

Iluminación y adecuación de la zona peatonal de la Cueva de Nerja

R. Guzmán Sepúlveda ⁽¹⁾, S. Mohamed Mohamed ⁽²⁾, F. López Figueroa ⁽³⁾, M. Hernández Mariné ⁽⁴⁾, F. Álvarez Gómez ⁽³⁾, Y. del Rosa Padial ⁽⁵⁾, C. Liñán Baena ^(3,5), S. Merino Córdoba ⁽⁶⁾, F. Guzmán Navarro ⁽⁷⁾ y M. Trillo López ⁽⁸⁾

⁽¹⁾ Departamento de Expresión Gráfica Diseño y Proyectos, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Málaga. Avda. Doctor Ortiz Ramos s/n, rguzman@uma.es

⁽²⁾ Alumno Máster Propio Universitario de Domótica, Gestión de la Energía y Gestión Técnica de Edificios. Escuela Politécnica Superior, Universidad de Málaga. Avda. Doctor Ortiz Ramos s/n sulimmm91@gmail.com

⁽³⁾ Departamento de Ecología y Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga. Campus de Teatinos s/n, Málaga felix_lopez@uma.es; felix_alvarez000@hotmail.com

⁽⁴⁾ Departamento de Botánica, Facultad de Farmacia, Universidad de Barcelona. Av. Diagonal 643, Barcelona, marionahernandez@ub.edu

⁽⁵⁾ Instituto de Investigación, Fundación Cueva de Nerja. Ctra. de Maro s/n, Nerja, Málaga, yolanda@cuevadenerja.es

⁽⁶⁾ Departamento Matemática Aplicada, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad de Málaga. Campus de Teatinos s/n, Málaga, smerino@uma.es

⁽⁷⁾ Departamento de Ingeniería eléctrica, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Málaga. Avda. Doctor Ortiz Ramos s/n, fguzman@uma.es

⁽⁸⁾ Empresa CIVITASUR Ingenieros., Málaga (España). C/ Canada nº 46. Polígono Industrial el Viso (Málaga), civitasur@civitasur.es

RESUMEN

La Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja, entre sus cometidos tiene la conservación, gestión y explotación de la cavidad, declarada Bien de Interés Cultural. Con este propósito encarga la realización de un proyecto de mejora de las instalaciones interiores, que abarque tanto el diseño de un nuevo sistema de iluminación, como el desarrollo de un sistema de barandillas y escaleras que mejore la seguridad de las instalaciones, con las premisas de durabilidad, mantenimiento mínimo y conservación del medio subterráneo. La barandilla, que discurrirá por todo el recorrido turístico, se pretende utilizar como medio de transporte de las instalaciones eléctricas, sistema de telecomunicaciones y demás elementos necesarios para los servicios de la Cueva. Previo a la selección de los materiales, tema muy importante debido a las condiciones particulares que se dan en este tipo de espacios, se estudiaron tanto las condiciones ambientales como la normativa existente al respecto, de manera que el diseño final fuese respetuoso con el entorno y con las necesidades técnicas que requerían las instalaciones necesarias. Los puntos fuertes de este proyecto son, por tanto, la elección de los materiales apropiados, junto con el diseño de sistemas versátiles que faciliten cubrir las necesidades de una cueva tan visitada y que permita el uso racional de este singular espacio natural y cultural. En definitiva, nos hemos decantado por el uso de prefabricados por pultrusión (polimerización) en caliente de un perfil conformado en hilera y contiene hasta un 70% de fibra de vidrio, para la fabricación de las barandillas y escaleras.

Para el sistema de iluminación, se propone tecnología led alojada en el interior de los pasamanos de las barandillas, con unas características determinadas en función de la curva de crecimiento de las especies de organismos fotosintéticos más abundantes en la Cueva.

Palabras clave: conservación, diseño, fotobiología, iluminación, materiales.

