



The collection of environmental data in the analysis of the hygrothermal and air quality behavior of a cave house in Almería

La toma de datos medioambientales en el análisis del comportamiento higrotérmico y de calidad del aire de una casa cueva en Almería

LUIS JIMÉNEZ LÓPEZ

Graduado en Ingeniería de Edificación y Arquitecto Técnico. Instituto Nacional de las Cualificaciones. Ministerio de Educación y Formación Profesional. C/ Paseo del Prado 28, 1º planta. luis.jimenez@educacion.gob.es

The Technical Building Code (CTE) is the regulatory framework that regulates the basic quality requirements that buildings must meet. The basic documents of the CTE, characterize the basic requirements (energy saving, protection against humidity, indoor air quality, among others) and quantify them, establishing levels or limit values. They also establish procedures whose use proves compliance with the basic requirements, specified in the form of verification methods or solutions sanctioned by practice.

We must not forget the requirements established by other regulations and that affect housing, as is the case of the Regulation of Thermal Installations in Buildings (RITE), related to welfare and hygiene, especially related to the requirement of thermal quality of the environment.

In order to investigate and justify the technical requirements established by the regulations, especially those related to indoor environmental parameters (temperature, humidity, wind speed, CO₂,...), a multidisciplinary training is necessary, and the use of multiple equipment and tools is also necessary, of associated software for verification. But the most appropriate methodology for its justification is not specified. This is the challenge assumed in a study case for the justification of the requirements in a cave-house in Almería.

Basic requirements, welfare conditions, environmental parameters, habitability, cave houses

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios. Los Documentos Básicos del CTE, caracterizan las exigencias básicas (ahorro de energía, protección frente a la humedad, calidad del aire interior, entre otras) y las cuantifica, estableciendo niveles o valores límite. También establecen procedimientos cuya utilización acredita el cumplimiento de las exigencias básicas, concretados en forma de métodos de verificación o soluciones sancionadas por la práctica.

No hay que olvidar las exigencias establecidas por otras reglamentaciones y que afectan a las viviendas, como es el caso del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), relacionado con el bienestar e higiene, especialmente la relativa a la exigencia de calidad térmica del ambiente.

Para poder investigar y justificar las exigencias técnicas establecidas por los reglamentos, especialmente las relacionadas con los parámetros medioambientales interiores (temperatura, humedad, velocidad del viento, CO₂,...) es necesario una formación pluridisciplinar, siendo necesario el uso de múltiples equipos y herramientas además de software asociado para la verificación. Pero no se especifica la metodología más apropiada para su justificación. Este es el reto asumido en un caso de estudio para la justificación de las exigencias en una casa cueva en Almería.

Exigencias básicas, condiciones de bienestar, parámetros medioambientales, habitabilidad, casas-cueva

1. INTRODUCCIÓN

La Junta de Andalucía en 2018 publicó el Decreto 28/2016 [1], de 2 de febrero, de las viviendas con fines turísticos y

de modificación del Decreto 194/2010, de 20 de abril, de establecimientos de apartamentos turísticos, dando solución, en parte, a las casa-cueva que existen en Andalucía, incorpo-

rando esta definición y tipología: “3.2 Ciudad. Casas-cueva: modelo de vivienda troglodita excavada en materiales blandos e impermeables de zonas rocosas. Se admite hasta un 50% de la superficie útil en construcción tradicional, debiendo asegurar una adecuada ventilación directa de las estancias sin ventana exterior”.

Recientemente se ha publicado en el Decreto-ley 3/2019 [2], de 24 de septiembre, de medidas urgentes para la adecuación ambiental y territorial de las edificaciones irregulares en la Comunidad Autónoma de Andalucía. En él se especifica, “que a pesar de la abundante producción normativa, no han conseguido solucionarse los problemas asociados a las **edificaciones irregulares**, lo que en gran medida se debe a que la regulación vigente en el ordenamiento jurídico andaluz sobre esta materia resulta extraordinariamente desordenada y compleja, lo que genera un escenario de incertidumbre e inseguridad jurídica” y por otro, “la existencia de graves riesgos sanitarios originados por vertidos incontrolados debido a la inexistencia de saneamiento y la aparición de una emergente economía sumergida...”. Muchas de estas edificaciones irregulares, están las consideradas como casas-cueva, especialmente en el ámbito rural.

De un total de unas 500.000 edificaciones existentes en suelo no urbanizable en Andalucía, alrededor de 300.000 edificaciones son irregulares, de las cuales tan sólo han sido declaradas en **asimilado a fuera de ordenación** y por consiguiente han podido acceder a los suministros básicos en condiciones mínimas de seguridad y salubridad, un 26% de dichas viviendas.

En España existe poca regulación (leyes y reglamentos urbanísticos nacionales, autonómicos o planes urbanísticos de ayuntamientos) en relación a las casas-cueva con el fin de legalizarlas como vivienda. Solo el Decreto 117/2006 [3], por el que se regulan las condiciones de habitabilidad de las viviendas y el procedimiento para la obtención de la cédula de habitabilidad en Canarias, define a las casas-cueva, como aquellas cuevas que hayan sido objeto de una transformación con el fin de destinarlas a un uso residencial, y que, a la fecha de publicación de esta norma, vinieran destinándose, con carácter permanente o por temporada, a ese uso.

Para que las casas-cueva puedan contar con cédula de habitabilidad, deberán cumplirse las condiciones mínimas establecidas, entre las que podemos citar: un informe municipal sobre su uso residencial, que deberá basarse en pruebas documentales y la certificación de técnico competente debidamente visada acreditativa de la adecuada seguridad estructural de la casa-cueva.

Este conjunto de condiciones debe justificarse documentalmente, que en el caso de una casa-cueva, destacan las referidas a las de habitabilidad, especialmente la justificación de los parámetros medioambientales interiores (humedad, temperatura y calidad del aire), siendo estos los más cuestionados

desde el origen de este tipo de construcciones artificiales, siendo exigidas actualmente por el Código Técnico de la Edificación [4] y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los edificios [5], entre otros.

En el caso de Canarias, alguna de las exigencias, sí que están adaptadas a casas-cuevas, como por ejemplo:

- ◇ El edificio ha de estar protegido contra humedad exterior en cubiertas, soleras y fachadas, en particular las expuestas al viento dominante, y contra la humedad interior en las superficies expuestas a salpicaduras.
- ◇ Las cubiertas y fachadas deberán alcanzar al menos un 50% de los niveles de aislamiento térmico y acústico exigidos en la normativa vigente.
- ◇ Los huecos abiertos al exterior o patio han de sumar al equivalente de al menos un 3% de la superficie interior de la vivienda.
- ◇ El hueco de ventilación será como mínimo la mitad del disponible para iluminación.
- ◇ La cocina y cuarto higiénico tendrán extracción forzada natural o mecánica, y un hueco de entrada de aire en la proximidad del pavimento y otro de salida de aire usado en la proximidad del techo, ambos de 100 cm² como mínimo.

