



|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

|                |   |
|----------------|---|
| <b>Asunto:</b> | <b>REPARACIÓN ESTRUCTURA CUBIERTA POLIDEPORTIVO CASTELLAR</b> |
| <b>Ref:</b>    | 055.16.E24_IN-001   |
| <b>Fecha:</b>  | 09.02.2017  |
| <b>De:</b>     | J. IGNACIO COMPANYY (VALTER)                                  |
| <b>Para:</b>   | SUSANA LERMA (F.D.M.)   |

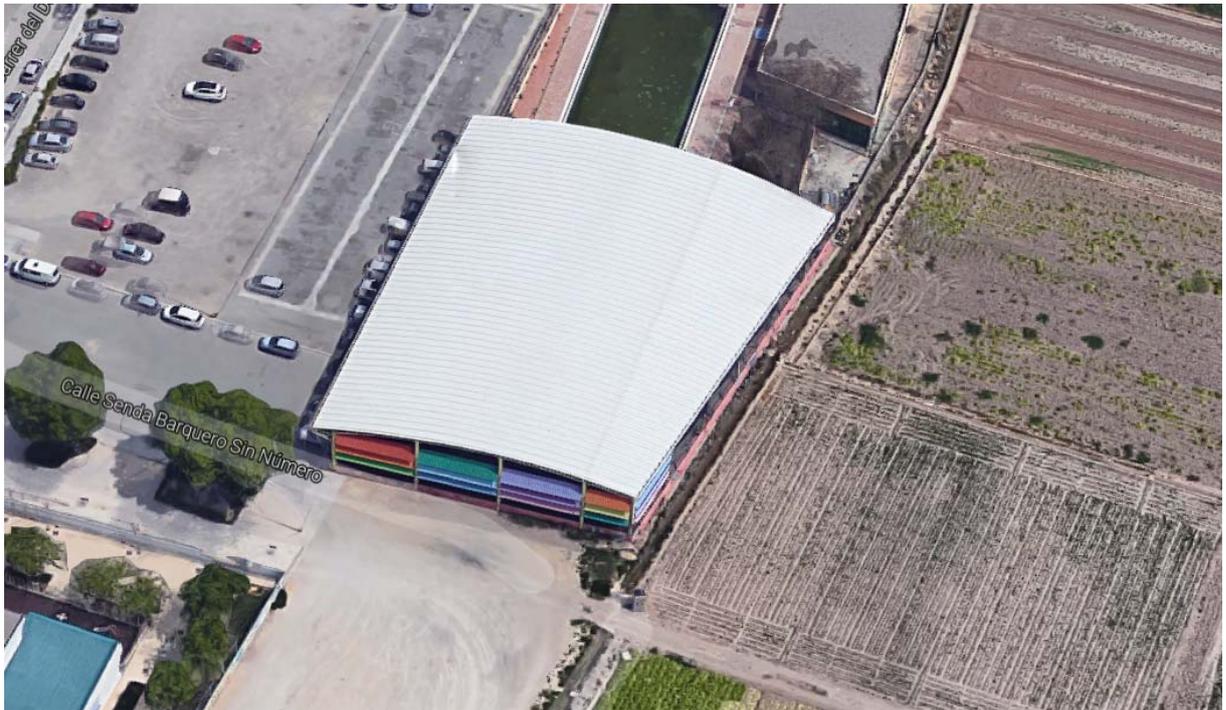
## INDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. ANTECEDENTES Y OBJETO.....</b>                      | <b>2</b>  |
| <b>2. DATOS DE PARTIDA. ....</b>                          | <b>3</b>  |
| <b>3. DESCRIPCIÓN DE LA CUBIERTA. ....</b>                | <b>3</b>  |
| <b>4. TIPOS DE APOYOS Y ANCLAJES. ....</b>                | <b>5</b>  |
| <b>5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....</b>                       | <b>8</b>  |
| <b>5.1. NORMATIVA.....</b>                                | <b>8</b>  |
| <b>5.2. CARACTERÍSTICAS DEL DETALLE. ....</b>             | <b>8</b>  |
| <b>5.3. MODOS DE FALLO APOYO TIPO II.....</b>             | <b>8</b>  |
| 5.3.1. TRACCIÓN TIRANTE. ....                             | 9         |
| 5.3.2. CORTE PASADOR.....                                 | 9         |
| 5.3.3. APLASTAMIENTO DE CHAPA DE APOYO. ....              | 9         |
| 5.3.4. SOLDADURAS CHAPA DE ANCLAJE. ....                  | 9         |
| 5.3.5. RESUMEN. ....                                      | 10        |
| <b>5.4. INTERPRETACIÓN DE LA CAUSA DE LA ROTURA. ....</b> | <b>10</b> |
| <b>6. PROPUESTA DE REFUERZO. ....</b>                     | <b>12</b> |
| <b>6.1. JUSTIFICACIÓN.....</b>                            | <b>12</b> |
| <b>6.2. DETALLE. ....</b>                                 | <b>13</b> |
| <b>6.3. PROCESO CONSTRUCTIVO. ....</b>                    | <b>14</b> |
| <b>7. CONCLUSIONES. ....</b>                              | <b>14</b> |