Lighting and adequacy of the pedestrian zone of the Cueva de Nerja

ABSTRACT

Nerja Cave Public Services Foundation has, as one of their duties, the conservation, management and exploitation of this protected space. For this purpose, ensures the realization of a project to improve indoor installations, covering both the design of a new lighting system and development of a system of handrails and stairs to improve the safety of installations, with the premises of durability and minimal maintenance. Taking advantage of the installation of the railing, which will run throughout the tour, is to be used as a means of transport of electrical installations, telecommunications system and other elements necessary for the services of the Cave. Before the selection of materials, subject very important because of the particular conditions that occur in these spaces, both environmental conditions as the existing regulations in this regard were studied, so the final design was environmentally friendly and with all the necessary technical requiring by installations. The strength of this project is the choice of appropriate materials, with the design of versatile systems that facilitate the needs of so visited cave and allow the balance between use and respect for the natural conditions of space. Definitively we have opted for the use of prefabricated by pultrusión (hot polymerization of a profile forming die and contains up to 70% of glass fiber) for making railings and stairs. And LED technology accommodated inside the handrails of the railings, with certain characteristics depending on the growth curve of the most abundant species in the Cave.

Keywords: conservation, design, lighting, materials, photobiology

Introducción

Las cavidades kársticas se ven afectadas por cualquier actividad desarrollada tanto en su interior, como en la zona de influencia exterior. En condiciones naturales, las cuevas no presentan luz natural, salvo en las zonas más próximas a la entrada. La luz favorece la aparición de organismos fotosintéticos (algas, líquenes, musgos y plantas) que actúan como fuente de nutrientes para el desarrollo de otros organismos heterótrofos y cuya presencia va disminuyendo conforme avanzamos hacia el interior.

Como sucede en todas las cuevas turísticas, para su explotación es necesario realizar diversas obras de acondicionamiento, tanto en el exterior (construcción de restaurante, servicios, aparcamientos...), como en el interior de la propia cueva (construcción de caminos, instalación de sistemas de iluminación, impermeabilización de suelos...). La sensibilidad de las cuevas a las actuaciones que se desarrollen tanto en su interior como en el exterior, hacen que la fase fundamental de este tipo de proyectos sea el diseño y la estrategia a seguir para la realización del trabajo.

En el caso que nos ocupa, presentamos el proyecto elaborado para llevar a cabo la instalación de iluminación de la zona transitable, incluyendo el alumbrado de emergencia y la instalación eléctrica necesaria para dar servicio a dicha iluminación, el diseño de una nueva escalera que una la Sala del Belén y la Sala de la Cascada, así como el diseño y colocación de una nueva

barandilla en la zona transitable, que cumpla con el doble objetivo de mejorar la seguridad de los usuarios y de proteger la fauna y estructuras geológicas. Además, usaremos las barandillas para albergar las instalaciones eléctricas y de comunicaciones.

Diseño de escaleras y barandillas perimetrales de la zona de visitantes

Los dos condicionantes fundamentales tenidos en cuenta para la elección de los materiales de la escalera y las barandillas fueron: las condiciones ambientales del entorno y la necesidad de usar estas infraestructuras como transporte para las redes eléctricas y de comunicaciones:

Condiciones de ambientales de la cueva

El valor medio de la humedad relativa del aire de las Galerías Turísticas varía, aproximadamente, entre el 78 y el 90 %, según la proximidad al exterior. A escala anual, este parámetro muestra valores mínimos en otoño invierno, más elevados en primavera y máximos en verano, alcanzándose valores de saturación, como consecuencia del incremento del caudal de goteo. A nivel diario existen pequeños incrementos en la humedad relativa del aire del orden del 2 al 3 %, como consecuencia de la entrada de visitantes (Carrasco *et al.*, 1999, 2002). Este grado de humedad nos obligaba a elegir entre materiales no corrosivos, de entre las dos posibilidades más lógicas había que decantarse entre acero inoxidable muy usado en otras cuevas, o PRFV (plásticos reforzados con fibra de vidrio) menos conocido pero que tiene unas características muy interesantes:

1. Acero inoxidable: es uno de los más usados en cuevas en la actualidad y aunque puede soportar las condiciones ambientales del entorno, implicarían la mecanización en el interior de la cueva, con la realización de soldaduras, pulido del material tras el mecanizado. Además, tiene el gran inconveniente de obligarnos a realizar una red de tierra, si como se pide en el proyecto, se quiere utilizar las barandillas y las escaleras como medio de transporte de las instalaciones eléctricas y de comunicaciones.
2. PRFV: se trata de un material inalterable a las condiciones ambientales de la cueva, además de tratarse de un material clase II (no requieren puesta a tierra), estas condiciones lo hacen idóneo para utilizarlo en cuevas, nos permitirán la utilización como soporte para las instalaciones eléctricas y de telecomunicaciones, sin riesgo eléctrico para los usuarios. Por otro lado, nos permite el montaje/desmontaje previo de los tramos en taller y realizar posteriormente el ensamble de las piezas en la cueva de manera sencilla y minimizando la alteración al entorno.