Según López Frías [6], el interés por la conservación y protección de las casas cueva tiene un carácter multidisciplinar.

Por lo tanto, el objetivo de este análisis es comprobar en un caso de estudio con ayuda de equipos y medios adecuados el comportamiento higrotérmico (humedad y temperatura) y la calidad del aire interior (CO₂), parámetros para la justificación del cumplimiento de las exigencias técnicas establecidas en el CTE y RITE, como comentamos anteriormente.

2. METODOLOGÍA. CASO DE ESTUDIO

Para hacer un análisis para verificar el cumplimiento del conjunto de condiciones, en especial las referidas a la habitabilidad (comportamiento higrotérmico y de calidad del aire), se ha elegido un caso de estudio de casa-cueva ubicada en la localidad de Cuevas del Almanzora en Almería.

La localidad de Cuevas de Almanzora presenta muchos barrios y pedanías donde se concentra gran parte del hábitat excavado (ver figura 1). Según estimaciones por parte del ayuntamiento, en la localidad existen unas 800 cuevas, de las que unas 260 están rehabilitadas bien como casas-cuevas, apartamentos de turismo rural o viviendas cueva. El resto se considera simplemente cuevas, a la espera de rehabilitación funcional.

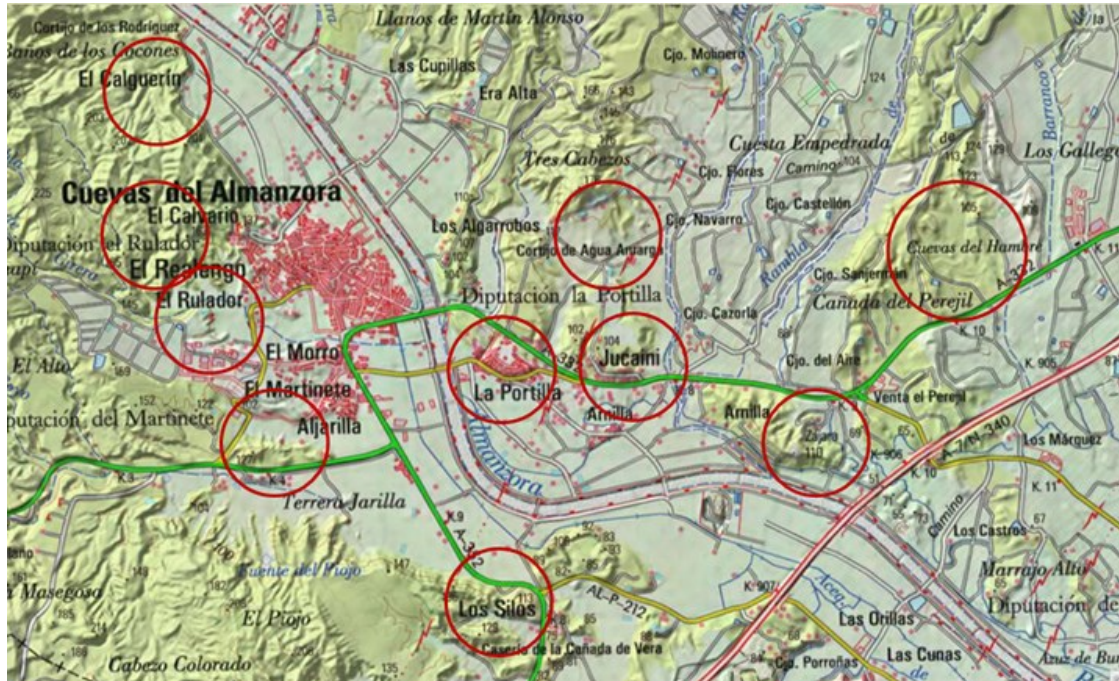


Fig. 1. Zona de concentración de hábitat excavado en Cuevas del Almanzora.

La tipología constructiva en el hábitat excavado de la localidad es muy variada, por lo que atendiendo al aspecto exterior y forma de las fachadas, según indica Gil Albarracín [16] y otros autores que elaboraron la guía de Arquitectura Subterránea en Andalucía [12], podemos encontrar los siguientes tipos:

◆ *Fachada de destierro*

Aquellas en las que se ha aprovechado el corte del terreno para la fachada inclinada o se ha utilizado para allanar la placeta o acceso delantero, sin apenas obra de albañilería (solo la fijación de los marcos de puertas y ventanas) y fachada blanqueada de cal (figura 2).



Fig. 2. Detalle de cueva con fachada enlucada sin apenas obra.

◆ *Fachada de obra*

Consistente en preparar y adecuar la fachada excavada al cerro que sirve de con obra de fábrica, bien para para ocultar la cueva como tal (ver figura 3) o muro construido que sirve para contención y protección de humedades, dotado de cornisas, vuelos y canales, para evacuar las aguas de escorrentía.



Fig. 3. Cueva con fachada de obra.

◆ *Cuevas con porche*

Para ocultar por un lado la cueva y simular viviendas unifamiliares o simplemente para adecuar o proteger la placeta o acceso es corriente que se usen porches adintelados o con arcos (figura 4).



Fig. 4. Ejemplo de cueva con fachada de obra.

◆ Casa - cueva o vivienda cueva

Es el resultado de la construcción delante de la cueva de una edificación de una o más plantas. En muchas ocasiones se ha utilizado este sistema para adecuarlas al modo de vivienda unifamiliar e integrarse en el entorno, no dando la sensación exterior de cueva (figura 5).



Fig. 5. Ejemplo de casa cueva o vivienda cueva.

Para seleccionar la muestra representativa para caso de estudio, he seleccionado una tipología de casa-cueva que cumple dos requisitos fundamentales: **ser residencia habitual y estar adecuada para el uso como vivienda**. Tanto Sorroche Cueva [9] como Urdiales Viezma [10], ha estudiado distintas zonas de Andalucía, especialmente en la provincia de Granada [11], indicando el objeto de recuperación vernácula de la zona y modelos de viviendas de futuro.

2.1. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio de esta investigación está situado en las afueras del municipio de Cuevas del Almanzora (Almería), en la zona situada en la Cañada del Hambre.

