



## PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DEL MUSEO DEL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO ZONZAMAS

## CONSTRUCTION AND REHABILITATION PROJECT OF THE MUSEUM OF THE ZONZAMAS ARCHAEOLOGICAL SITE

Vidovich, Francisco <sup>(1)</sup>\*; González, Inés <sup>(2)</sup>; Reina, Martín <sup>(3)</sup>; Palerm, Blanca <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Ingeniero Civil. RDA ingeniería. Montevideo, Uruguay

<sup>(2)</sup> Arquitecta, RDA ingeniería. Montevideo, Uruguay

<sup>(3)</sup> Ingeniero Civil. RDA ingeniería. Montevideo, Uruguay

<sup>(4)</sup> Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Fhecor Ingenieros consultores. Madrid, España

\* Contacto: [fvidovich@rdaingenieria.com](mailto:fvidovich@rdaingenieria.com)

CÓDIGO: 4620209

### Resumen

Proyecto de rehabilitación de un parque arqueológico ubicado en Zonzamas, isla de Lanzarote, España. Consiste en la realización de una cubierta de 1650m<sup>2</sup> en la zona de un yacimiento arqueológico, y la generación de un espacio para la recepción de visitantes, exposición didáctica y servicios de 1050m<sup>2</sup>.

La propuesta implicó adoptar un criterio común en el tratamiento del yacimiento y de una edificación preexistente cuya obra fue paralizada hace 15 años, de tal manera que tanto los restos arqueológicos como el edificio queden “envueltos” por un sistema estructural de madera, modular, liviano y homogéneo.

Un aspecto fundamental, es que se realizan cada año nuevas campañas de investigación y es altamente probable que se sigan encontrando restos, por esta razón la estructura debe ser de fácil crecimiento y las soluciones de apoyos no pueden ser invasivas.

La solución estructural es modular de 3mx3m formadas por pilares, vigas principales y correas a dos niveles distintos formando un entresqueño con pasarelas peatonales y cubierta liviana de policarbonato. Para evitar apoyos de pilares sobre restos arqueológicos y sobre el edificio existente, se sustraen pilares y se colocan vigas atensoradas mixtas, compuestas por madera y acero, salvando luces de hasta 21m.

La voluntad formal del uso de la madera por sus características de calidez y liviandad, implicaron un desafío importante, ya que, para cubrir los requisitos de resistencia y estabilidad, las dimensiones de algunos elementos resultaban de gran tamaño. Esto condicionó la solución, y determinó la utilización de un sistema mixto, con madera y acero.

*Palabras-clave: Rehabilitación de parque arqueológico con sistema estructural en madera.*

### Abstract

Construction and rehabilitation project of an archeological park, located in Zonzamas, an island in Lanzarote, Spain. It consists of a new roof of 1650m<sup>2</sup> above an archeological site, and the creation of a new zone of 1050m<sup>2</sup> for the reception of visitors, a didactic exhibition and other services.

The proposed solution required adopting common criteria in the management of the site and of the existing building whose construction was paralyzed 15 years ago, in order to surround both of them with a modular, light and uniform wooden structure.

Taking into consideration that new research campaigns are carried out every year, and that new remains will probably be found, the structure must be easy to expand, and the foundations cannot be invasive.

The structural solution consists of a series of 3mx3m modulus composed of columns, main beams and joists arranged in two levels, creating a mezzanine with pedestrian walkways and a lightweight polycarbonate roof. To avoid pillar supports above archaeological remains and the existing building, 21m spans are achieved with beams made out of wood and a steel reinforcement.

The willingness of using wood for its characteristics of warmth and lightness, in addition to the great dimensions of some elements and spans, implied a tremendous challenge. This fact restricted the solution, and determined the use of a mixed system of wood and steel.

