



► **Hoja de Control Documental: Memoria**
INFORME 104R06

Descripción:

Simulación comportamiento estructural ESCENARIO modular desmontable

Cliente: ESCENASTUR S.L.

Item: Escenario módulos 2440 mm x 2440 mm

Rev.	Cambios	Fecha
0	Edición original	12 / 06 / 06



	Edición original		
Emitido por	Roberto Suárez Sierra		
Aprobado por	José Luis Suárez Sierra		

ÍNDICE

1. OBJETO.....	4
2. ANTECEDENTES	4
3. ORDENACIÓN DEL TRABAJO	5
4. METODOLOGÍA	6
4.1. Estados límites.....	6
4.1.1. Estados límite últimos (ELU)	7
4.1.2. Estados límite de servicio (ELS)	7
4.2. Procedimiento de Trabajo	8
5. DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO: MODELIZACIÓN	9
5.1. Modelización	13
6. DISCRETIZACIÓN EN ELEMENTOS FINITOS.....	13
6.1. Elemento Beam 189	14
6.2. Elemento Shell 93.....	14
6.3. Elemento Link 8.....	15
7. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	16
8. CONDICIONES DE CONTORNO	17
8.1. Apoyos.....	17

8.2.	Acciones	18
8.3.	Casos de carga.....	19
9.	TÉCNICA DE CÁLCULO	20
9.1.	Análisis Estático.....	20
9.2.	Análisis de estabilidad elástica	21
10.	POSTPROCESO DE RESULTADOS.....	22
10.1.	Resultados Análisis Estático	22
10.1.1.	Resistencia: Tensiones	22
10.1.2.	Desplazamientos: Flechas.....	23
10.2.	Resultados Análisis Estabilidad Elástica.....	23
10.2.1.	Pandeo Global	23
10.2.2.	Pandeo Local	23
11.	VALIDACIÓN DE RESULTADOS Y COMPROBACIONES ADICIONALES	24
11.1.	Reacciones	24
11.2.	Uniones	25
12.	CONCLUSIONES	26
ANEXO 1: MODELIZACIÓN		
ANEXO 2: RESULTADOS		

1. OBJETO

El presente trabajo desarrolla la simulación del comportamiento de la estructura resistente de un escenario modular desmontable, empleando para ello técnicas de cálculo basadas en métodos numéricos.

El peticionario del informe ha sido la empresa ESCENASTUR S.L., quien ha proporcionado todos los datos necesarios para poder realizar las distintas simulaciones, así como la propuesta del diseño de partida.

El objetivo del presente estudio será, la validación de los elementos estructurales del escenario, a partir del diseño base propuesto por ESCENASTUR, según distintas hipótesis de carga.

2. ANTECEDENTES

Se han establecido, de mutuo acuerdo con ESCENASTUR S.L., los siguientes ítems de estudio:

- Valoración de las distintas acciones, sus hipótesis de combinación, así como los distintos modos de fallo a simular (en colaboración con el cliente y para aprobación de todo ello por parte del mismo)
- Construcción del modelo o los modelos de elementos finitos que permitan la comprobación de la seguridad que presenta la estructura proyectada, frente los distintos modos de fallo aplicables
- Simulación propiamente dicha, con el algoritmo que se considere oportuno en cada caso

- Postproceso de resultados para cada modo de fallo, realizando los oportunos chequeos y ajustes
- Elaboración de un informe justificativo con las conclusiones obtenidas

Así, tras distintas conversaciones, se procede a la construcción de los modelos y la ejecución de las simulaciones la semana 22, continuando con la redacción del presente documento la misma semana 22 y la 23, todas ellas del año 2006.

3. ORDENACIÓN DEL TRABAJO

Para valorar la seguridad estructural de los elementos en estudio, se ha optado por realizar el análisis en profundidad con un modelo numérico 3D de todo el conjunto, buscando reproducir los modos de fallo predominantes, como consecuencia de las condiciones de contorno aplicables (cargas y apoyos).

Así, la memoria propiamente dicha, comienza con la METODOLOGÍA seguida en el estudio y la DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO y su MODELIZACIÓN, de manera que los esquemas de cálculo adoptados con sus inevitables simplificaciones, permitan reproducir los distintos estados límites o modos de fallo posibles.

Se continúa con la DISCRETIZACIÓN EN ELEMENTOS FINITOS, describiendo los elementos finitos empleados, sus opciones y la teoría que subyace a su formulación, así como con la enumeración de las PROPIEDADES DE LOS MATERIALES y las CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO empleadas en cada caso.

Posteriormente se comenta la TÉCNICA DE CÁLCULO, donde se analizan los algoritmos de solución empleados en cada caso, para dar paso a la fase de POSTPROCESO DE RESULTADOS, donde se revisan tanto los RESULTADOS del ANÁLISIS ESTÁTICO: TENSIONES EN RESISTENCIA y FLECHAS EN DESPLAZAMIENTOS, así como la ESTABILIDAD ELÁSTICA: MODOS DE PANDEO obtenidos (globales y locales).

