



MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN  
Y CIENCIA



CONSEJO SUPERIOR  
DE INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS



INSTITUTO DE CIENCIAS  
DE LA CONSTRUCCIÓN  
EDUARDO TORROJA

**informe nº** 19.307 Contrato AR 49-08

**peticionario** D. PABLO CASADO GÓMEZ

**en nombre de** METÁLICAS CASADO S.A.  
Ctra. Cuellar-Olmedo Km 21,300  
47420 ISCAR (Valladolid)

**ensayos solicitados** Ensayos sobre sistemas provisionales de protección de borde

**autor/es:** D. Cecilio López Hombrados, Ingeniero de Caminos  
D<sup>a</sup>. M<sup>a</sup> Teresa Martín Conejo, Ingeniero de Obras Públicas

**muestras enviadas** Las necesarias para realizar los ensayos





## nota importante

Este informe contiene, esencialmente, la exposición de los resultados obtenidos en los análisis, pruebas y ensayos a que han sido sometidas determinadas muestras de materiales, piezas o partes de obra, y las conclusiones que aquí se formulan no exceden, en ningún caso, el alcance y significado que permiten establecer dichos análisis, pruebas y ensayos.

Salvo expresa indicación en contrario (en cuyo caso figuraría escrita en esta misma página, bajo el título observaciones), los ensayos referidos en este Informe han sido realizados sobre muestras libremente elegidas y enviadas a este Instituto por el peticionario. Por ello, este Instituto responde de las características por él analizadas referidas a las muestras recibidas y no al producto en general.

Por las razones mencionadas, ninguna de las proposiciones formuladas en este documento puede tener carácter de garantía para las marcas comerciales, ni para los posibles comportamientos de estructuras y producciones objeto del presente estudio

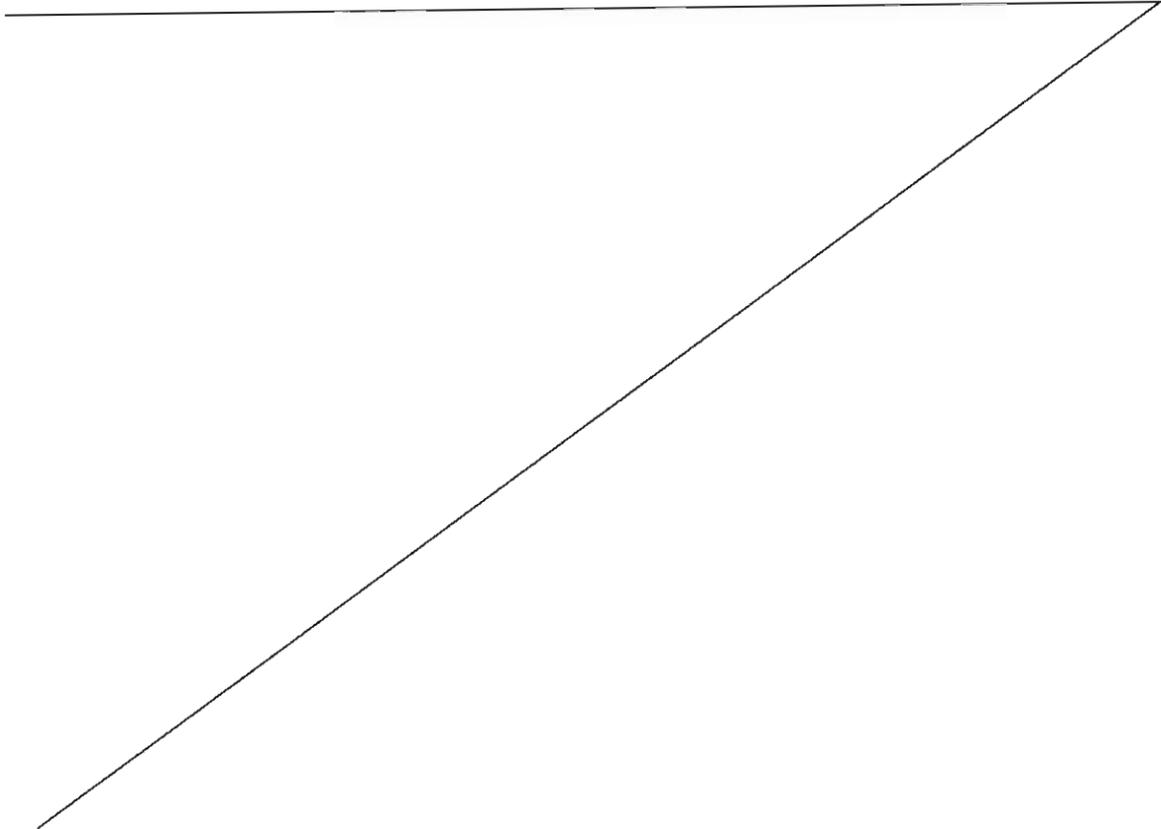
Las opiniones que pudieran manifestarse en las conclusiones, o a lo largo de este escrito, se basan en las experiencias realizadas y en el estado actual de las Ciencias y de las Técnicas de la Construcción. La interpretación de los resultados obtenidos se hace según el leal saber y entender de los especialistas de este Centro.

