

## PROPUESTAS DE MEJORA DE UNE-EN 13374

# BARANDILLAS RESISTENTES A FUERTES IMPACTOS

La actual normativa que regula los sistemas provisionales de protección de borde clase B y C ofrece dudas para evitar caídas en obra a un nivel inferior. De ahí que se haga necesaria una revisión de la misma.

texto\_Juan Carlos Pomares Torres (Arquitecto Técnico. Profesor Ayudante) y Ramón Irlés Más (Dr. Ingeniero de Caminos. Catedrático de Universidad). Pertenecientes al Departamento de Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana de la Universidad de Alicante. Ambos forman parte del grupo de trabajo AEN/CTN 81 SC2 GT04.

Las barandillas provisionales de obra, denominadas como sistemas provisionales de protección de borde (SPPB) en su norma reguladora UNE-EN 13374 (2004), se utilizan para evitar la caída de personas a un nivel inferior en obras de construcción o mantenimiento. A continuación, se presentan, de forma resumida, los estudios realizados por los autores sobre los SPPB destinados a prevenir las caídas al vacío generadas por pérdida de equilibrio del trabajador sobre superficies inclinadas, tipos B y C según dicha normativa. Debido a la energía cinética adquirida durante la caída, en estos casos se generan impactos mayores sobre el accidentado que en el tipo A (para superficies de trabajo horizontal).

Los estudios realizados han consistido en tipos de análisis realizados en particular para el tipo C, que es el más severo (para superficies con mayor inclinación):

–Un análisis mediante modelo numérico de elementos finitos, que reproduce matemáticamente el complejo problema dinámico del impacto, para cuantificar con facilidad multitud de variables relevantes asociadas al fenómeno.

–Un estudio cinemático simplificado que, partiendo de aspectos generales del modelo numérico, permite obtener una fórmula simplificada útil para el diseño adecuado de estos elementos.

–Un análisis experimental sobre diversos prototipos a escala real, instrumentados con acelerómetro y filmados con cámara de alta velocidad, efectuado conforme a las especificaciones de UNE-EN 13374, con el fin de calibrar los resultados numéricos. Los resultados de estos trabajos han permitido cuantificar objetivamente variables del problema hasta ahora inexploradas, siendo la más importante de ellas el factor de impacto que sufre el accidentado. Además, se han detectado algunos aspectos inadecuados o insuficientes en la normativa reguladora, relativos al posible impacto directo contra elementos rígidos (soportes), a determinados aspectos geométricos y al requisito de deformabilidad mínima (inversamente proporcional al factor de impacto). De esta forma, se pueden establecer criterios de diseño que solucionan los problemas advertidos, rebajando el factor de impacto hasta valores más asumibles, sirviendo como ar-

gumento para promover una propuesta de modificación de UNE-EN 13374 en el seno del grupo de trabajo español AEN/CTN81/SC2/GT04, para su remisión al grupo europeo responsable de dicha norma.

## CRONOLOGÍA NORMATIVA EN ESPAÑA

En primer lugar, tenemos vigente la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, modificada por la Ley 39/1999 y 54/2003, y por los Reales Decretos 5/2000, 171/2004 y 306/2007, y la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo de 1971, de carácter general (en sus aspectos no derogados). Más específicas son la UNE-EN 1263 partes 1 y 2 (2002 y 2004, respectivamente) sobre redes de seguridad, y la UNE-EN 13374 (2004) sobre sistemas provisionales de protección de borde.

## NORMA UNE-EN 13374

Esta última norma clasifica las barandillas en función de las distintas alturas de caída, inclinación del plano de trabajo y capacidad de absorción de energía, en tres tipos: A, B y C (Figura 1).

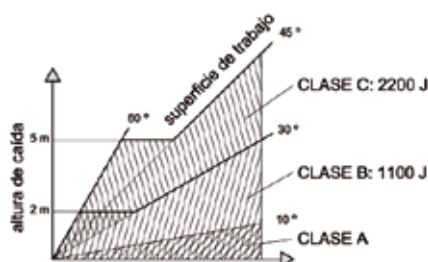


Fig.1: Tipos de barandillas, según UNE-EN 13374.

