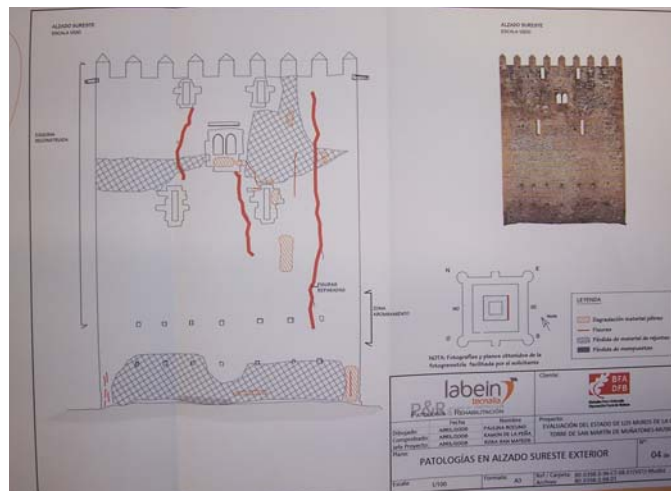


## Salud pétrea

Un diagnóstico del estado estructural del castillo de Muñatones. Recoge las conclusiones de sendos estudios realizados por Labein-Tecnalia y el Grupo de Investigación en Arqueología de la Arquitectura de la UPV-EHU



### La salud de una construcción de más de 500 años de edad

En el pasado, el saber tradicional de la construcción aconsejaba tener en cuenta tres criterios estructurales fundamentales: resistencia, rigidez y estabilidad (la estructura debe sostener su propio peso y cargas que le fueran impuestas, no debe deformarse en exceso y tampoco tener desplazamientos inestables).

Pero ahora, ese saber se enriquece con métodos verdaderamente sofisticados. Se han empleado para analizar el estado en que se

encuentra el castillo de Muñatones. Por encargo del Servicio de Intervención Arquitectónica y de Restauración del Departamento de Patrimonio Histórico de DFB, Labein-Tecnalia ha realizado un estudio para conocer el estado de los muros de la torre. Todo ello de cara a una posible 'intervención' para dotarle de una cubierta y poner en uso este edificio histórico.



Sólo podemos intuirlo... pero, con toda probabilidad, el maestro constructor a quien Lope García de Salazar encargó hace más de quinientos años reformar su castillo tenía un mandato claro que cumplir a satisfacción: transformar la torre en símbolo de poder para que perdurase como una fortaleza inexpugnable.

¿Cuál sería la mejor solución? Aquel maestro contempló aumentar el grosor de los muros, puesto que por aquella época las armas de fuego eran ya una amenaza a temer para un castillo de aquellas características. Y lo puso en práctica. Decide 'forrar' la torre, pegando a los muros de mampostería ya existentes otros de 1'7<sup>1</sup> metros de grosor. El resultado: un imponente muro sin parangón para una

---

<sup>1</sup> Aproximadamente 2 varas, en medidas de la época.



Bizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia

"Ondare sorta heritage selection selección de patrimonio /  
Lienzos de piedra / Salud pétrea"

edificación de sus características en la época en Bizkaia. Un muro de 2'8 metros formado en realidad por dos, uno, el nuevo, apoyado sobre el otro, el más antiguo –por aquel entonces tenía ya un siglo de vida-. El maestro no vio la necesidad de unirlos, de construir ningún tipo de trabazón entre ambos.

**Mampostería.** (De mampostero.) f. Obra hecha con mampuestos colocados y ajustados unos con otros sin sujeción a determinado orden de hiladas o tamaños.

**Mampuesto, ta.** (De mano y puesto.) adj. Dícese del material que se emplea en la obra de mampostería// m. Piedra sin labrar que se puede colocar en obra con la mano.

*Diccionario de la Lengua Española*

Se hace difícil pensar que alguien que contemplase aquella maciza construcción pudiera albergar dudas sobre su capacidad de resistencia en pie para siempre... Pero todo cambió poco tiempo después. Los Salazar, los propietarios, la abandonan prácticamente a la conclusión de la obra (que duró varios años) y durante el transcurso de décadas, siglos, la torre sufre las inclemencias y avatares del tiempo: pierde el tejado, la vegetación invade los resquicios entre los mampuestos, la lluvia trae el agua que lenta pero inexorablemente contribuirá a que se pudra cualquier atisbo de elemento constructivo en madera. Algunas de sus partes se derrumban, otras se agrietan... No sabemos bajo el encargo de quién ni por qué mano pero sí que en el transcurso de todo ese tiempo se realizan algunas reparaciones puntuales que dejarán su



Bizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia

"Ondare sorta heritage selection selección de patrimonio /  
Lienzos de piedra / Salud pétrea"

huella hasta nuestros días. No serán suficientes para que el edificio, abandonado al olvido, se arruine definitivamente.