Tres condiciones afectan a la formalidad de este Informe:

- 1ª Este Instituto no facilitará información a terceros, salvo que lo autorice el peticionario del informe, por ser estos trabajos de carácter particular y confidencial y, por tanto, absolutamente secretos.
- 2ª Se prohíbe la publicación de datos incompletos de los que figuran en este documento, siendo necesario exponer todos los resultados obtenidos en cada una de las diversas pruebas, sin limitarse a consignar cifras aisladas
- 3ª En todo caso, la publicación del contenido total o parcial de este documento únicamente podrá hacerse con la autorización previa de la Dirección de este Instituto.

## observaciones

Además de los técnicos que firman el presente Informe nº 19.307, ha colaborado en el mismo D. Gabriel Rentero Rodríguez, Técnico Especialista en Electrónica.





hoja nº 1

## ÍNDICE

1. ANTECEDENTES
2. OBJETO DE LOS ENSAYOS
3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS ENSAYADOS
4. ENSAYOS REALIZADOS
  - 4.1 Ensayos de conformidad con los requisitos de carga estática
    - 4.1.1 Ensayo de flecha
    - 4.1.2 Ensayo de resistencia
5. RESULTADOS OBTENIDOS
  - 5.1 Ensayos de conformidad con los requisitos de carga estática
    - 5.1.1 Ensayo de flecha
    - 5.1.2 Ensayo de resistencia
6. CONCLUSIONES

## ANEJO I – FOTOGRAFÍAS

Informe nº 19.307

Los datos, resultados y conclusiones que se incluyen en este Informe, obtenidos de los análisis, pruebas o ensayos realizados, son únicamente aplicables a las muestras ensayadas



## 1. ANTECEDENTES

D. Pablo Casado Gómez, actuando en nombre y representación de la empresa METÁLICAS CASADO S.A., solicitó la realización de un trabajo de investigación experimental sobre el comportamiento mecánico de sistemas provisionales de protección de borde. Consecuencia de dicha solicitud fue la firma, con fecha 22 de febrero de 2008, de un contrato de investigación, en el que se definen los trabajos a realizar, el resultado de los cuales se expone en el presente informe.

## 2. OBJETO DE LOS ENSAYOS

El objeto de los ensayos es obtener de manera experimental las deformaciones producidas y las cargas de rotura obtenidas sobre un sistema de protección de borde, con el fin de conocer su comportamiento mecánico.

Los procedimientos de ensayo se han realizado conforme a la norma UNE-EN 13374 "Sistemas provisionales de protección de borde. Especificaciones del producto, métodos de ensayo."

## 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS ENSAYADOS

Se ensayaron dos combinaciones barandilla-soporte, con las siguientes características:

### COMBINACIÓN 1

- Barandilla metálica de 2.500 mm de longitud, 35 mm de diámetro exterior, fijada por dos ranuras en cada extremo (ver fotografía nº 1).
- Guardacuerpo metálico con husillo superior y sargento inferior (ver fotografía nº 2),



sección cuadrada de 35 mm, 1,6 mm de espesor, 1.100 mm de altura mínima, 1.580 mm de altura máxima y 400 mm de apertura de pinza.

- Rodapié metálico, formado por una chapa plegada, de 2.600 mm de longitud y 150 mm de ancho, con rebaje en los extremos de 150 x 40 mm (ver fotografía nº 3).
- Distancia entre la parte más alta de la protección de borde y la superficie de trabajo, medida perpendicularmente a la misma, 1.000 mm.

