POR EL TAMIZ Nº 200 (0,08) | 64,3 |
| PASA POR EL TAMIZ Nº 4 (5,0) | 100,0 |

| | | | | | |
|--------|-----|--------|------|-------|------|
| GRAVAS | 0,1 | ARENAS | 35,6 | FINOS | 64,3 |
|--------|-----|--------|------|-------|------|

Observaciones:

Responsable del ensayo físico



Fdo: Luis Berruezo Resina
Lcdo. Geológicas. Col nº 296



Armilla a 01/07/2011
Director Técnico



Fdo: Mateo López Sánchez
Arquitecto Técnico. Col nº 2733



Geotécnica y Control 2.004, S.L.
C/ Perez Ayala nº 7
18.100 Armilla – Granada
Tfno: 958 124 027
C.e.: info@geotecnicaycontrol.com

Laboratorio acreditado por la Junta de Andalucía

Inscrito en el R.L.E. Nº LE072-GR05

Ensayos de áreas: EHA, EHC, VSG, VSF, GTC, GTL, EAP, EAS, AFC, AFH, ACH y APH

Publicado BOJA nº 243 de 15/12/2005 y 141 de 16/07/2008

VS-012 CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG. UNE 103-103-94 Y 103-104-93

| | | | |
|------------------------------------|--|---------------------------|------------|
| Nº de expediente: GT-110201 | | Nº muestra: 110523 | |
| Peticionario: | Alto Almanzora Consultoría Geológica | | |
| Domicilio: | | | |
| Obra: | Restauración y ampliación de cuevas en Benalua | | |
| Muestra: | Suelo | | |
| Procedencia: | M.I. | | |
| Fecha: | 29/06/2011 | Fecha del ensayo: | 04/07/2011 |

RESULTADOS

| | |
|------------------------------|-------------|
| LÍMITE LÍQUIDO | 30,4 |
| LÍMITE PLÁSTICO | 22,2 |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | 8,2 |

Observaciones:

Responsable de ensayo físico

Fdo: Luis Berruezo Resina
Lcdo. Geológicas. Col nº 296



Armilla a 04/07/2011
Director Técnico

Fdo: Mateo López Sánchez
Arquitecto Técnico. Col nº 2733

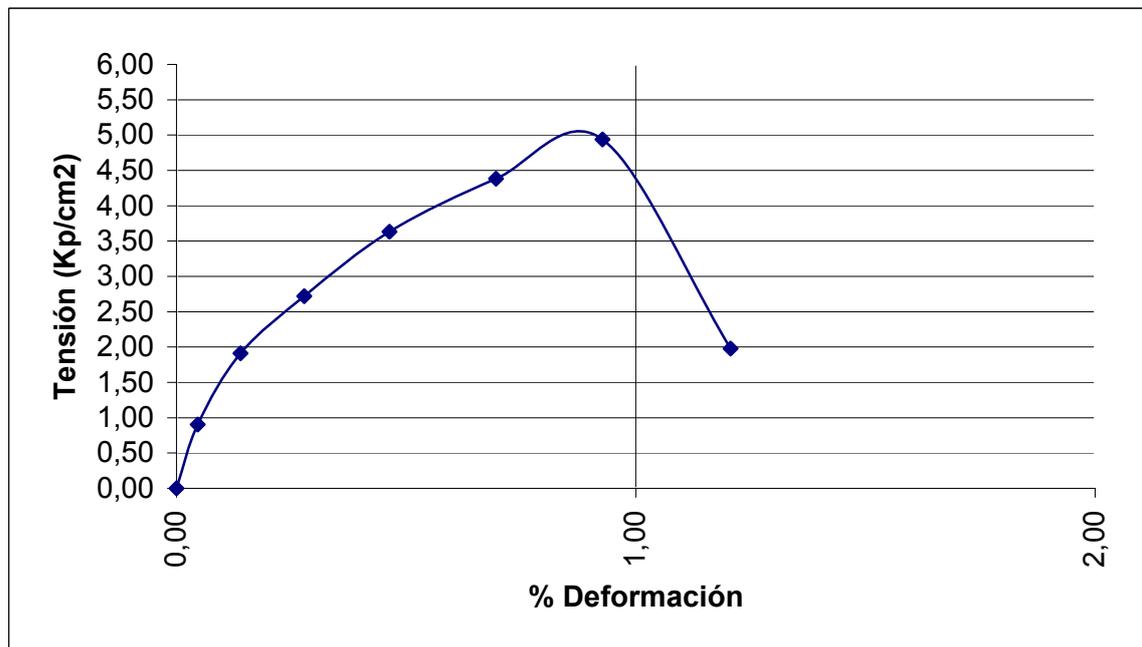
GT-008 ENSAYO DE ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE. UNE 103-400-93

| | | | |
|------------------------------------|--|---------------------------|------------|
| Nº de expediente: GT-110201 | | Nº muestra: 110523 | |
| Peticionario: | Alto Almazora Consultoría Geológica | | |
| Domicilio: | | | |
| Obra: | Restauración y ampliación de cuevas en Benalua | | |
| Muestra: | Suelo | | |
| Procedencia: | M.I. | | |
| Fecha: | 29/06/2011 | Fecha del ensayo: | 01/07/2011 |

