

cuevaTUR 2014

I CONGRESO IBEROAMERICANO Y V CONGRESO ESPAÑOL SOBRE CUEVAS TURÍSTICAS

iberoamérica subterránea

Editores:
José María Calaforra
Juan José Durán

CONVOCA



ORGANIZA



Ayuntamiento de
Aracena
Consejo de Desarrollo Local y Turismo

cuevaTUR²⁰¹⁴

I CONGRESO IBEROAMERICANO Y V CONGRESO ESPAÑOL SOBRE CUEVAS TURÍSTICAS

iberoamérica subterránea

José María Calaforra y Juan José Durán (Editores)

Aracena, 2014

Selección de trabajos del Primer Congreso Iberoamericano y Quinto Congreso Español sobre Cuevas Turísticas,
celebrado en Aracena (Huelva), en octubre de 2014

Cuevatur. Primer Congreso Iberoamericano y Quinto Congreso Español sobre Cuevas Turísticas / José María Calaforra y Juan José Durán, eds. - Aracena: Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE), 2014.

496 pág. ; 24 cm
ISBN: 978-84-617-1908-2

1 Turismo Subterráneo. 2 Gestión y Conservación. 3 Control Ambiental. 4 Geoespeleología. 5 Bioespeleología.

Portada: Vistas panorámicas de la Gruta de las Maravillas (Aracena, Huelva)
Foto: LovetheFrame (Archivo del Ayuntamiento)
Diseño: Manuel Rodríguez

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, incluido fotografías, grabación o por cualquier otro sistema de almacenar información sin el previo permiso escrito del autor o editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

©Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE)

Ríos Rosas, 23 28003 Madrid

ISBN: 978-84-617-1908-2

Depósito legal:

Diseño y maquetación:  gestocomunicación

Imprime: Egondi Artes Gráficas

ÍNDICE

1 Turismo Subterráneo

Pág.

Eduardo Rebollada, Francisco J. Fernández-Amo y Rafael Pagés-Rodríguez. Turismo Subterráneo en Extremadura. <i>Subterranean tourism sites in Extremadura</i>	011
Francisco-Javier Carrasco-Milara. La transformación de una instalación minera en patrimonio mundial. El caso del Parque Minero de Almadén. <i>The transformation of a mining installation in World Heritage. The case of Almaden Mining Park</i>	019
Raúl Palacio Portillo. Cueva de Pozalagua. Mejor Rincón 2013 de la Guía Repsol. <i>Pozalagua Cave: Best Corner 2013 in Repsol Motoring Guide</i>	031
M. Paz Dorado-Martínez. La Mina Costanaza como motor de desarrollo rural: Proyecto Minas de Logroñán. <i>Costanaza mine as engine for rural development: Minas de Logrosán Project</i>	041
Francisco J. Fernández-Amo, Eduardo Rebollada-Casado y Pedro Muñoz-Barco. Actuaciones geoturísticas en el Monumento Natural Cuevas de Fuentes de León (Badajoz, Extremadura). <i>Tourism actions in the Natural Monument of Cuevas de Fuentes de León (Badajoz, Extremadura)</i>	051
Elias José da Silva y Jéssica Alecsandra de Jesus Silva. Análise de potencial para proposição do primeiro roteiro espeleoturístico do estado de Sergipe, Brasil. <i>Analysis of the potential of the proposal of the first speleotourism itinerary in the state of Sergipe, Brazil</i>	059
Marcela C. Pimenta, Patricia R. Pereira, Heros A. Lobo. Curso de capacitação para guias e condutores de espeleoturismo: aprimoramento da experiência turística em cavernas na bacia do Rio São Francisco (Brasil). <i>Cave tourism guides and conductors training course: improvements for the tourist experience in the caves of São Francisco River basin (Brazil)</i>	067
Víctor Ferrer y Michel Renda. Imagen para la exposición espeleológica Spéléorama en el viaducto de Millau (Francia). <i>Special display for the speleological exhibition in the Viaduct of Millau (France)</i>	077
Ilda Calçada e José António Crispim. Grutas turísticas e divulgação do património espeleológico em Portugal: o caso do Programa Geologia no Verão. <i>Show caves and dissemination of the speleological heritage in Portugal: the case of the program Geology in Summer</i>	089
Marcos Luís Faleiros Lourenção, Livia Medeiros-Cordeiro, Lucas Padoan de Sá Godinho, Rodrigo Borghezán, José Antonio Basso Scaleante, José Ayrton Labegalini, Silmara Zago, Keny Marques Lima e Heros Augusto Santos Lobo. Gruta do Mateus (Bonito, Serra da Bodoquena): Caracterização ambiental, propostas de uso turístico e implantação da mais nova caverna turística brasileira. <i>Mateus Cave (Bonito, Serra da Bodoquena, Brazil): Environmental characterization, tourist use proposition and implementation of the newest Brazilian show cave</i>	101
Raquel Morales-García, José Antonio Domínguez-Sánchez, Leticia Vega-Martín y Juan José Durán-Valsero. La aplicación para dispositivos móviles de los Lugares de Interés Hidrogeológico de la provincia de Alicante. Un recurso turístico de última generación. <i>Mobile App for the Hydrogeological Interest Sites in the province of Alicante. A new generation of tourist resources</i>	113

2 Gestión y Conservación

Pág.

- Rubén Pérez-Álvarez, Gema Fernández-Maroto y Julio-Manuel De Luis-Ruiz. Modelización tridimensional con láser escáner en el complejo El Soplao. *Laser scanner 3D modelling of El Soplao complex*. 127
- Yolanda del Rosal, Cristina Liñán, José-Luís Sanchidrián y Francisco Carrasco. Recuperación del paisaje subterráneo en la Cueva de Nerja (Málaga, Andalucía). *Recovering the underground landscape of the Nerja Cave (Málaga, Andalucía)*. 139
- Eleuterio Baeza-Chico y Juan-José Durán-Valsero. Proceso de realización de moldes y réplicas de un espeleotema singular: el caso de "La Palmatoria", Gruta de las Maravillas, Aracena (Huelva). *Process of making molds and replicas of a unique speleothem: the case of "The Candlestick" Gruta de las Maravillas, Aracena (Huelva)*. 149
- José Antonio Mora-Luque. La Cueva del Yeso de Baena: ejemplo de conservación y protección. *The Gypsum Cave of Baena: an example of conservation and protection*. 159
- A. Láinez, Francisco M. Mesa, Conny Finke, Dragan Milenkovic. La Cueva del Viento, otra forma de interpretar y percibir el mundo subterráneo turístico. *The Wind Cave, another way to interpret and perceive the underworld world*. 169
- Hugo Rodrigues de Araujo, Arnaldo Freitas de Oliveira (jnr.) y Alexander A. Azevedo. Valoração de serviços ambientais e a sustentabilidade do uso público de uma cavidade natural em Minas Gerais, Sudeste do Brasil. *Valuation of ecosystem services and the sustainability of public use of a natural cavity in Minas Gerais, Southeastern Brazil*. 179
- Lorenzo Jiménez-Cabrera, José López-Mena y José María Calaforra. Escaneado 3D de la Geoda Gigante de Pulpí y galerías principales de acceso: utilidad para su futura adecuación turística. *3D Scanning of the Giant Geode of Pulpí and its main access galleries: a useful tool for future tourist adaptation*. 187

3 Control Ambiental

Pág.