#### COMBINACIÓN 2

- Barandilla metálica de 2.500 mm de longitud, 35 mm de diámetro exterior, fijada por dos ranuras en cada extremo (ver fotografía nº 1).
- Guardacuerpo metálico fijo, con sargento inferior (ver fotografía nº 4). Longitud 1.150 mm, 40 mm de diámetro y 1,3 mm de espesor.
- Rodapié metálico, formado por una chapa plegada, de 3.000 mm de longitud y 150 mm de ancho (ver fotografía nº 5).
- Distancia entre la parte más alta de la protección de borde y la superficie de trabajo, medida perpendicularmente a la misma, 1.005 mm.

#### 4. ENSAYOS RELIZADOS

Sobre el conjunto barandilla-soporte se han realizado los ensayos de conformidad con los requisitos de carga estática, para sistemas de protección de borde clase A: ensayo de flecha y ensayo de resistencia.

Los soportes se situaron amordazados a una losa de hormigón, en la primera combinación, y embutidos en misma en la segunda combinación, y sobre ellos se colocaron las barandillas siguiendo las instrucciones del fabricante. Las cargas se aplicaron en la situación más desfavorable, en el centro de la barandilla, sobre una placa de reparto de 100 x 100 mm de superficie.

#### Informe nº 19.307



#### 4.1 Ensayos de conformidad con los requisitos de carga estática

##### 4.1.1 Ensayo de flecha

Se aplicó una carga horizontal perpendicularmente al plano de la barandilla, mediante el sistema formado por una varilla roscada y un elemento atornillado, que permitía conseguir la fuerza de tracción buscada al modificar su par de apriete. El sistema llevaba intercalado, entre la varilla y el punto de aplicación de la carga, una célula para medir la tracción ejercida. La disposición del ensayo se muestra en las fotografías nº 6 y nº 7, para las combinaciones 1 y 2, respectivamente. En la fotografía nº 8 se aprecia el detalle del sistema de tracción.

Antes del inicio del ensayo, se aplicó una carga horizontal de 0,1 kN durante un minuto y tras su retirada se tomó el origen de referencia para el ensayo de la flecha.

Posteriormente, se alcanzó la carga horizontal máxima de 0,3 kN, en cinco incrementos de 0,06 kN; esta carga se mantuvo durante un minuto antes de descargar.

Durante el ensayo se registraron la carga y flecha instantánea de la barandilla en cada incremento de carga.

Para la medida de la carga se utilizó una célula de carga marca HBM, de 10 kN de capacidad y la flecha se midió con un captador de desplazamiento potenciométrico marca Novotechnick, de 500 mm, con precisión de lectura de una centésima de milímetro (ver fotografía nº 9).

La señal de carga se conectó a un amplificador para extensometría modelo 6M81 de Nec San-ei. Ambas señales, carga y desplazamiento, se conectaron a un sistema de adquisición de datos para su registro, almacenamiento y posterior análisis. Este sistema se compone de un ordenador PC provisto de una tarjeta PCI MIO16 XE50 de Nacional Instruments, controlada por una aplicación software realizada con LabView.

#### Informe nº 19.307



#### **4.1.2 Ensayo de resistencia**

El ensayo se realizó manteniendo la misma disposición que en el ensayo anterior y utilizando la misma instrumentación.

Antes del inicio del ensayo se aplicó una carga horizontal de 0,1 kN durante un minuto y tras su retirada se tomó el origen de referencia de la flecha, se cargó en diez escalones hasta que se alcanzó la carga máxima de ensayo, 0,495 kN, se mantuvo durante un minuto y se comprobó la ausencia de plastificaciones, roturas o separaciones. Tras la descarga se volvió a medir la flecha para obtener así la flecha residual.

Finalmente el sistema se cargó hasta que se alcanzó la carga de rotura.

### **5. RESULTADOS OBTENIDOS**

#### **5.1 Ensayos de conformidad con los requisitos de carga estática**

##### **5.1.1 Ensayo de flecha**

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los ensayos realizados. A partir de estos resultados se obtiene el valor característico básico de la flecha, utilizando métodos estadísticos de acuerdo con la Norma UNE-EN 12811-3. Los valores obtenidos son 42,44 mm y 48,08 mm, para las combinaciones 1 y 2, respectivamente, por tanto no supera los 55 mm especificados en el apartado 5.2.1 de la norma UNE-EN 13374.