Por último, en la VALIDACIÓN DE RESULTADOS y en las CONCLUSIONES, se realizan los comentarios finales que matizan el presente informe.

Se incluyen también 2 ANEXOS que recogen las figuras tanto de los modelos como de los resultados obtenidos, en base a las simulaciones efectuadas.

4. METODOLOGÍA

Metodológicamente en el trabajo se distinguen dos fases fundamentales:

- En una primera fase se valoran los distintos “estados límite” o modos de fallo, según los factores susceptibles de condicionar la seguridad del conjunto
- En una segunda fase se simulan los efectos de la aplicación de los mismos sobre la estructura y cada uno de sus componentes, con ayuda del método de los elementos finitos

4.1. ESTADOS LÍMITES

En el método de los estados límite, se definen estos como aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que la estructura (o elemento estructural) no cumple alguna de las funciones para las que ha sido proyectada.

Generalmente los estados límites se clasifican en:

- Estados límite últimos
- Estados límite de servicio

4.1.1. ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS (ELU)

Se relacionan con la seguridad del escenario y sus elementos resistentes, siendo todos aquellos modos de fallo que pueden producir una puesta fuera de servicio de aquel, por colapso o por rotura del conjunto, o una parte del mismo.

Tras valorar los distintos casos de uso, se consideran como significativos los siguientes modos de fallo:

- Resistencia, sin superar el valor de agotamiento de tensiones en ninguno de sus puntos
- Pérdida de la estabilidad elástica global (en todo el conjunto) o local (en alguna barra o pieza).

No se considera el estado límite de equilibrio estático como sólido rígido (vuelco y deslizamiento), al suponer que la estructura del escenario se fija de forma adecuada en su ubicación definitiva.

Tampoco se considera el estado límite de fatiga, al no verse la estructura sometida a ciclos de carga repetidos de forma continuada, según las indicaciones recibidas.

4.1.2. ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO (ELS)

Se consideran como estados límite de servicio o de utilización, todas aquellas situaciones a las que se pueda ver sometido el conjunto y que motiven que no se cumplan los requisitos de funcionalidad, de durabilidad o de aspecto requeridos.

- El estado límite de deformación excesiva (flechas o giros), se comprobará explícitamente.

El estado límite de vibraciones, caracterizado por la producción en la estructura de vibraciones de una determinada amplitud y frecuencia, función de sus frecuencias naturales de vibración, se considera también fuera del objeto del presente informe.

En cualquier caso, tanto las uniones, como la ejecución en taller y el eventual montaje en obra, las tolerancias dimensionales y la protección de las superficies, deben respetar todo lo indicado en la normativa de referencia NBE-EA-95, parte 5.

4.2. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

Debe comprobarse que la estructura en estudio, no superen ninguno de los estados límite anteriormente definidos.

El procedimiento de comprobación para un cierto estado límite, consiste en deducir, por una parte, el efecto de las acciones aplicadas sobre el escenario y, por otra, la respuesta del mismo para la situación límite en estudio.

El estado límite quedará garantizado si se verifica, con una fiabilidad aceptable, que la respuesta estructural no es inferior que el efecto de las acciones aplicadas.

Para la determinación del efecto de las acciones, debe considerarse la definición de las mismas y los casos de carga contemplados en el apartado 8 del presente informe.

Para la determinación de la respuesta estructural, debe idealizarse tanto la geometría del escenario, como las acciones y las condiciones de apoyo mediante un modelo matemático adecuado, es decir, que sea capaz de reproducir el modo de fallo en estudio.

5. DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO: MODELIZACIÓN

Se trata de modelar la estructura principal de un escenario, de planta rectangular (12200 mm x 7320 mm aprox.), totalmente modular y desmontable, para su uso en eventos socio-culturales (conciertos de música fundamentalmente), constituido por una plataforma elevada y la correspondiente cubierta a una aguada, soportada por 4 pilares que descansan en cada una de las esquinas de la plataforma.