- Emilio Guirado, Fernando Gázquez, Ángel Fernández-Cortés, Alfredo Argumosa, y José María Calaforra. Cálculo de la visitabilidad máxima en cavidades turísticas mediante el método Cavix: El Soplao (Cantabria). *Calculating the maximum visitability in show cave by the Cavix method: El Soplao (Cantabria)*. 199
- Núria Monés-Cera, Montserrat Salvà-Catarineu, Ferran Salvador-Franch. Caracterización microclimática de las "Cuevas del Salnitre" (Montserrat, Catalunya). Primeros resultados. *Microclimatic characterization of the "Salnitre" Caves (Montserrat, Catalunya). First results*. 205
- José-Antonio Gázquez, Núria Novas, Jaime MacLennan, Rosa García y Manuel F. Ros. Telecontrol ambiental en tiempo real de la cueva de El Soplao. *Real-time environmental monitoring system of El Soplao cave*. 215
- Cristina Liñán-Baena, Yolanda del Rosal-Padial y Francisco Carrasco-Cantos. Control de parámetros ambientales en el sector no habilitado de una cueva turística: la Cueva de Nerja (Málaga, España). *Control of environmental parameters in the no-tourism sector of Nerja Cave (Málaga, Spain)*. 229
- Ángel Fernández-Cortés, Soledad Cuezva, Elena García-Antón, Miriam Álvarez-Gallego, Beatriz Cabeza, Consuelo Temiño, José-María Calaforra, Sergio Sánchez-Moral. Monitorización de las condiciones microambientales, hidrogeoquímicas y de conservación del sistema kárstico subterráneo de Ojo Guareña (Burgos). *Monitoring microenvironmental, hydrogeochemical and conservation conditions in the underground karst system of Ojo Guareña (Burgos)*. 239

Sonia Santiago-Álvarez. Metodología aplicada en la cueva El Soplao para la medición de radón con detectores de cámara iónica de electretes. <i>Methodology applied in the Soplao cave for radon measurements with electret ion chambers</i>	257
Alfredo Láinez, Ismael Fuente, Luis Quindós-López, José Luis Arteché, Carlos Sainz-Fernández, José Luis Gutiérrez-Villanueva, Luis S. Quindós-Poncela. Experiencia de dosimetría personal de radón en la Cueva del Viento. <i>Experience on personal radon dosimetry at the so-called Cueva del Viento</i>	267
Carlos Sainz-Fernández, Ismael Fuente-Merino, Luis Quindós-López, Roberto Ontañón, R. Gutiérrez Rodríguez, José Luis Gutiérrez-Villanueva, José Luis Arteché, Luis S. Quindós-Poncela. El radón, un gas radiactivo de origen natural incluido como riesgo laboral: El caso de las cavidades subterráneas. <i>Radon, a radioactive gas from natural source included as labor risk: the case of underground cavities</i>	275
Luis Quindós, Luis Santiago Quindós, Ismael Fuente, Wenceslao Martín-Rosales, Manuel López-Chicano y José Benavente-Herrera. Contenido de radón en aire en la Gruta de las Maravillas (Aracena). Primeros resultados. <i>Radon gas content in the Gruta de las Maravillas (Aracena). First results</i>	283

4 Geoespeleología

Pág.

Fernando Gázquez, Fernando Rull, José-María Calaforra, Emilio Guirado, Aurelio Sanz, Jesús Medina, Carmen de las Heras, Alfredo Praday José Antonio Lasheras. Análisis no destructivo e <i>in situ</i> de minerales y pigmentos en cuevas mediante espectroscopia Raman. <i>Insitu non-destructive analysis on paintings and cave minerals using Raman spectroscopy</i>	297
Fernando Gázquez, Giovanni Badino, José-María Calaforra y Paolo Forti. Estrategias de conservación de los cristales de yeso gigantes. <i>Conservation strategies of the giant gypsum crystals</i>	307
Antonio González Ramón, Andrés Segura Herrera, Tomás J. Sánchez Díaz, Alex Ignatenko, Raúl D. Gea López, Pedro Pérez Martínez, Gonzalo Belmonte Jiménez y Rubén Carra Vélez. La cueva de Luchena, un ejemplo de cavidad hipogénica relacionada con descargas de aguas subterráneas en el acuífero Pericay-Luchena (Lorca, Murcia). <i>Luchena cave, an example of hypogenic cave related to the discharge of the Pericay-Luchena aquifer (Lorca, Murcia)</i>	319
Concepción Pla, María-Concepción Muñoz-Cervera, Miguel-Ángel Rodríguez-García, Jaime Cuevas-González, José-Miguel Andreu, María-Ángeles García-del-Cura, Soledad Cuezva, Juan-Carlos Cañaveras y David Benavente. Espeleotemas en la cueva del Rull (Vall d'Ebo, Alicante). <i>Speleothems in the cave of Rull (Vall d'Ebo, Alicante)</i>	331
Pedro A. Robledo, Juan José Durán y Alba Tienda. Análisis de espeleotemas mixtos y su relación con paleoniveles eustáticos en la Cova des Pas de Vallgornera, Mallorca, España. <i>Analysis of mixed speleothem and the relation to eustatic paleolevels in the Vallgornera Cave, Mallorca, Spain</i>	341
José Benavente, Iñaki Vadillo, Cristina Liñán, Francisco Carrasco, Albert Soler y Carmen Almécija. Heterogeneidades hidrogeológicas en el entorno de la cueva de Nerja (Málaga). Consideraciones sobre la evolución karstogénica. <i>Hydrogeological heterogeneities in the vicinity of the Nerja Cave (Málaga). Considerations on the karstogenesis evolution</i>	351
Francisco José Martínez-Moreno, Jesús Galindo-Zaldívar, Antonio Pedrera, Teresa Teixido, José Antonio Peña, Lourdes González-Castillo, Patricia Ruano, Ana Ruiz-Constán, Manuel López-Chicano, Wenceslao Martín-Rosales y Antonio Azor. Integración de métodos geofísicos para el estudio de cavidades en el sistema kárstico de la Gruta de las Maravillas (Aracena).	359

José António Crispim, Ricardo Constantino y João Duarte. Espeleomergulho nas Grutas de Mira de Aire: importância para o conhecimento da rede espeleológica, a captação de água subterrânea e a divulgação das grutas turísticas. <i>Cave diving in Mira de Aire caves: importance to speleological knowledge, groundwater exploitation and show caves advertising</i>	371
Francisco José Martínez-Moreno, Antonio Azor, Jesús Galindo-Zaldívar, Antonio Pedrera, Patricia Ruano, Manuel López-Chicano, Wenceslao Martín-Rosales. Estructura geológica del Cerro del Castillo y formación de la Gruta de las Maravillas (Aracena). <i>Geological structure of the Cerro del Castillo Hill and formation of the Gruta de las Maravillas (Aracena)</i>	379
Adela Hódar-Pérez, Manuel López-Chicano, Francisco José Martínez-Moreno, Wenceslao Martín-Rosales, Jesús Galindo-Zaldívar, Antonio Azor, Antonio Pedrera y Patricia Ruano. Aportaciones al conocimiento hidrogeológico de la Gruta de las Maravillas (Aracena). <i>Contribution to the hydrogeological knowledge of the Gruta de las Maravillas (Aracena)</i>	391
Andrés Ros, José-Luís Llamusí y Juan Sánchez . Cuevas hipogénicas en la Región de Murcia (España). <i>Hypogenic caves in the Murcia Region (Spain)</i>	403

5 Bioespeleología

Pág.