Tabla nº 1.- Resultados COMBINACIÓN 1

Ensayo	$\delta$ (0,3 kN) mm
1	38,8
2	39,5
3	39,7
4	36,8

Tabla nº 2.- Resultados COMBINACIÓN 2

Ensayo	$\delta$ (0,3 kN) mm
1	43,6
2	40,6
3	43,6
4	39,2

En las figuras nº 1 y nº 2, se puede observar la evolución de la flecha con la carga durante los ensayos, hasta que se alcanzaron los 0,3 kN.

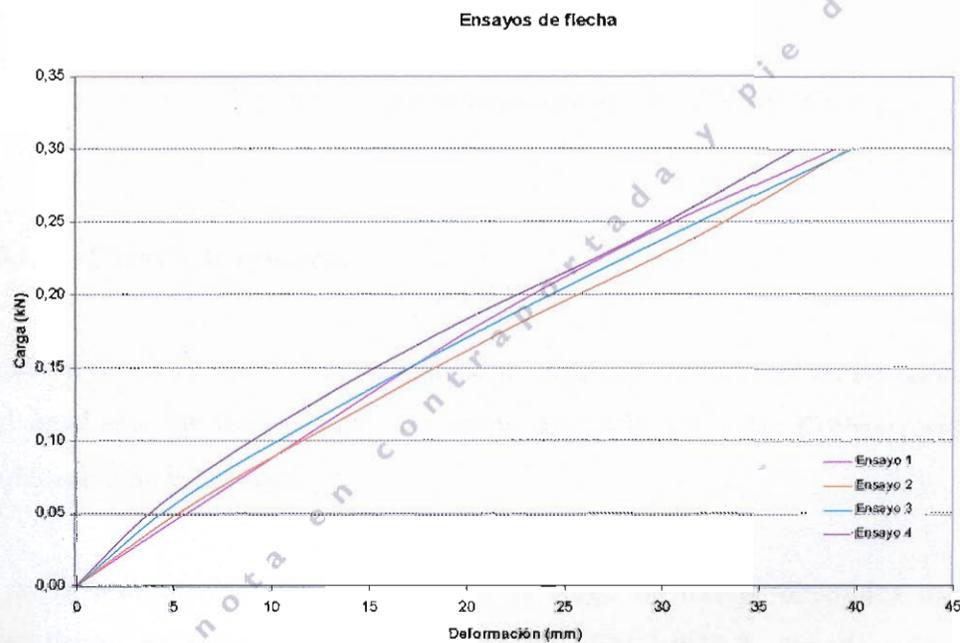


Figura nº 1.- Gráfico carga-deformación. COMBINACIÓN 1

## Ensayos de flecha

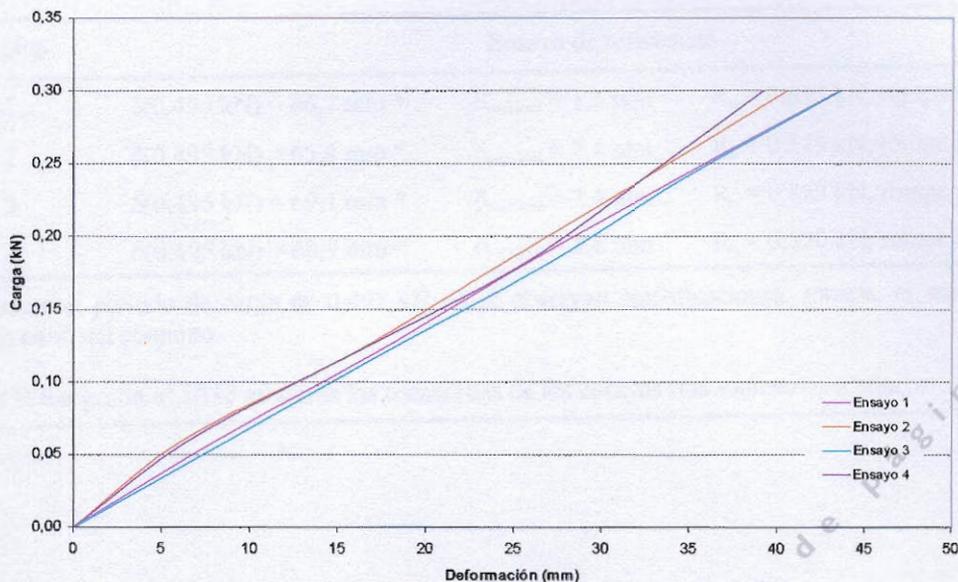


Figura nº 2.- Gráfico carga-deformación. COMBINACIÓN 2

### 5.1.2 Ensayo de resistencia

Las cargas de rotura,  $R_u$ , obtenidas en los ensayos se muestran en las tablas nº 3 y nº 4, al igual que las flechas para una carga de 0,495 kN y las flechas residuales tras la aplicación de esta carga.