El municipio cuenta con Plan General de Ordenación Urbana,

y en sus Normas Urbanísticas solo establece en el apartado 9.2.18., la *imagen y conservación de las casas – cueva*, permitiendo las obras de mantenimiento y mejora de fachada y de reparación de acabados (con licencia de obra menor) e incluso la posibilidad de adecuación funcional completa o ampliación, para lo que obliga a un estudio geotécnico y licencia de obra mayor, para evitar en lo posible accidentes, como el que ocurrió en la localidad en octubre de 2011, en el que murieron 3 personas (figura 6) que trabajaban en una cueva quedando sepultada por derrumbe de parte de la montaña.



Fig. 6. Accidente de 2001 de derrumbe de tierras en una casa cueva.

La casa-cueva elegida (figura 7) cumple los requisitos de partida, ya que pertenece a un matrimonio con residencia habitual en ella, que decidieron rehabilitarla en 2004, la cueva que pertenecía a sus abuelos.

Está situada en un “cabezo” a una altura de 105 m sobre el nivel del mar, a unos 7,5 km de la costa de Almería. La parcela, desde el punto de vista catastral, es muy grande. Además, recientemente se ha registrado el porche y un almacén, sin que pudiese registrar la parte de casa-cueva excavada en la montaña, pendiente de actuaciones del catastro. La fachada es **ESTE**, según la figura 8 del documento DA/DB HE1 del CTE.



Fig. 7. Detalle de cueva rehabilitada caso de estudio en Cuevas de Almanzora.

La planta de la casa-cueva está compuesta por cinco dormitorios, cocina, salón comedor y baño (figura 8). En total son 116 m² de superficie útil, fruto de la unión de dos cuevas. Es por esto, por lo que la cueva tiene dos accesos: uno de ellos directo por la cocina y el principal, además de otros dos huecos de ventana, uno en un dormitorio y otro en el baño, todos ellos organizados para dar iluminación al interior. También tiene una zona independiente que se usa de garaje y almacén, pero que no está conectado con la cueva.

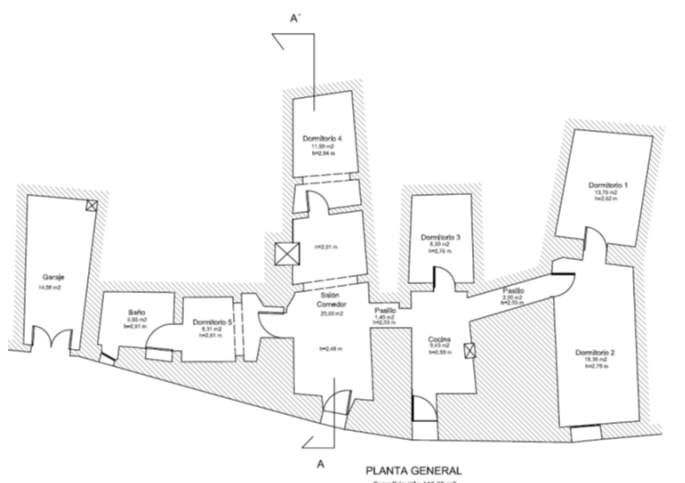


Fig. 8. Planta general de la casa-cueva caso de estudio.

Los muros de fachada son de 1,20 m de media; está excavada en el “cabezo” así como su interior en forma de bóveda, con alturas medias de 3,00 m (ver figura 9). Para las paredes y techos se ha utilizado un revestimiento totalmente transpirable para que se puedan evacuar las humedades que en un principio pudiese tener en el terreno, a base de morteros de cal apagada y yeso. El suelo se ha tratado como una solera con capa de grava, colocando tubos de ventilación, acabándola con suelo cerámico (ver figura 10).

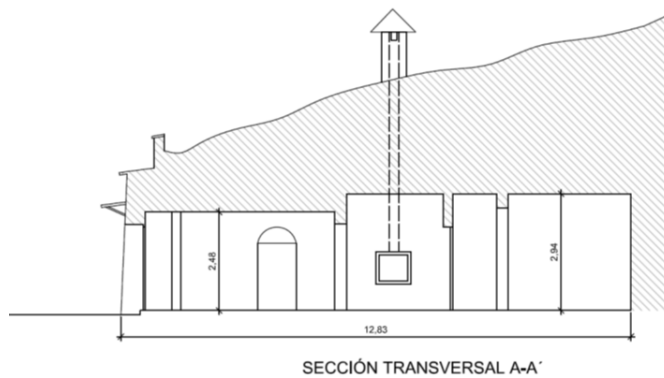


Fig. 9. Detalle sección transversal de la casa-cueva.

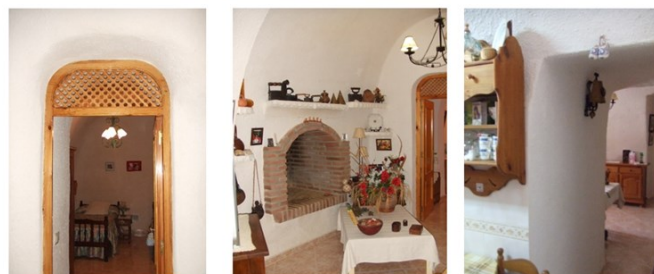


Fig. 10. Detalle de huecos de paso y habitaciones para tener luz natural y ventilación.

Para los datos exteriores de humedad relativa, temperatura seca y velocidad del viento (figura 11), se ha tomado la referencia de la estación agroclimática de Cuevas de Almanzora que pertenece al Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía, con objeto de tener referencia de parámetros medioambientales (especialmente los higrotérmicos) exteriores, siendo las medias y datos característicos de 2019 los indicados a continuación:

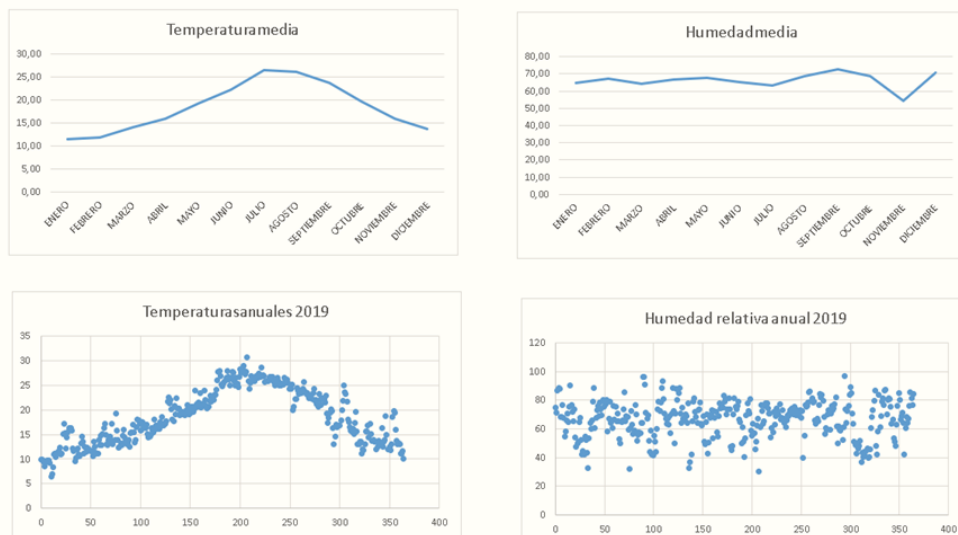


Fig.11. Datos obtenidos estación climática entorno casa cueva del caso de estudio.