|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

## 1. ANTECEDENTES Y OBJETO.

El Polideportivo de Castellar (Valencia) tiene unas dimensiones aproximadas de 1450 m<sup>2</sup> en planta, con geometría de trapezoide irregular.



Con fecha \_\_\_\_\_ se detecta la rotura de uno de los tirantes que forman la estructura de la cubierta, por lo que la instalación se cierra al uso público, sacando a licitación el estudio de la reparación necesaria, de la que resulta adjudicataria VALTER, valenciana de estructuras, S.L..

El objeto de este documento es el siguiente:

- Realizar una visita a la instalación, tomando los datos necesarios para el análisis.
- Analizar las causas de la patología observada.
- Diseñar y dimensionar las actuaciones necesarias para reparar la estructura y evitar que vuelvan a producirse, de un modo justificado.

|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

## 2. DATOS DE PARTIDA.

Se dispone de la siguiente documentación:

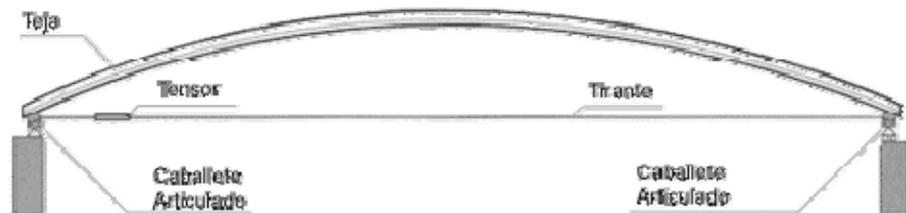
- Proyecto de Construcción de Cubierta para Pista Polideportiva en Castellar (Valencia), redactado por VALTER, con fecha Mayo de 2005.
- Reportaje fotográfico realizado y datos geométricos tomados durante la visita del día 2 de febrero de 2017.

## 3. DESCRIPCIÓN DE LA CUBIERTA.

El edificio está formado por cimentación, pilares alineados en 3 pórticos longitudinales y la cubierta, que apoya sobre ellos. Actualmente no posee fachadas cerradas, aunque en Proyecto se dimensionaron los pilares y cimentaciones para contemplar esta situación.

La estructura de cubierta corresponde a un sistema fabricado por la empresa BLOCOTELHA, formado por los siguientes elementos:

- Chapa de cubierta, de acero galvanizado y con perfil ondulado para dotarla de rigidez. Esta chapa posee una curvatura que ayuda a evacuar las aguas al tiempo que la hace trabajar como arco.
- Existen dos familias de tirantes.
  - o Los tirantes principales, que garantizan por un lado la curvatura de la chapa de cubierta, convirtiéndola en autoestable, por lo que no requieren más que un apoyo vertical en los soportes del edificio. Están formados por varilla lisa de M10, con tensor para introducir una tensión inicial.



|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

- o Los secundarios, que transmiten a los apoyos los efectos de la succión del viento. Están formados por cable trenzado. Poseen tensor aunque la tensión que poseen es mínima a la vista de la catenaria que se aprecia, lo que tiene sentido para evitar esfuerzos innecesarios en el perfil de la cubierta. Se disponen sobre pilares.