Los valores característicos básicos de la carga de rotura, obtenidos mediante ajuste estadístico de acuerdo con la Norma UNE-EN 12811-3, son de 0,805 kN para la combinación 1, y de 0,748 kN para la combinación 2, superior a los 0,594 kN mínimos que establece el apartado 5.2.1 de la mencionada norma. Asimismo, las deformaciones residuales medidas no superan el 10 % de la flecha bajo carga máxima de 0,495 kN, indicado en el mismo apartado de la norma.

### Informe nº 19.307



Tabla nº 3.- Resultados COMBINACIÓN 1

Ensayo	Ensayo de resistencia		
1	$\delta(0,495 \text{ kN}) = 66,7 \text{ mm} *$	$\delta_{\text{residual}} = 1,4 \text{ mm}$	$R_u = 0,816 \text{ kN}$ , rompe a flexión **
2	$\delta(0,495 \text{ kN}) = 65,4 \text{ mm} *$	$\delta_{\text{residual}} = 2,4 \text{ mm}$	$R_u = 0,813 \text{ kN}$ , rompe a flexión **
3	$\delta(0,495 \text{ kN}) = 69,1 \text{ mm} *$	$\delta_{\text{residual}} = 2,4 \text{ mm}$	$R_u = 0,825 \text{ kN}$ , rompe a flexión **
4	$\delta(0,495 \text{ kN}) = 68,9 \text{ mm} *$	$\delta_{\text{residual}} = 2,8 \text{ mm}$	$R_u = 0,820 \text{ kN}$ , rompe a flexión **

\* Durante el periodo de carga de 0,495 kN no se observan plastificaciones, roturas, ni separaciones de alguna parte del conjunto.

\*\* En la fotografía nº 10 se muestran las barandillas de los ensayos tras someterlas a ensayo.

Tabla nº 4.- Resultados COMBINACIÓN 2

Ensayo	Ensayo de resistencia		
1	$\delta(0,495 \text{ kN}) = 66,7 \text{ mm} *$	$\delta_{\text{residual}} = 4,5 \text{ mm}$	$R_u = 0,835 \text{ kN}$ , rompe a flexión **
2	$\delta(0,495 \text{ kN}) = 65,9 \text{ mm} *$	$\delta_{\text{residual}} = 4,0 \text{ mm}$	$R_u = 0,833 \text{ kN}$ , rompe a flexión **
3	$\delta(0,495 \text{ kN}) = 65,2 \text{ mm} *$	$\delta_{\text{residual}} = 0,8 \text{ mm}$	$R_u = 0,793 \text{ kN}$ , rompe a flexión **
4	$\delta(0,495 \text{ kN}) = 63,6 \text{ mm} *$	$\delta_{\text{residual}} = 2,7 \text{ mm}$	$R_u = 0,876 \text{ kN}$ , rompe a flexión **

\* Durante el periodo de carga de 0,495 kN no se observan plastificaciones, roturas, ni separaciones de alguna parte del conjunto.

\*\* En la fotografía nº 11 se muestran las barandillas de los ensayos tras someterlas a ensayo.

En las figuras nº 3 y nº 4, se muestra la evolución de la deformación con la carga durante los ensayos, hasta que se alcanzaron los 0,5 kN.