Una breve descripción de los módulos con sus piezas principales, se resumen en los siguientes puntos y se complementa con la información gráfica del anexo 1:

- Plataformas modulares en planta cuadrada de 2440 mm x 2440 mm a ejes: formada por 4 alineaciones transversales al escenario, con pórticos en U y L, según la secuencia L+L+U+L+L; estas 4 alineaciones de pórticos, se atan en su dirección perpendicular 6 alineaciones de largueros; los 24 soportes resultantes llevan soldada a su extremo una pequeña placa de apoyo que descansará sobre los correspondientes forros de nivelación en la transmisión de esfuerzos al terreno; por último, la zona de piso de cada módulo, se reticula en 4 cuadrantes con la ayuda de largueros (1 largo y 2 cortos en cada cuadrante):
 - Pórticos en U (invertida): formado por 2 soportes de 1500 mm de longitud en tubo cuadrado 60x2, soldados en sus extremos a un dintel superior en tubo rectangular de 80x40x2; las esquinas se refuerzan con sendas tornapuntas de unos 500 mm de longitud en tubo cuadrado de 30x2
 - Pórticos en L (invertida): formado por un soporte de 1500 mm de longitud en tubo cuadrado 60x2, soldado en su extremo a un dintel en tubo rectangular de 80x40x2; de igual forma la esquina se refuerza con una tornapunta de 500 mm de longitud en tubo cuadrado de 30x2
 - Largueros superiores de atado: tramos de 2440 mm en tubo rectangular de 80x40x2; la unión de atado entre pórticos (6 alineaciones) se realiza mediante el correspondiente juego de casquillos en tubo cuadrado

macho hembra (tubo 35x2 sobre soportes de pórticos y 30x2 sobre extremos de largueros soldados perpendicularmente a los mismos), en su tramo central y en las caras correspondientes, se suelda un casquillo en forma de U (55x55x55x4), que sirve de asiento (a modo de cuna) para recibir los largueros de la retícula de piso de cada módulo

- Largueros superiores en retícula: largos de 2440 mm y cortos de 1220 mm aprox. en tubo rectangular de 80x40x2; la unión de los tramos cortos sobre los largos se realiza con el mismo sistema de casquillos en U descritos en el punto anterior
- Pilares: 4 en las esquinas y 1 opcional en la parte central trasera del escenario
 - Esquinas: formadas por 4 pilares de unos 6 metros de longitud en tubo rectangular de 60x60x3; en su parte superior disponen de una polea, utilizada en las labores de montaje de la cubierta; en la parte inferior, se aloja telescópicamente sobre un casquillo de 350 mm de longitud soldado sobre el correspondiente pórtico de esquina de la plataforma, en tubo cuadrado de 70x4, siendo fijado al mismo con un pasador de 8 mm calidad 8.8 (taladro de 10 mm) a media altura; la cubierta es izada hasta una longitud máxima de 5 metros en la parte trasera y 6 metros en la parte delantera
 - Central trasero (opcional): sube desde la plataforma en tubo cuadrado de 60x60x3, hasta la unión de las placas testeras de la viga trasera; en caso de instalación, se debe procurar su continuidad hasta su apoyo en el terreno, con los correspondientes forros de nivelación
- Cubierta: planta cuadrada, formada por 2 vigas en celosía perimetrales (frontal y trasera), y 2 perimetrales laterales (izquierda y derecha) y las correspondientes correas:
 - Vigas perimetrales (frontal y trasera): configuradas como celosías tipo Vierendel con un canto de 270 mm, desmontables cada una en 2 mitades de unos 6100 mm aproximadamente, que se unen en el vano

central con ayuda de unas placas testeras de 270x200x10 mm y 3 tornillos de M18 y calidad 8.8 con un perfil de refuerzo inferior de la unión en tubo rectangular de 70x30x2, en aproximadamente 1 metro de longitud unido por abrazaderas al cordón inferior; el cordón superior y los montantes son de tubo cuadrado de 50x2 y el cordón inferior del mismo tubo, pero reforzado lateralmente (hacia el interior del escenario) con otro tubo rectangular de 80x40x2, sobre el que se sitúan los elementos en forma de gancho que facilitan la unión del toldo de cubierta; sobre cada montante se sitúa un casquillo de tubo de 35x35x2 y unos 100 mm de longitud, que hace las funciones de hembra en la unión con el casquillo extremo de las correas de cubierta; a su vez, sobre cada extremo, se sitúa soldado sobre el correspondiente montante un casquillo de su misma longitud en tubo cuadrado de 90x5, que facilitan el deslizamiento telescópico en montaje sobre cada uno de los pilares de esquina siendo fijados finalmente con un pasador de 14 mm calidad 8.8 (taladro de 16 mm)

- Vigas perimetrales laterales (izquierda y derecha): configuración en forma de L invertida en un solo tramo de unos 7320 mm y cantos de 150 mm, con ambas caras también en celosías tipo Vierendel, formadas por cordones y montantes en tubo cuadrado de 30x2; sobre el cordón que forma la esquina de la L, se sitúan también los ganchos que facilitan la unión del toldo; la unión en las esquinas, se realiza por apoyo sobre las vigas frontales con los correspondientes juegos de casquillos macho y hembra de 35x35x2 (en extremos vigas frontales y traseras) y 30x30x2 (en extremos vigas laterales)
- Correas: 10 tubos rectangulares 80x40x2 con una longitud de unos 7320 mm; en cada extremo llevan soldados perpendicularmente los correspondientes casquillos macho en tubo de 30x30x2, que permiten su fijación sobre los correspondientes casquillos hembra, soldados a cada montante de las celosías frontal y trasera