Isabel M. Belda-García, Pablo Barranco-Vega y Jaime García-Mayoral. Protección de la fauna invertebrada cavernícola en Andalucía. <i>Protection of the invertebrate cavernicolous fauna in Andalucía</i>	419
Valme Jurado, Mariona Hernández-Mariné, Miguel Ángel Rogerio-Candelera, Irene Domínguez-Moñino, S. Gutiérrez-Patricioy Cesáreo Saiz-Jiménez. La Cueva del Tesoro: un paraíso microbiano. <i>Cueva del Tesoro: a microbial paradise</i>	431
Raquel Daza y María-Ángeles Bustillo. Distribución, composición y génesis de espeleotemas silíceos en la cueva volcánica de Algar do Carvão: Terceira, Islas Azores, Portugal. <i>Distribution, composition and genesis of the opal speleothems in the Algar do Carvão volcanic cave (Terceira, Azores Islands, Portugal)</i>	441
Irene Domínguez-Moñino, Valme Jurado, Bernardo Hermosín y Cesáreo Sáiz-Jiménez. Aerobiología de la Gruta de las Maravillas. <i>Aerobiology of the Gruta de las Maravillas</i>	451
Yolanda del Rosal-Padial, Mónica Roldán-Molina y Mariona Hernández-Mariné. Biofilms fotosintéticos en la Cueva de Nerja: <i>Chroococcidiopsis</i> sp. <i>Photosynthetic biofilms in Nerja Cave: Chroococcidiopsis</i> sp. ...	463
Federico Ramírez-Trillo, Manuel José González-Ríos. Cueva de las Ventanas, 14 años de experiencias del mal verde y criterios para una nueva iluminación con diodos leds. <i>Cueva de las Ventanas, 14 years testing on lampenflora for a new LED lighting diodes design criteria</i>	473
Félix L. Figueroa, Nathalie Korbee, Paula Celis-Plá, Celia G. Jerez, Félix Álvarez-Gómez, Yolanda del Rosal y Mariona Hernández-Mariné. Monitorización del estado fisiológico de los biofilms de la Cueva de Nerja (Málaga) mediante la fluorescencia in vivo de la clorofila a asociada al Fotosistema II. <i>Monitoring of physiological status of biofilms in Nerja cave (Málaga) by using in vivo chlorophyll a fluorescence by photosystem II</i>	485

Telecontrol ambiental en tiempo real de la cueva de El Soplao

José-Antonio Gázquez⁽¹⁾, Núria Novas⁽¹⁾, Jaime MacLennan⁽²⁾, Rosa García⁽¹⁾ y Manuel F. Ros⁽¹⁾

(1) Dpto. Ingeniería, Universidad de Almería, Almería, España (jgazquez@ual.es, nnovas@ual.es, rgs768@ual.es, mrf460@ual.es)

(2) Turismo del Nansa S.L., Cantabria, España (direccion@turnansa.com)

RESUMEN

En este trabajo se presenta un sistema de vigilancia en tiempo real de los parámetros medioambientales en cavidades turísticas diseñado por investigadores de la Universidad de Almería. El sistema que permite el registro de una gran cantidad de datos como la temperatura, HR, CO₂, etc., permitiendo su consulta en tiempo real desde cualquier lugar a través de Internet, tanto de datos actuales como los de otras fechas registrados y almacenados en una base de datos. En la Cueva de El Soplao, se instaló este sistema de forma personalizada para esta cavidad y se encuentra en funcionamiento ininterrumpido desde 2006, permitiendo un alto nivel de control y seguridad tanto de la influencia de las visitas en el día a día como de la evolución temporal a medio y largo plazo.

Palabras clave: Visitantes, cavidades, medidas ambientales, telecontrol, tiempo real.

Real-time environmental monitoring system of El Soplao cave

ABSTRACT

In this paper, a real-time monitoring system is presented to use in environmental parameters measurement in show caves. Researchers at the University of Almería have designed the system that allows the recording of a large amount of data such as temperature, RH, CO₂, etc..., permitting inquiries in real time from anywhere via Internet, both real time data and data recorded and stored in a database. In the cave of Soplao, this system was installed in a customised form for this cave and is in operation since 2006 uninterrupted that lets a high level of control and security of the influence of visitors day by day and the time evolution in long-term periods.

Keywords: Cave visitors, environment measures, real time telecontrol.

INTRODUCCIÓN

En el estudio de cavidades tanto para fines científicos como en el control de cavidades turísticas, se han venido empleando ampliamente unidades de registro llamadas dataloggers, que permiten la medida y almacenamiento de los valores medidos hasta su posterior descarga *in situ* y análisis de los datos. Estas operaciones de descarga de datos y análisis en tiempo diferido se hacen con una determinada frecuencia en función de la duración de la batería del datalogger, que puede ser superior a un mes. Este método permite conocer lo que sucede a tiempo diferido, además es necesario acudir periódicamente a descargar datos. Estos sistemas presentan el inconveniente de que si por cualquier causa no se efectúa la descarga en plazo máximo estipulado se pueden perder los datos medidos, tanto por agotamiento de baterías o por sobrepasar la capacidad de almacenamiento. En algunos proyectos como el de la Cueva de Lechuguilla (México) (Land and Burger, 2008) se mide la evolución de los niveles de agua en acuíferos y pozas interiores para estudiar la evolución hídrica, en otros proyectos se estudia la presencia de fauna como los murciélagos mediante registradores que graban los ultra-

sonidos en las cuevas de Cheddar (Suroeste de Inglaterra) (Park and *et al.*, 1999). Sistemas similares se han utilizado para estudiar el impacto de las visitas en las cuevas, un ejemplo de ello es el estudio de (Sanderson and Bourne, 2002) donde durante un periodo de 2 años se estudió las temperaturas y la humedad relativa en cuatro cuevas diferentes en Parque Nacional de las Cuevas de Naracoorte en Australia, dos de las cuevas cerca de una zona visitables y dos profundas y lejanas de zonas visitables. Otro ejemplo es el estudio del CO₂ en las numerosas cavidades que alberga el Peñón de Gibraltar es el artículo (Mattey, 2012), donde se registran mensualmente a lo largo de 250 metros de cueva en un datalogger variables como temperatura, humedad y goteo.

En cavidades turísticas españolas como la Cueva de Nerja se estudia la evolución del CO₂ entre otras muchas variables (Benvente and *et al.*, 2007). En 2008 se publica otro trabajo mediante dataloggers de la Cueva del Agua (Granada) que recoge un interesante estudio del balance hídrico realizado mediante estaciones meteorológicas externas e internas de la galería (Fernández-Cortés *et al.*, 2006). En todos estos estudios descritos se conoce lo que ocurre una vez recogidos los datos y analizados los mismos, lo cual puede demorarse varios meses hasta poder interpretar lo que ocurre en la cavidad.