*Keywords: Rehabilitation of an archeological park with wooden structural system.*



## 1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo intenta mostrar el proyecto de rehabilitación y reacondicionamiento del Parque Arqueológico ubicado en Zonzamas, en la isla de Lanzarote, España. Consiste en la intervención de dos zonas; la realización de una cubierta de 1645m<sup>2</sup> en la zona de un yacimiento arqueológico para su visita y protección, y la generación de un espacio para la recepción de visitantes, exposición didáctica y servicios imprescindibles de 1030m<sup>2</sup>, reutilizando una construcción que se comenzó a construir hace más de 20 años y quedó paralizada.

El proyecto original que se promovió hace años fue de gran envergadura para el lugar, del que sólo se llegó a construir parcialmente un módulo de servicios, que quedó paralizado en fase de estructuras hasta la fecha, por falta de recursos y por ser especialmente agresiva con las estructuras arqueológicas. Es una edificación muy singular, que forma parte de un proyecto excesivamente ambicioso, y que la propiedad decidió desechar.

El edificio existente, hoy abandonado se iba a dedicar al estudio e ilustración de la cultura de los Mahos, los primitivos habitantes de Lanzarote. Con el propósito de convivir con el delicado entorno, la asimétrica estructura del museo se hundía en la tierra, mientras que en la superficie aparecían grietas por las que penetraría la luz natural bañando las salas expositivas. En la zona norte se abriría un mirador sobre el mar de lava y la llanura de Zonzamas, [Figura 1](#).

Distintas campañas arqueológicas realizadas desde los años setenta del siglo pasado evidencian la gran extensión de este complejo, y que ocuparía más de diez hectáreas. Sobresalen una serie de estructuras excavadas en el subsuelo, de las que unas, las casas hondas, se utilizarían para vivir, mientras que otras pudieron ser posibles almacenes o graneros. El piso de las casas hondas se excavaba en la tierra, por lo que la mitad de la habitación quedaba por debajo del nivel del suelo y sólo sobresalía una parte de las paredes.

El objeto del encargo para el nuevo proyecto comprende la protección de las principales estructuras (conocidas hasta ahora) del yacimiento y la reutilización de la edificación que se empezó a construir para el proyecto original como “Museo de Sitio-Aula didáctica-Centro de visitantes”, un lugar para la recepción de visitantes, exposición didáctica y servicios imprescindibles.

El proyecto integral arroja unos 1.700 metros de infraestructura museística con una propuesta arquitectónica y paisajística, integrada y respetuosa con el espacio natural donde se encuentra, que no sólo pondrá en valor el yacimiento y los restos y estructuras arqueológicas que allí se encuentran, sino también contempla la creación de los itinerarios y la recuperación y adecuación de la edificación preexistente en el parque.

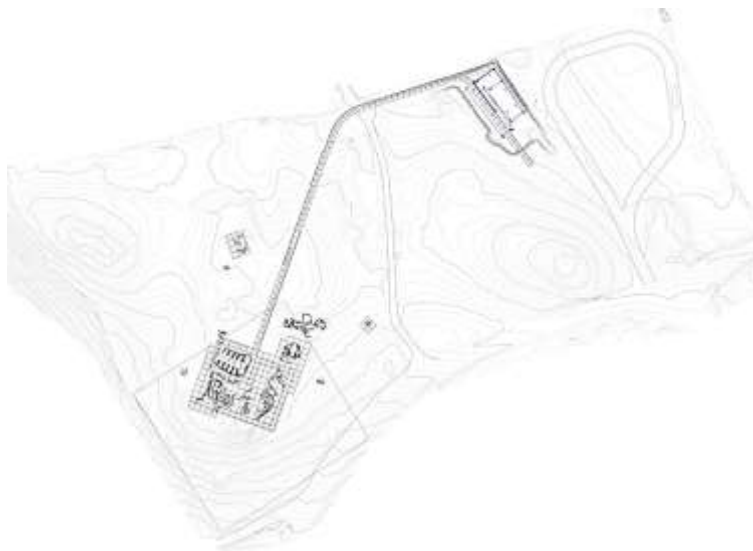
El proyecto de Museo de Sitio de la zona arqueológica de Zonzamas, en Lanzarote, se convertirá en un “proyecto vivo”, concebido para que la experiencia de los visitantes al mismo pueda ir variando en la medida que paralelamente a su apertura se continuarán desarrollando nuevas campañas de investigación y excavaciones, que podrían dar lugar a nuevas estructuras y hallazgos arqueológicos a descubrir por los usuarios de este futuro museo de sitio.