- Sistema de arriostramiento:

- Plataforma: se arriostran las caras exteriores de los 4 módulos de esquina, con una cruz de San Andrés en tubo cuadrado de 30x2, siendo materializada la unión sobre los soportes superiormente en su esquina e inferiormente a 300 mm aproximadamente del terreno, con pasadores soldados a la estructura de los pórticos (6 mm calidad 8.8 taladro de 8 mm sobre el tubo de arriostramiento); a su vez y a la altura de los 300 mm se atan entre sí los correspondientes soportes arriostrados con el mismo tipo de tubo y el mismo sistema de unión
- Pilares: se arriostran los 2 pilares traseros con 2 perfiles cada uno en tubo rectangular 40x30x2, que arrancando desde una altura de unos 500 mm por debajo de la cubierta y siguiendo las caras laterales y traseras del escenario, se fija sobre los correspondientes soportes a una altura de unos 400 mm por debajo del piso de la plataforma; el sistema de unión de los arriostrados tanto al pilar como al soporte de la plataforma, se realiza mediante abrazaderas de presión
- Auxiliares: opcionalmente se dispondrán cables a modo de vientos, desde el extremo superior de los pilares (4 esquinas y el trasero), a picas de acero corrugado de 20 mm de diámetro y 1000 mm de longitud de empotramiento en el terreno, formando un ángulo en el entorno de los 45° entre el cable y la superficie del terreno; de igual forma se debe atirantar el plano de cubierta. (Todo ello se recoge gráficamente en la figura A1F13: Modelo de elementos finitos: modelo atirantado frente al viento)

Como zona de piso en la plataforma se utiliza un tablero contrachapado (tipo Forest Traffic) en madera 100% abedul de dimensiones 2440 x 1220 x 18 mm, (según TU 5512-001-44769167-97) convenientemente fijado perimetralmente mediante tornillos, al correspondiente bastidor de tubos de acero que conforma la plataforma del escenario.

Se deberán disponer también los correspondientes elementos de acceso al escenario como son la escalera y barandilla de seguridad.

Durante el uso del escenario este permanecerá cerrado con toldos en cubierta, cara trasera y laterales; a su vez un faldón recubrirá las 4 caras de la plataforma en sus 1500 mm de altura aproximada.

El izado de la estructura de cubierta que soporta el toldo, junto con éste, se realizará con cables que pasando por poleas instaladas en los extremos superiores de los pilares de las esquinas, serán accionados mediante 4 tornos manuales fijados en la base de cada pilar, debiendo sincronizar su acción conjunta durante las maniobras de montaje de la cubierta.

Las dimensiones geométricas utilizadas para construir los modelos de simulación, junto con los espesores de chapas, tipos de perfiles y disposición de arriostrados, son las recogidos en las figuras del anexo 1.

5.1. MODELIZACIÓN

Dado el sistema estructural descrito anteriormente, se plantea su idealización haciendo uso de la **teoría de la elasticidad en 3D**, con las simplificaciones admitidas por los supuestos de la resistencia de materiales.

De igual forma y en primera aproximación, se presupone un comportamiento **elástico lineal** para el acero.

6. DISCRETIZACIÓN EN ELEMENTOS FINITOS

Los distintos elementos empleados en la discretización se describen en los siguientes subapartados.

Para una información complementaria sobre la teoría que sustenta el uso de tales elementos, se remite al lector a la consulta del *Elements Manual* del programa ANSYS en su versión 9.0 o posterior.

A su vez, detalles y datos principales de la malla empleada se recogen en las figuras que aparecen en el anexo 1.

6.1. ELEMENTO BEAM 189

Para simular los elementos longitudinales, como los perfiles tubulares estructurales, se decide emplear el elemento Beam 189 (ver figura M1).

Se trata de un elemento que implementa la teoría de vigas de Timoshenko con tres nodos (extremos e intermedio), con lo cual emplea funciones cuadráticas para la interpolación.

BEAM189 3-D Quadratic Finite Strain Beam

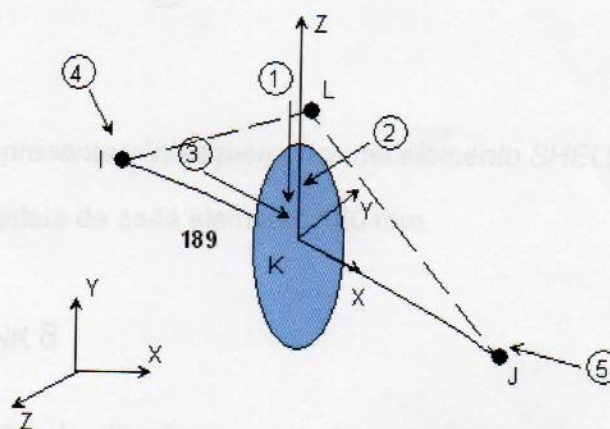


Figura M1: Representación esquemática del elemento BEAM 189

Máximo tamaño de arista de cada elemento 150 mm.