|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

#### 4. TIPOS DE APOYOS Y ANCLAJES.

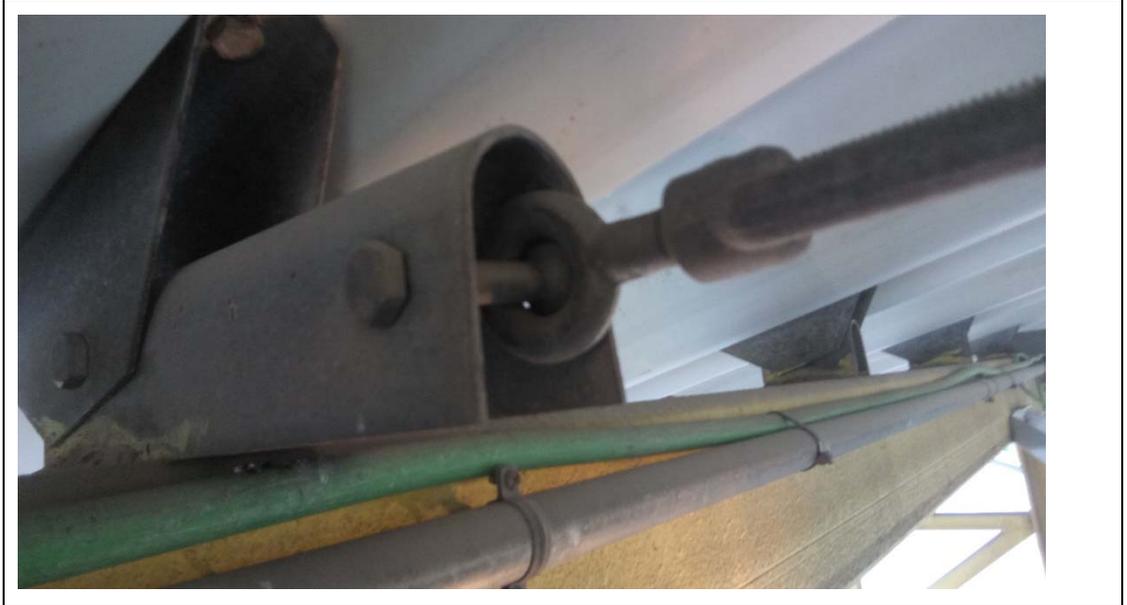
Se han diferenciado un total de 4 tipos de fijaciones de la cubierta a la estructura metálica inferior de pórticos metálicos:

- **TIPO I.** Apoyos articulados del perfil de la cubierta sobre los dinteles longitudinales. Están formados por una articulación compuesta por un pasador (tornillo M10 8.8) y dos chapas plegadas de 3 mm de espesor.



|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

- **TIPO II.** Apoyo con anclaje de tirante principal. Análogo al anterior pero con la chapa unida al dintel de mayor longitud para permitir el anclaje del tirante principal en otro pasador similar.



|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

- **TIPO III.** Similar al tipo I, anclándose el tirante secundario directamente al pasador de la articulación.



- **TIPO IV.** Similar al tipo I, con una horquilla de barra lisa soldada al dintel, sobre la que se ancla el tirante secundario, pero en el extremo en el que se dispone el tensor, que no cabe en el tipo III.



|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

## 5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

### 5.1. NORMATIVA.

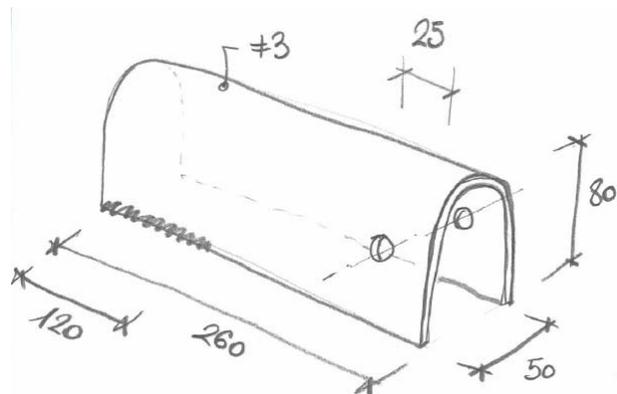
Para la redacción del presente documento se han considerado las siguientes Normas y documentación técnica:

- EAE, ACERO ESTRUCTURAL.