En 2000, gracias a un proyecto de investigación concedido a la Universidad de Almería, y con la participación de miembros de los Departamentos de Hidrogeología y de Tecnología Electrónica se instaló en el Karst en Yeso de Sorbas (Almería) un sistema innovador (Gázquez and *et al.*, 2003) que permitía recibir en tiempo real en dependencias de la Universidad de Almería, los datos medioambientales (CO₂, HR, Temperatura y presencia de visitantes) de 2 de las galerías visitables en el Paraje Natural del Karst en Yeso de Sorbas, un sistema inteligente de 28 sensores conectados por cable dentro de la galería y vía radio con la Universidad de Almería hicieron factible este proyecto. El sistema estuvo operativo durante 6 años y permitió a los propios visitantes observar los efectos de sus entradas a las galerías, como el ciclo de CO₂ de los lugares visitados.

La Cueva-Mina de El Soplao es una maravilla de la naturaleza que esta situada en la provincia de Cantabria, tiene una longitud visitable de unos 1800 metros y ofrece una visión sin igual de muchos procesos geológicos de millones de años de duración. La Figura 1, ofrece una vista interior de una de las galerías centrales.

La Cueva de El Soplao en Cantabria tiene instalado un novedoso sistema de telemetría y control de parámetros ambientales que permite en tiempo real el acceso a todas las variables desde cualquier ubicación. Este sistema supone una gran ventaja y novedad sobre los sistemas clásicos basados de dataloggers.

El sistema de telemetría de El Soplao fue diseñado e instalado por el grupo de investigación de Electrónica Comunicaciones y Telemedicina "ECT" de la Universidad de Almería en colaboración del grupo de Recursos Hídricos y Geología Ambiental también de la Universidad de Almería, que ya realizaron conjuntamente otros proyectos con este tipo de tecnología como el del Karst en Yeso de Sorbas ya meniconado.

Este sistema lleva en funcionamiento desde el año 2006 (apertura de El Soplao al público) y actualmente son ingenieros de ECT los encargados del seguimiento técnico del sistema en colaboración con Turismo del Nansa. Los datos están también disponibles para que especialistas en geología (grupo de Geología Ambiental de la Universidad de Almería) junto con la dirección de El Soplao, analicen su evolución y les suministre una herramienta para garantizar la conservación óptima de la cavidad.

Los datos son medidos y registrados cada minuto, aunque este tiempo es configurable, con ellos se crea una base de datos en un computador central. Los datos son accesibles vía internet en tiempo real, tanto los actuales como los históricos, mediante una aplicación interactiva que permite la consulta de su evolución mediante gráficos y la descarga numérica en diferentes formatos para su tratamiento con otras aplicaciones.



Figura 1. Vista interior de la Cueva del El Soplaio.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Estructura General

El sistema de configuración dinámica y expandible, cuenta actualmente con un total de 26 sensores en 8 estaciones de medida repartidas a lo largo de la cavidad, tratando de cubrir toda la extensión de la zona visitable. Las variables que se miden son temperatura (T), humedad relativa (HR), concentración de CO₂, dirección y velocidad del aire dentro de la cavidad, caudal en zona de goteo interior, estimación del flujo de visitantes en las zonas próximas a las estaciones de medida y pasillos de entrada y salida y presión barométrica dentro de la cavidad. Además una estación meteorológica exterior registra además la lluvia, permitiendo la comparación del interior con el clima exterior. En Figura 2 se muestra un mapa de la zona visitable de la cavidad y la distribución de estaciones de medida con sensores en su interior y exterior. Un cable especial de comunicaciones y de provisión de energía eléctrica recorre de forma oculta a la vista del visitante toda la galería y conecta todas estaciones entre si y con el centro de control.

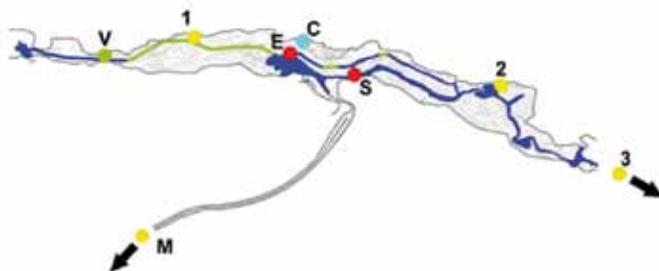


Figura 2. Mapa de la Cueva del El Soplaio.

Las variables que se miden en cada estación se seleccionan en función de las necesidades específicas de la situación del lugar y en la tabla 1 se muestra el repertorio de sensores que están conectados en cada estación de medida.

	Nombre de la Galería	CO2	Temp	HR	Presencia	Velocidad aire	Dirección aire	Lluvia goteo	Presión atmosférica	Cuenta personas
1	Fantasma	•	•	•	•					
2	Obispo	•	•	•	•					
3	Italianos	•	•	•	•					
M	Meteo Exterior	•	•	•		•	•	•	•	
E	Entra-visitas									•
S	Salida-visitas									•
C	Goteo							•		
V	Viento				•	•	•		•	

Tabla 1. Distribución de sensores en las estaciones de medida de El Soplao.

Las estaciones están ubicadas en zonas que no estorben al paso de los visitantes, pero que a su vez los visitantes puedan observar las lecturas de los parámetros que se están midiendo en ese momento. La Figura 3 muestra una vista de la situación de la estación de Obispo.

En la Figura 3 se puede apreciar como la estación se encuentra situada al filo de la zona transitable y está soportada por un mástil metálico en cuyo interior esta el cable comunicaciones y energía, que entra y sale de la estación, el cable queda totalmente camuflado dentro de las estructuras de la cueva o enterrada en el barro.

Un diagrama de bloques que contiene la distribución de estaciones, la conexión de sensores y la función de la estación central de control se muestra en la Figura 4. En este diagrama puede apreciarse la estructura distribuida del sistema, donde un conjunto de sensores son conectados a una estación autónoma de medida, gobernada por un microcontrolador y con información en tiempo real a partir de un reloj interno que no pierde la hora ni cuando se queda sin alimentación. Las estaciones son conectadas entre si mediante un cable especial de estructura mixta, es decir que contiene dentro de la misma cubierta una cable de pares tipo categoría 6 y un cable paralelo de 2,5 mm² de sección apto para la alimentación eléctrica de las estaciones. También dicho cable conecta las estaciones de medida con la estación central de control y la base de datos que gestiona todos los datos registrados. Mediante un interface de datos para adaptar las comunicaciones entre las estaciones mediante la norma RS485, se adaptan los datos para que bidireccionalmente puedan ser accedidos por la estación central. La norma RS485, es muy usada en comunicaciones digitales por cable, permite la comunicación mediante un bus serie de dos hilos, de hasta 256 nodos a distancias superiores a un kilómetro.



Figura 3. Estación de Obispo (izquierda de la imagen).

ESTACIÓN CENTRAL

La estación central se comunica con las estaciones remotas mediante un protocolo *polling*, consistente en el interrogatorio secuencial de todas las estaciones y transmitiendo éstas como respuesta, paquetes de información con los datos de todos los sensores de cada estación y una marca de tiempo en que fueron adquiridos. La estación central realiza una triple función:

- Suministra datos en tiempo real mediante un servidor Web a demanda de los usuarios, tanto en forma curvas gráficas como en formato numérico.
- Graba los datos obtenidos en una base de datos interactiva para su almacenamiento.
- Permite la consulta a través de servidor Web, de cualquier dato o grupo de datos entre dos fechas cualesquiera registrados en la base de datos.