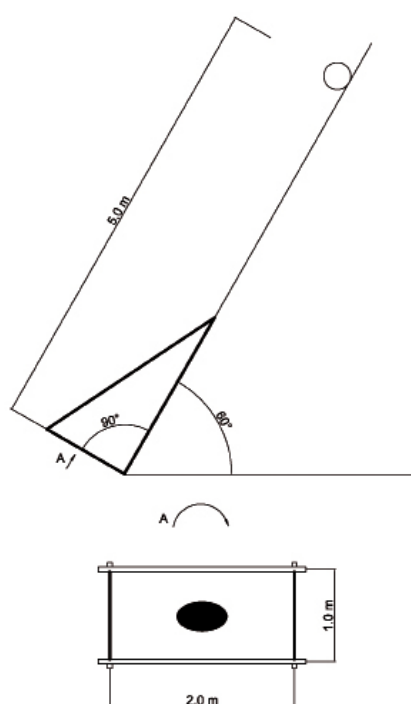


Fig.2: UNE 1263-1 Ensayo para red tipo U.

Este artículo se centra en las barandillas de tipo C, que deben ser capaces de resistir caídas del accidentado desde una altura máxima de 5 m, sobre un plano de caída de hasta  $60^\circ$  sobre la horizontal (o mayor altura con menor inclinación) y deben ser capaces de absorber una energía cinética de 2.200 julios con determinados requisitos de deformabilidad mínima. Por sus características, este tipo de barandillas se construyen frecuentemente mediante un bastidor metálico sobre el que se tiende una red de seguridad.

La norma UNE-EN 13374 establece, para las barandillas de tipo C, un ensayo de resistencia. En él se utiliza un impactador de ensayo (cilindro) de acuerdo con la norma UNE-EN 1263-1 Redes de seguridad. Características y ensayos (figura 2), que debe rodar a lo largo de una rampa hacia las partes más bajas. La posición del cilindro impactador será tal que su centro de gravedad recorra 5,0 m antes del impacto en el sistema de protección. En la versión actual de UNE-EN 13374, quedan sin resolver satisfactoriamente varios aspectos relativos a su diseño geométrico y a los puntos duros que suponen los soportes del sistema.

También parece insuficiente su requisito sobre la flecha mínima de estos sistemas

que tiene repercusiones inmediatas sobre el valor del impacto que sufre el accidentado.

### ESTUDIO NUMÉRICO

Dadas las dificultades de análisis del fenómeno del impacto y proceso de detención, los trabajos se iniciaron con el desarrollo de un modelo numérico mediante la técnica de elementos finitos, que fuera capaz de simular la realidad y valorar el conjunto de variables implicadas (deceleraciones, tensiones y deformaciones, trayectoria de detención, factor de impacto, forma geométrica y escuadrías del bastidor, etcétera). Los modelos se han desarrollado sobre el paquete comercial de elementos finitos ANSYS.

Partiendo de un comportamiento equivalente elástico bilineal de la red, analizado en trabajos anteriores (Segovia, 2007) para redes tipo V, y a partir de valoraciones iniciales, mediante el modelo numérico, de la flecha desarrollada por la red tendida sobre soportes rectos, se han modificado los diseños de los soportes para adaptarlos al SPPB tipo C, permitiendo el desarrollo de las flechas sin impacto sobre los mismos cuando el accidentado cae en la línea de uno de ellos. Por ello, los hemos calificado como "ergonómicos" (Figura 3).



Fig.3: De izquierda a derecha, la deformación de la red, el diseño de los soportes ergonómicos y estos una vez incluidos en el modelo numérico.