2.2. ESTUDIOS REALIZADOS. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Dado que no existe una metodología específica normalizada ni protocolo para la toma de datos (aunque si ejemplos de monitorización de variables medioambientales en edificios [12]), en interiores para casas-cuevas, para este estudio se han realizado una serie de comprobaciones y ensayos, que indico a continuación:

- ◆ Medida de la humedad relativa y temperatura con termohigrómetros (metodología de monitorización mediante el uso de “data logger”).
- ◆ Medida de la calidad del aire, especialmente el CO₂ (metodología de monitorización mediante el uso de “data logger”).
- ◆ Medida de velocidad del viento con anemómetro interior y exterior.

En los estudios se han tenido en cuenta parte de lo recomendado por las normas UNE - EN-ISO 7726[13], UNE – EN-15927[14] y UNE-EN-ISO 16000 [15], en lo referido a la ubicación de los equipos, duración y frecuencia de muestreo. Se ha seguido el siguiente proceso:

- ◇ Datos de partida: forma y tipología de casa cueva.
- ◇ Requisitos y exigencias básicas a justificar.
- ◇ Número, tipos equipos a utilizar (data logger).
- ◇ Ubicación y altura (UNE UNE-EN-ISO-7726/2002).
- ◇ Tiempo necesario de toma de datos.
- ◇ Tratamiento de los datos: reales (media anual) o estadísticos (muestreo), según UNE ISO 15927-1 de 2003.

Con dichas pruebas se han realizado los siguientes estudios y análisis que comentamos a continuación.

2.2.1. MONITORIZACIÓN DE VARIABLES MEDIOAMBIENTALES. TEMPERATURA SECA Y HUMEDAD RELATIVA

Neila [16] define el bienestar ambiental global como el resultado de la interacción compleja de un conjunto de parámetros e indica que el confort térmico es la sensación que expresa el grado de satisfacción de los usuarios de un edificio en relación con el ambiente térmico que se da en su interior.

Entre los parámetros vinculados al bienestar se encuentran los indicados en la tabla 1.

Parámetros geográficos	Latitud
	Altitud
Parámetros climáticos	Temperatura
	Humedad
	Movimiento del aire
	Radiación
Parámetros personales	Actividad
	Arropamiento
	Edad
	Sexo
Parámetros del espacio interior	Previsibilidad subjetiva
	Tiempo de ocupación
	Gradiente vertical de temperatura
	Radiación de onda larga emitida por los paramentos interiores
	Variación periódica de la temperatura
	Asimetría radiante entre paramentos

Tabla 1. Relación de parámetros vinculados al bienestar.

Sin embargo, para manejar una combinación múltiple de parámetros se crearon los índices de bienestar. Lo ideal y más sencillo sería conocer el efecto de dos o más parámetros simples. Pero en función del grado de precisión y objetivo que se quiera alcanzar se agrupan en varios grupos, según se indican en la tabla 2:

Índices de bienestar Directos	Temperatura seca
	Humedad relativa
	Velocidad del aire
Índices de Bienestar Derivados de los Directos	Temperatura Media Radiante
	Temperatura Equivalente
	Temperatura Operativa
	Temperatura Operativa Húmeda
Índices de Bienestar Empíricos	Temperatura efectiva
	Índice de enfriamiento por viento
	Voto medio observado
	Voto medio previsto (VMP)
	Índice de confort ecuatorial
	Porcentaje de personas insatisfechas (PPI)
Índice de Temperatura húmeda- Temperatura de globo	

Tabla 2. Relación de los índices de bienestar.

Son los índices de bienestar directos los más sencillos de obtener pero son los derivados de los directos o los empíricos los que presentan datos más precisos, pero a su vez son más complejos de obtener, necesitando equipamiento especial complementario.

Es el RITE el que establece las condiciones de bienestar térmico interior. Tiene un componente subjetivo y otro objetivo, por ello en su valoración hay que considerar desde el principio éstos aspectos:

- ◆ Recoger el grado de satisfacción de los ocupantes de los edificios o locales de trabajo, integrándolo en los métodos usados de evaluación.
- ◆ Y utilizar una metodología que incluya la magnitud de la temperatura operativa y las variables vinculadas a ésta: temperatura del aire o seca, temperatura radiante media, humedad relativa, velocidad relativa del aire, aislamiento del vestido y la actividad metabólica del individuo.

Se define como temperatura operativa como la temperatura uniforme de un recinto negro imaginario en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad total de energía por radiación y convección en el ambiente, que en el local real no uniforme.

La temperatura operativa es una ponderación de la temperatura radiante media de los cerramientos del local y la temperatura seca del aire, considerando que ambas contribuyen a la temperatura ambiental con sus coeficientes de transferencia de calor radiante y convectivo.

Su expresión es la siguiente, de acuerdo con la norma UNE-EN-ISO 7726:2002 [5] Ergonomía en ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes física.

$$t_o = \frac{h_c \cdot t_a + h_r \cdot \bar{t}_r}{h_c + h_r} \quad (1)$$

- t_o es la temperatura operativa
- t_a es la temperatura del aire
- t_r es la temperatura radiante media
- h_r es el coeficiente de intercambio de calor por radiación
- h_c es el coeficiente de intercambio de calor por convección

Por eso, en la práctica, si la velocidad relativa del aire es inferior a 0,2 m/s, que es lo normal en viviendas para un uso normal, o la diferencia entre la temperatura del aire y la radiante media es inferior a 4°C se puede aplicar la media aritmética de la temperatura radiante y la del aire, ya que en éstos casos el cuerpo humano eliminaría calor por convección y radiación a partes casi iguales.

$$t_o = \frac{\bar{t}_r + t_a}{2} \quad (2)$$

En definitiva, el RITE indica que para personas con actividad metabólica sedentaria (1,2 met, con grado de vestimenta normal (de 0,5 clo en verano y 1 clo en invierno), los valores estarán comprendidos entre los límites en verano de temperaturas operativas 23-25 °C (que equivalen a 22-24 °C de temperatura seca aproximadamente) con humedad relativa entre 45 y 60% y en invierno de temperaturas operativas de 21-23 °C (que equivalen a 21-24 °C de temperatura seca) con humedades relativas entre 40-50%.