6.2. ELEMENTO SHELL 93

Para discretizar las chapas que conforman las secciones anulares y las cartelas, se utilizará un elemento tipo placa con 8 nodos, que implemente por tanto funciones de interpolación cuadrática.

Dentro de la librería del programa de simulación ANSYS, dicho elemento se conoce como SHELL 93, cuyo esquema general se recoge en la figura M2, en la que también se indican los 6 grados de libertad empleados en cada nodo como incógnitas básicas del problema.

SHELL93 8-Node Structural Shell

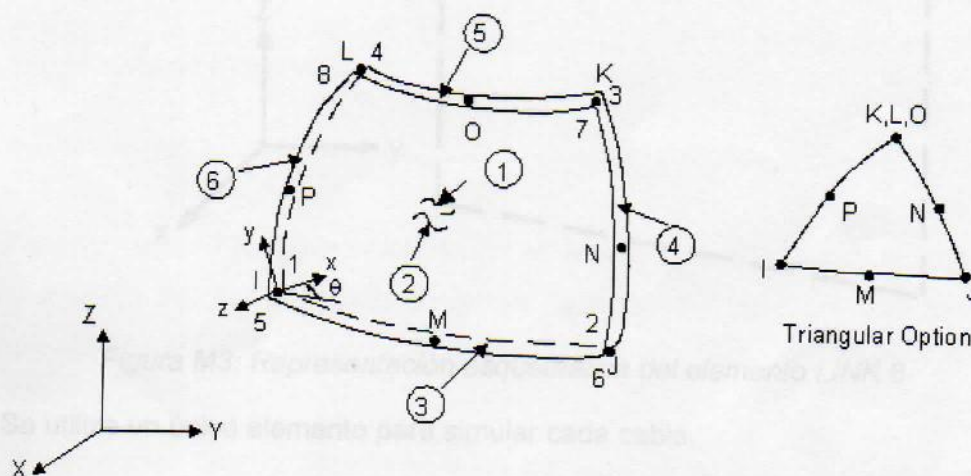


Figura M2: Representación esquemática del elemento SHELL 93

Máximo tamaño de arista de cada elemento 150 mm.

6.3. ELEMENTO LINK 8

Para simular los cables de atirantado que de forma auxiliar y a modo de vientos, se sitúan en los laterales del escenario, en el pilar central trasero y en el plano de cubierta, se decide emplear el elemento Link 8 (ver figura M3).

Se trata de un elemento con capacidades de tracción y compresión únicamente, con 3 grados de libertad en cada nodo (los tres desplazamientos cartesianos).

Figure 8.1 LINK8 Geometry

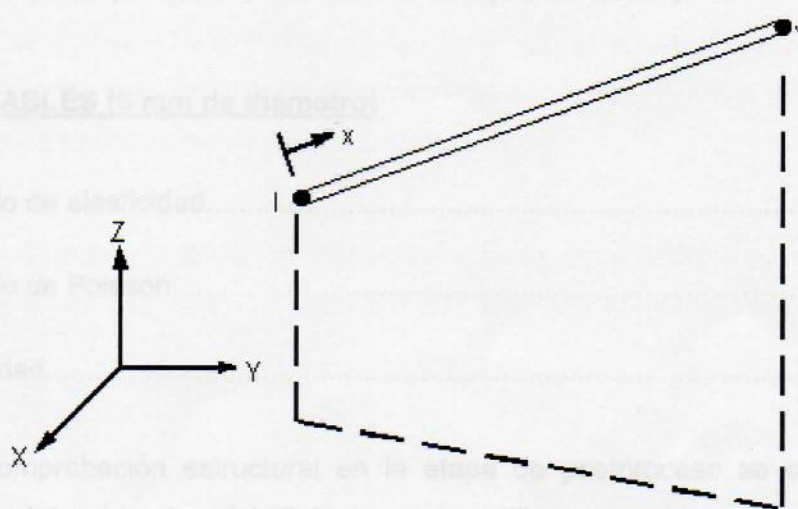


Figura M3: Representación esquemática del elemento LINK 8

Se utiliza un único elemento para simular cada cable.

Los principales datos de la malla de elementos finitos empleada en cada caso, se indican en el anexo 1.

7. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

En los siguientes puntos se recogen los valores de las distintas propiedades mecánicas del acero a emplear (S-275-JR según indicaciones), necesarias para simular el comportamiento estructural de los pórticos.