Se han efectuado simulaciones, tanto con lastre esférico de 50 cm de diámetro y 100 kg de peso, no contemplado en UNE-EN 13374 (para estudiar posibles impactos con cabeza o pies del accidentado sobre la red), como con lastre de 75 kg de peso, forma cilíndrica de 1 m de longitud y 30 cm de diámetro, para impactos laterales, según UNE-EN 1263-1 y UNE-EN 13374.

Además de analizar las repercusiones de la posición de la superficie de retención vertical o perpendicular al plano de trabajo (figura 4), que se ilustran en la norma reguladora, también se han efectuado diferentes simulaciones para otras inclinaciones de aquella. En primer lugar, para una inclinación de la red de 30° con la vertical; posteriormente, con una inclinación de la red de 60° con la vertical o perpendicular al plano de trabajo, hasta llegar a la posición horizontal de la red (figura 5).

A tenor de los resultados, y según se representa en la gráfica de la figura 6, las máximas aceleraciones sufridas por el accidentado en posición vertical de la red son del orden del doble que para la posición perpendicular al plano de trabajo.

En cuanto a las máximas flechas de la red obtenidas en el modelo con elementos finitos, y acorde con los anteriores resultados, para la posición vertical de la red, estas son menores que para la posición perpendicular de la misma (figura 7).

También se han estudiado distintas dimensiones de la red en cuanto a longitud y altura, realizándose, además, lanzamientos en las simulaciones frente a soporte y entre soportes (figuras 8 y 9).

Tal y como indican los valores de la gráfica de la figura 10, se tienen unas aceleraciones un 50% mayores de promedio en las

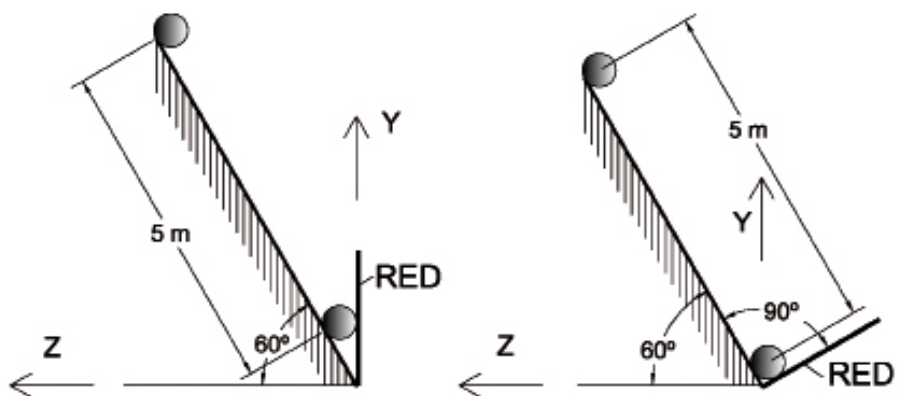


Fig. 4: Posición de la red vertical y perpendicular a la superficie inclinada.

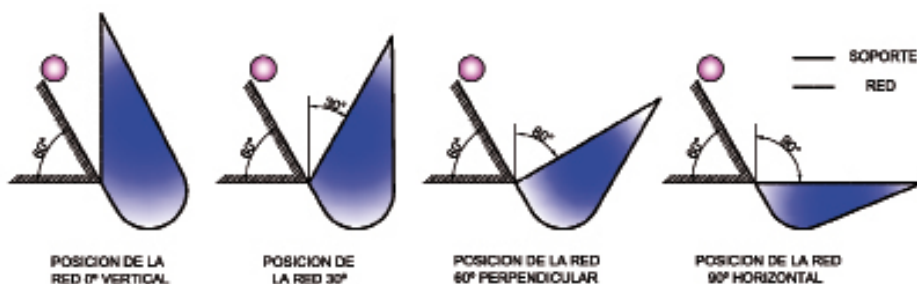


Fig. 5: Diferentes posiciones de la red analizadas.