Estos métodos se han determinado teniendo en cuenta las posibilidades de medidas "in situ" y las prestaciones de los equipos de medida actuales. En la norma UNE- EN-ISO 7726 se muestran los intervalos de medida, la exactitud de las medidas y los tiempos de respuesta (90%), de los sensores para cada una de las magnitudes (ver tabla 3).

Alturas de medida de las magnitudes físicas de un ambiente			
Posición de los sensores	Coeficiente ponderación en ambiente homogéneo en método C	Altura recomendada	
		Sentado	De pie
A nivel de la cabeza	---	1,10 m	1,70 m
A nivel del abdomen	1	0,60 m	1,10 m
A nivel del tobillo	---	0,10 m	0,10 m

Tabla 3. Alturas de medida de la magnitudes físicas de un ambiente.

De hecho, las especificaciones y métodos (concretamente del tipo C) están relacionados con las medidas a realizar en ambientes moderados, próximos a la situación de **bienestar o de confort** (tabla 4):

Clase C (de confort)				
Magnitud	Símbolo	Intervalo de medida	Exactitud	Tiempo de respuesta
Temperatura del aire.	t_a	10°C a 40°C	Requerida: +- 0,5 °C Deseable: +-0,2 °C Desviación (tt-ta) igual a 10°C	Lo más corto posible. Su valor debe especificarse como una característica del instrumento de medida.
Humedad absoluta expresada como presión parcial de vapor de agua.	P_a	0,5 KPa a 3,0 Kpa	+ - 0,15 Kpa Esta exactitud deben garantizada al menos por una desviación (tt-ta) de cantidad de 10°C como mínimo.	Lo más corto posible. Su valor debe especificarse como una característica del instrumento de medida.

Tabla 4. Datos clase C de confort.

Por otro lado, la norma UNE ISO 15927-1 de 2003, tiene como objetivo indicar el procedimiento para el cálculo y presentación de las medias mensuales a partir de los datos climáticos necesarios para evaluar algunos aspectos de comportamiento higrotérmico para edificios, cubriendo entre otras, las siguientes variables climáticas:

- Temperatura del aire.
- Humedad atmosférica.

Los periodos sobre los que se calculan los parámetros pueden calcularse para medias mensuales o totales a partir de meses individuales o de todos los meses correspondientes de muchos años. Los cálculos de la desviación estándar de medias diarias o anuales o totales deben referirse a un año o mes específico.

La media mensual se puede hacer de la siguiente forma:

- ◆ A partir de datos de cada hora.
 - La media de medidas continuas registradas durante esa hora.
 - Medidas registradas en un momento particular de esa hora.

- ◆ A partir de datos medios en intervalos (3, 4 o 6h).
- ◆ A partir de datos máximos y mínimos diarios.
- ◆ A partir de datos puntuales (7:30, 14:30 y 21:30).

Los métodos especificados pueden utilizarse para calcular las medias mensuales o totales a partir de meses individuales (por ejemplo, el mes de enero de un año específico) o de todos los meses correspondientes de muchos años (por ejemplo, todos los meses de enero de los datos de 30 años).

Los cálculos de la desviación estándar de medias diarias o totales sobre las medias mensuales o anuales o totales deben referirse a un año o mes específico.

El año específico o el periodo multiaño sobre el cual se calculan todos los parámetros deben indicarse con los valores de

los parámetros. En nuestro caso, como solo tenemos un año de referencia el periodo elegido es de 1 de abril de 2015 a 31 de marzo de 2016.

Los datos se han obtenido como cálculo de la media mensual, a partir de datos de cada hora. La media mensual se ha calculado de la manera siguiente:

$$\theta_{mm} = \frac{\sum_{h=1}^{h_m} \theta_h}{h_m} \quad (3)$$

- θ_h es la temperatura por hora, en °C.
- h_m es el número de horas en el mes considerado (en nuestro caso meses completos).

El cálculo de la media anual y desviación estándar, en el caso de la temperatura media anual, se ha calculado a partir de las medias diarias de la manera siguiente:

$$\theta_{ym} = \frac{\sum_{d=1}^{d_y} \theta_{dm}}{d_y} \quad (4)$$

La desviación estándar de las medias diarias a partir de la media anual se ha calculado usando la siguiente formula:

$$\theta_{sdy} = \sqrt{\frac{d_y \sum_{d=1}^{d_y} \theta_{dm}^2 - \left(\sum_{d=1}^{d_y} \theta_{dm} \right)^2}{d_y(d_y - 1)}} \quad (5)$$

Los datos obtenidos a modo de resumen de la temperatura seca y humedad relativa exterior se resumen en la figura 12.

Año	Mes	Tmedia mes interior (°C)	Hmedia mes interior (%)	Trocio mes interior (°C)
2015	ABRIL	17,46	68,02	11,27
2015	MAYO	21,94	58,42	13,08
2015	JUNIO	24,99	50,40	13,52
2015	JULIO	28,79	65,57	21,40
2015	AGOSTO	28,72	64,12	20,75
2015	SEPTIEMBRE	24,43	67,09	17,62
2015	OCTUBRE	21,54	71,44	16,00
2015	NOVIEMBRE	17,62	66,68	10,93
2015	DICIEMBRE	15,02	73,20	10,18
2016	ENERO	14,95	65,62	8,30
2016	FEBRERO	15,20	57,59	6,54
2016	MARZO	15,85	54,71	6,28

DATOS ANUALES EN FUNCION DE LA MEDIA MENSUAL

Xmedia	20,54	63,57	12,99
σ estándar	5,25	6,87	5,09

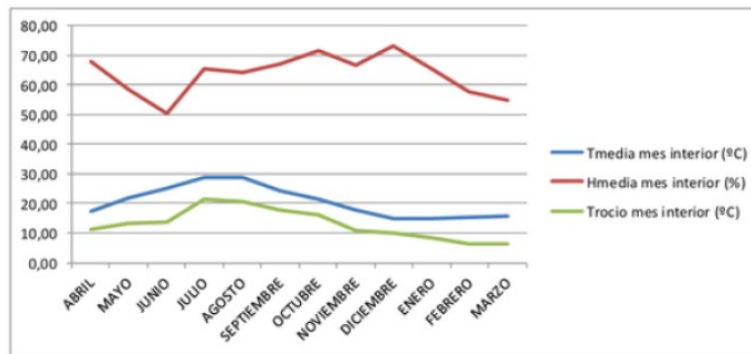


Fig. 12. Datos obtenidos en la observación en un periodo de tiempo en la casa cueva.