Pero a pesar de ser una ruina, las monumentales paredes de su torre se mantienen erectas desafiando el horizonte... y desafiando también nuestra capacidad para discernir su estado de salud actual: ¿podrían reutilizarse para acoger nuevamente un uso continuado de ese recinto histórico? Para responder a este interrogante, la DFB, actual propietaria del castillo y responsable de su conservación y difusión de su valor cultural, encarga la realización de un estudio técnico a Labein-Tecnalia, concretamente a su Unidad de Construcción 'Patología y Rehabilitación'<sup>2</sup>.

### ¿La torre es estable? Diagnóstico

Los técnicos que realizan la labor durante los meses de febrero a junio de 2008 tenían como meta determinar la estabilidad y resistencia de los muros. Para ello, tuvieron que realizar en primer lugar una detallada inspección visual para reconocer su sistema constructivo (para lo que contaban como referencia con un estudio histórico<sup>3</sup>). Instalaron un andamio en todo el perímetro interior de la casa torre para permitirles realizar, también en altura, una descripción detallada de la construcción en cada fachada. Bien subidos en ese andamio, bien empleando binoculares (para el caso de las fachadas exteriores)

---

<sup>2</sup> El título del estudio es "Evaluación del estado de los muros de la Casa Torre de San Martín de Muñatones –Muskiz–"

<sup>3</sup> La información recogida fue extraída de la publicación "Torres de las Encartaciones" de J. M. González Cembellín, editado por DFB, año 2004.



Bizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia

"Ondare sorta heritage selection selección de patrimonio /  
Lienzos de piedra / Salud pétreo"

podieron precisar con detalle materiales de fábrica, elementos constructivos –modillones, vanos...-, posibles zonas reparadas... Así llegaron a conclusiones como que “el aparejo que aparece en las fachadas interiores no es uniforme” o que “todos los vanos que se pueden apreciar desde el interior se encuentran enmarcados con sillería arenisca”.

Todo ello concluyó con la definición del perfil constructivo de la torre: un sistema formado por muros apoyados directamente sobre el afloramiento de la roca natural, compuestos por dos –interior y exterior-, sin ninguna trabazón entre ellos, donde el muro exterior se construyó contra el existente, en los cuales la totalidad de los vanos están enmarcados en sillería arenisca y el aparejo es distinto de unas zonas a otras, evidencia de distintas actuaciones de obra. En esta misma fase de trabajo pudieron determinar los principales deterioros y procesos patológicos que aquejan a la torre.

### **‘Patologías’ presentes en los muros de la torre**

- Separación entre el muro exterior y el interior, que no se construyeron conectados en origen.
- Fisuras aparecidas en las esquinas de la torre. Atraviesan el grosor de la pared.
- Se agravan por:
  - Ciclos históricos de cambios térmicos
  - Reformas realizadas con modificación sustancial de la forma de trabajo de parte de la estructura de fábrica

- o No haberse realizado operaciones de mantenimiento del edificio



Extracción de muestra

Tras ese trabajo de campo, de inspección visual de la torre, los técnicos acometieron otra labor, la de laboratorio.

"El resultado del análisis se ajusta a lo observado durante los trabajos de campo". Con esta frase concluye el estudio sobre los diversos ensayos de laboratorio realizados con muestras de los materiales constructivos de la torre, de la piedra caliza y arenisca que constituyen los mampuestos y sillares con que están construidos los muros, y los morteros que sirvieron para unir todas las piezas.



Conocer su composición y propiedades mecánicas ha servido para determinar su resistencia a posibles tensiones y deformaciones,



Bizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia

"Ondare sorta heritage selection selección de patrimonio /  
Lienzos de piedra / Salud pétreo"

realizando cálculos y análisis estructurales, por ejemplo 'mediante elementos finitos'. Crearon un modelo sobre el que introducir datos que reflejaran situaciones hipotéticas, de acuerdo a diferentes niveles de tensión aplicados sobre la estructura –incluida la construcción de una cubierta, por ejemplo-. Obtuvieron así datos del comportamiento en conjunto de los muros de la torre ante esas distintas situaciones.