DATOS / RESULTADOS

| | | | |
|---------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| Vel.Deform.unitaria (mm/min) | 1,27 | Peso húmedo (g) | 536,00 |
| Diámetro d (cm) | 5,80 | Peso seco (g) | 504,40 |
| Altura h (cm) | 11,70 | Humedad w (%) | 6,26 |
| Sección A: mxn ó 0,785 d ² | 26,41 | Densidad seca (g/cm ³) | 1,81 |
| Volumen V = Axh (cm ³) | 308,97 | | |

| | | |
|--|-------------------------------|-------------------|
| Resistencia a compresión simple (q_u) | 4,94 Kp/cm² | 484,14 Kpa |
|--|-------------------------------|-------------------|



Observaciones:

Responsable de ensayo físico



Fdo: Luis Berruezo Resina
Lcdo. Geológicas. Col nº 296



Armilla a 01-jul-11
Director Técnico



Fdo: Mateo López Sánchez
Arquitecto Técnico. Col nº 2733



Geotécnica y Control 2.004, S.L.
C/ Perez Ayala nº 7
18.100 Armilla – Granada
Tfno: 958 124 027
C.e.: info@geotecnicaycontrol.com

Laboratorio acreditado por la Junta de Andalucía

Inscrito en el R.L.E. Nº LE072-GR05

Ensayos de áreas: EHA, EHC, VSG, VSF, GTC, GTL, EAP, EAS, AFC, AFH, ACH y APH

Publicado BOJA nº 243 de 15/12/2005 y 141 de 16/07/2008

VS-021 DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL CONTENIDO DE SULFATOS SOLUBLES EN UN SUELO. UNE 103-201-96

| | |
|------------------------------------|--|
| Nº de expediente: GT-110201 | Nº muestra: 110523 |
| Peticionario: | Alto Almanzora Consultoría Geológica |
| Domicilio: | |
| Obra: | Restauración y ampliación de cuevas en Benalua |
| Muestra: | Suelo |
| Procedencia: | M.I. |
| Fecha: | 29/06/2011 Fecha del ensayo: 01/07/2011 |

RESULTADOS

| | |
|---|------|
| % SO ₃ | N.D. |
| % YESO (SO ₄ Ca*2H ₂ O) | N.D. |

Observaciones:

Responsable de ensayo químico

Fdo: Luis Enrique Recio Malagón
Lcd. C. Químicas. Col nº 3597



Armilla a 01/07/2011
Director Técnico

Fdo: Mateo López Sánchez
Arquitecto Técnico. Col. 2733



ANEJO IV.- Claves para la descripción de suelos

CLAVE PARA LA DESCRIPCIÓN DE SUELOS

CLASIFICACIÓN DE LAS PARTICULAS DE SUELO POR SU TAMAÑO.

DIAMETRO DE LAS PARTÍCULAS EN MILIMETROS

| | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|------|-------|--------|------|--------|--|
| | 0,074 | 0,42 | 2 | 4,75 | 19,1 | 100 | |
| | | FINA | MEDIA | GRUESA | FINA | GRUESA | |
| ARCILLA O LIMO | ARENA | | | GRAVA | | BOLOS | |
| SUELOS DE GRANO FINO | SUELOS DE GRANO GRUESO | | | | | | |

SUELOS DE GRANO GRUESO. DENSIDAD RELATIVA EN FUNCIÓN DEL ENSAYO SPT.

| <u>DENSIDAD</u> | <u>GOLPEO SPT/30 cms</u> |
|--------------------|--------------------------|
| MUY FLOJO | ≤ 4 |
| FLOJO | 5 a 10 |
| MEDIANAMENTE DENSO | 11 a 30 |
| DENSO | 31 a 50 |
| MUY DENSO | > 50 |

SUELOS DE GRANO FINO. RESISTENCIA EN FUNCIÓN DE LA COHESIÓN.

