

Estudio del comportamiento mecánico para la recuperación de una escultura histórica

M. Solís, J. Domínguez

*Escuela Superior de Ingenieros
Universidad de Sevilla, Camino de los Descubrimientos s/n
41092 Sevilla
e-mail: msolis@us.es*

Resumen

En este artículo se presenta parte del trabajo desarrollado para la recuperación de una escultura histórica (El Giraldillo) desde un punto de vista mecánico, dentro del proyecto de restauración integral de dicha obra de arte.

Esta escultura corona la torre de la Catedral de Sevilla, La Giralda, desde el año 1568, haciendo la función de veleta. Resulta por tanto fundamental analizar su comportamiento mecánico de cara a llevar a cabo una restauración tanto de la escultura propiamente dicha como de su estructura interna, que le permita soportar con garantías las distintas acciones mecánicas a las que se ve sometida.

Para ello, se ha construido un modelo de elementos finitos de la Veleta, cuyo análisis, junto con el estudio de las huellas que el paso del tiempo ha ido dejando en ella, han servido para diseñar una nueva estructura interna que sustituya a la anterior, así como una serie de elementos internos que refuercen la escultura.

1. Introducción

El Giraldillo, además de cumplir brillantemente con su función estética sobre la torre de la Giralda, realiza también la función de veleta, lo cual la convierte en un elemento mecánico además de artístico. Así, la escultura está compuesta por una lámina de bronce fundido que se une en varios puntos a una estructura interna de barras, y ésta a su vez se apoya sobre un eje empotrado en la torre alrededor del cual gira el conjunto.

El deterioro que ha sufrido la Veleta durante sus más de 400 años de historia, ha hecho que se pusiera en marcha un ambicioso proyecto de restauración de esta obra de arte. Dentro de este proyecto se hacía necesario el estudio del comportamiento mecánico del Giraldillo para realizar una restauración desde un punto de vista estructural.



Figura 1. Gira/di/lo sobre la Giralda

Esta tarea ha consistido en primer lugar en construir un laborioso modelo de elementos finitos del conjunto de la Veleta. Este modelo ha servido para analizar cómo se comporta el Giraldillo ante las distintas

acciones mecánicas que ha de soportar. De este análisis se ha podido dilucidar cuales han sido las causas principales de su deterioro, y a partir de ahí se ha diseñado una nueva estructura interna que sustituya a la anterior y una serie de elementos internos que refuercen la escultura.

Las distintas fases de este proyecto se describen en los siguientes apartados, empezando con una breve descripción del Giraldillo que sirva para comprender el objeto de este trabajo.

2. Descripción del Giraldillo

El Giraldillo es una escultura formada por una lámina de bronce que representa la figura de una mujer que con la mano derecha en alto sostiene una gran bandera o lábaro con su mástil, y con la izquierda una palma, con una estructura interna de barras de hierro que la sustenta y la une al eje empotrado en la torre sobre el que gira el conjunto.

La figura mide unos 4m de altura y tiene una envergadura frontal del mismo orden, con un peso de unos 1500kg, sin contar con el eje que la sustenta.

La estructura forma una especie de percha sobre la que cuelga la figura de bronce.

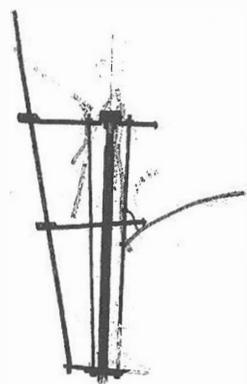


Figura 2. Esquema estructura interna incluidos los flejes unidos al bronce

Básicamente está compuesta por tres cruces o barras horizontales y dos tirantes verticales entre ellas, además del mástil de la bandera y de la barra de la palma.

El eje entra en el interior de la escultura, acabando en una punta de forma ojival que encaja en la pieza central de la cruz superior, a la altura del pecho, de forma que

éste es el único punto de apoyo y giro de la escultura y su estructura sobre el eje. Previamente, el eje ha atravesado en su camino las cruces inferior e intermedia a través de la forma de aro que tienen éstas en su parte central.