Para obtener estos datos, la monitorización de variables medioambientales que se han utilizado en distintos estudios, se ha aplicado al caso de estudio de la casa-cueva, permitiendo obtener datos en periodos de tiempo y medias para compararlas con lo establecido en el RITE. Con ayuda de “data logger” modelos HT-71 en distintas zonas de la cueva, se ha podido establecer los valores interiores medios y también comprobar la fiabilidad de los datos tomados en el exterior para compararlas gráficamente con los datos obtenidos en la Estación Agroclimática cercana (ver figura 2). Los tres interiores se han puesto a distintas profundidades de la casa-cueva (dos en los dormitorios y una cercana a la fachada principal, en la cocina). En la figura 13 de vista en planta de la casa-cueva pueden apreciarse la ubicación de los equipos.

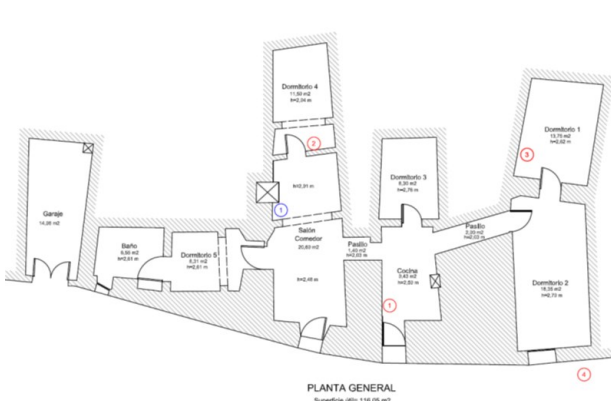


Fig.13. Datos en planta de la ubicación de los equipos utilizados en la monitorización higro-térmica.

Para exportar los datos de los “data logger” estos llevan asociados un software denominado Data View, que permite no solo configurar los equipos para la toma de datos sino también para importarlo en tablas de Excel y gráficos (figura 14).

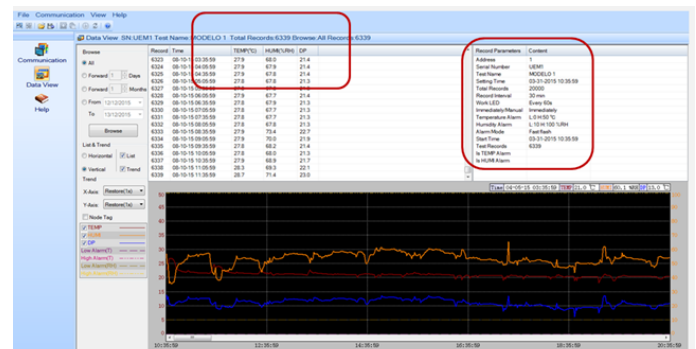


Fig. 14. Detalle de software para la importación de datos de los “data logger” HT-71 y su tratamiento.

Las temperaturas aportan mejor información, aunque puede ser engañosa. Las humedades solo son significativas en sus extremos inconformes, por debajo de 20-30 % o por encima de 70-80 %. En viviendas la velocidad el aire sin no es un índice clarificador sino se va acompañado de otros.

En este sentido, una humedad relativa baja puede producir sequedad e la garganta, problemas en el habla, entre otros, y una humedad relativa demasiado alta puede causar un ambiente bochornoso.

2.2.2. MONITORIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE. CONCENTRACIÓN DE CO₂

En los locales habitables de las viviendas debe aportarse un caudal de aire exterior suficiente para conseguir que en cada local la concentración media anual de CO₂ sea menor de 900 ppm y que el acumulado anual (figura 15) de CO₂ que exceda 1.600 ppm sea menor que 500.000 ppm.h.

Según indica la sección HS3 de calidad del Aire del CTE, el acumulado anual (ver figura 15) de CO₂ es la magnitud que representa la relación entre las concentraciones de CO₂ alcanzadas por encima de un determinado valor (valor base) y el tiempo que se han mantenido a lo largo de un año. Puede calcularse como el sumatorio de las áreas (medidas en ppm-hora) contenidas entre la representación de las concentraciones de CO₂ en función del tiempo y el valor base.

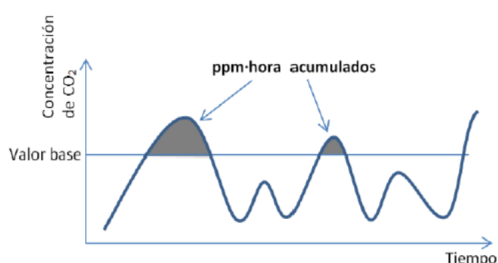


Fig. 15. Gráfico del CTE explicativo del acumulado anual de concentración de CO₂.

Además, el caudal de aire exterior aportado debe ser suficiente para eliminar los contaminantes no directamente relacionados con la presencia humana. Esta condición se considera satisfecha con el establecimiento de un caudal mínimo de 1,5 l/s por local habitable en los períodos de no ocupación.

La norma UNE-EN ISO 16000-1 en su parte 1, establece los aspectos generales de la estrategia de muestreo en la toma de datos de aire de interiores, especialmente el de CO₂. Para obtener datos más fiables se ha establecido una monitorización temporal de una zona de mayor uso en un periodo comprendido entre 1 de noviembre a 20 de febrero, obteniéndose 5333 datos tomados cada 30 minutos de concentración de

CO₂, humedad relativa, temperatura seca y punto de rocío, con ayuda del data logger CDL-210 de Wholer (figura 16).



Fig.16. Equipo de monitorización del CO₂ CDL-210.

El equipo se ha instalado en el salón comedor (un solo punto de muestreo por ser menor de 50 m²) y dadas las características y espacios disponibles se ha colocado a 1/2 altura de la dependencia (1,50 m de altura), pero separada de todas las paredes 1,00 a 2,00 m salvo una de ellas por imposibilidad de espacio y tamaño del equipo unos 40 cm (ver figura 17).



Fig.17. Detalle de ubicación del medidor de CO₂.

Los datos obtenidos quedan reflejados en el gráfico de la figura 18, exportados en la tabla de la figura 19. En éste, puede comprobarse los valores mínimos y máximos obtenidos y el periodo de no ocupación de la vivienda.