### 5.2. CARACTERÍSTICAS DEL DETALLE.

Se disponen de los siguientes datos relativos al detalle de apoyo tipo I:

- Pasador M8 calidad 8.8.
- Tirante macizo M12. La calidad se desconoce. Se considera grado 460 a efectos de este análisis, como es habitual en este tipo de elementos.
- Chapa de anclaje a dintel:



### 5.3. MODOS DE FALLO APOYO TIPO II.

Teniendo en cuenta un detalle tipo rótula con un pasador trabajando a corte, se consideran lo siguientes:

- Corte del pasador de anclaje del tirante principal.
- Agotamiento del tirante principal por tracción.
- Aplastamiento del pasador contra la chapa.
- Soldaduras de unión de la chapa al dintel.

|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

### 5.3.1. TRACCIÓN TIRANTE.

Los tirantes tipo barra (como es el caso) suelen fabricarse en acero grado 460 (límite elástico 460 MPa, tensión de rotura 720 MPa).

Para M12, se tiene:

$$Nu = \frac{fy}{1.05} A = \frac{460}{1.05} 113.1 = 49504N = 49.50kN$$

$$F1=49.50 \text{ kN}$$

### 5.3.2. CORTE PASADOR.

Se obtiene según la expresión:

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 fub}{1.25} A = \frac{0.6 \cdot 800}{1.25} 78.54 = 30160 N = 30.16 \text{ kN por plano de corte, en zona de vástago}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 fub}{1.25} Ar = \frac{0.6 \cdot 800}{1.25} 58.00 = 22272 N = 22.27 \text{ kN por plano de corte, en zona de rosca}$$

Luego, para corte doble y teniendo en cuenta que por el diseño del detalle, la zona roscada se solicita a corte en uno de los lados, se tiene:

$$F2=30.16+22.27=52.43 \text{ kN}$$

### 5.3.3. APLASTAMIENTO DE CHAPA DE APOYO.

De acuerdo con la EAE:

$$FbRd = \frac{\alpha \beta fu d t}{\gamma M2} = \frac{0.757 \cdot 2.5 \cdot 800 \cdot 10 \cdot 3}{1.25} = 36330N = 36.33kN \text{ por plano de corte}$$

Luego, para corte doble, se tiene:

$$F3=2 \cdot 36.33=72.7 \text{ kN}$$

### 5.3.4. SOLDADURAS CHAPA DE ANCLAJE.

Considerando 2 soldaduras de 12 cm de longitud y espesor de garganta de  $0.7 \cdot 3 = 2.1 \text{ mm}$ :

$$Fu = 120 \cdot 2.1 \frac{275}{1.25\sqrt{3}} = 32008N = 32.01kN \text{ por cordón}$$

Luego, para dos cordones, se tiene:

$$F4=2 \cdot 32.01=64.02 \text{ kN}$$

|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

### 5.3.5. RESUMEN.

Los modos de fallo analizados ofrecen los siguientes resultados.