ACERO S-275-JR

- Modulo de elasticidad.....21.000 MPa
- Modulo de Poisson.....0.3
- Densidad.....7.850 Kg/m³

De igual forma la tensión de comparación que se emplea para la comprobación estructural en la etapa de postproceso es de 275 MPa (límite elástico).

ACERO CABLES (6 mm de diámetro)

- Modulo de elasticidad.....10.000 MPa
- Modulo de Poisson.....0.3
- Densidad.....7.850 Kg/m³

Para la comprobación estructural en la etapa de postproceso se considera un esfuerzo máximo del cable de 10.000 N (se debe utilizar un cable que asegure esta resistencia mínima al límite elástico).

En cualquier caso y como ya se ha indicado se presupone un comportamiento elástico-lineal de los materiales.

8. CONDICIONES DE CONTORNO

Sobre el modelo de elementos finitos, se establecen las condiciones de contorno tanto en desplazamientos impedidos (apoyos), como en cargas, que permiten simular los modos de fallo en estudio.

Se diferenciarán dos posibles hipótesis de carga (uniforme sobre la plataforma o puntuales), según se podrá ir apreciando en las distintas figuras.

8.1. APOYOS

Sobre el modelo de elementos finitos, se han impedido los desplazamientos según se indica en las figuras A1.10, A1.11, A1.12 y A1.14 del anexo 1.

A efectos del modelo de cálculo, se considera el escenario apoyado en todas y cada uno de los soportes que soportan la plataforma, dejando los giros libres e impidiendo los desplazamientos verticales en los puntos de contacto con el suelo, dado que parece la hipótesis más razonable a la vista de las posibles irregularidades en las eventuales zonas de apoyo que seguramente se nivelarán con distintos forros.

De todas formas se debe tener en cuenta el posible movimiento como mecanismo del conjunto, instalando siempre el sistema de arriostramiento previsto.

8.2. ACCIONES

Las distintas acciones individuales sobre la plataforma del escenario, se recogen en los siguientes puntos:

- Figura A1.10: Condiciones de contorno: VIENTO LATERAL
 - Peso propio estructura
 - Sobrecarga uniforme en plataforma (120 Kg/m²)
 - Peso del toldo de cubierta (100 Kg)
 - Acciones del viento lateral:
 - 30 Km/h (5 Kg/m²): correspondiente brisa moderada (máximo número de Beaufort 4)
 - 60 Km/h (20 Kg/m²): (máximo número de Beaufort 4)
- Figura A1.11: Condiciones de contorno: VIENTO TRASERO
 - Peso propio estructura
 - Sobrecarga uniforme equivalente en plataforma (120 Kg/m²)

- Peso del toldo de cubierta (100 Kg)
- Acciones del viento trasero:
 - 30 Km/h (5 Kg/m²): correspondiente brisa moderada (máximo número de Beaufort 4)
 - 60 Km/h (20 Kg/m²): (máximo número de Beaufort 4)
- Figura A1.12: Condiciones de contorno: CARGAS PUNTUALES
 - Peso propio estructura
 - Carga puntual en el centro del módulo de cada en plataforma (600 Kg)
 - Peso del toldo de cubierta (100 Kg)

Como se trata de una instalación desmontable y no permanente, no se han considerado las acciones de la nieve.

8. TÉCNICA DE CÁLCULO

De igual forma en las maniobras y labores de montaje y desmontaje deben ser realizadas por personal especializado, con los medios y procedimientos adecuados a cada ubicación concreta.

8.3. CASOS DE CARGA

8.1. ANÁLISIS ESTATICO

Se consideran los siguientes casos de carga, considerando la carga sobre la plataforma como carga uniforme repartida en toda ella, o alternatively, como cargas puntuales en su centro, intentando de este modo cubrir las distintas opciones posibles desde el punto de vista de la seguridad estructural.

- CASO DE CARGA 1 (VIENTO LATERAL):
 - ELU: 1,00 x peso propio estructura + 2,00 x restantes acciones
 - ELS: 1,00 x peso propio estructura + 1,00 x restantes acciones

- CASO DE CARGA 2 (VIENTO TRASERO):
 - ELU: 1,00 x peso propio estructura + 2,00 x restantes acciones
 - ELS: 1,00 x peso propio estructura + 1,00 x restantes acciones
- CASO DE CARGA 3 (CARGAS PUNTUALES):
 - ELU: 1,00 x peso propio estructura + 2,00 x restantes acciones
 - ELS: 1,00 x peso propio estructura + 1,00 x restantes acciones

En el postproceso (apartado 10) de resultados se utilizará la combinación de acciones de ELU, para revisar la resistencia y el ELS, para revisar los desplazamientos; la inestabilidad elástica, aunque estrictamente hablando es un Estado Límite Último, se revisará como Estado Límite de Servicio, para una mejor interpretación de los multiplicadores de carga, según la técnica de cálculo utilizada.