Ensayos de resistencia

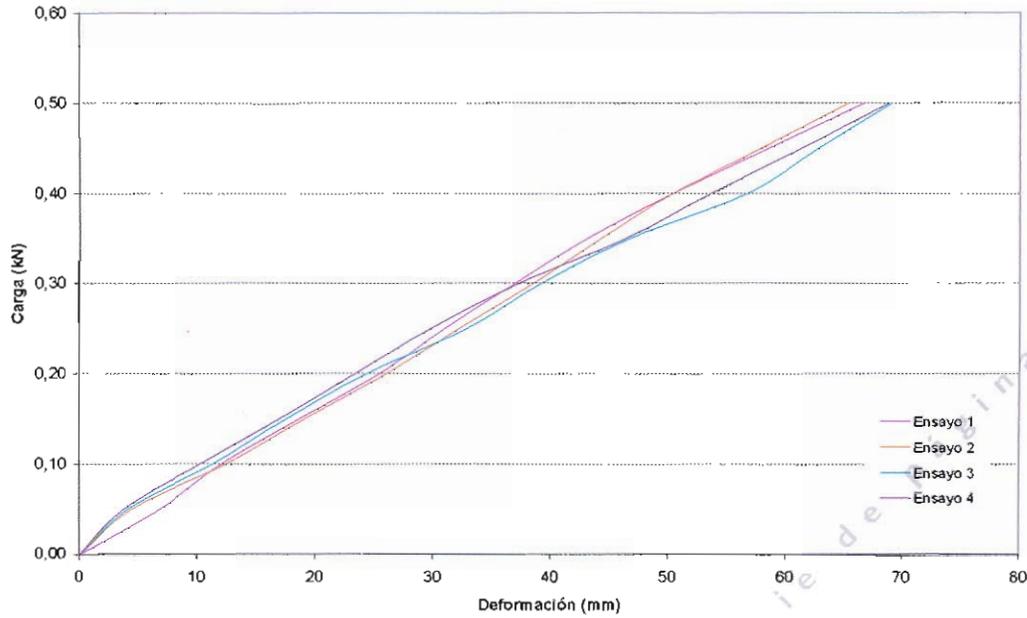


Figura nº 3.- Gráfico carga-deformación. COMBINACIÓN 1

Ensayos de resistencia

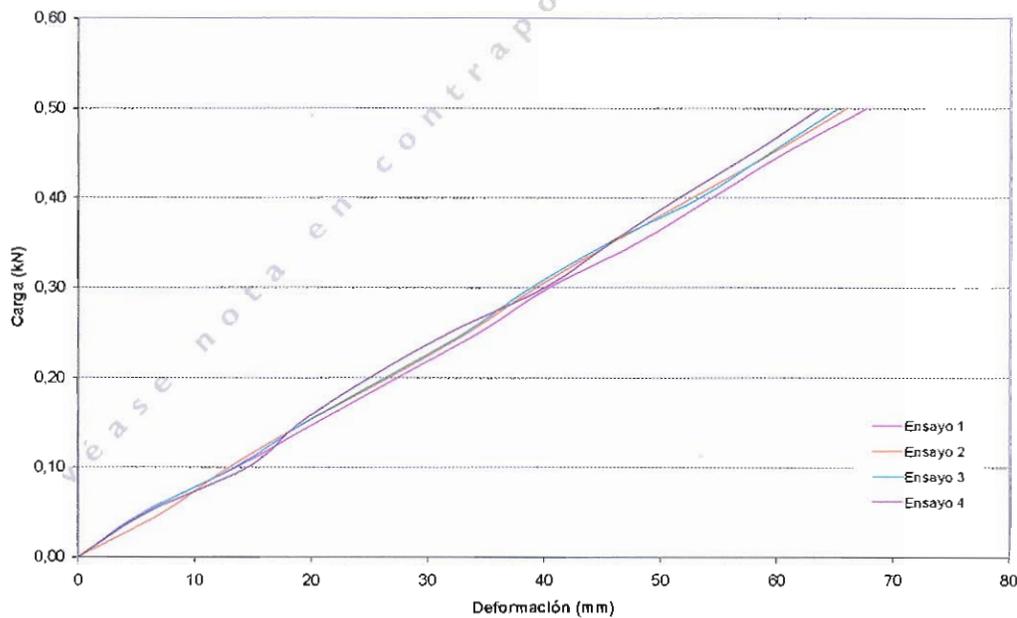


Figura nº 4.- Gráfico carga-deformación. COMBINACIÓN 2

Informe nº 19.307

Los datos, resultados y conclusiones que se incluyen en este Informe, obtenidos de los análisis, pruebas o ensayos realizados, son únicamente aplicables a las muestras ensayadas



## 6. CONCLUSIONES

Se ensayaron las dos combinaciones de barandilla-soporte definidas en el punto 3 de este informe. Se han realizado los ensayos de conformidad con los requisitos de carga estática para sistemas de protección de borde clase A (ensayo de flecha y ensayo de resistencia), siguiendo los procedimientos de ensayo indicados en la norma UNE-EN 13374.