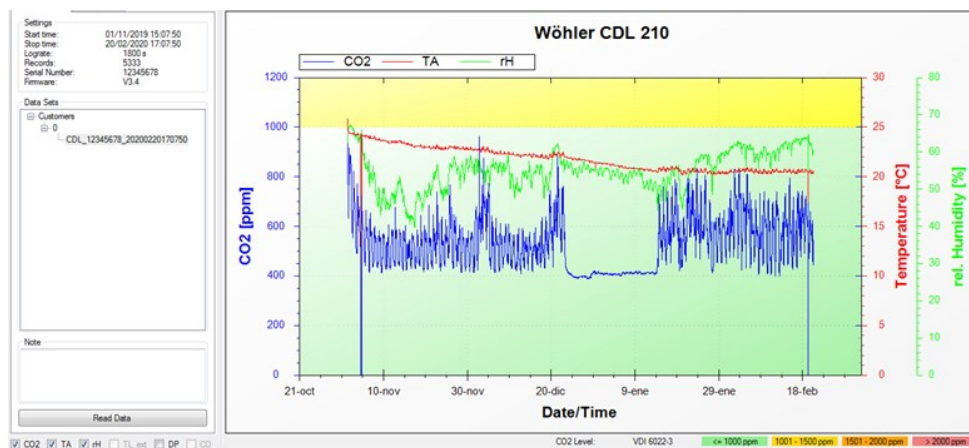


Fig.18. Datos y gráficos de concentración de CO₂ dentro casa- cueva.

Logger: Woehler CDL 210
Start time: 01/11/2019 15:07
Lograte: 1800 s
Records: 5333
Measuring U Celsius
Serial Numbr 12345678
Note:

Data Set	Date:	Time:	CO2:	Temperatur rel.	Humidith	Dew Point:
1	01/11/2019	15:07:50	931	25,8	61,9	17,9
2	01/11/2019	15:37:50	820	24,7	64,2	17,5
3	01/11/2019	16:07:50	714	24,5	65,2	17,5
4	01/11/2019	16:37:50	677	24,4	65,6	17,5
5	01/11/2019	17:07:50	656	24,4	65,8	17,6
6	01/11/2019	17:37:50	641	24,4	65,9	17,6
7	01/11/2019	18:07:50	632	24,3	66	17,5
8	01/11/2019	18:37:50	710	24,4	66	17,6
9	01/11/2019	19:07:50	704	24,4	66	17,6
10	01/11/2019	19:37:50	764	24,4	66,2	17,7
11	01/11/2019	20:07:50	770	24,4	66,5	17,8
12	01/11/2019	20:37:50	768	24,4	66,4	17,7
13	01/11/2019	21:07:50	846	24,4	66,5	17,8
14	01/11/2019	21:37:50	914	24,4	66,7	17,8
15	01/11/2019	22:07:50	827	24,4	66,8	17,8
16	01/11/2019	22:37:50	817	24,4	66,8	17,8
17	01/11/2019	23:07:50	816	24,4	66,9	17,9
18	01/11/2019	23:37:50	818	24,4	66,9	17,9
19	02/11/2019	0:07:50	813	24,4	66,9	17,9
20	02/11/2019	0:37:50	811	24,4	66,9	17,9
21	02/11/2019	1:07:50	820	24,4	66,9	17,9
22	02/11/2019	1:37:50	835	24,4	66,9	17,9
23	02/11/2019	2:07:50	849	24,4	66,9	17,9
24	02/11/2019	2:37:50	852	24,3	66,9	17,8

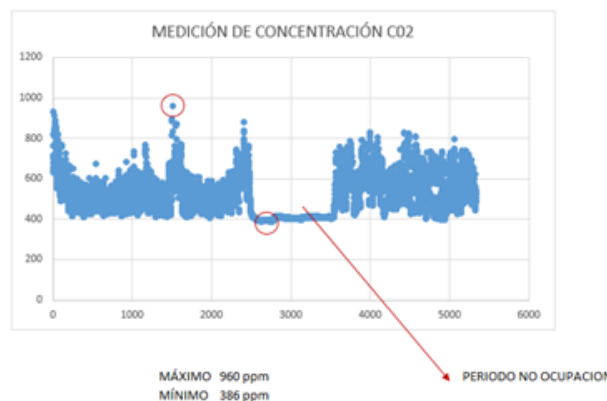


Fig. 19. Datos en Excel y gráficos de concentración de CO₂ obtenidos en un periodo de tiempo interior casa-cueva.

2.2.3. VELOCIDAD DE VIENTO INTERIOR Y EXTERIOR

Se ha utilizado para comprobar las velocidades el anemómetro de molinete modelo Testo 410-1 (figura 20) debido a su tamaño práctico es ideal para las mediciones de control rápidas y velocidades bajas. Tiene una sonda de molinete montada permanentemente con un diámetro de 40 mm, lo que permite su empleo para la medición integrada de la velocidad del aire en las rejillas (ver figura 20).



Fig.20. Detalle de anemómetro equipo usado en el interior en rejillas.

Todos estos parámetros aportan por sí mismos información, aunque de forma parcial sobre el confort.

3. RESULTADOS PROVISIONALES Y CONCLUSIÓN

3.1.DATOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD OBTENIDOS EN LA MONITORIZACIÓN

La mayoría de los datos provisionales obtenidos en la monitorización medioambiental indican que la media anual está dentro de los valores establecidos en el RITE, pero que en ciertas ocasiones puntuales se superan estos valores (la humedad

interior en meses de verano por la cercanía de la casa-cueva al mar). En caso de los dormitorios derecho e izquierdo la humedad relativa varía entre 55 a 89 % mientras que las temperaturas secas varían entre 20°C a 25 °C. En la cocina, sin embargo, los valores están más cercanos a los que establece el RITE.

3.2. VELOCIDAD DEL VIENTO

Las velocidades del aire interior a través de las rejillas y chimenea de ventilación principal son menores de 1,00 m/s. Dado que la renovación de aire se realiza de forma natural, no controlada por los usuarios, la casa-cueva está preparada para la implantación de un sistema de ventilación mecánica higo-regulable, ya que la ventilación por rejillas a través de los dormitorios (por el suelo) se unen en una chimenea complementaria en zona de garaje donde se puede acoplar fácilmente un equipo y de esta manera se puede regular la calidad del aire.

3.3 CONCENTRACIÓN DE CO₂

En las figuras 18 y 19 podemos analizar la concentración de CO₂ en el periodo de tiempo estudiado (4 meses), solo puntualmente un día se ha alcanzado la concentración de 960 ppm, pero presumiblemente la media no supera los 900 ppm. establecidos por el CTE. También se puede observar el comportamiento de la concentración de CO₂ en un periodo de no ocupación por parte de los usuarios que coincide con las vacaciones de navidad, estando alrededor de 400 ppm (ver figuras 18 y 19).

