

COMPROBACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DEL ANFITEATRO

**TEATRO CEREZO DE CARMONA. (SEVILLA)**

**EXCMO. AYUNTAMIENTO DE CARMONA**

12 DE DICIEMBRE DE 2005

## **INDICE**

1. ANTECEDENTES
2. COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL.
  - 2.1 NORMATIVA.
  - 2.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES. COEFICIENTES DE SEGURIDAD.
  - 2.3 BASES DE CÁLCULO.
  - 2.4 ACCIONES CONSIDERADAS E HIPÓTESIS DE CARGAS.
  - 2.5 COMPROBACIONES REALIZADAS.
    - 2.5.1 GRADERÍO. ALAS IZQUIERDA Y DERECHA. VIGAS.
    - 2.5.2 GRADERÍO. ZONA CENTRAL. CERCHAS.
    - 2.5.3 GRADERÍO. VIGA VG-1.
    - 2.5.4 VIGA DE FORJADO. PLANTA 1ª
    - 2.5.5 GRADERÍO. VIGA VG-2.
    - 2.5.6 GRADERÍO. VIGA V-2
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN

## **1.- ANTECEDENTES**

De acuerdo con el Plan de Control establecido se elabora el presente informe de comprobación de la estructura del anfiteatro (gradas) del Teatro Cerezo de Carmona (Sevilla).

Todas las características geométricas y disposiciones constructivas han sido determinadas en los trabajos de campo realizados.

Este informe de comprobación forma parte de otro informe más amplio de estudio del edificio antes mencionado, donde se describen con más detalle sus características.

La presente comprobación tiene como objetivo determinar si los elementos estructurales de acero de las gradas del edificio, cuya geometría y características resistentes han sido obtenidas mediante los ensayos puntuales y aperturas de catas descritas, cumplen los estados límites últimos según la normativa vigente, para las cargas de uso previstas.

No es objeto de este informe la comprobación del resto de la estructura, la cimentación, ni la de los muros.

## **2.- COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL.**

### **2.1.- Normativa.**

Se indica a continuación la normativa empleada en las comprobaciones:

- NBE AE-95. Estructuras de Acero en Edificación
- NBE AE-88. Acciones en la Edificación.
- NTE. Normas Tecnológicas de la Edificación.

### **2.2.- Propiedades de los materiales. Coeficientes de seguridad.**

Dada la discrepancia de los valores de resistencia de los aceros analizados, obtenidos a partir de los valores de dureza realizados.

Tomamos para la comprobación de la estructura se han considerado las características resistentes del acero A37.

Límite elástico:  $\sigma_e = 2400 \text{ Kp/cm}^2$

Coeficiente de minoración de resistencias:  $\gamma_a = 1.1$   
(art. 3.1.7 NBE-EA-95)

Tensión admisible:  $\sigma_e = 2400 \text{ Kp/cm}^2 / 1.1 = 2182 \text{ Kp/cm}^2$

### **2.3.- Bases de Cálculo.**

Las comprobaciones de la estructura de los forjados de acero laminado se efectúan siguiendo criterios de la Norma NBE-EA-95, estableciéndose las hipótesis de carga más desfavorable.

El programa utilizado en las comprobaciones (METALPLA) calcula los esfuerzos a los que cada uno de los elementos estructurales está sometido.

Para todos los estados de carga se realiza un cálculo estático y se supone un comportamiento lineal de los materiales y, por tanto, un cálculo de primer orden, dirigido a la obtención de esfuerzos y desplazamientos.

El análisis de las sollicitaciones se realiza por métodos matriciales de rigidez, formada por los elementos que definen las barras la estructura.

Para la obtención de los esfuerzos se ha tenido en cuenta los parámetros e hipótesis establecidos en la actual NBE-EA-95.

## **Tensiones**

En la comprobación de los esfuerzos se ha utilizado la siguiente expresión:

$$\sigma^* = \omega \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x}$$

Siendo:

- $\sigma^*$  Tensión de cálculo ponderada en  $\text{kg/cm}^2$
- $\omega$  Coeficiente de pandeo
- $N^*$  Axil de cálculo mayorado
- $A$  Área de la sección
- $W_x$  Módulo resistente de la sección en el eje X ( $\text{cm}^3$ )
- $M^*$  Momento de cálculo mayorado

Los valores de tensión obtenidos en todos los casos analizados son inferiores a la tensión admisible para una acero A42 ( $\sigma_{\text{adm}} = 2600 \text{ kg/cm}^2$ )

## **Deformaciones**

El cálculo de la flecha se realiza según el artículo 3.4.4.1 de la EA-95:

$$f(mm) = \frac{\delta(Kp/mm^2) * L^2(m^2)}{h(cm)}, \text{ donde}$$

f	Flecha de la viga.
$\alpha$	Coeficiente que depende de la clase de sustentación y del tipo de carga.
$\delta$	Tensión máxima producida por el máximo momento flector característico.
L	Luz del vano
h	Canto del perfil

Con relación a las deformaciones, éstas deberán valorarse en función de los posibles daños, teniendo en cuenta que debido al uso al que se encuentra sometida la estructura no existen prácticamente tabiquerías intermedias, por lo que las deformaciones deberán valorarse sobre la base de las futuras actuaciones que se lleven a cabo.