| <u>RESISTENCIA</u> | <u>COHESIÓN (kg/cm²)</u> |
|--------------------|-------------------------------------|
| MUY BLANDO | $< 0,125$ |
| BLANDO | 0,125 a 0,25 |
| MODERDAMENTE FIRME | 0,25 a 0,50 |
| FIRME | 0,50 a 1 |
| MUY FIRME | 1 a 2 |
| DURO | 2 a 4 |
| MUY DURO | > 4 |

FRACCIÓNES SECUNDARIAS.

| <u>DESCRIPCIÓN</u> | <u>PROPORCIÓN (% en peso)</u> |
|--------------------|-------------------------------|
| INDICIOS | 0 a 10 |
| ALGO | 10 a 20 |
| BASTANTE | 20 a 35 |
| SUFIJO OSO/OSA | 35 a 50 |

SISTEMA UNIFICADO PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS

| GRUPOS PRINCIPALES | | | SIMBOLO GRAFICO | SIMBOLO DE LETRAS | DESCRIPCION DEL SUELO | | | |
|--|---|---|---|---|--|--|----|--|
| SUELO DE GRANO GRUESO MAS DE 50% DEL MATERIAL QUEDA RETENIDO SOBRE EL TAMIZ N°200 | GRAVA Y SUELOS CON GRAVA MAS DEL 50% DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TAMIZ N°4 | GRAVAS LIMPIAS | | GW | GRAVAS BIEN GRADUADAS, MEZCLA DE GRAVA Y DE ARENA, CON FINOS O SIN FINOS | | | |
| | | | | GP | GRAVAS MAL GRADUADAS MEZCLA DE GRAVA Y ARENAS, CON POCOS FINOS O SIN FINOS | | | |
| | | | | GM | GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS DE GRAVA-ARENA-LIMO | | | |
| | | | | GC | GRAVAS ARCILLOSAS MEZCLA DE GRAVA-ARENA-ARCILLA | | | |
| | ARENA Y SUELOS ARENOSOS MAS DE 50% DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TAMIZ N°4 | ARENAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN FINOS) | | | SW | ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN FINOS | | |
| | | | | | SP | ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN FINOS | | |
| | | ARENAS CON FINOS (FINOS EN CANTIDAD APRECIABLES) | | | SM | ARENAS LIMOSAS, MEZCLA DE ARENA-LIMO | | |
| | | | | | SC | ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE ARENA-ARCILLA | | |
| | | | SUELOS DE GRANO FINO MAS DE 50% DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ N°200 | LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MENOR QUE 50 | | | ML | LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS POLVO DE ROCA, ARENA FINA Y LIMOSA O ARCILLA, LIMOS O ARCILLAS POCO PLASTICOS |
| | | | | | | | CL | ARCILLAS INORGANICAS POCO PLASTICAS O DE PLASTICIDAD MEDIANA, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS Y LIMOSAS |
| | | OL | | | LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS POCO PLASTICAS | | | |
| LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR QUE 50 | | | | MH | LIMOS INORGANICOS CON POCA MICA O ARENA FINA DIATOMEA O SUELOS LIMOSOS | | | |
| | | | | CH | ARCILLAS INORGANICAS MUY PLASTICAS, ARCILLAS GRASAS | | | |
| | | | | OH | ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIANA O MUY PLASTICAS, LIMOS ORGANICOS | | | |
| SUELOS MUY ORGANICOS | | | | PT | TURBA, HUMUS, SUELOS DE PANTANOS CON MUCHA MATERIA ORGANICA | | | |

NOTA: SE UTILIZAN SIMBOLOS DOBLES PARA CASOS INTERMEDIOS DE CLASIFICACION

Agradecimientos a la colaboración y el interés mostrado en este proyecto a:

- Patricia Huedo Dorda
- Juan Antonio García Esparza
- Maria José Rua Aguilar
- Lucía Reig Cerdà
- Ana Esther Tomás Catalán
- Ángel Miguel Pitarch Roig
- David Blanco Fernández
- Ingeniería Geológica Ronda 71 S.L., a Juan Miguel Hidalgo García.
- Vecinos de la localidad que han colaborado en el proyecto
 - Natividad LizcanoMartínez
 - Antonio Jiménez Avilés
- Moradores de la casa cueva tradicional de los años 50
 - Josefa Vera Berbel
 - Manuel Berbel Martínez
- Museo-Centro de interpretación cuevas del Sacromonte
- Ayuntamiento de Guadix

Dedicado a mi familia.

PROYECTO FINAL DE MÁSTER. NOVIEMBRE 2013
MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

CASA CUEVA 2.0
ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA CUEVA DEL SIGLO XXI
POR ROCÍO GRANELL BERBEL