La escultura tiene además seis flejes internos de hierro que se unen solo al bronce y sirven como rigidizadores y refuerzos de zonas dañadas.

3. Modelo de elementos finitos

3.1 Construcción del modelo

La parte más laboriosa en el proceso de construcción del modelo de elementos finitos fue la representación geométrica, dada la complejidad de las formas de la escultura.

Se partió de la información digitalizada de una fotogrametría y de un levantamiento tridimensional realizado con un teodolito láser, aplicando técnicas topográficas, además de medidas directas tomadas sobre la figura.

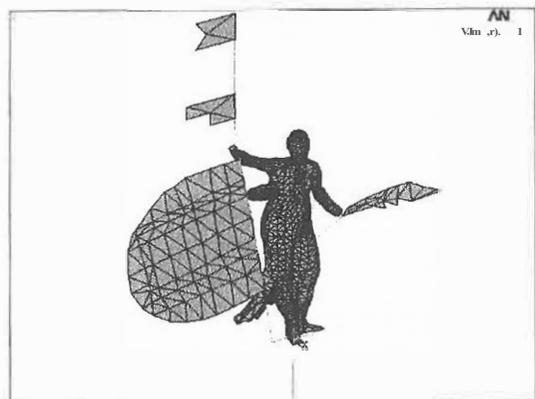


Figura 3. Modelo de elementos finitos

Los espesores de los elementos tipo lámina que modelaban la escultura se aplicaron según medidas realizadas mediante ultrasonidos.

En cuanto a las propiedades mecánicas de los materiales que intervienen en el modelo (bronce y hierro), se aplicaron valores basados en la información encontrada en la literatura en conjunción con los resultados de distintos ensayos realizados sobre el material original para conocer su composición, estructura metalográfica, etc. Además, se realizaron ensayos mecánicos

sobre probetas de bronce fundidas con características similares al original.

Con toda esta información se construyó un primer modelo que no incluía los distintos daños o defectos que presenta el Giraldillo, por lo que no reflejaba su situación real. Sin embargo, este primer modelo sirvió por un lado para verificar su funcionamiento y realizar las mejoras que se creyeron oportunas y, por otro lado, para tener una idea de cuál hubiera sido el comportamiento de un Giraldillo original sin ningún tipo de defecto, lo cual permitiría deducir hasta qué punto las acciones mecánicas que ha debido soportar a lo largo del tiempo habían podido provocar su deterioro.

Tras el análisis de este primer modelo se pasó a considerar los principales de daños que presenta el Giraldillo. Se ha contemplado la presencia de grietas, apósitos y agujeros sobre la escultura, modelándolos de una forma sencilla pero que refleje suficientemente bien su presencia en los resultados.

3.2 Acciones consideradas

En el análisis del modelo se han considerado los distintos tipos de sollicitaciones que ha sufrido El Giraldillo a lo largo de su historia. Para considerar cada una de ellas se han considerado diversas normativas y se han tenido en cuenta registros experimentales de temperaturas, velocidad del viento y orientación del Giraldillo, realizados cuando todavía permanecía éste sobre la Giraldilla.

Las distintas acciones consideradas son las siguientes:

- Peso propio
- Cargas térmicas.
- Acción del viento
- Acciones sísmicas

4. Análisis de los resultados obtenidos con el modelo

Se han analizado los niveles de tensión y desplazamientos que se producen tanto en la escultura como en la estructura interna. Según los resultados obtenidos, se ha podido concluir que las acciones más dañinas para el Giraldillo han sido las acciones térmicas,

aparte de un posible terremoto. Por el contrario, el efecto del peso propio y del viento es mínimo.

En cualquier caso, la Veleta resiste holgadamente los esfuerzos a los que se ve sometida, lo cual viene a apoyar la hipótesis de que los defectos provienen de la fundición y montaje originales y de las manipulaciones que ha sufrido con posterioridad, pero no de las acciones mecánicas que ha debido soportar. Esta hipótesis fue planteada también a partir del estudio realizado sobre la figura (limpieza, desmontaje de apósitos, estudio histórico, etc.).