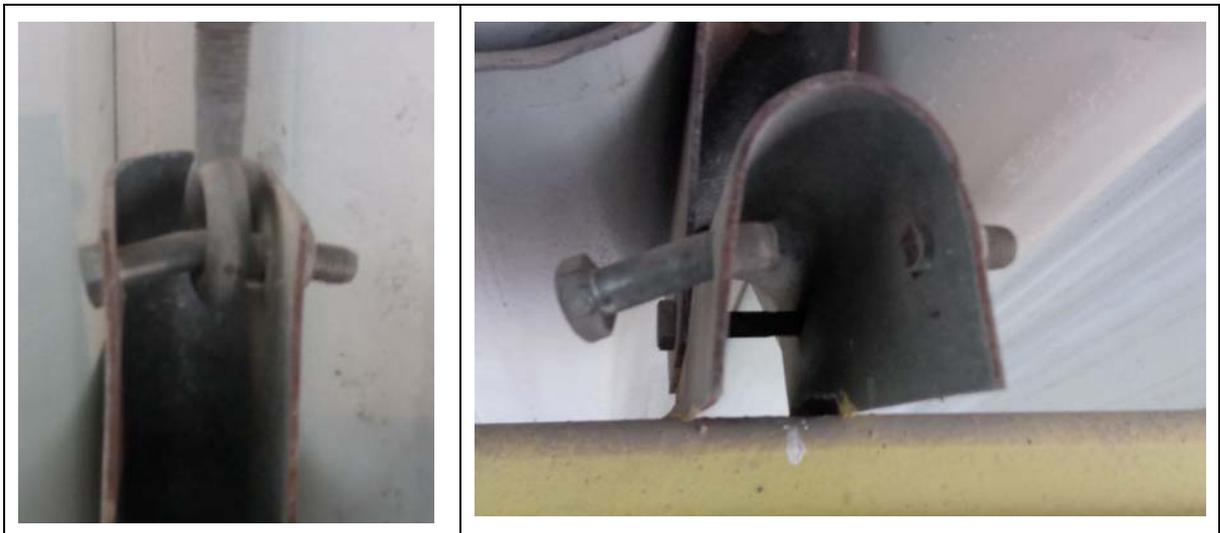
| MECANISMO DE FALLO | TRACCIÓN TIRANTE PPAL. | CORTE PASADOR | APLASTAMIENTO CHAPA | SOLDADURAS CHAPA |
|--------------------|------------------------|---------------|---------------------|------------------|
| CARGA ÚLTIMA (kN)  | <b>49.50</b>           | 52.43         | 72.70               | 64.02            |

Se aprecia lo siguiente:

- El diseño parece coherente, teniendo en cuenta que el fusible (punto más débil del conjunto) corresponde al elemento principal. Es decir, se ha diseñado una unión que (teóricamente, como veremos más adelante) aguanta más que el elemento que transmite las cargas.
- El diseño está proporcionado, ya que todos los modos de fallo se producen para cargas en el mismo orden de magnitud.

### 5.4. INTERPRETACIÓN DE LA CAUSA DE LA ROTURA.

Como hemos visto, la carga de agotamiento corresponde a la rotura del tirante, con un valor del orden de 50 kN. Sin embargo, la rotura observada se ha producido en uno de los pasadores M10. Además hay otros que presentan deformaciones considerables por flexión.



A nuestro modo de ver, esto se debe a un fallo en el diseño de la chapa de anclaje en U invertida. El detalle parece haber sido concebido como una articulación en la que el pasador debe de trabajar a corte, con dos planos de cortadura. De este modo su carga de agotamiento es suficiente para soportar el tiro de la barra.

|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

Sin embargo, la dimensión del ojal (del orden de 12 mm de ancho, como el diámetro de la barra) resulta considerablemente inferior al espacio entre almas de la chapa en U de anclaje, que es de 50 mm.

Esto puede ocasionar dos efectos:

- En caso de que el tirante mantenga una posición más o menos centrada, genera el **trabajo a flexión del pasador** (foto de la izquierda), para lo que no ha sido diseñado.

Así, la carga necesaria para plastificar a flexión el pasador es "sólo" de 8.24 kN:

Momento elástico del pasador:

$$M_{el} = W_{el} \frac{fy}{1.05} = 169 \frac{640}{1.05} = 103009 \text{ N mm}$$

Fuerza que genera dicho momento:

$$F_{el} = M_{el} \frac{4}{L} = 103009 \frac{4}{50} = 8240 \text{ N} = 8.24 \text{ kN}$$

Aunque la máxima carga de rotura por flexión del pasador es de 14.0 kN:

Momento plástico del pasador:

$$M_{pl} = W_{pl} \frac{fy}{1.05} = 4 r^3 \frac{640}{1.05} = 288 609.5 = 175542 \text{ N mm}$$

Fuerza que genera dicho momento:

$$F_{pl} = M_{pl} \frac{4}{L} = 175542 \frac{4}{50} = 14043 \text{ N} = 14.0 \text{ kN}$$

La plastificación del pasador genera una deformación que conlleva la pérdida de la fuerza de tesado inicial del tirante, lo que implica que la carga se reduzca. Por ello la rotura a flexión del pasador no se ha llegado a producir, aunque se observan pasadores con deformaciones plásticas a flexión, como el de la fotografía.