Instalación eléctrica

El Real Decreto Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), exige la puesta a tierra de las partes metálicas externas de las instalaciones eléctricas. Cabe considerar que, aunque la cueva es un recinto cerrado, el alumbrado de la misma puede ser considerado como alumbrado público.

El terreno de la cueva es rocoso, por lo que conseguir la resistencia de difusión exigida en el REBT es casi imposible, a menos que se enterrase un conductor de cobre desnudo de 35 mm²

con picas o placas cada 5 m con una longitud estimada de 500 m. de longitud, en una zanja de 40 cm rellena de material facilitador de la difusión de la corriente. Esto implica una obra interior que, a nuestro entender, no es realizable teniendo en cuenta las características del entorno en donde nos encontramos, además del elevado coste que supone.

Debemos considerar que, además, si queremos utilizar la barandilla como portador de los conductores, en el caso de utilizar material metálico, el riesgo de la rotura del aislamiento al deslizar los conductores, aunque esta operación la realicen operarios cualificados, es muy común. Esto implica un peligro añadido para los usuarios de la instalación.

Por todo lo anterior, se consideró recomendable la colocación de barandilla de fibra de vidrio, por tratarse de material clase II, lo que evita la colocación de la citada red de tierra.

Escaleras

Tras la visita a la cueva se comprueba que la escalera actual, que une las salas de Belén y de la Cascada, presenta una inadecuada pendiente, así como un suelo resbaladizo, que unido a los diferentes tamaños de huella la hacen peligrosa para los usuarios. Con estas premisas se ha diseñado una escalera que: a) permite el tránsito seguro y conforme a normas de los múltiples usuarios que transitan a diario por la cueva, b) sea inalterable a las condiciones ambientales de esta y c) que no afecte a la conservación.

Para la construcción de la nueva escalera se ha optado por montar, sobre la existente, una estructura de PRFV cuyo peldañado, zanquín, tabica, etc. estará formado por perfiles prefabricados por pultrusión (polimerización en caliente de un perfil conformado en hilera y contiene hasta un 70% de fibra de vidrio). La matriz de mezcla está realizada a base de resina poliéster isostática y es el componente que compacta y protege el esfuerzo estructural, conforme a normas AFNOR y ASTM. La estructura de refuerzo mecánico está realizada con fibra de vidrio unidireccional tipo ROVING continuo de tipo E. Cada uno de los perfiles pultruidos, en su tecnología de producción, utiliza refuerzos a base de tejidos continuos multidireccionales que permiten aumentar las características mecánicas transversales. Se encapsulan en la superficie con una capa de poliéster, esto evita que afloren las fibras a la superficie y garantiza la protección contra rayos UV y agentes atmosféricos. Los diversos elementos, irán unidos mediante tornillería, que serán de acero inoxidable, conforme a normas antes relacionadas. La fijación al suelo, se hará sobre la losa de hormigón existente, mediante tacos químicos de alta resistencia, de forma que el piso propio de las cuevas no se vea afectado (Fig. 1).

Teniendo en cuenta la fragilidad del entorno en el que nos encontramos, se prevé que el montaje de dicha escalera se realice previamente en taller, de tal manera que los cortes y preparación necesaria para su montaje se produzcan fuera de la cueva, al objeto de minimizar la influencia sobre esta. El montaje se realizará de abajo-arriba, trasladándose únicamente el material necesario diario al interior de la cueva y en tramos. Previo al montaje del tramo diario, la empresa instaladora deberá plantear en taller dicho tramo, así como prever cómo quedará unida la nueva parte instalada a la escalera existente, de tal manera que esta pueda ser usada al día siguiente con total normalidad y seguridad por parte de los visitantes a las instalaciones de la cueva