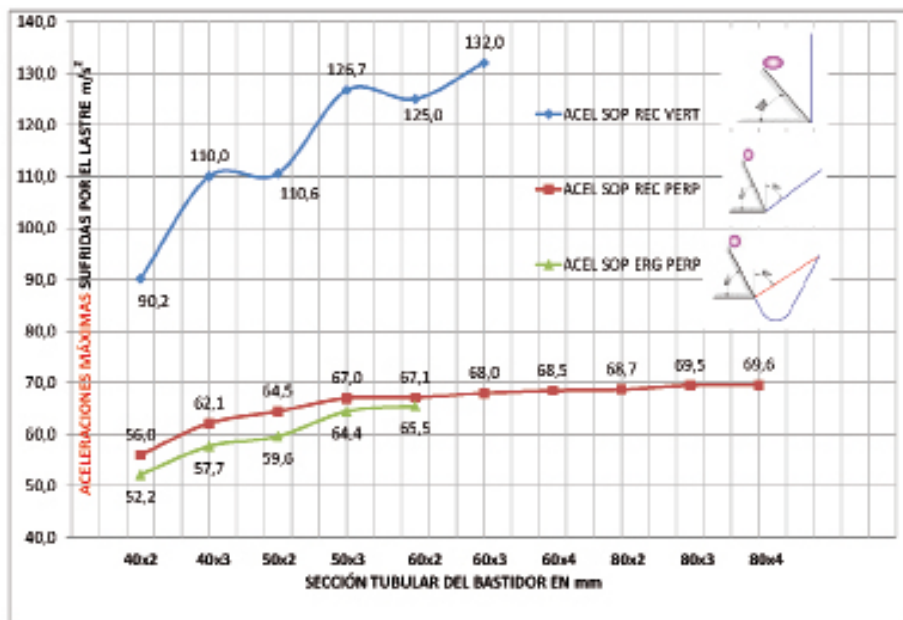


Fig. 6: Aceleraciones máximas del lastre esférico para soporte recto y ergonómico.

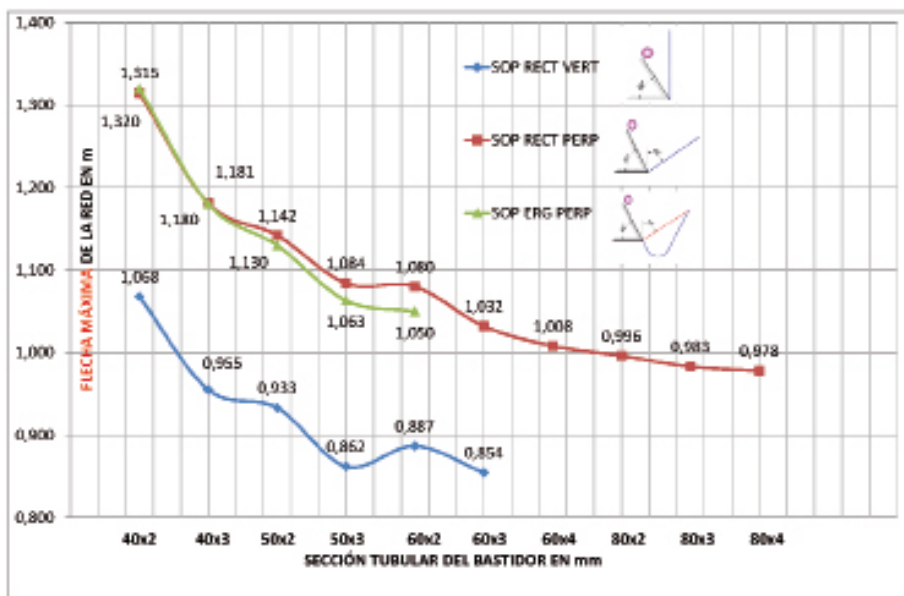


Fig. 7: Flechas máximas de la red para soporte recto y ergonómico con lastre esférico.