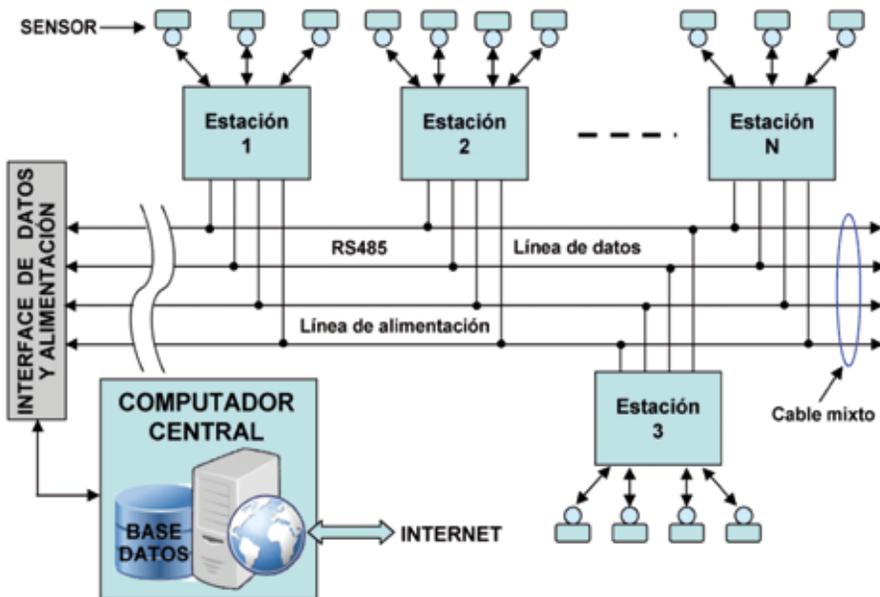


Figura 4. Diagrama de bloques del sistema de estaciones.

Físicamente la estación central se implementa en un computador con tecnología de servidor en el que se ha optado por el sistema operativo Linux, por considerarlo como una opción de estabilidad. La base de datos se implementa a partir del estándar MySQL, donde se ha desarrollado una aplicación de *minería de datos* y de presentación gráfica interactiva en clientes remotos, esta configuración ofrece una elevada calidad de presentación junto con una alta fiabilidad.

La realización del *polling* o interrogatorio de las estaciones y la inserción en la base de datos de las medidas obtenidas la realiza un servicio residente o *daemon*. El servicio se ha programado en lenguaje C y ofrece altos niveles de seguridad, mediante el acceso a la base de datos de forma *logeada*, para grabar los datos de los sensores, cada ronda del *polling*, evitando el acceso no deseado a la base de datos.

También la unidad de almacenamiento mediante *Raid* en espejo minimiza el riesgo de pérdida de información frente a averías de los discos duros. Un factor importante en este tipo de sistemas es el tiempo de respuesta a la petición de datos, que va en aumento en función de la cantidad de datos almacenados, en este aspecto se ha mejorado el tiempo respuesta, mediante procesos que optimizan la indexación de los datos.

El tiempo de respuesta oscila entre la contestación instantánea si se trata de datos del día o de unos pocos segundos al tratarse de datos numerosos (varios días) de varias fechas.

La Figura 5, muestra una vista del armario que alberga la Estación Central de Control. En la parte superior se aprecia el módulo de energía, en el estante intermedio se encuentra la unidad de comunicaciones y la consola. Y en la parte inferior está situado el computador. Se utilizan dos unidades o computadores, uno de operación y otro en reserva. Este armario se sitúa en un edificio anejo a la galería donde se ubican las oficinas y otras dependencias de la administración de la Cueva de El Soplao.



Figura 5. Armario de la Estación Central de control.

ESTACIONES REMOTAS

Las estaciones remotas se encuentran distribuidas dentro de la galería excepto la estación meteorológica exterior. La estructura de las mismas esta basada en un sistema autónomo de medida de datos, y para optimizar mejor su funcionamiento se desarrolló un sistema empotrado de propósito específico, para la adquisición de datos, la calibración y las comunicaciones locales.

La Figura 6 muestra un diagrama de bloques, que define la estructura de estas estaciones, basado en un microcontrolador con el programa embebido. Este sistema básicamente se encarga de obtener los datos de

los sensores y comunicarse con la estación central para entregar dichos datos. Específicamente las unidades remotas realizan otras tareas transparentes a la estación central, como el preprocesado de los datos, donde la aplicación del microcontrolador filtra, escala y formatea debidamente los datos digitalizados de los sensores. De esta forma se suministra a la estación central la información directamente en las unidades de salida, grados centígrados, partes por millón, etc. Además como sistema de seguridad y supervisión se inserta en la trama de comunicaciones una marca de tiempo en el momento de la adquisición, lo cual permite indexar los datos según instante exacto que se midió el dato.

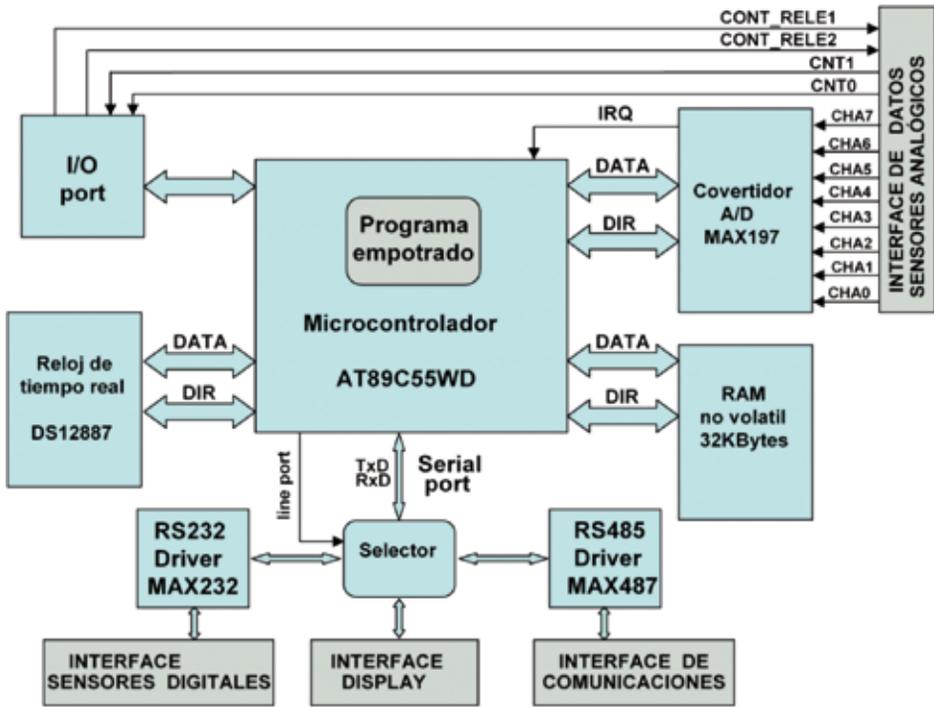


Figura 6. Diagrama de bloques del sistema de adquisición remoto.

Otras funcionalidades del sistema son la conectividad de un *display*/teclado que permite visionar en la misma estación remota los valores de las variables medidas y un teclado para cambiar la funcionalidad del *display*: variable fija, rotación entre variables etc. Todo ello aumenta en gran medida el nivel de distribución de tareas, algunas supervisadas por la estación central como la de sincronización horaria periódica, para evitar desajustes a largo plazo entre los relojes de las distintas unidades remotas.