Las combinaciones ensayadas, cumplen los requisitos especificados en el apartado 5.2.1 de dicha norma, relativos a los ensayos de conformidad con los requisitos de carga estática para sistemas de protección de borde clase A:

- El valor característico básico de la flecha elástica para una carga horizontal de 0,3 kN, aplicada en el centro de la barandilla y perpendicularmente a ella, no excede los 55 mm.
- El valor característico básico de la carga de rotura, es superior a 1,2 veces la carga máxima aplicada en el ensayo de resistencia.
- La flecha residual en el ensayo de resistencia, no excede el 10% de la flecha bajo carga máxima.

También se cumplen el resto de los requisitos recogidos en el punto 5 de dicha norma, en cuanto a elementos que comprenden el sistema de protección de bordes y condiciones geométricas de los mismos.



hoja nº 11

Este informe consta de 11 hojas numeradas y selladas, y un ANEJO también sellado, con 11 fotografías.

Madrid, 31 de marzo de 2008

Mª Teresa Martín Conejo  
Ingeniero de Obras Públicas

Cecilio López Hombrados  
Ingeniero de Caminos

Vº Bº

EL DIRECTOR

P.A.

Juan Monjo Carrió  
Dr. Arquitecto

**Informe nº 19.307**

Los datos, resultados y conclusiones que se incluyen en este Informe, obtenidos de los análisis, pruebas o ensayos realizados, son únicamente aplicables a las muestras ensayadas



17

# ANEJO I FOTOGRAFÍAS

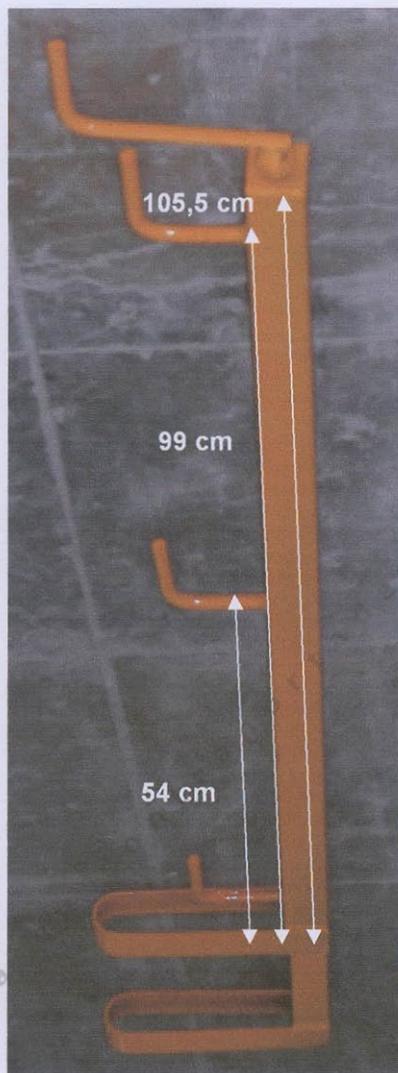
*Véase nota en contraportada y pie de página*

## ANEJO I-Informe nº 19.307

Los datos, resultados y conclusiones que se incluyen en este Informe, obtenidos de los análisis, pruebas o ensayos realizados, son únicamente aplicables a las muestras ensayadas



Fotografía nº 1.- Barandilla



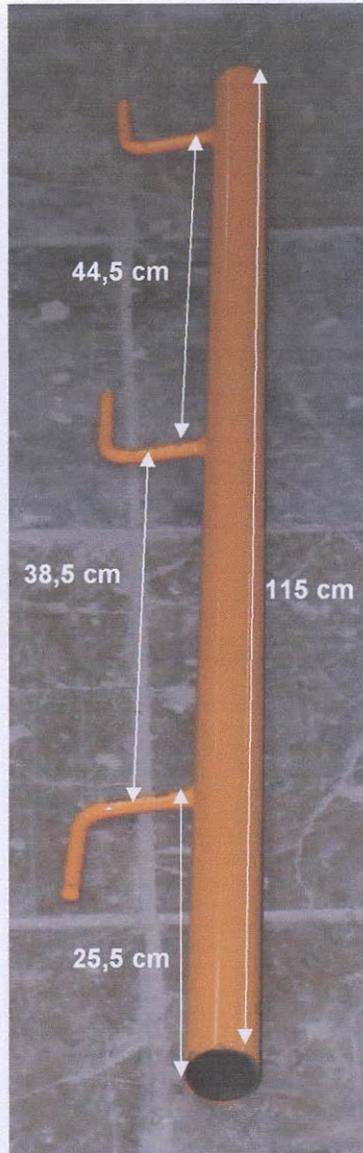
Fotografía nº 2.- Soporte combinación 1



Fotografía nº 3.- Rodapié combinación 1

**ANEJO I-Informe nº 19.307**

Los datos, resultados y conclusiones que se incluyen en este Informe, obtenidos de los análisis, pruebas o ensayos realizados, son únicamente aplicables a las muestras ensayadas