|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

- En caso de que el ojal del tirante se desplace hacia uno de los laterales (almas) de la chapa de anclaje en U invertida, el **reparto de carga entre ambos extremos del pasador deja de ser equitativo**, cargando uno mucho más que el otro. Suponiendo un reparto 90-10 (con el 90% sobre la zona roscada), la resistencia de la unión pasaría a ser:

$$F2 = 22.27 / 0.9 = 24.7 \text{ kN (cortadura del pasador)}$$

$$F3 = 36.33 / 0.9 = 40.4 \text{ kN (aplastamiento de chapa)}$$

Valores muy por debajo de la resistencia que ofrecería el detalle de haber contado con un diseño adecuado (52.43 kN) e incluso de la carga de rotura del tirante (49.5 kN).

En resumen, parece que el origen de las patologías observadas se encuentra en una holgura excesiva entre las almas de la chapa de anclaje en U invertida, que provoca un modo de trabajo del pasador con cargas últimas bajas.

## 6. PROPUESTA DE REFUERZO.

### 6.1. JUSTIFICACIÓN.

A la vista del tipo de detalle a reforzar y conociendo el elemento origen de la patología, parece que si se mantiene el tipo de anclaje, esto es, mantenimiento de la geometría de la chapa en U invertida, sería necesario incrementar el diámetro del pasador. Sin embargo, esto presenta algunos inconvenientes:

- No se elimina el origen del problema del desplazamiento del ojal en el pasador, lo que provoca un funcionamiento anómalo e ineficaz.
- El diámetro del ojal del tirante limita el diámetro máximo del pasador.
- La ejecución de nuevos taladros en la chapa U de anclaje puede dañar la misma dado su escaso espesor.
- Existen casos en los que se ha producido un fallo por aplastamiento parcial de dicha chapa.

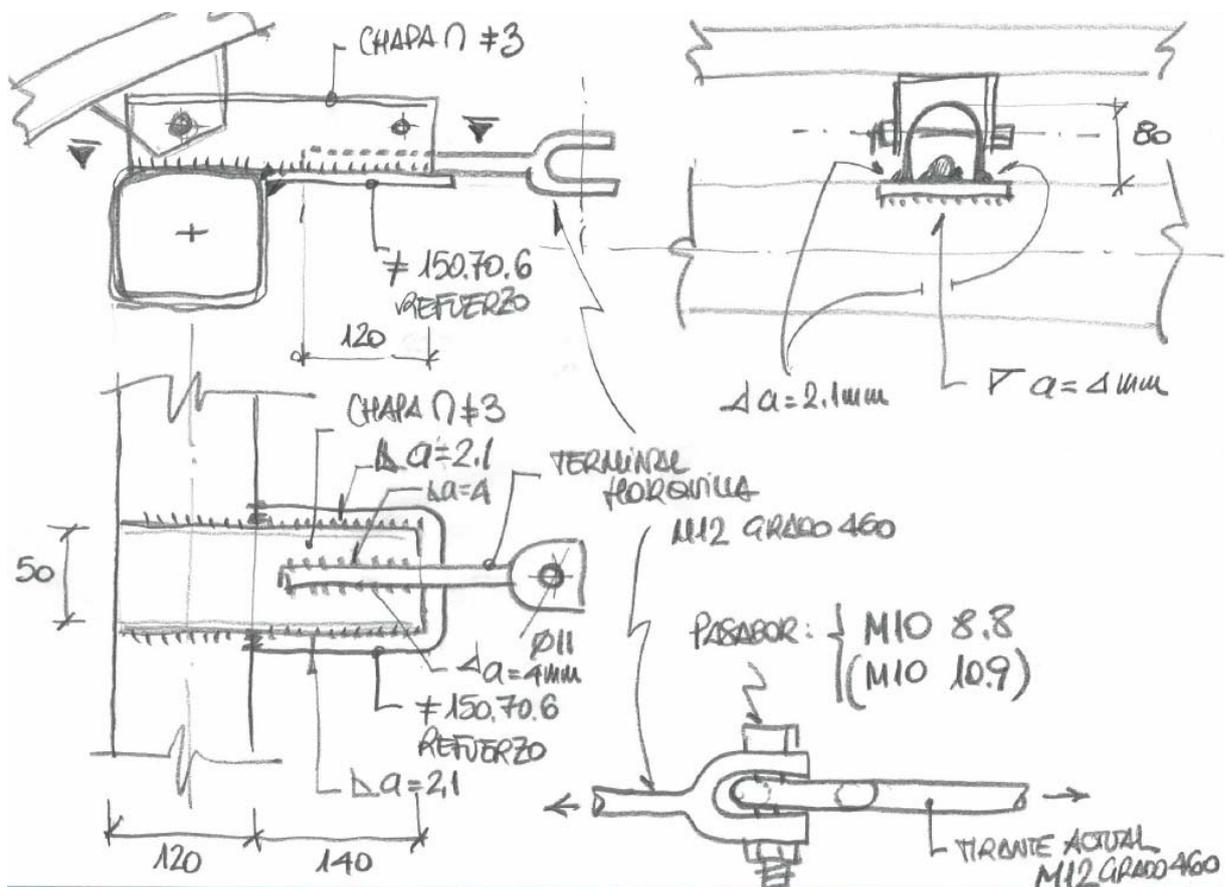
Por ello se propone un diseño que asegura la transmisión de la carga, reforzando al mismo tiempo el conjunto del detalle.