La Figura 7, muestra una imagen del módulo remoto de adquisición de datos desarrollado en la Universidad de Almería, que también incluye una unidad de alimentación conmutada para suministrar todas las tensiones internas y algunas externas para determinados sensores, que funcionan a tensiones distintas a 24 voltios (tensión suministrada por el cable de comunicaciones mixto).

En el mercado hay una gran variedad de dispositivos comerciales de adquisición de datos, aunque los sistemas de propósito específico como el desarrollado, permite la optimización de las estaciones remotas y aumentar el grado de autonomía de las mismas; lo que redundará en un sistema más fiable y más fácilmente reconfigurable. Es decir, se dispone de un sistema abierto que permite un control absoluto sobre todo el sistema de control y de las comunicaciones configuradas según necesidades, y no cerrado donde sólo permite configurar las entradas y salida.

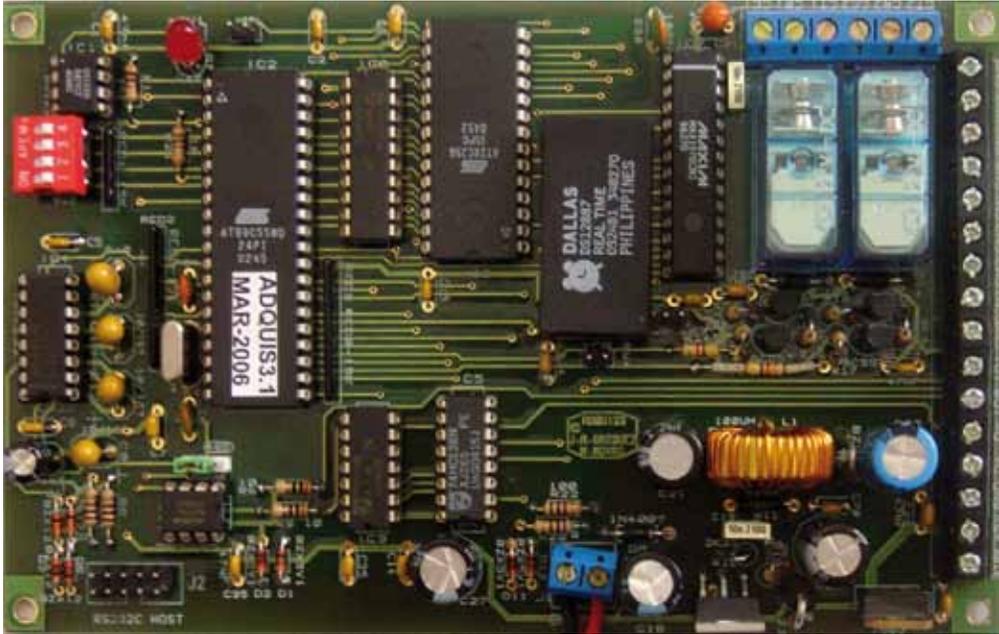


Figura 7. Vista del módulo microcontrolador remoto.

Otra funcionalidad disponible en el módulo de adquisición, y que no podría existir en sistemas comerciales estándar es la posibilidad de conexión de sensores con salida digital a través del interface de sensores digitales, seleccionable mediante *multiplexación* en el tiempo. La información de los sensores digitales es incorporada a los datos analógicos convertidos y por tanto escalada, marcada y tratada de igual forma que los sensores analógicos, homogeneizando toda la información sensorial.

Hay varios tipos de estaciones remotas, en función del conjunto de sensores que tengan conectados (tabla 1). Las estaciones 1-Fantasma, 2-Obispo y 3-Italiano, tiene los mismos sensores: CO₂, humedad relativa, temperatura y presencia, la Figura 8 muestra una vista de este tipo de estación.



Figura 8. Vista interior y exterior de una estación remota CO₂, HR, T y presencia.

En el costado izquierdo de la estación de la Figura 8 se aprecian de arriba abajo los sensores de CO₂, temperatura y humedad relativa. El sensor de CO₂ es del tipo de absorción infrarroja, muy utilizado en estas aplicaciones, el sensor de temperatura es de tipo Pt100, de alta precisión y el de humedad relativa de tecnología capacitiva. En el interior, zona central, se puede observar el módulo de adquisición de datos. En la vista exterior de la derecha, se muestra el sensor de presencia iluminado en rojo. También se aprecia el *display* con la lectura de CO₂ y debajo el teclado. Estas estaciones registran los parámetros básicos de la cavidad que deben medirse en varios lugares para el estudio de la evolución a medio y largo plazo de los efectos de las visitas en las distintas cavidades.

Otro tipo de estación está destinado a medir parámetros que tienen escasa variación a lo largo de la cavidad, como es la presión atmosférica y el moviendo del aire, que al ser la cavidad a grandes rasgos en forma de tubo, basta con medir el moviendo del aire en cualquier punto central, para tener la información necesaria. La estación del viento, mide velocidad y dirección del aire, presión atmosférica y presencia de personas cercanas. La Figura 9 muestra una imagen de esta estación.



Figura 9. Vista interior de la estación remota del Viento.

En la parte superior de la Figura 9 se puede apreciar el sensor ultrasónico para medir la velocidad y dirección del aire, constituido por tres transductores en triángulo que emiten pulsos ultrasónicos y miden el tiempo de llegada a los transductores colindantes; este sensor tiene salida digital y permite determinar velocidad y dirección del aire sin elementos mecánicos. Este sistema obtiene precisión aceptable en cavidades y permite apreciar 1 cm/s. El sensor de presión atmosférica, tiene la toma de aire situada en el costado izquierdo de la caja, con un amortiguador de transitorios en fluidos, para evitar que los movimientos de aire afecten a la medida.

Otro tipo de estación remota es de meteorología externa, destinada a medir los parámetros ambientales exteriores, que ayuden a correlacionar lo que ocurre dentro de la cavidad con lo que ocurre en el exterior. Por ejemplo cuando y cuanto se producen goteos dentro de la cavidad a partir de la cantidad de lluvia en el exterior.

La Figura 10, muestra una imagen de la estación meteorológica exterior. En la parte superior, se aprecia la caja ventilada que alberga los sensores de temperatura, humedad relativa, presión atmosférica. La parte superior

está coronada con una placa contadora piezoeléctrica de gotas de lluvia y un sensor con distribución en triángulo que mide la velocidad y dirección del aire. Todos estos sensores son una estación compacta con salida digital. A la derecha en el lateral se encuentra el sensor de CO₂, de salida analógica.



Figura 10. Vista de la estación meteorológica exterior.

Todos los sensores, la estación compacta y sensor de CO₂, se integran en el módulo de adquisición de la Estación Meteorológica para su transmisión a la Estación Central de Control.

Esta estación es la que más sensores alberga, ya que al ser la única exterior debe proporcionar suficiente información para correlacionar la influencia externa de todos los parámetros medidos a lo largo del interior de la cueva.

Hay otras estaciones remotas de menor complejidad, como las de contadores de visitantes de entrada y salida, que permite mediante unos haces infrarrojos hacer una estimación en tiempo real del número de personas que acceden. Este dato se correlaciona con la alteración de parámetros internos como el CO₂. Otra estación de poca complejidad es el contador de goteo interior. Mediante un embudo situado en la zona de mayor goteo un contador de cuchara, mide el flujo de agua que se filtra.