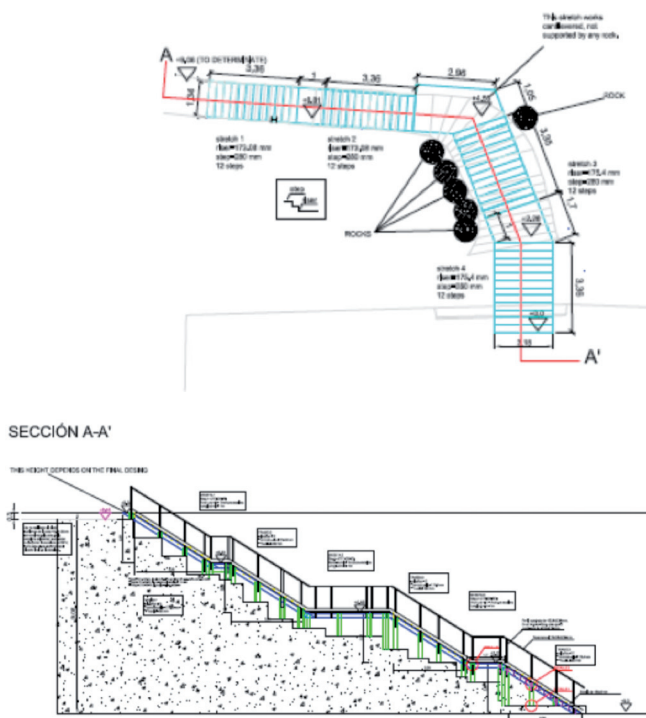


Figura 1: Nueva escalera montada sobre la existente. Replanteo

Barandillas

Para dar uniformidad y por las características expuestas con anterioridad se optó por PRFV igualmente.

Diseño de la iluminación en pasillos y escaleras

Las algas y cianobacterias forman biofilms fotosintéticos que se desarrollan en el entorno de los focos de luz eléctrica de la zona turística de la cueva. Este desarrollo, conocido como *mal verde* puede causar biodeterioro del sustrato y dañar el patrimonio natural y cultural de la cueva. Así pues, resulta de vital importancia conocer las respuestas fisiológicas de estos microorganismos a las variables ambientales que permitan diseñar medidas preventivas y correctoras destinadas a evitar y/o reducir el impacto que generan (del Rosal *et al.*, 2014)

La luz, entre otros, es el factor de producción más importante en los organismos fotosintéticos. La irradiancia, calidad espectral, distribución y utilización de la luz en el proceso fotosintético es un aspecto básico en la producción o disminución del crecimiento a través de la fotosíntesis. El uso de fotodiodos (LEDs) para el crecimiento de organismos fotosintéticos se ha incrementado en los últimos años dado que esta tecnología de iluminación permite crear composiciones

o formas espectrales de bandas estrechas, así como combinaciones para aumentar o disminuir el rendimiento fotosintético. Por consiguiente, la característica más deseable de la radiación, al objeto de disminuir la asimilación fotosintética con LEDs, es la de combinar bandas de emisión que no se encuentren entre las bandas espectrales más efectivas para la fotosíntesis de estos organismos.

Teniendo en cuenta lo indicado anteriormente para la zona peatonal debemos diseñar un sistema que:

- genere el nivel lumínico necesario para desarrollar la tarea (desplazamiento seguro de los visitantes), teniendo en cuenta que si utilizamos menos intensidad lumínica en la zona peatonal, esta disminución nos permitirá bajar también el nivel lumínico de la iluminación ornamental y artística.
- presente un espectro de emisión de la fuente, que nos permita pasear con tranquilidad y seguridad pero que, en lo posible, se encuentre distante de los picos de máxima absorción de los biofilms.
- ilumine sólo la zona peatonal, de manera que disminuya en lo posible la intrusión lumínica en zonas no deseadas.

Dado que, como se ha indicado, uno de los principales agentes que determinan el crecimiento de algas y cianobacterias es la luz y según los estudios realizados, uno de los parámetros fundamentales es la cantidad de ésta, nos hemos decantado por usar niveles de iluminación bajos, de alrededor de 10 lux, lo que teniendo en cuenta el factor de reflexión del suelo, puede suponer alrededor de 0,7 cd/m². En este rango de luminancia nos encontraríamos en lo que en luminotecnia se denomina visión Mesópica (se produce cuando nos encontramos en situaciones de niveles lumínicos 0,003 y 10 cd/m²), en este tipo de visión trabajan de una manera simultánea los conos y bastones (células fotosensibles que se encuentran alojadas en la retina). Esto permitirá ver mejor el color de los objetos y, además, ver mejor por contraste.