*Figura 1: Foto estructura de hormigón preexistente, sector Aula didáctica*

## 2. METODOLOGÍA

La propuesta por parte de los arquitectos que desarrollaron el nuevo anteproyecto implicó adoptar un criterio común en el tratamiento del yacimiento propiamente dicho, como de la edificación preexistente, de tal manera que tanto las estructuras arqueológicas como el edificio queden “envueltos” por un sistema modular de estructura de madera y cubierta ligera de panel celular de policarbonato, solución que se prolonga también al cerramiento vertical de las fachadas del aula didáctica, dentro de la cual el edificio preexistente (una pieza escultórica de hormigón visto) se pueda entender como un “hallazgo” más.

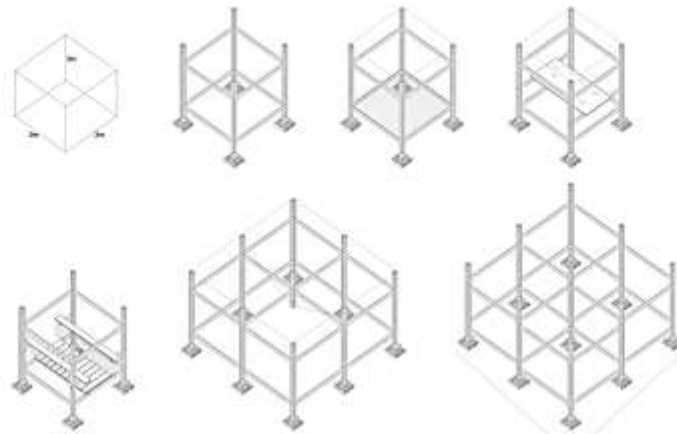


*Figura 2: Layout general proyecto Arqueológico Zonzamas*

El proyecto plantea una estructura modular con pilares compuestos, entre los que se disponen en ambos sentidos vigas de madera, tanto para generar el plano de suelo como para resolver la estructura de cubiertas, [Figura 3](#).



La idea sería que este módulo básico, pudiera servir de soporte a estructuras de mayor luz, (6-12-21 metros) para evitar apoyos sobre las estructuras arqueológicas, o cubrir el vano para albergar el edificio preexistente en el interior del aula didáctica-centro de visitantes.



*Figura 3: Módulo de estructura inicial*

Un aspecto fundamental, es que se desconoce el ámbito del yacimiento, excepto las estructuras reflejadas en planta, por lo que se realizan cada año nuevas campañas de investigación y es altamente probable que se sigan encontrando restos. En ese sentido el proyecto desechado inicialmente por la municipalidad, era especialmente agresivo, y debemos actuar en sentido totalmente inverso, disponiendo soluciones de apoyo que no precisen afección al subsuelo.