Fotografía nº 4.- Soporte combinación 2



Fotografía nº 5.- Rodapié combinación 2

### ANEJO I-Informe nº 19.307

Los datos, resultados y conclusiones que se incluyen en este Informe, obtenidos de los análisis, pruebas o ensayos realizados, son únicamente aplicables a las muestras ensayadas



Fotografía nº 6.- Disposición del ensayo de flecha. Combinación 1.



Fotografía nº 7.- Disposición del ensayo de flecha. Combinación 2.

### ANEJO I-Informe nº 19.307

Los datos, resultados y conclusiones que se incluyen en este Informe, obtenidos de los análisis, pruebas o ensayos realizados, son únicamente aplicables a las muestras ensayadas



Fotografía nº 8.- Detalle del sistema de tracción.



Fotografía nº 9.- Detalle del captador de desplazamiento.

### ANEJO I-Informe nº 19.307

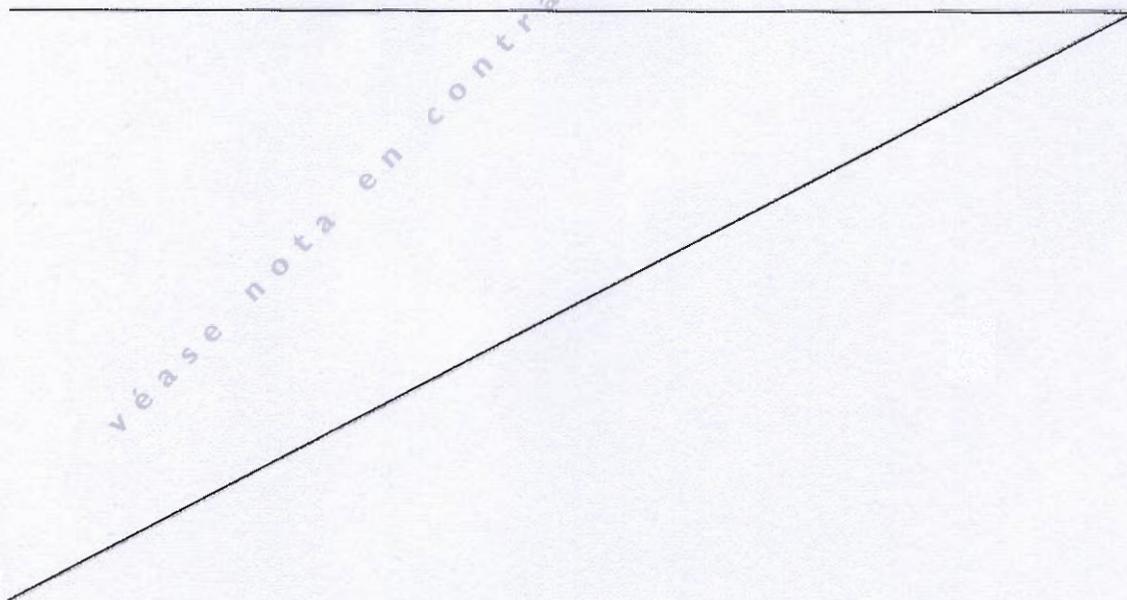
Los datos, resultados y conclusiones que se incluyen en este Informe, obtenidos de los análisis, pruebas o ensayos realizados, son únicamente aplicables a las muestras ensayadas



Fotografía nº 10.- Barandillas tras los ensayos. Combinación 1.



Fotografía nº 11.- Barandillas tras los ensayos. Combinación 2.



véase nota en contraportada

Página

### ANEJO I-Informe nº 19.307

Los datos, resultados y conclusiones que se incluyen en este Informe, obtenidos de los análisis, pruebas o ensayos realizados, son únicamente aplicables a las muestras ensayadas