#### **2.4.- Acciones consideradas e Hipótesis de carga.**

Se consideran las siguientes acciones de acuerdo con la normativa actualmente en vigor:

##### **GRAVITATORIAS:**

##### **Cargas Permanentes:**

###### **Forjados**

CF-2	190 kp/m <sup>2</sup>
CF-6	130 kp/m <sup>2</sup>
CF-7	190 kp/m <sup>2</sup>
Solería	100 kp/m <sup>2</sup>
Falso techo	100 kp/m <sup>2</sup>

###### **Cerchas y perfiles metálicos**

Peso del acero	7850 kp/m <sup>3</sup>
----------------	------------------------

##### **Sobrecargas:**

Uso	500 kp/m <sup>2</sup>
-----	-----------------------

En el antepecho se ha considerado una carga lineal de 135 kg/ml.

Al tratarse de un estudio para la rehabilitación de un edificio construido, no es obligatoria la consideración de la acción sísmica.

## 2.5. Comprobaciones realizadas.

Con las características geométricas definidas en las catas efectuadas se ha procedido a la comprobación de distintos elementos estructurales. Los resultados obtenidos para estos elementos deben entenderse como un chequeo, siendo preciso extrapolar las conclusiones obtenidas del lado de la seguridad.

### 2.5.1.- Graderío. Alas izquierda y derecha. Vigas

Se han considerado empotradas en el muro de fachada y apoyadas en el muro interior. Estas vigas salvan luces similares variando tan sólo la parte volada.

La comprobación se ha realizado para la situación más desfavorable, con un vuelo de 2.00 metros.

En la comprobación se ha obtenido que los perfiles solicitan tensiones inferiores a la admisible ( $\sigma_{adm} = 2182 \text{ kg/cm}^2$ ), con un grado de aprovechamiento del perfil del 77.5% que equivale a una tensión de cálculo de  $1691 \text{ kg/cm}^2$ .

Referente a las deformaciones se ha obtenido una flecha en punta de 11.5 mm ( $f/l = 1/133$ ) a cargas totales, pasando a 5.8 mm con las sobrecargas.

### 2.5.2.- Graderío. Zona central. Cerchas

En la comprobación se ha tomado como esquema de cálculo el recogido en la figura 1, donde se recogen la numeración de las barras.

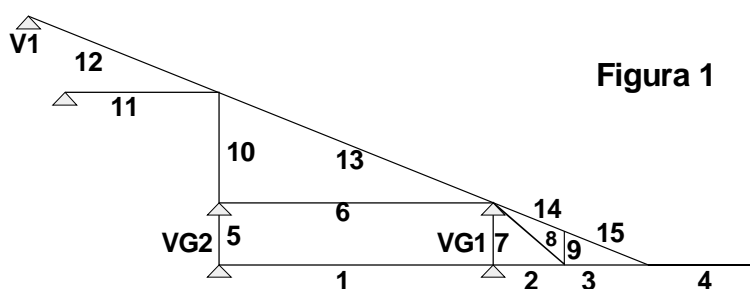


Figura 1

En la siguiente tabla se recogen los valores de tensión de cada barra, así como el coeficiente de pandeo de los elementos comprimidos

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$N_d(t)$	0.0	-5.8	-5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	-1.0	-3.7	-0.7	-0.3	0.5	5.1	5.5
$\omega$	1.1	1.2	1.2	/	/	/	/	/	1.1	1.1	6.8	1.4	/	/	/
$\sigma_N \cdot (kg/m^2)$	0	389	389	0	0	0	0	227	184	429	508	22	13	833	897
$M_d \cdot (m.t)$	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	2.5	0.1	0.1
$\sigma_M$ Error! Vínculo no válido.	0	0	1219	1219	0	0	0					2100	711	3225	3225
$\sigma_{Total} \cdot (kg/m^2)$	0	389	1608	1219	0	0	0	227	184	429	509	2122	425	4059	4122

Tabla 1

Como se puede observar en la tabla la barra 11 el comportamiento a pandeo presenta un índice alto de inestabilidad ( $\lambda > 200$ ), no obstante solicita tensiones inferiores a la admisible. Referente a las barras 14 y 15, éstas se encuentran agotadas, debiendo procederse a su refuerzo.