La conclusión: el conjunto de la estructura de la torre es estable –teniendo en cuenta las tensiones generadas por su propio peso y el viento, fundamentalmente-, si bien presenta un fenómeno destacable que tiene que ver con el hecho de que, desafortunadamente, el maestro del siglo XV no considerara necesario trabar ambos muros.

### **Receta: cosido de acero**

El maestro constructor que en el año 1439 iniciara la obra de reforma de la torre realizó un buen trabajo. Los muros en pie son la mejor evidencia de ello. Sin embargo, el paso del tiempo, tal y como el estudio técnico ha revelado, ha pasado una factura. En aquel muro de grosor impenetrable –compuesto por dos, pegados uno con otro- se advierte una separación, en la parte media de los lienzos. Esta separación, de no corregirse, originaría un debilitamiento en la estabilidad de la torre... que podría acrecentar la inseguridad en el caso de que se decidiera construir un tejado para la reutilización del edificio.



Bizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia

"Ondare sorta heritage selection selección de patrimonio /  
Lienzos de piedra / Salud pétrea"

Al igual que hace medio milenio, hay que conseguir una solución técnica para que la torre cumpla con su cometido. En el pasado, de fortaleza, el maestro constructor optó por adosar un muro a otro, y funcionó. Ahora, de espacio para el ocio y la cultura, los técnicos de Labein-Tecnalia aconsejan corregir esa separación entre muros, conectar 'activamente' ambos, mediante un cosido de barras de acero inoxidable o de fibra de carbono. Todo ello acompañado de la reparación de fisuras y limpieza de vegetación existente, entre otras medidas. En síntesis, permitir a esos muros seguir mostrando durante mucho tiempo una... **salud de piedra**.

## Recomendaciones del estudio

### Actuaciones a corto plazo:

- Eliminar la vegetación existente, presente en juntas y coronación de los muros
- Consolidar y reconstruir la hoja vista del muro interior del alzado Noreste –en la zona de la ventana-
- Sellar las fisuras existentes
- Consolidar las zonas de fábrica que puedan quedar sueltas tras eliminar la vegetación
- Realizar un seguimiento de las fisuras existentes en la fábrica

**Actuaciones a más largo plazo (en caso de que un nuevo uso de la torre conlleve la necesidad de colocar una cubierta y/o forjados):**



- Reparaciones concretas que garanticen la seguridad de la estructura, principalmente de conexión 'activa' de los dos muros, mediante barras de acero inoxidable o fibra de carbono embebidas en morteros de cal, compatibles con los materiales de fábrica
- Un proyecto de reparación y refuerzo, y de reposición del carácter estético y artístico

Para la representación de todas las labores desarrolladas Labein-Tecnalia ha empleado como base la documentación geométrica y modelado virtual del castillo facilitada por la DFB. En las siguientes líneas puede conocerse en más detalle la naturaleza de esta documentación, realizada por el **Laboratorio de documentación geométrica del Patrimonio** gestionado por el Grupo de Investigación en Arqueología de la Arquitectura de la UPV-EHU.

### La torre, al mínimo detalle



El **Laboratorio de documentación geométrica del Patrimonio** gestionado por el Grupo de Investigación en Arqueología de la Arquitectura de la UPV-EHU ha realizado para la DFB-BFA durante el año 2008 el estudio "Documentación geométrica de la muralla interior



Bizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia

"Ondare sorta heritage selection selección de patrimonio /  
Lienzos de piedra / Salud pétrea"

del Castillo de Muñatones". La meta perseguida con este estudio es disponer de una herramienta de ayuda en el estudio histórico y en los trabajos de restauración del monumento. Con él se ha complementado otro anterior, de similares características, centrado en el interior de la torre, finalizado en el año 2005.

El resultado global del estudio consiste en la obtención de un modelo volumétrico del conjunto de la muralla que, completado con ortofotografías de los lienzos exteriores de ésta y una presentación multimedia, permite **visualizar y estudiar** en detalle el edificio para comprender su evolución. Esto es complejo puesto que el castillo es, tal y como lo conocemos hoy, el resultado de un largo proceso acumulativo de construcciones, reconstrucciones, destrucciones y nuevas reconstrucciones. Un proceso iniciado allá por el siglo XIV y que, de hecho, aún no ha concluido.

Enlace del castillo a la Red Geodésica oficial mediante técnicas GPS, levantamiento topográfico y generación de planos de la muralla, realización de ortofotografías, creación de una presentación multimedia para consulta y gestión de toda la información digital generada... han constituido los **hitos principales** de las labores de campo y de gabinete acometidas por el Grupo de Investigación, integrado por los ingenieros Juan Manuel Valle, Ane Lopetegi y Alvaro Rodríguez.



Bizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia

"Ondare sorta heritage selection selección de patrimonio /  
Lienzos de piedra / Salud pétrea"

## ¿Los resultados finales?

En primer lugar un modelo geométrico de la muralla cuya documentación se ha distribuido en tres ficheros, distinguidos por las siguientes áreas: excavación arqueológica, modelo geométrico y ortofotografías correspondientes a alzados exteriores. En segundo, un modelo virtual 3D interactivo presentado en dos formatos: VRML y Sketch Up. Un tercer resultado tangible lo constituirían los planos diseñados, que incluyen plantas de las unidades de la excavación arqueológica, vistas perspectivas del modelo geométrico de la torre, sus alzados y secciones. El cuarto sería una colección de fotografías realizadas desde puntos de vista distintos a los habituales; y, por último, una presentación multimedia con información sobre el proyecto, en lenguaje estándar HTML.

## ¿Cómo se ha conseguido?

En la siguiente tabla y de modo resumido detallamos los principales pasos dados a lo largo del estudio.

### Red topográfica:

Se establecieron varias estaciones, a partir de las cuales se realiza la toma de datos topográficos. Siete de ellas se observaron mediante técnicas GPS, lo que permite conocer sus coordenadas absolutas en el sistema UTM (huso 30). Se han calculado en el sistema de referencia oficial actual, para que sea posible comparar los datos con otros



Bizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia

"Ondare sorta heritage selection selección de patrimonio /  
Lienzos de piedra / Salud pétrea"

trabajos. Tras el trabajo realizado se dispone de un sistema doble de coordenadas, uno de absolutas (UTM) y otro de locales –para ponerlo en relación con el estudio de 2005-.

### **Toma de fotografías:**

La toma se ha realizado mediante un jalón telescópico, que permite elevar la cámara hasta 15 mts. de altura, lo que posibilita alejar la toma lo suficiente para que cada lienzo de muralla quede perfectamente reflejado.

### **Cálculo y edición del modelo geométrico:**

El conjunto de líneas obtenido en campo es volcado a un sistema de dibujo asistido por ordenador donde se procede a su edición. Este proceso consiste en la clasificación de los datos y corrección de errores. Una vez definidos los perímetros que constituyen las diferentes superficies que compondrán el modelo, se procede a su mallado, obteniendo así un modelo de superficies. Se le añade la información de la torre, consiguiendo así una visión realista del conjunto. Con el fin de obtener una representación más adecuada, se procede a ocultar los bordes de las mallas. (Los elementos documentados se hacen con su geometría real, individual para cada uno, sin repeticiones o simetrías –a excepción de las ventanas saeteras-)

## Generación de ortofotografías:

Se ha empleado un programa desarrollado en el Laboratorio, consistente en:

- Carga de fotografías y coordenadas
- Cálculo de posición de la cámara
- Cálculo de posición sobre la fotografía de una selección de mallas que forman el modelo
- Extracción de textura fotográfica y adaptación a geometría real, con almacenamiento en un archivo parcial
- Unión en un fichero tridimensional de los archivos parciales con porciones de textura que corresponden a cada elemento mallado, que representa todas las superficies con textura fotográfica
- Procesado del conjunto, para evitar diferencias en texturas – originadas por la captación de imágenes en condiciones diferentes de iluminación...-

En conjunto, el proceso empleado obtiene una precisión geométrica del entorno del 1% de la superficie fotografiada. Las ortofotografías se han preparado para su presentación en planos a escalas 1/100 y 1/50.

## Un apunte trascendental.

Los ficheros con toda esta información generada se presentan con su correspondiente documentación –son los “metadatos” o información



Bizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia

"Ondare sorta **heritage** selection selección de **patrimonio** /  
**Lienzos de piedra / Salud pétrea**"

estandarizada de la información, esto es, datos del tipo: autor, lugar fotografiado, fecha de la toma, características de la cámara,...-. Este aspecto tiene gran importancia y utilidad pues **permite al usuario la realización de búsquedas tanto locales como a través de Internet**, en el caso de que la información esté en línea. En el documento entregado por el Laboratorio se presenta una primera propuesta de personalización aplicada al ámbito de trabajo citado: cartografía tridimensional de elementos patrimoniales, y corresponde a una estructura de base de datos. Generalmente se tratará de un archivo de texto adjunto en el que la información se organiza según estos bloques temáticos: estándar seguido en el documento, estándar general de metadatos, bibliografía, hipótesis, leyenda y parámetros adicionales.