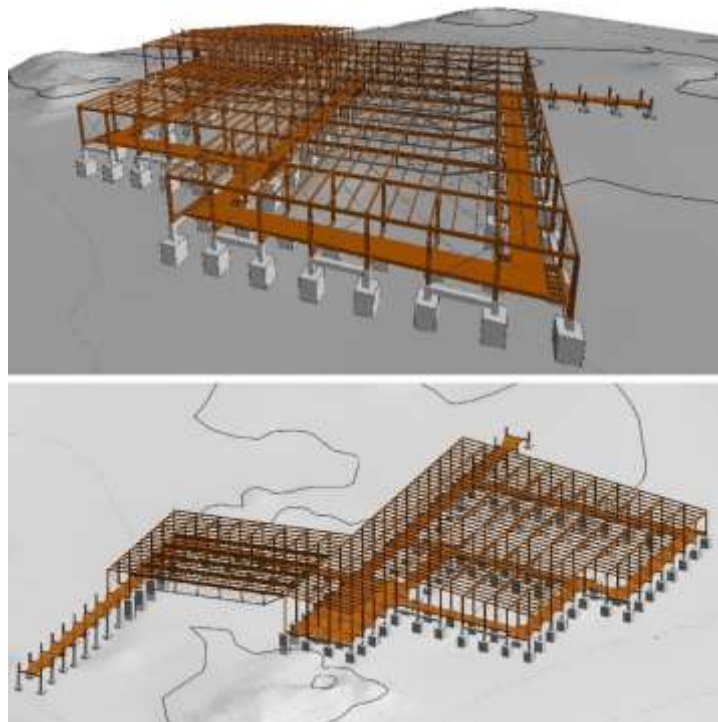
Actualmente la zona arqueológica está compuesta por tres áreas, pero según vayan progresando los estudios arqueológicos estas podrán aumentarse. Por estas razones la estructura prevista es modulable y de fácil crecimiento.

### 3. DESARROLLO

La solución estructural para cubrir el yacimiento arqueológico se ha previsto de una estructura en base a módulos de 3m x 3m formados por pilares, entre los que se disponen en el plano de suelo vigas de madera formadas con escuadrías donde se colocan pasarelas peatonales con tarimas que apoyan en correas de madera, [Figura 4](#). A nivel de techo se opta por una cubierta liviana de panel celular de policarbonato con pendiente a dos aguas de 8%, apoyada en correas de madera separadas cada un metro que descargan en vigas principales.

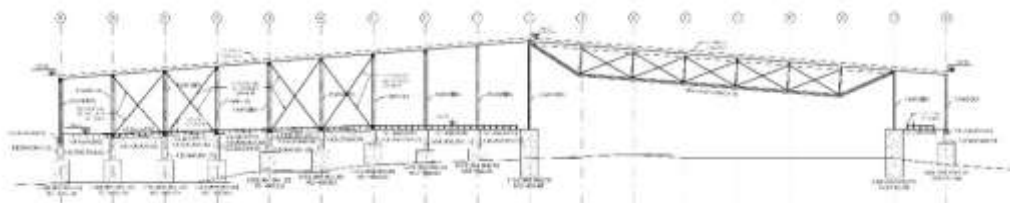
Los pilares de madera nacen en fustes y zapatas de hormigón armado. Las zapatas se apoyan en el terreno evitando excavaciones que puedan alterar los restos arqueológicos. La intención por nuestra parte es que la estructura de madera sea repetitiva y homogénea en escuadrías de madera.





*Figura 4: Modelo BIM estructura sector Parque*

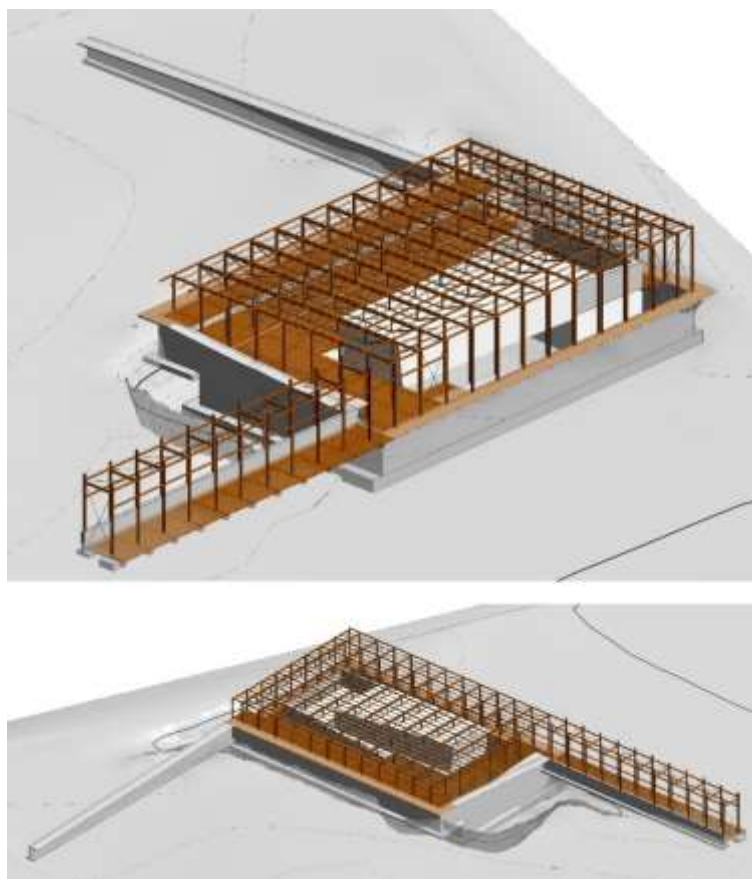
Para evitar el apoyo de pilares sobre restos arqueológicos hay zonas donde es necesario salvar luces de hasta 21 metros, donde se disponen vigas atensoradas mixtas, compuestas por madera y acero, [Figura 5](#). Se opta por vigas compuestas con la utilización del acero que facilita tener luces grandes siguiendo la línea de piezas de madera de dimensiones reducidas poco invasivas.