Obtención de datos medioambientales

El servidor de datos, permite la obtención de los datos medioambientales medidos por las estaciones remotas de forma ubicua, a través de Internet. La Figura 11 muestra una imagen del portal de la aplicación, que aparece una vez ingresado en el sistema.



Figura 11. Vista del portal de la aplicación WEB interactiva de consulta de datos.

Mediante la vista del mapa de la cueva con la situación de las estaciones, en los menús de la izquierda se puede seleccionar entre medidas actuales orientadas a estaciones o variables, 1ª y 2ª pestaña; o medidas de días anteriores, opción base de datos con salida gráfica u opción numérica, opción gestión BBDD. Además el portal permite otras funciones específicas de supervisión y mantenimiento del sistema, permiten efectuar actuaciones a distancia, y evitan desplazamientos innecesarios de personal técnico.

La Figura 12, muestra la pantalla obtenida mediante la consulta actual de variables, en este caso de la temperatura, se pueden obtener las gráficas independientes, o combinadas distintas curvas en una misma gráfica. Concretamente se muestra en una misma gráfica las temperaturas interiores, que se mueven en un rango de variación muy pequeño y por tanto se aprecia en la curva mayor ruido. En gráfica aparte se muestra la temperatura exterior que no se podría mostrar a la misma escala que la interior por su mayor variación diaria. La galería de Italianos es la más profunda y visitable sólo como "espeleo aventura", es la que presenta la temperatura mas baja.

Todas las gráficas son influenciadas en cualquier momento por movimientos de aire de distinta temperatura.

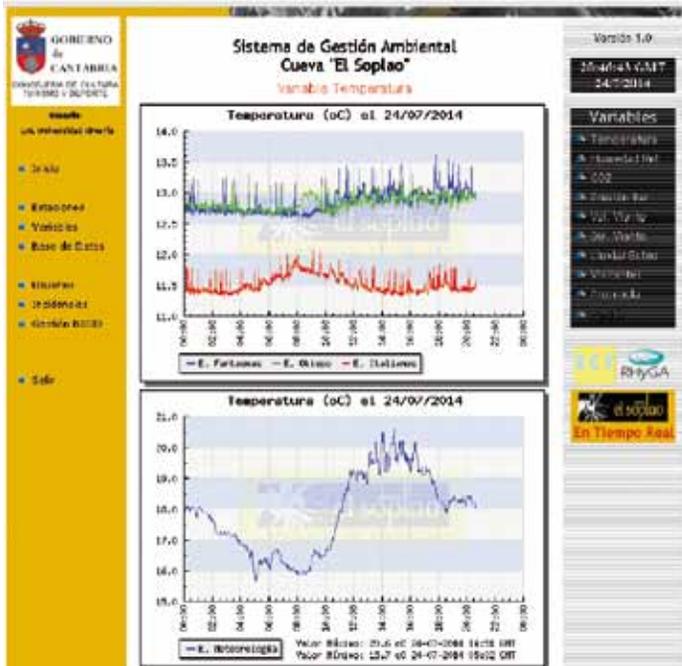


Figura 12. Evolución de la temperatura diaria.

También es posible la consulta en formato numérico. La Figura 13 muestra un fragmento de los datos numéricos de la estación meteorológica medidos minuto a minuto.

Estación Meteorológica
para el día 02/07/2014

Fecha	Hora	Lluvia	Humedad Relativa	Temperatura	Presión Barométrica	Velocidad del Viento	Dirección del Viento	CO2
02-07-2014	00:00:00							
02-07-2014	00:01:00	0	85.5	12.4	953	0.9	211	377
02-07-2014	00:02:00	0	85.3	12.3	953	0.9	185	368
02-07-2014	00:03:00	0	85.3	12.3	953	1	241	383
02-07-2014	00:04:00	0	85.4	12.4	953	1.4	231	391
02-07-2014	00:05:00	0	85.4	12.4	953	1.6	247	389
02-07-2014	00:06:00	0	85.7	12.4	953	1.6	231	386
02-07-2014	00:07:00	0	85.9	12.4	953	2	231	377
02-07-2014	00:08:00	0	86.1	12.3	953	0.9	241	380
02-07-2014	00:09:00	0	86.4	12.3	953	0.6	206	371
02-07-2014	00:10:00	0	86.6	12.3	953	0.6	227	363
02-07-2014	00:11:00	0	86.7	12.3	953	0.6	229	371
02-07-2014	00:12:00	0	86.8	12.3	953	0.7	232	374
02-07-2014	00:13:00	0	87	12.3	953	1.1	232	371
02-07-2014	00:14:00	0	87.1	12.3	953	1	219	383
02-07-2014	00:15:00	0	87.2	12.3	953	0.6	182	380
02-07-2014	00:16:00	0	87.4	12.2	953	0.5	195	371
02-07-2014	00:17:00	0	87.6	12.2	953	0.6	204	371
02-07-2014	00:18:00	0	87.7	12.2	953	0.9	199	363
02-07-2014	00:19:00	0	87.7	12.2	953	0.6	237	368

Figura 13. Datos de la estación meteorológica en formato numérico.

Los datos disponibles de esta estación (tabla 1), de forma numérica en formato ASCII, pueden ser tratados por otras aplicaciones como Matlab para poder efectuar estudios de series temporales u otros más específicos de forma directa sobre los ficheros descargados.

Por último se muestra en la Figura 14 otra gráfica descargada de la evolución de un parámetro en varios días.

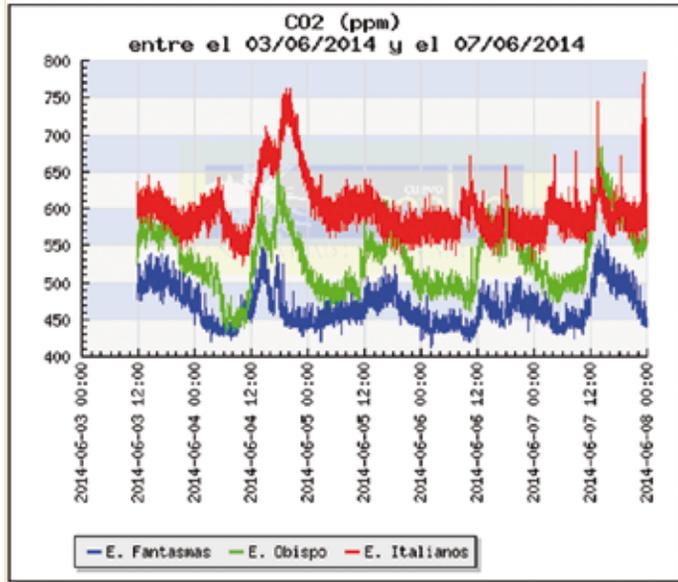


Figura 14. Evolución comparada del CO₂ durante 5 días.

Se pueden apreciar los ciclos diarios de visitas, donde a las horas punta se produce un notorio aumento de la concentración de CO₂. Se aprecia como la concentración de la galería de Italianos es claramente superior a las demás, la explicación debe a que Italianos es la zona más profunda, y actúa de sumidero de CO₂ que es más denso que el aire.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, desde el punto de vista de ingeniería, muestran la eficacia de este tipo de sistema de telemetría y control inteligente está demostrada, ya que permite el acceso a los datos en tiempo real y desde cualquier lugar y además facilita el mantenimiento del sistema, lo que repercute en un ahorro y un mejor y más directo control del funcionamiento de todos los elementos instalados. Por el contrario este tipo de proyectos suponen una mayor inversión económica en la instalación, además es necesario un estudio y diseño personalizado, que necesariamente necesita más tiempo de ejecución que otro tipo de sistemas.