### 2.5.3.- Graderío. Viga VG-1

En la comprobación se ha tomado como esquema de cálculo el recogido en la figura 2, donde se recogen la numeración de las barras.

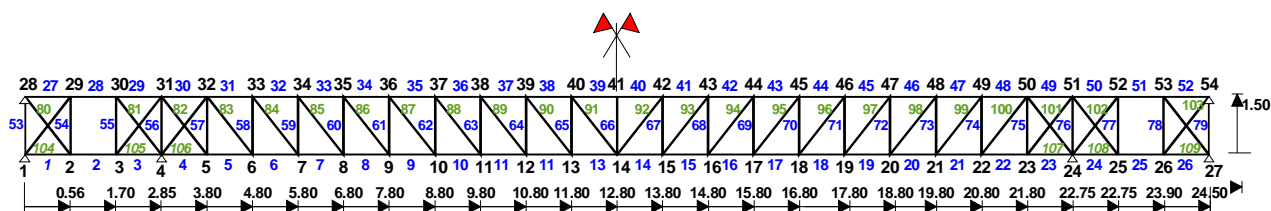


Figura 2

En la siguiente tabla se recogen las tensiones más desfavorables obtenidas a para cada tipo de barra y perfil.

Barra	Tipo	$\omega$	$N_d$ (t)	$\sigma_N \cdot$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_d$ (m.t)	$\sigma_M \cdot$ (kg/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{Total} \cdot$ (kg/m <sup>2</sup> )
39/40	Pares	1.02	108.2	972	/	/	972
58	Montantes	1.14	35.8	1086	/	/	1086
83	Diagonal	1.00	42.8	1009	/	/	1009
87	Diagonal	1.00	23.68	1039	/	/	1039
Celdas extremas	Viga alma llena	/	/	/	138.0	694	694
Celdas extremas	Viga alma vacía	/	/	/	80.8	525	525

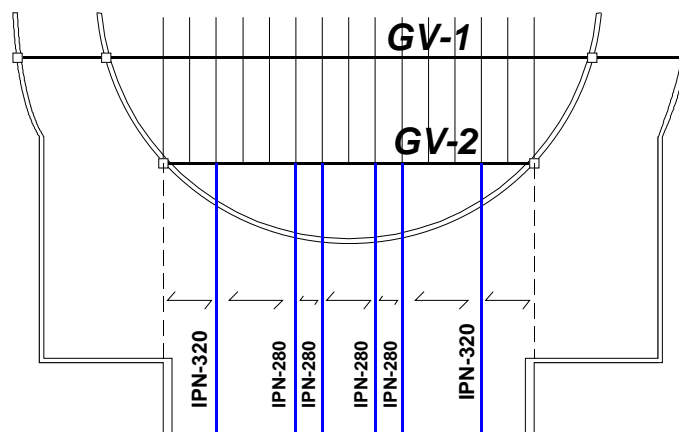


Como se deduce de la tabla las tensiones de las barras solicitan tensiones inferiores a la admisible

Referente a las deformaciones se ha obtenido una flecha máxima de 27.0 mm. con una relación  $f/l = 1/907$ .

#### **2.5.4.- Vigas de forjado de planta 1ª**

Previo al cálculo de la viga VG-2, se realiza el calculo de las vigas del forjado del vestíbulo de planta 1ª formado por perfiles IPN-320 e IPN-280.



**Figura 3**

El cálculo de los esfuerzos se realiza considerando las vigas trabajando en continuidad de dos vanos.

Calculados los esfuerzos, para las condiciones más desfavorables y considerando el apoyo intermedio en el muro, se obtienen unas tensiones máximas de  $2038 \text{ kg/cm}^2$  para la viga IPN-320 y de  $1853 \text{ kg/cm}^2$  para la viga IPN-280, inferiores a la admisible.

### 2.5.5.- Graderío. Viga VG-2

En la comprobación se ha tomado como esquema de cálculo el recogido en la figura 3, donde se recogen la numeración de las barras.