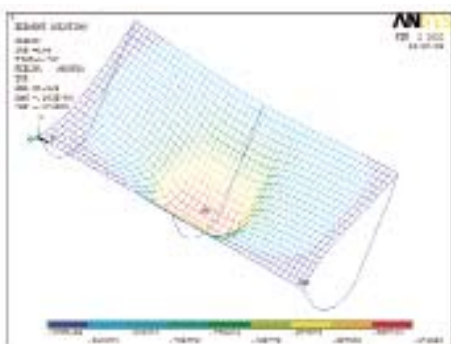


Fig. 8: Simulación con cilindro para lanza-samiento frente soporte y red 4,8x2 m<sup>2</sup>.

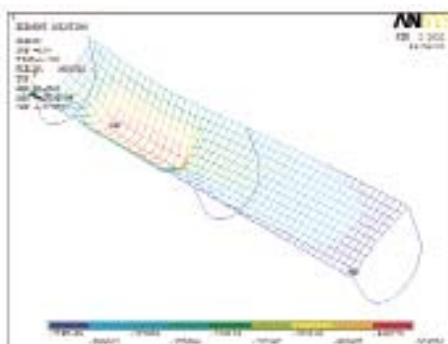


Fig. 9: Red 4,8x1 m<sup>2</sup> lanzamiento entre soportes (cilindro invisible en esta instantánea).

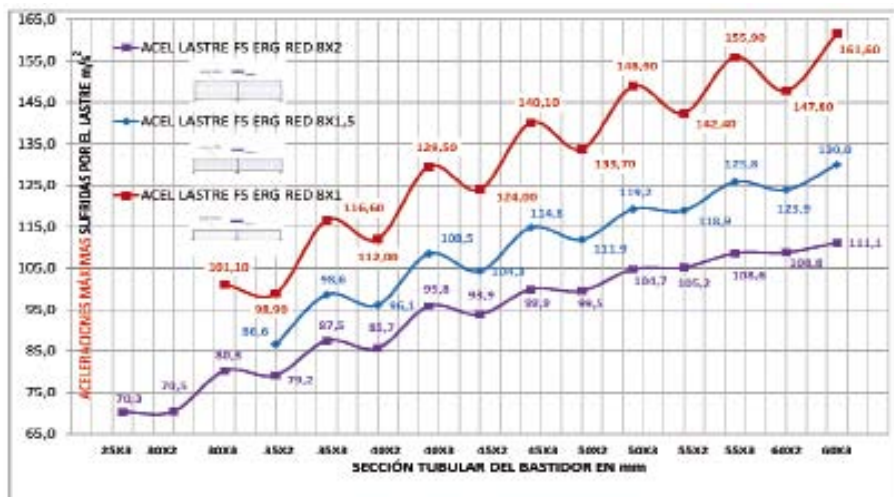


Fig. 10: Máximas aceleraciones sufridas por el lastre cilíndrico para distintas alturas de la red.

redes de 1 m de altura que en las de 2 m de altas. Finalmente, reduciendo la flecha de la red 200 mm, mínimo establecido por UNE-EN 13374, obtenida con el modelo numérico (figura 11) aumentando considerablemente los valores de rigidez de la red y su bastidor, se obtienen unas deceleraciones cercanas a 30 g, valores poco recomendables para la integridad física del accidentado.

Para diversas posiciones de caída del cuerpo humano, en estudios realizados por Sulowski (2006) para los sistemas de protección individual con arnés en líneas de vida, se consideran aceptables factores de impacto del orden de 6 o 7, resultando todavía menores los asumibles para posiciones más desfavorables o severas (3 o 4). Estas últimas no son posibles en el sistema provisional de protección de borde tipo C que aquí se analiza, pero los valores anteriores, que podemos considerar como referencia, distan mucho del factor 30 obtenido con el valor mínimo establecido para la flecha máxima de la red durante la retención.