Espectro de emisión

En relación con el espectro de emisión, se ha desarrollado una luminaria en la que se combinan dos tipos de LEDs, que se van alternando uno a uno (Fig. 2).

- OSRAM BU-BUCQ-57H-1, con temperatura de color de 4000K.
- OSRAM LV T6SG, con emisión en 505 nm.



Figura 2. Prototipo de luminaria

La longitud de onda resultante de la combinación de fuentes en la luminaria es de unos 507 nm, que como se puede ver en la imagen que se presenta a continuación (Fig. 3), permite además el mejor funcionamiento de los bastones, que son los fotorreceptores que utilizamos a bajos niveles lumínicos.

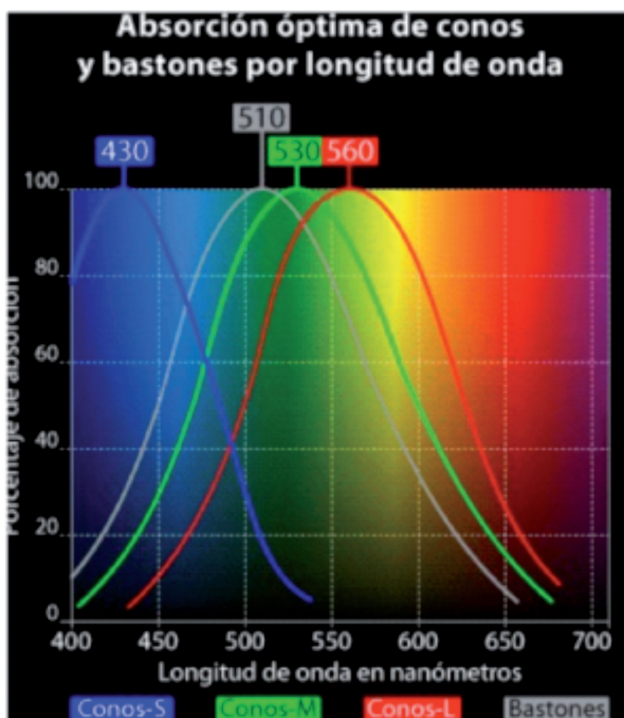


Figura 3. Gráfica de absorción óptica de ojo humano por longitud de onda

Intrusión lumínica

Uno de los problemas que nos encontramos en la Cueva de Nerja es la falta de uniformidad en la zona peatonal encontrándonos con zonas muy iluminadas y otras oscuras, para ello nos hemos decantado por la colocación de tiras LEDs orientadas adecuadamente, que además de proporcionarnos esta uniformidad, evitará la intrusión lumínica en las zonas no deseadas de los alrededores del paseo. Para evitar en lo posible, la intrusión lumínica en zonas no deseadas, utilizaremos un sistema de anclaje que permita el giro de la luminaria bajo el pasamanos, lo que nos posibilitará llegar con la luz de manera uniforme a las distintas anchuras que nos encontramos en el recorrido, además de controlar el alcance y limitar la iluminación a la zona deseada. El nivel bajo de iluminación va a permitir reducir también el nivel lumínico de la iluminación artística, que permite ver las maravillas que encierra la cueva, con el consiguiente ahorro energético y la disminución de afectación al entorno natural, además de reducir, en parte, el desarrollo de los biofilms fotosintéticos.

En base a lo expuesto, las características de la luminaria propuesta para el recorrido turístico serían:

- luminaria lineal para diferentes espacios en cueva indicada por su formato para pasillos, fosos, escaleras, etc.
- dotada de dos tipos de leds en luz visible y luz para combatir el *mal verde*, se posiciona como una excelente luminaria que ayuda a ralentizar el crecimiento de organismos en las rocas, en las que se proyecta la luz.
- unión entre sí mediante conectores IP. Perfil de aluminio anodizado en color plata, difusores opal. Integra un recubrimiento coating, especialmente formulado para protección en condiciones de trabajo muy agresivas.