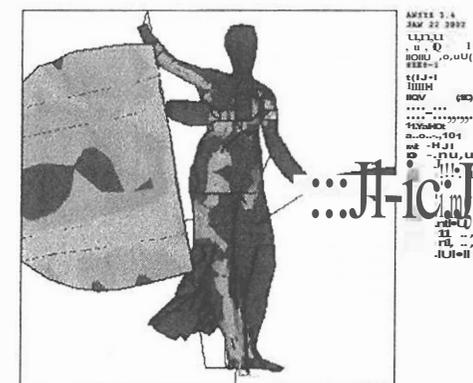


Figura 4. Ejemplo de mapa de tensiones obtenido

5. Restauración estructural

El resultado anterior permitió concluir que se podía llevar a cabo una restauración completa desde un punto de vista mecánico, de forma que el Giraldillo pudiera ser devuelto a su lugar habitual con total garantía para su conservación. Esta restauración está llevándose a cabo en la actualidad, por lo que la descripción que se realiza a continuación no puede ser completa.

Hasta el momento, se ha desmontado la estructura de barras y los flejes internos, sustituyéndose éstos por otros de bronce más rígidos. Estos nuevos rigidizadores han sido construidos por fundición, a partir de moldes del interior de la escultura realizados con cera. En lugar de los cuatro flejes longitudinales que tenía anteriormente ahora tendrá seis, además de otros transversales que darán más rigidez al conjunto.

Estos refuerzos se han construido en bronce para mejorar la compatibilidad con la escultura en cuanto a corrosión y a dilataciones diferenciales por efecto de la temperatura.

Por el mismo motivo, la estructura interna será construida con acero inoxidable. Su diseño será muy parecido al de la anterior, aunque las barras serán configuradas por

pletinas, con lo que será más ligera pero sin pérdida de resistencia ni rigidez. Por otro lado, la transmisión de esfuerzos entre la escultura y la estructura se realizará de forma menos dañina que antes.

Con todo esto, se conseguirá que el Giraldilla pueda lugar a su ubicación original con el mínimo riesgo de deterioro.

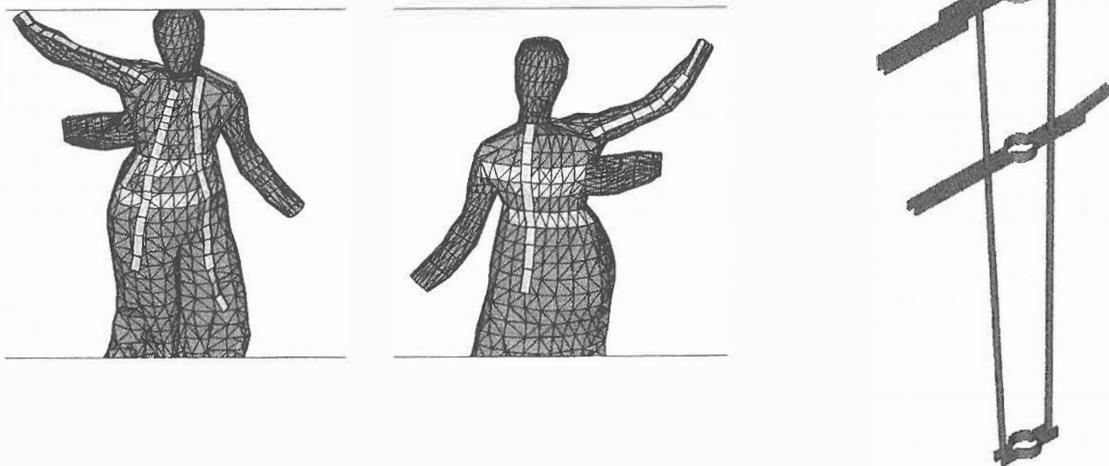


Figura 5. Esquema de los elementos de refuerzo internos sobre el modelo de elementos finitos y diseño aproximado de la nueva estructura interna