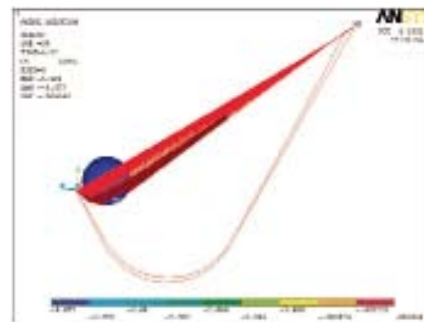


Fig. 11: Instantánea en la que se consigue igualar en el modelo la mínima flecha establecida por UNE-EN 13374 de 200 mm.

### ESTUDIO CINEMÁTICO SIMPLIFICADO

Por otro lado, y a partir de la forma observada en los modelos numéricos para las variaciones de aceleración durante el impacto, se realiza un estudio cinemático de la máxima deceleración, necesaria para la pérdida total de la velocidad adquirida en la caída, durante el desarrollo de dicha flecha máxima. Ello permite obtener una expresión simple que relaciona el factor de impacto  $\gamma$ , la altura de caída  $h$  y dicha flecha máxima  $f$ , que podrá utilizarse para valoraciones rápidas como herramienta de diseño:

$$\gamma = 1,77 \cdot \frac{h}{f} \quad [1]$$

Para el diseño de estos SPPB, con el objeto de controlar el factor de impacto sobre el accidentado (objetivo último del sistema de protección) puede utilizarse la expresión [1] obtenida anteriormente. Dicha expresión facilita de forma rápida y sencilla, y con precisión aceptable, el factor de impacto sufrido por el lastre a partir de la altura de caída del mismo y la flecha de la red. Puede usarse, por tanto, para el diseño de estos dispositivos con control de dicho factor, parámetro clave en la protección del accidentado.



Con dicha expresión se obtienen unos factores de impacto y flechas del mismo orden que los obtenidos con el modelo de elementos finitos de ANSYS, que se resumen en la tabla 1.

Esto conduce a validar los resultados del modelo y a poner en entredicho el valor de la flecha mínima recomendada por la norma, sugiriendo que el valor de 200 mm sea revisado al alza, hasta valores del orden de cuatro veces el actualmente establecido en UNE-EN 13374.

### ESTUDIO EXPERIMENTAL

Recientemente, se han realizado ensayos experimentales en el laboratorio de Aidico, en Paterna (Valencia), para contrastar y ajustar, en su caso, el modelo matemático de elementos finitos utilizado en este trabajo. Una vez analizados los resultados experimentales, queda de manifiesto tras algunos ajustes del modelo, en cuanto a rigidez de soportes y rigidez de la red o protección perimetral, que los valores obtenidos tanto en el modelo (figura 12) como

### ESTUDIO CINEMÁTICO ANALÍTICO

$\gamma = 1,77 \cdot h/f$	$\gamma$ = factor de impacto	$h$ = altura de caída	$f$ = flecha máxima de la red	
$f$ (m)	( $\gamma$ ) PARA LOS SPPB TIPO C		( $\gamma$ ) PARA LOS SPPB TIPO B	
0,2	38	26	19	13
0,5	15	10	7,5	5
1,0	7,5	5	4	2,5
$h$ (m)	4,33 m (5m recorridos a 60°), según ensayo EN 13374	2,90 m ( $E_c=2200J$ ), según requisito energético	2,16 m	1,45 m ( $E_c=1100J$ ), según requisito energético

Tabla 1: Factores de impacto para diferentes flechas de red y alturas de caída.



Vista lateral de la rampa de Aidico para el ensayo UNE-EN 13374 y prototipo de barandilla listo para recibir al cilindro.

los valores experimentales conseguidos en el laboratorio de Aidico (figura 13) con la ayuda de acelerómetros, son del mismo orden, unas 10 veces g en cuanto a la aceleración sufrida por el lastre/accidentado.

#### VALORACIONES

Del trabajo realizado se han obtenido valiosas conclusiones, ya publicadas en algunos foros (Pomares, 2011), que suponen mejoras y soluciones en algunos aspectos que la actual UNE-EN 13374 no resuelve



Fig.12: Máxima aceleración del lastre en la simulación con el modelo del ensayo realizado.