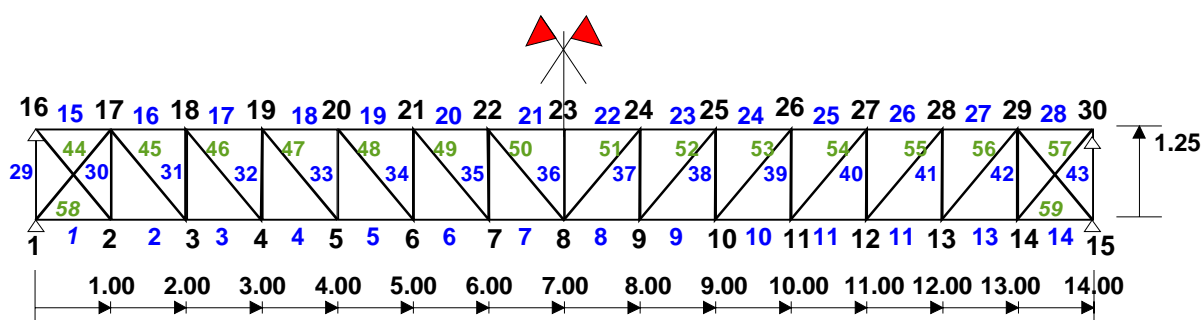


Figura 4

En la siguiente tabla se recogen las tensiones más desfavorables obtenidas a para cada tipo de barra y perfil.

Barra	Tipo	$\omega$	$N_d$ (t)	$\sigma_{N\cdot}$ (kg/m <sup>2</sup> )
21/22	Pares	1.03	104.0	1580
30	Montantes	1.21	31.1	2004
33	Montantes	1.33	18.9	1825
34	Montantes	1.53	12.9	2106
44	Diagonal	/	41.0	1798
47	Diagonal	/	24.4	1197
48	Diagonal	/	19.5	1735
50	Diagonal	/	2.3	267

Como se deduce de la tabla las tensiones todas las barras solicitan tensiones inferiores a la admisible.

### **2.5.5.- Graderío. Viga V-1**

En la comprobación de la viga se han considerado las siguientes características resistentes, calculadas de la composición de los perfiles que conforman la viga:

Área:	210 cm <sup>2</sup>
Inercia:	333617 cm <sup>4</sup>
Módulo resistencia:	6673 cm <sup>3</sup>

El cálculo de los esfuerzos se ha realizado mediante la consideración de una viga simplemente apoyada, obteniéndose una tensión máxima de 1601 kg/cm<sup>2</sup>.

Referente a las deformaciones se ha obtenido una flecha máxima de 21.50 mm., con una relación flecha-luz de 1/645.

### **3.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN.**

Se recogen a continuación las conclusiones más relevantes que pueden extraerse del presente informe:

- Se han comprobado los elementos que intervienen en la estructura metálica horizontal del anfiteatro.

Estructura inclinada del graderío central.  
Vigas de voladizo de las alas del anfiteatro.  
Viga VG-1  
Viga VG-2  
Vigas del forjado del vestíbulo de planta primera  
Viga V-1

- En la comprobación se ha estimado un acero de calidad A37.
- En la comprobación de los diferentes elementos se han utilizado las características resistentes y dimensiones obtenidos en los trabajos de campo realizados.

- En el cálculo se han obtenido valores de tensión inferior a la tensión admisible, a excepción de las barras 14 y 15 del graderío central, recogido en la figura 1, que solicitan tensiones superiores a la tensión a la admisible.
- Referente a la barra 11 de la estructura de graderío central, figura 1, presenta una esbeltez excesiva, recomendándose duplicar los perfiles existente mediante dos perfiles L60.6.
- Como último punto indicamos, a nuestro criterio el refuerzo a disponer en las barras 14 y 15 de la estructura del graderío central.

Dada que no es recomendable utilizar la soldadura podríamos pensar es sustituir los perfiles actuales, 2 L40.4.5, por dos perfiles L100.10

Finalmente, aclarar que en el presente informe se han realizado las comprobaciones solicitadas teniendo en cuenta los criterios de estabilidad y seguridad definidos en la Normativa Actual, aplicándolos a la estructura de un edificio construido hace más 50 años, y en uso desde entonces, en el que no se aprecian anomalías significativas en cuanto al comportamiento resistente de su estructura.

Cristóbal Sánchez Domínguez.  
Ingeniero Industrial.  
Jefe de Área.

José Luis Rojas de la Puerta  
Químico  
Dtor. de Laboratorio

Sevilla, a 12 de diciembre de 2005

Roberto Lacave Morillo  
Ingeniero Técnico Industrial.  
Dpto. Estructura Metálica.

Hermenegildo Sanz Daza.  
Jefe Dpto. Estructura.  
VºBº

<sup>1</sup>Los resultados que se expresan en el presente informe corresponde sólo a los análisis o ensayos efectuados a la/s muestra/s ensayadas, por lo que no pueden hacerse extensivos a otros materiales

Queda prohibida la reproducción total o parcial de estos datos o informe, con fines publicitarios

Este informe debe ser considerado en su conjunto, por lo que no puede ser fragmentado en partes

Este informe consta de doce páginas debidamente selladas y numeradas.