9. TÉCNICA DE CÁLCULO

Las condiciones que en principio debe satisfacer todo análisis estructural son las de equilibrio y las de compatibilidad, teniendo en cuenta el comportamiento tenso-deformacional de los materiales.

9.1. ANÁLISIS ESTÁTICO

Se realizará un análisis lineal, basado en la hipótesis de comportamiento elástico-lineal del acero y en la consideración del equilibrio en la estructura sin deformar, a partir del siguiente esquema:

$$[K]\{u\} = \{F\}$$

- Siendo:

- $[K]$ = Matriz de Rigidez de la pieza o conjunto en estudio
- $\{u\}$ = Vector de desplazamientos nodales
- $\{F\}$ = Vector de fuerzas

Al tratarse de una discretización que presupone un comportamiento elástico lineal, se origina un sistema de ecuaciones lineales (una para cada grado de libertad) que se resolverán empleando el algoritmo que por defecto presenta ANSYS para solucionar este tipo de problemas: SPARSE DIRECT SOLVER.

9.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ELÁSTICA

Se corresponde con el modo de fallo por pandeo, buscando obtener la carga de bifurcación de equilibrio o carga crítica.

Del análisis se obtienen los multiplicadores de la carga (autovalores) que llevarían a la pieza o conjunto en estudio a una situación de equilibrio elástico inestable, así como los modos o formas de pandeo asociados a las mismas (autovectores).

La obtención de la carga de bifurcación de equilibrio se plantea a partir de la siguiente formulación:

$$([K] + \lambda_i [S])\{\phi_i\} = \{0\}$$

▪ Siendo:

- $[K]$ = Matriz de rigidez de la pieza o conjunto en estudio
- λ_i = Autovalor
- $[S]$ = Matriz de rigidización tensional del sistema

- $\{\phi_i\}$ = Autovector

Posteriormente se aplica el mencionado algoritmo de extracción de “**Block Lanczos**” previsto para estos casos.

10. POSTPROCESO DE RESULTADOS

Se revisarán tanto los distintos campos tenso-deformacionales generados, como la estabilidad elástica.

10.1. RESULTADOS ANÁLISIS ESTÁTICO

En los siguientes puntos se comentan las tensiones y los desplazamientos máximos obtenidos en cada modelo.

10.1.1. RESISTENCIA: TENSIONES

En las Figuras A2.1, A2.4, A2.7, A2.10 y A2.13, se recogen las visualizaciones de los campos de tensiones en Pascales, correspondientes a cada uno de los Casos de Carga (en ELU), definidos en el apartado 8.3.

Como se puede apreciar con los casos de carga previstos, se llega al límite elástico del material, con lo que se deben considerar a efectos de cálculo cargas límite (275 MPa), sobre todo en el caso de vientos previstos de 60 Km/h, donde además será necesario reforzar la zona indicada en la figura A2.13 con un perfil en tubo cuadrado de 60x60x3 fijado por soldaduras o mediante abrazaderas de la suficiente rigidez a la estructura existente.

10.1.2. DESPLAZAMIENTOS: FLECHAS

En las Figuras A2.2, A2.5, A2.8, A2.11 y A2.14, se recogen visualmente los valores del módulo de los desplazamientos totales en metros, correspondientes a cada uno de los Casos de Carga en el ELS.

En todos los casos se, asegura un criterio de cumplimiento de máximos desplazamientos relativos verticales de $L/250$ en suelos y techos, así como de $L/150$, para desplazamientos horizontales originados por las cargas de viento.

10.2. RESULTADOS ANÁLISIS ESTABILIDAD ELÁSTICA

En las Figuras A2.3, A2.6, A2.9, A2.12 y A2.15, se recogen las visualizaciones de los primeros autovalores y autovectores obtenidos con el análisis de estabilidad elástica (correspondientes a cada Caso de Carga).

10.2.1. PANDEO GLOBAL

No se registran inestabilidades globales en los perfiles del escenario, en los primeros modos de pandeo, por lo que este modo de fallo no puede producirse antes del fallo local de alguna de las barras.

10.2.2. PANDEO LOCAL

El primer modo de pandeo de la estructura se indican en figuras del anexo 2; los autovalores se deben interpretar como el coeficiente de mayoración por el que se deben multiplicar las cargas aplicadas, para que se origine el modo de pandeo correspondiente.

Se considera que un autovalor o multiplicador de la carga superior a 3, ofrece las suficientes garantías, frente a los distintos factores que hacen que la estructura pierda la necesaria estabilidad elástica.

Es posible el pandeo de alguna barra, como los arriostrados de los pilares cuando estos se ven sometidos a compresión (viento trasero), pero en principio con la disposición de tirantes (vientos) prevista, se consigue que ello no suponga riesgos desde el punto de vista de la integridad de la estructura en su conjunto.