*Figura 5: Viga atensorada y vistas 3D interior sector Parque*



En la zona del Aula didáctica se desarrolla una solución para el entrepiso con vigas metálicas y pilares metálicos separados cada 6m que suben desde el nivel de cimentación hasta planta baja donde se da una transición a pilares de madera hasta el nivel de cubierta. La estructura sobre planta baja se desarrolla con pilares compuestos de madera cada 3m, salvo el sector que cubre la estructura preexistente donde no se colocan pilares y a nivel de cubierta se genera una viga atensorada mixta de madera y acero de 21m de luz. Sobre estas vigas se colocan correas de escuadrías de madera donde apoya una cubierta ligera de panel celular de policarbonato que se utiliza también para el cerramiento vertical en fachadas, [Figura 6](#).



*Figura 6: Modelo BIM estructura sector Aula didáctica*

Los antecedentes del proyecto parcialmente ejecutado no se encontraron, por lo que no se conocen datos sobre la estructura preexistente, por lo que la idea desde un comienzo fue involucrarlo de manera autónoma y hubo que contemplar un muro de contención que complete y cierre el perímetro de la planta sótano con respecto al terreno circundante dado que no está ejecutado en su totalidad.

Aun así, en la zona del entrepiso sobre el edificio existente se coloca apoyos continuos por medio de una viga metálica donde descargan las correas separadas cada 40cm. En esta zona se deberá verificar estructuralmente el edificio existente frente a estos nuevos esfuerzos.