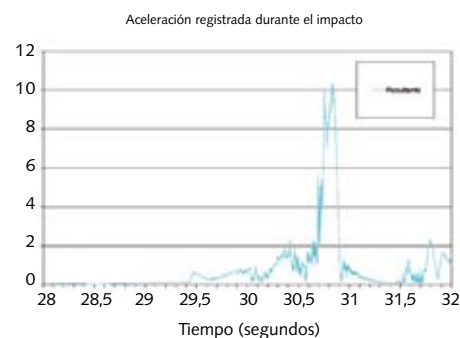


Fig.13: Máxima aceleración sufrida por el lastre, medida con los acelerómetros en Aidico.

de forma satisfactoria, entre los que cabe destacar:

- La inclinación de la red en posición perpendicular a la superficie de trabajo es la idónea entre todas las analizadas.
- Se resuelve el problema de los puntos duros que suponen los soportes, con los nuevos diseños “ergonómicos” originales, creados en este estudio.
- Respecto a los diferentes tamaños de altura de red y distancias entre soportes, se concluye que las redes de 1 m de altura tienen un comportamiento más duro en el proceso de retención del individuo que las de 2 m de altura. Además, estas redes de 1 m, normalmente utilizadas, son poco aconsejables por ser poco seguras, con un riesgo apreciable de ser sobrepasadas por el individuo en una hipotética caída de este sobre la protección, como así han

confirmado los ensayos experimentales.

- Las separaciones mayores, con 4 m de distancia entre soportes, tienen un comportamiento más blando en la retención, principalmente con impactos entre soportes, que las redes más pequeñas de 2,40 m de distancia entre soportes.
- Analizada la flecha mínima exigida actualmente en UNE-EN 13374, queda demostrado que para los 200 mm de flecha, los factores de impacto obtenidos son excesivos para el cuerpo humano.
- Tras un estudio puramente cinemático de la retención del cilindro en la protección, conseguimos una expresión que relaciona el factor de impacto sufrido por el accidentado, en función de su altura de caída y la flecha de protección. Esto sirve como herramienta útil de diseño de estos sistemas de protección.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Irlés Más, Ramón; González Sánchez, Antonio; Segovia Eulogio, Enrique; Maciá Mateu, Antonio. *Las redes verticales de seguridad en la construcción de edificios I*. Informes de la Construcción, volumen 53, nº 477 (2002).
- Ley 31/1995 por la que se aprueba la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. Modificada por: Ley 39/1999; Real Decreto Legislativo 5/2000-Resolución de 16 de octubre de 2001; Ley 54/2003; RD 171/2004, y RD 306/2007.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. BOE nº 64 y 65 (1971).
- Pomares, J. C.; Irlés, R.; Segovia, E. G.; Boixader, D. *Barandillas de protección personal tipo C (UNE-EN 13374)*. Workshop: Investigación e Innovación en protecciones colectivas y medios auxiliares de edificación. Madrid, 16-6-2011.

- Pomares, J. C.; Segovia, E. G.; Irlés, R. *Personal protection rails for strong impacts*. 4th Int. Confer. on Safety and Security Engineering, SAFE 2011. Amberes (Bélgica), 4/6-7-2011.
- Segovia Eulogio, E. G. *Criterios para el diseño de los sistemas anticaída utilizados en construcción y sometidos a impacto*. (Tesis doctoral). Septiembre 2004
- Sulowski, Andrew C. *How good is the 8kN Maximum Arrest Force limit in industrial Fall Arrest System?* Seattle, 2006.
- UNE-EN 1263 Redes de Seguridad. Parte 1: Requisitos de seguridad, métodos de ensayo. AENOR (2002).
- UNE-EN 1263 Redes de Seguridad. Parte 2: Requisitos de seguridad para la instalación de redes de seguridad. AENOR (2004).
- UNE-EN 13374 Sistemas provisionales de protección de borde. Especificaciones del producto, método de ensayo. AENOR (2004).