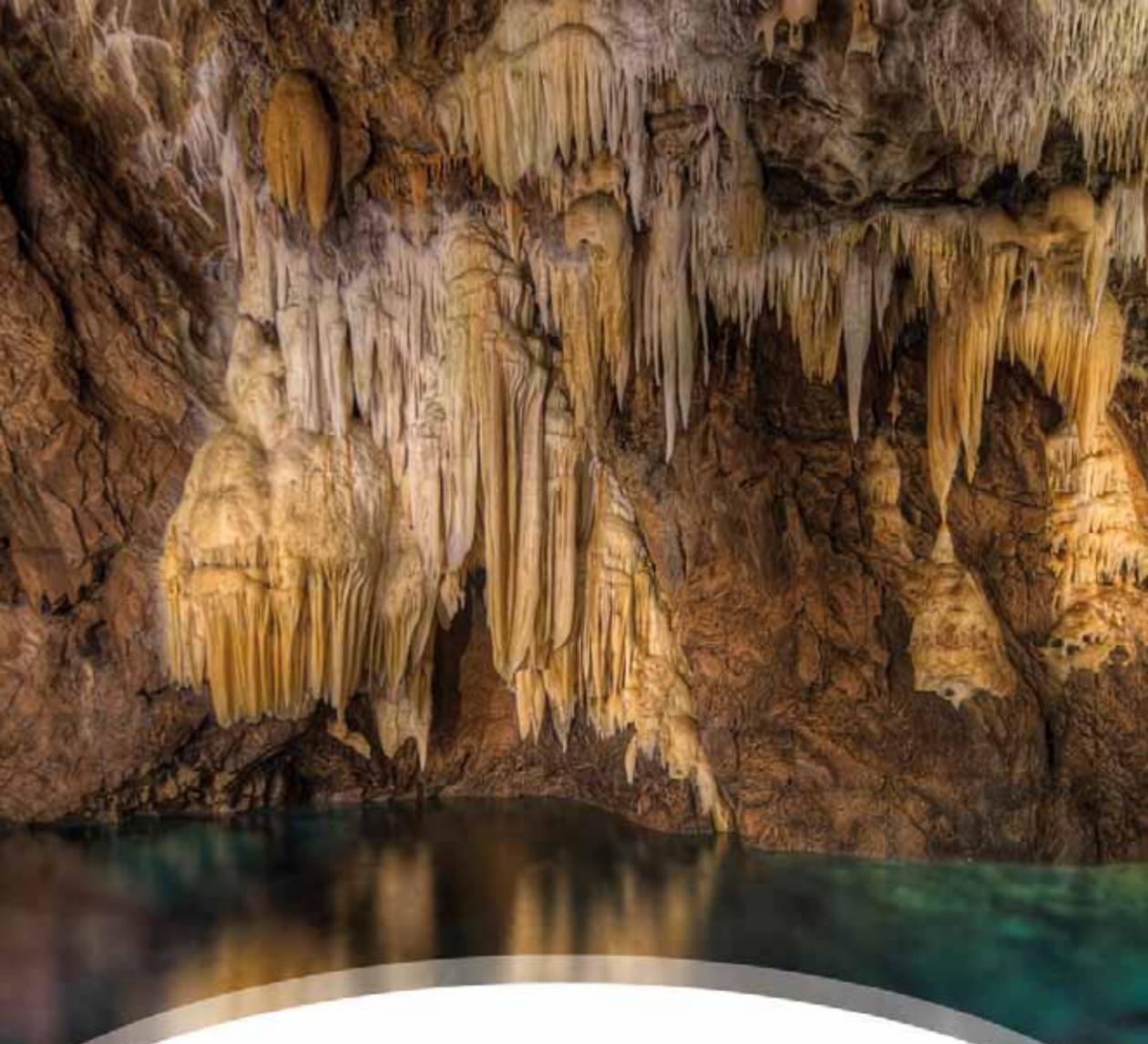
Desde el punto de vista de la explotación comercial, se podría afirmar que el coste de explotación a largo plazo puede resultar más económico, ya que reduce gastos de desplazamiento y permite una actuación inmediata en caso de la alteración de algún parámetro que así lo requiera, evitando males mayores y propiciando una más rápida recuperación del entorno. Poder actuar de forma inmediata para la recuperación de la cavidad es muy importante para la explotación comercial de cavidades turísticas, donde el número de visitantes y la continuidad pueden modificar el microclima de la cueva y por tanto las formaciones únicas propias de estas condiciones. Con estos sistemas de telemetría se permite poder gestionar el número y duración de las visitas sin interferir en el cambio de las condiciones propias de la cavidad.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Consejería de Turismo de Cantabria por haber confiado en investigadores de la Universidad de Almería, la realización de este proyecto, también a la empresa Turismo del Nansa y Dirección del El Soplao que también año a año siguen contando con la Universidad de Almería para la conservación de este sistema de medida. En último lugar agradecemos a la Junta de Andalucía que a través de las ayudas a los grupos de Investigación TIC019 y RNM189 permite dedicar más medios en la Universidad de Almería para investigar en la mejora de los sistemas de medida y en la interpretación de los informes medioambientales.

REFERENCIAS

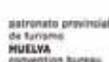
- Benavente, J., El Mabrouki, K., Molina, J. L., Liñan, C., Simón, M. y Carrasco, F., 2007. Variaciones especiales y temporales en la concentración de CO₂ en el interior de una cavidad turística (Cueva de Nerja, Málaga, España). *Congreso Español sobre Cuevas Turísticas. Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*, J. J. Durán-Valsero, P. A. Robledo Ardila y J. Vázquez (Editores), ISBN 978-84-7840-722-4, pp. 137-145.
- Fernández-Cortés, A., Calaforra, J. M. y Sánchez-Martos, F., 2006. Spatiotemporal analysis of air conditions as a tool for the environmental management of a show cave. *Cueva del Agua, Spain. Atmospheric Environment*, 40 (38), pp. 7378-7394.
- Gázquez, J. A., Calaforra, J. M., Novas, N. y Fernández-Cortés, A, 2003. Intelligent telemetry watches cave visitors. *IEE Electronics Systems and Software*, 1 (3), pp. 24-27.
- Land, L. y Burger, P., 2008. Rapid recharge events in a Karstic aquifer: An example from lake of the white roses, Lechuguilla cave, New Mexico. *Geotechnical Special Publication*, 183, pp. 396-403.
- Mattey, D., 2012. Continuous multichannel monitoring of cave air carbon dioxide using a pumped non-dispersive infrared analyser. *Abstract from EGU*, Vienna, Austria.
- Park, K. J., Jones, G. y Ransome, R. D., 1999. Winter activity of a population of greater horseshoe bats (*Rhinolophus ferrumequinum*). *Journal of Zoology*, 248 (4), pp. 419-427.
- Sanderson, K. y Bourne, S., 2002. Cave Temperatures at Naracoorte Caves. *Helictite*, 38 (1), pp. 7-10.



PATROCINAN



COLABORAN



ISBN 978-84-617-1908-2



9 780201 379624