11. VALIDACIÓN DE RESULTADOS Y COMPROBACIONES ADICIONALES

Se han revisado tanto las deformadas, como las reacciones que se producen en cada caso de carga, comprobando que tanto las condiciones de equilibrio como las de compatibilidad se satisfacen siempre.

11.1. REACCIONES

Los valores de reacción obtenidos en los puntos de apoyo en cada caso (acciones sin ponderar) son:

- Caso de carga 1:
 - 8686 N en la dirección vertical (compresión)
 - 893 N en dirección transversal (cortante)
- Caso de carga 2:
 - 8671 N en la dirección vertical (compresión)
 - 818 N en dirección transversal (cortante)
- Caso de carga 3:
 - 7740 N en la dirección vertical (compresión)
 - 611 N en dirección transversal (cortante)

- Caso de carga 1 (modelo con vientos):
 - 8626 N en la dirección vertical (compresión)
 - 3054 N en dirección transversal (cortante)
- Caso de carga 2 (modelo con vientos):
 - 8664 N en dirección vertical (compresión)
 - 3255 N en dirección transversal (cortante)

Dichos valores máximos se deben observar a efectos de la elección de las placas de apoyo y los forros de nivelación más adecuados, a efectos de transmisión de los esfuerzos al terreno correspondiente en cada caso particular.

11.2. UNIONES

Los máximos esfuerzos que pueden transmitir las uniones previstas en cada caso se resumen en los siguientes puntos:

- Uniones macho hembra con casquillos de tubo 30x2 sobre tubo de 35x2
 - Correas (1680 Kg)
 - Vigas de cubierta frontales y traseras (4000 Kg)
 - Pórticos y largueros (1680 Kg)
- Apoyo en chapa con forma de U
 - Largueros interiores retícula piso del módulo de cada plataforma: chapa plegada en U (55x55x55x4) a modo de cuna (6000 Kg)
- Uniones con pasadores:

- Uniones superiores pilar: pasadores de 14 mm calidad 8.8, sobre taladros de 16 mm en chapa de 3 mm (2355 Kg)
- Uniones inferiores pilar: pasadores de 8 mm calidad 8.8, sobre taladros de 10 mm en chapa de 3 mm (1346 Kg)
- Arriostramiento de plataforma entre soportes de esquina: pasadores de 12 mm calidad 8.8, sobre taladros de 14 mm en chapa de 2 mm (1346 Kg)

Los cordones de soldadura se medirán a la garganta, respetando los siguientes valores:

- Cordón simple: 0,7 del espesor mínimo de las piezas a unir
- Cordón doble: 0,5 del espesor mínimo de las piezas a unir
- En cualquiera de los casos nunca se utilizará un cordón inferior a 4 mm

Por último señalar, que la unión proyectada en el centro del vano de las vigas de cubierta frontales y traseras, con 2 placas testeras de 10 mm y tornillos de M18 calidad 8.8, es suficiente a efectos de transmisión de las cargas de cubierta, siempre que la misma se ejecute de acuerdo a las buenas prácticas de montaje.

Será necesario en cualquier caso, revisar antes de cada montaje los distintos elementos, procediendo a su sustitución cuando estos presenten deformaciones permanentes fruto de las inevitables plastificaciones locales que se originarán, sobre todo en las citadas uniones.

12. CONCLUSIONES

Lo seguridad del conjunto se garantiza con la observación de los comentarios realizados a la largo del informe, sobre todo en lo relativo a los casos de carga supuestos

(punto 8) debiendo ceñirse a los mismos en la utilización y en las calidades de los materiales (punto 7), pudiendo en tal caso concluir los siguientes puntos:

- ELU: la estructura resistente del escenario presentan una seguridad suficiente, frente a los estados límites de agotamiento resistente y de estabilidad elástica, según los casos de carga estudiados observando siempre las siguientes situaciones:
 - Para vientos previstos de 30 Km/h, la estructura del escenario no requiere del uso de los medios auxiliares de atirantado previstos (vientos y pilar trasero)
 - Para vientos previstos de 60 Km/h, la estructura del escenario requiere del uso de los medios auxiliares: tirantes a modo de vientos en los pilares de esquina y el pilar trasero
 - Se desaconseja el uso de la estructura para ráfagas de viento superiores a los 60 Km/h
- ELS: la estructura resistente presenta deformaciones perfectamente compatibles con el uso previsto, no debiendo presentar en principio ningún riesgo en relación a la seguridad estructural

En cualquier caso se supone un correcto montaje del escenario por personal especializado en este tipo de tareas y un uso del mismo, acorde a los casos de carga máximo previstos en el presente documento.



VISADO
José Luis Suárez Sierra
Ingeniero Industrial
Colegiado Nº: 2072

Gijón, 12 de junio de 2006