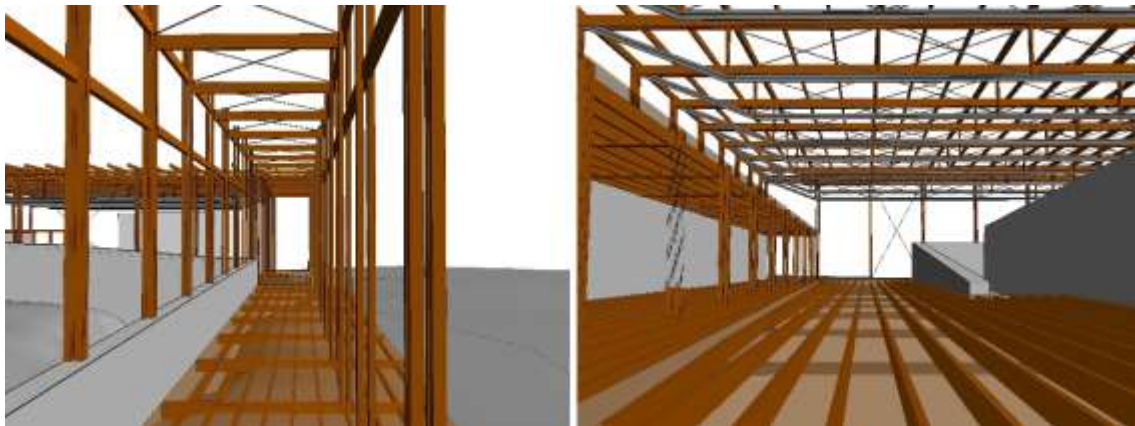


Figura 7: Vista 3D interior sector Aula didáctica

En cuanto a los procesos empleados en el dimensionamiento y comprobaciones de los distintos elementos estructurales y la metodología de análisis utilizada para cada uno de ellos se rigen en base normas, instrucciones o reglamentos y recomendaciones. Dentro de las principales se nombran el Código Técnico de la Edificación (CTE DB-SE M), Instrucción de hormigón estructural EHE (EHE-08) y diferentes Eurocódigos donde el principal fue el de proyectos de estructuras de madera (UNE-ENV 1995).

Este proyecto se desarrolla con una calidad de madera C24 cuyas propiedades de resistencia y rigidez se muestran en la [Tabla 1](#). A efectos de tratamientos superficial de la madera, y ya que zonas puntuales van a estar expuestas a la intemperie se realizará un tratamiento autoclave.

Tabla 1: Propiedades de resistencia, rigidez y densidad de madera clase C24

Resistencia a la flexión	24,0 MPa
Resistencia a la tracción paralela a la fibra	14,0 MPa
Resistencia a la tracción perpendicular a la fibra	0,4 MPa
Resistencia a compresión paralela a la fibra	22,0 MPa
Resistencia a compresión perpendicular a la fibra	2,5 MPa
Resistencia a cortante	4,0 MPa
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra	11.600 MPa
Módulo de elasticidad perpendicular a la fibra	670 MPa
Módulo de cortante	690 MPa
Densidad	350 kg/m <sup>3</sup>

Para determinar los esfuerzos en las piezas de la estructura se realizan modelos de cálculo que permiten realizar análisis lineales y no-lineales de estructuras de barras planas y paneles (2D) y espaciales (3D), según las teorías de primer y segundo orden, con un comportamiento de los materiales elástico y lineal. Del modelo se obtienen los esfuerzos en cada uno de los elementos estructurales, y con la ayuda de planillas de cálculo y números a mano, se verifica que los mismos son capaces de soportar los esfuerzos a los que están sometidos.





#### 4. CONCLUSIONES

La voluntad formal del uso de la madera por sus características de calidez y liviandad, implicaron un desafío importante, ya que, para cubrir los requisitos de resistencia y estabilidad, las dimensiones de algunos elementos resultaban de gran tamaño. Esto condicionó la solución, y determinó la utilización de un sistema mixto, con madera y acero.

Los detalles de uniones entre elementos de madera y elementos mixtos es un aspecto que implicó alta complejidad, ya que todas las uniones son atornilladas y muchas veces fue necesario el uso de elementos auxiliares.

Al utilizar estructuras de madera favoreció a la visual, estética y por sobre todo el sistema no invasivo genera espacios amplios con la estructura pasando casi desapercibida, resaltando lo fundamental que son los yacimientos arqueológicos.

La concepción estructural frente a la sostenibilidad se puede visualizar en distintos aspectos del diseño de la estructura. Los aspectos que pueden contribuir a tener un edificio más sostenible son un diseño eficiente y flexible.

Un diseño eficiente desde el punto medioambiental es el que permite reducir tanto el impacto medioambiental de la estructura como los residuos que conlleva su ejecución. Por tanto, un diseño eficiente debe estar optimizado para conseguir un consumo mínimo de materiales. En este sentido se destaca el uso de uniones atornilladas que permite reutilizar fácilmente los elementos estructurales en futuras modificaciones o ampliaciones del complejo, permitiendo de esta manera reducir el empleo de material estructural.