|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

## 6.2. DETALLE.

La actuación se basa en ejecutar una nueva cartela de anclaje unida tanto a la chapa en U como al propio dintel. De este modo se refuerzan la totalidad de mecanismos que dependen de la chapa de anclaje (mayor longitud de soldadura y espesor frente a aplastamiento).

El anclaje se realiza mediante un terminal en horquilla y un pasador similar al actual o de calidad superior (8.8 ó 10.9). Dicho terminal se suelda a una cartela de 6 mm de espesor que transmite la carga a la chapa en U de anclaje y al dintel, reforzando la unión.



Se adoptan para las soldaduras, espesores de garganta y longitudes superiores a las analizadas para la chapa de anclaje U, por lo que su validez es inmediata.

El terminal horquilla será de métrica y calidad igual o superior a las consideradas aquí para el tirante principal (M12 grado 460).

El nuevo pasador a disponer será de idéntica métrica y calidad igual o superior a las consideradas aquí para el actual (M10 8.8).

|               |  |
|---------------|--|
| REFERENCIA:   | 055.16.E24   |
| FECHA:        | 08.02.2017   |
| PETICIONARIO: | FUNDACIÓN DEPORTIVA MUNICIPAL. EXCMO. AYTO. VALENCIA |
| LOCALIZACIÓN: | CASTELLAR  |

### 6.3. PROCESO CONSTRUCTIVO.

Se actuará sobre un solo tirante en cada proceso. En primer lugar se reparará el dañado, según el proceso general.

Se propone el siguiente:

- Fabricación de cartelas de refuerzo y unión de nuevos terminales en horquilla.
- Destesado del tirante sobre el que se va a actuar.
- Retirada y descarte de pasadores actuales.
- Limpieza y retirada de pintura de superficies sobre las que soldar.
- Unión soldada de nuevas cartelas a pieza en U invertida y dintel.
- Colocación de nuevos pasadores y tirante actual. Tesado del mismo a  $5.0 \text{ kN} = 0.5 \text{ t}$ .
- Pintura de acabado.

### 7. CONCLUSIONES.

En el presente documento se ha analizado el detalle de anclaje de la cubierta en el que se ha producido la rotura.

Se han estimado las cargas de fallo de los diferentes mecanismos resistentes, concluyendo que una excesiva holgura entre las chapas de la pieza en U invertida ha originado un comportamiento anómalo del detalle, reduciendo el valor de su carga de fallo.

Se ha diseñado un nuevo sistema que mejora el comportamiento actual, así como el proceso constructivo previsto para su ejecución.

Valencia, 9 de febrero de 2017.

El ingeniero autor del informe:



J. Ignacio COMPANY VÁZQUEZ  
Ingeniero de Caminos, C. y P.