Estas luminarias lineales se dispondrán en los pasamanos de las barandillas y tendrán longitudes de 0,5, 1 y 2 metros según necesidad, correspondiendo a cada longitud las siguientes potencias:

HAZLED NERJA 500mm	3W
HAZLED NERJA 1000mm	6W
HAZLED NERJA 2000mm	12W

Siguiendo con el criterio del resto de la cueva, la iluminación de la explanada de la Sala de la Cascada se realizaría mediante una iluminación perimetral, colocada sobre barandilla de menor altura, obteniendo de esta manera un bañado de la superficie del suelo, que permitirá un mayor contraste con el entorno.

En relación en la iluminación de seguridad y por tratarse de una instalación especial y teniendo en cuenta los recorridos tan largos que nos encontramos en la zona visitable, nos hemos decantado por la utilización de un SAI para el cuadro A y otro para el cuadros secundario B (cuadros secundarios que son necesarios instalar para abastecer de energía eléctrica a la instalación). Estos SAIs serán de tecnología On-Line, lo que permite que la carga se alimente permanentemente de la energía que genera el propio SAI/UPS exista o no suministro eléctrico. Se calculan los SAIs para asegurar la iluminación durante un período de una hora, ya que se estima que este es tiempo más que suficiente para la evacuación de los visitantes por los trabajadores de la cueva. Los SAIs proyectados poseen las siguientes características: SAI marca Salicru modelo SLC-4000TWN pro B1 con una potencia de 4000VA con una autonomía de 75 min., con tecnología Online, formato torre, doble conversión, sin transformador, compuesto por rectificador con corrector de factor de potencia, cargador de baterías, ondulator, bypass automático e interfaz de comunicación. Equipo paralelable hasta un máximo de 4 uds de 4 KVA. Las propias luminarias LEDs, al estar alimentadas por el SAI harán las veces de luminarias de emergencia, puesto que, desde el corte de suministro eléctrico tendríamos al menos una hora para la evacuación de la cueva sin perder el suministro de iluminación de viales.

Conclusiones

En definitiva, se trata de un trabajo en el que se ha tratado de conjugar el aspecto técnico con las condiciones especiales de la cueva, dando lugar a una solución equilibrada en cuanto a calidad y cantidad de luz, elección de los materiales y teniendo en cuenta el entorno en donde debe realizarse la reforma.

Referencias

- Carrasco, F., Andreo, B., Vadillo, I., Durán, J.J. y Liñán, C. 1999. El medio ambiente subterráneo de la Cueva de Nerja (Málaga). Modificaciones antrópicas. En: Andreo, B. Carrasco, F. y Durán, J.J. (Eds.). *Contribución del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico*. Patronato de la Cueva de Nerja, Nerja (Málaga), 323-334.
- Carrasco, F., Andreo, B., Vadillo, I. y Liñán, C. 2000. Human influence on the karst water of the Nerja Cave. En: Drew, D. y Hotzl, H. (Eds.). *Human impacts and Karst Groundwater: International Contribution to Hydrogeology*, 20, 168-173.
- Fairman, H. S., Brill, M. H. y Hemmendinger, H. 1997. How the CIE 1931 Color-Matching Functions Were Derived from the Wright-Guild Data. *Color Research and Application*, 22, 11-23.
- Fairman, H. S., Brill, M. H. y Hemmendinger, H. 1998. Erratum: How the CIE 1931 Color-Matching Functions Were Derived from the Wright-Guild Data. *Color Research and Application*, 23, 259-259.
- Guild, J. 1932. The colorimetric properties of the spectrum. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 230, 149-187.
- Harris, A. C. y Weatherall, I. L. 1990. Objective evaluation of colour variation in the sandboring beetle *Chaerodes trachyscelides* White (Coleoptera: Tenebrionidae) by instrumental determination of CIE LAB values. *Journal of the Royal Society of New Zealand (The Royal Society of New Zealand)*, 20, 253-259.
- Katsuura, T., Jin, X., Baba, Y., Shimomura, Y. y Iwanaga, K. 2005. Effects of Color Temperature of Illumination on Physiological Functions. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*. 321-326.
- Del Rosal, Y., Roldán, M. y Hernández-Mariné, M. 2014. Phototrophic microorganisms in the tourist cave of Nerja. En: Rogerio-Candelera, M.A. (Ed.). *Science, Technology and Cultural Heritage. Proceedings of the Second International Congress on Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage*. Sevilla, 229-235.