El diseño de la estructura tiene que ser lo más flexible posible para el uso que se va a plantear considerando las posibles reformas o cambios de uso que se puedan producir a largo plazo. El diseño de los detalles debe facilitar los cambios de uso o la posibilidad de reciclar parte de la estructura. La estructura planteada en este caso contempla el diseño de módulos tipo que permiten la ampliación o adaptación a posibles cambios futuros.

Los tres materiales más usados en la construcción hoy en día son la madera, el acero y el hormigón. En este proyecto se combinan las diferentes virtudes de cada uno de ellos para potenciar las características y optimizar las secciones. La madera es un material diseñado para trabajar en dirección de la fibra, las mejores prestaciones de este material son trabajando a flexión con una buena relación resistencia peso, se utiliza principalmente para vigas de techo y entrepiso. El acero tiene muy buenas resistencias, maximizando su sección utilizándolo a tracción, pero trabajando a compresión puede presentar problemas de pandeo dependiendo de su esbeltez. El hormigón está diseñado para trabajar a compresión donde se obtienen los mejores resultados, en este caso se opta por la utilización del hormigón en muros de contención y bases de pilares ya que por su peso contrarrestaban de forma eficiente los esfuerzos de levantamiento que producía el viento.

Es necesario considerar otros aspectos para el cálculo estructural como los estados límites de servicio como deformaciones, vibraciones, estados límites últimos como pandeos, vuelcos y cálculos en situación de fuego, por lo que el conocimiento de los distintos materiales ayuda a un perfecto dimensionamiento y una solución óptima para cada problema.





Al mirar los diferentes materiales se puede hacer una comparativa importante que son las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente según el sistema constructivo y el carbono almacenado. Según una publicación de EPA “Environmental Protection Agency” de Estados Unidos del 2016 muestra las diferencias de emisiones netas de CO<sub>2</sub> en la producción de diferentes materiales y el carbono almacenado. Los árboles en su formación y por la fotosíntesis almacenan carbono, a su vez si comparamos la emisión neta de CO<sub>2</sub> que produce en su transformación en producción frente al acero o hormigón, este material contribuye a frenar el cambio climático generando menos emisiones de las que almacena durante su ciclo de vida.

Una cualidad a destacar de la madera en comparación con estructuras de acero, es que presta mejores características frente al fuego. Se debe principalmente a su comportamiento de combustión lenta, de afuera hacia adentro, por su autoprotección que le confiere la capa exterior carbonatada y por su humedad intrínseca que se evapora antes de perder sección.

Las autoridades pusieron en valor la importancia de impulsar este proyecto, con un presupuesto de 2,7 millones de euros, cumpliendo así con una de las prioridades marcadas a principio de la legislatura de recuperar la memoria histórica y poner en servicio una oferta turística y cultural vinculada a la historia y orígenes de la población de la isla de Lanzarote.



*Figura 8: Visita al parque por parte de autoridades*



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Códigos Normativos:

CEN-AENOR (1997-1998). Acciones en estructuras (UNE-ENV 1991). Eurocódigo 1. España

CEN-AENOR (1993-1998). Proyecto de estructuras de hormigón (UNE-ENV 1992). Eurocódigo 2. España

CEN-AENOR (1996). Proyecto de estructuras de acero (UNE-ENV 1993). Eurocódigo 3. España

CEN-AENOR (1997). Proyecto de estructuras de madera (UNE-ENV 1995). Eurocódigo 5. España

Ministerio de Fomento (2008). Instrucción de hormigón estructural. EHE-08. España

Ministerio de Vivienda (2006). Código Técnico de la Edificación. CTE DB-SE M. España

Páginas de internet:

MAP (2018). Zonzamas, el yacimiento desafortunado. Arrecife. Biosferadigital. Recuperado de: [www.biosferadigital.com](http://www.biosferadigital.com)

Cabildo de Lanzarote (2018). Impulso definitivo al Museo de Sitio del yacimiento arqueológico de Zonzamas. Lanzarote. Cabildo de Lanzarote. Recuperado de: [www.cabildodelanzarote.com](http://www.cabildodelanzarote.com)