4. CONCLUSIONES

Como conclusión final, son múltiples las herramientas utilizadas

en la verificación del cumplimiento de las exigencias, requiere una gran especialización al ser necesario conocimientos de las distintas ramas de la arquitectura e ingeniería (monitorización y control parámetros medioambientales, calificación energética, etc.). De ahí la necesaria formación multidisciplinar en este sentido.

Las exigencias sí que están definidas en los reglamentos, pero no especifican metodologías ni protocolos para verificarlos. Algunas normas UNE pueden servir de base, pero cada una de ellas tiene un criterio diferente para la toma de datos, según el parámetro a medir. Sería por tanto ideal, indicar la forma o protocolo para la toma de datos de los parámetros climáticos interiores, pero "in situ", no en laboratorio de ensayos, teniendo en cuenta la tipología de casas-cueva y la utilización de los equipos de monitorización en el interior, ya que las normas establecen unas alturas y distancias que son difícil de cumplir. De ahí que la toma de datos usada en el caso de estudio puede servir como modelo de protocolo para el estudio del comportamiento interior de una casa cueva.

Por otro lado, la legalización de una casa-cueva como vivienda bastaría con realizar el proceso de tramitación según proceda en el ayuntamiento; bastaría en gran parte con justificar el bienestar térmico interior para cumplir con las exigencias reglamentarias y una vez verificadas y corregidas, mediante el reconocimiento de la situación de asimilado al régimen de fuera de ordenación, situación que recogen los decretos autonómicos de Andalucía, similar al establecido en Canarias.

Sería necesario legislar adecuadamente este tipo de construcciones, como indica Piedecausa [17], ya aunque pudiéndose, se encuentran fuera del marco reglamentario, más desde el punto de vista legal que técnico. Con unos ajustes en la normativa tanto técnica como urbanística de la población para permitir su adecuación funcional, su rehabilitación y permitir así su legalización.

La evolución social ha ido alterando el carácter original de estas viviendas en zonas urbanas y rurales, y en muchos casos, la actividad de ocio (segunda residencia) ha acabado convirtiéndose en su mejor aliado para su conservación. En unos lugares donde la excavación era una necesidad habitable, su desarrollo a nivel vacacional se ha convertido hoy en reclamo turístico imprescindible para supervivencia arquitectónica. Este es el caso de Cuevas del Almanzora como muchas otras poblaciones de Almería [18] y Granada [8].

En definitiva, si se desarrollarán unas mínimas exigencias por parte de los ayuntamientos, muchas de ellas serían no solo segunda residencia sino modelos de vivienda sostenibles y eficientes.

5. RECONOCIMIENTO

Algunos de los equipos utilizados en la investigación han sido cedidos por la empresa PCE Ibérica, S.L. Gracias a los equi-

pos aportados y colaboraciones que realizan a las universidades facilitan la investigación, por lo que es de agradecer.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] DECRETO 28/2016, de 2 de febrero, de las viviendas con fines turísticos y de modificación del Decreto 194/2010, de 20 de abril, de establecimientos de apartamentos turísticos (BOJA nº 28 de 11 de febrero de 2016).
- [2] DECRETO-LEY 3/2019, de 24 de septiembre, de medidas urgentes para la adecuación ambiental y territorial de las edificaciones irregulares en la Comunidad Autónoma de Andalucía (Boja nº 23 de 25 de septiembre de 2019).
- [3] DECRETO 117/2006, de 1 de agosto, por el que se regulan las condiciones de habitabilidad de las viviendas y el procedimiento para la obtención de la cédula de habitabilidad de Canarias.
- [4] REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación y modificaciones posteriores.
- [5] REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y modificaciones posteriores.
- [6] LÓPEZ FRÍAS, María J. Las casas cueva: un análisis de las cuestiones jurídicas que plantean. Revista Crítica de Derecho Inmobiliario. Nº 76, p. 1993-2026, marzo de 2016.
- [7] GIL ALBARRACIN, Antonio. *Arquitectura y tecnología popular en Almería*. Editorial G.B.G. Colegio de Arquitectos de Almería, 1992, p-p 127-152. ISBN 84- 604-3801 -5
- [8] AA.VV. ARQUITECTURA SUBTERRÁNEA. Tomos I y II. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Sevilla, 1989. ISBN 84-87001-02-5.
- [9] SORROCHE CUERVA, M.A (2007): La casa-cueva. ¿Un modelo de recuperación de la arquitectura vernácula en la provincia de Granada?. ISBN 978-84-690-9639-0. Actas del Congreso Internacional sobre arquitectura vernácula.
- [10] URDIALES VIEDMA, M.E.: Cuevas vivienda en Andalucía: de infravivienda a vivienda de futuro. Scripta Nova: revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, ISSN-e 1138-9788, nº. extra 7, 146, (2003). V Coloquio Internacional de Geocrítica (actas del coloquio).
- [11] AA.VV. (2007): Cuevas en la provincia de Granada. Aspectos técnicos, urbanísticos, legales, patrimoniales y perspectivas para el desarrollo local en la provincia, Granada, Diputación de Granada.
- [12] L. LEÓN, S. MUÑOZ, J. LEÓN, P. BUSTAMANTE. Monitorización de variables medioambientales y energéticas en la construcción de viviendas protegidas: Edificio Cros-Pirotecnia en Sevilla. Informes de la Construcción, Vol. 62, 519, 67-82, julio-septiembre 2010. ISSN: 0020-0883. doi: 10.3989/ic.09.045
- [13] NORMA UNE-EN ISO 7726 Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas. Marzo 2002.
- [14] NORMA UNE ISO 15927-1 Comportamiento Higrotérmico en edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 1: medidas mensuales de elementos meteorológicos simples.
- [15] NORMA UNE-EN ISO 16000-1. Aire de interiores. Parte 1: Aspectos generales de la estrategia de muestreo.
- [16] NEILA GONZÁLEZ, F. Javier. *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*.

Colección Arquitectura y Tecnología. Tomo 4. Editorial Munilla-Leria, Madrid, 2004, pp- 361-418. ISBN- 84-89150-64-8.

[17] PIEDECAUSA GARCÍA, BEATRIZ (2009): La vivienda enterrada: estudio de su evolución tipológica y adaptación geográfica Investigaciones Geográficas, nº 50 ISSN: 0213-4691.

[18] CACHORRO FERNANDEZ, Emilio. "Arquitectura troglodítica durante el siglo XX en Almería". Estudios geográficos. Vol. LXXVII, 280 pp 7-33. Enero a Junio de 2016. ISSN: 0014-1496. Doi: 10.3989/estgeogr.201601.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.