

Análisis de barandillas de seguridad de tubo de acero según las normas EN 13374 y OSHA 1926.502

RESUMEN / ABSTRACT

Las normas EN 13374 y OSHA 1926.502 regulan los requisitos geométricos y mecánicos que deben cumplir las barandillas de seguridad. Ambas normas tienen la misma finalidad: detener a una persona que, caminando de forma paralela a la barandilla de seguridad, tropieza, cae e impacta contra ella. Sin embargo, los requisitos a cumplir por las barandillas de seguridad se establecen de manera significativamente distinta en ambos documentos.

En este trabajo se ha realizado un análisis de barandillas de seguridad de tubo de acero siguiendo ambas normativas. Los resultados obtenidos permiten comprobar la gran disparidad de criterios y de soluciones obtenidas en función del documento aplicado.

PALABRAS CLAVE / KEYWORDS

construcción; seguridad; barandillas; normativa

AUTORES / AUTHORS

María de las Nieves González García

Universidad Politécnica de Madrid
mariadelasnieves.gonzalez@upm.es

Alfonso Cobo Escamilla

Universidad Politécnica de Madrid
alfonso.cobo@upm.es

Nuria Llauradó Pérez

Universidad Politécnica de Madrid
nuria.llaurado@upm.es

Ángel Castaño Cabañas

Universidad Politécnica de Madrid
angel.castano@upm.es

Isabel Prieto Barrio

Universidad Politécnica de Madrid
mariaisabel.prieto@upm.es

Introducción

En las obras de construcción es habitual utilizar barandillas provisionales de seguridad o sistemas provisionales de protección de borde (SPPB) con el objetivo de prevenir accidentes de caída en altura. Como ventaja sobre otros sistemas destaca el que impiden la caída en vez de reducir los daños producidos por la misma. Es una estrategia de actuación preventiva recogida en distintas normas y documentos (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2007; OSHA, 1990; SESS, 1999; Ministerio de la Presidencia, 1997).

Estos sistemas se regulan, a nivel internacional, a través de distintas normas y reglamentos que especifican los requisitos que deben cumplir. Todas ellas se han diseñado para cumplir la misma misión; detener a un trabajador que, desplazándose a cierta velocidad por la obra, tropieza y golpea contra la protección, impidiendo así su caída al vacío. Sin embargo, los requisitos varían de manera significativa en función del documento de referencia escogido. Los documentos más empleados para valorar la idoneidad de estos sistemas son la norma EN-13374 (CEN, 2013), a nivel europeo, y la norma OSHA-1926.502 (OSHA, 1998), en Estados Unidos y numerosos países del centro y el sur del continente americano.

Comparando estas dos normas entre sí, aparecen principalmente unas diferencias tanto por el tipo de comprobaciones a realizar como por el valor de las acciones a considerar y los límites máximos de flecha admitidos.

Metodología

En el trabajo que se presenta se han analizado las dos normas, para lo que se ha realizado una comparación de los resultados obtenidos aplicando en un mismo caso concreto cada una de ellas.

La Norma EN-13374 considera un SPPB como el conjunto de componentes destinados por un lado a proteger a las personas contra las caídas a un nivel inferior y por otro a retener materiales. Divide los SPPB en tres clases, en función del ángulo de pendiente del plano de trabajo (ángulo que forma, con el plano horizontal, el forjado o tablero de cubierta que se pretende proteger). Además, para las clases B y C, la norma introduce el parámetro altura de caída del trabajador H_f , Figura 1.

Los sistemas clase A son de utilización en superficies de trabajo horizontales o con una pendiente no superior a 10° y son, por tanto, los más empleados en edificación. Se evalúan bajo cargas estáticas y su análisis puede realizarse analítica o experimentalmente, basándose en los requisitos siguientes:

- soporte para una persona que se apoye sobre la protección o para sujetar su mano cuando camina junto a ella,
- detener a una persona que camina o cae en la dirección de la protección.

Los sistemas clases B y C se evalúan bajo cargas de impacto y su análisis debe realizarse experimentalmente.

De toda la documentación consultada por los autores, la Norma EN-13374 es la única que realiza esta distinción de los SPPB, el resto de documentos aplica un único tratamiento a todos los SPPB independientemente del ángulo de pendiente y de la altura de caída del trabajador.

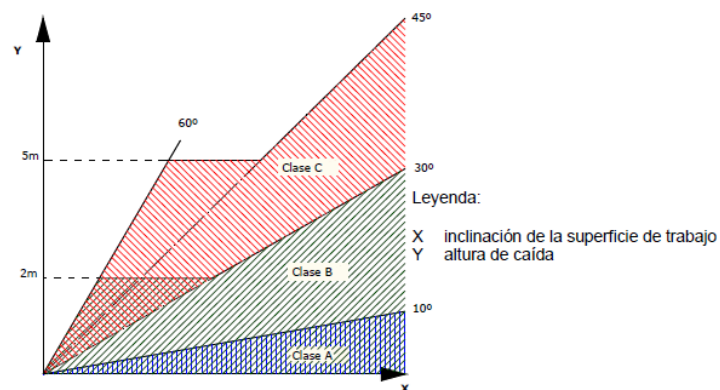


Figura 1. Parámetros para clasificación de SPPB en la EN-13374.

En este trabajo solo se van a analizar sistemas clase A.

Para sistemas clase A, la EN-13374 especifica tres comparaciones: en estados límites de servicio (ELS), en estados límites últimos (ELU) y bajo carga accidental (CA).

En ELS, la norma especifica que cuando se aplica una carga horizontal puntual de 0,30 kN en el punto más desfavorable del SSPB, la flecha del sistema debe ser inferior a 55 mm.

En ELU, para elementos de madera, el SPPB debe ser capaz de resistir una carga horizontal puntual de 0,60 kN aplicada en el punto más desfavorable, sin que aparezcan roturas o plastificaciones. Para elementos de acero la carga aplicada es de 0,55 kN.

En la comprobación de carga accidental CA el sistema debe ser capaz de resistir una carga vertical de 1,25 kN aplicada en el punto más desfavorable. La carga puede incidir con un ángulo de hasta 10° respecto a la vertical, como consecuencia de la inclusión en la clase A de planos de trabajo con un ángulo de pendiente de hasta 10°.

La Norma OSHA-1926.502 indica que un SPPB debe ser capaz de resistir la aplicación de una carga puntual de 0,89 kN en cualquier dirección. Después de la aplicación de la carga, el sistema debe quedar a una altura superior a 1000 mm.

Se han analizado tres SPPB con una luz entre postes de 2400 mm y una altura de 1000 mm, medida desde el nivel de referencia hasta el borde superior de la barandilla principal. Las barandillas principal e intermedia y el poste se han resuelto con secciones tubulares de acero S235. Las orejetas de los postes son de acero S275. El rodapié, telescópico, ha sido fabricado en acero conformado en frío.

Las características geométricas de los tres sistemas se detallan en la Tabla 1.

	Sistema 1 (S1)	Sistema 2 (S2)	Sistema 3 (S3)
BARANDILLAS	o 25 · 1,5 mm	o 40 · 1,5 mm	o 40 · 2 mm
POSTES VERTICALES	o 40 · 1,5 mm	□ 35 · 1,5 mm	o 40 · 2 mm
RODAPIÉ	telescópico, fabricado en chapa conformada		

Tabla 1. Características geométricas de los tres sistemas ensayados.

Los tres sistemas se han anclado a una viga de hormigón armado en la que se han embebido cartuchos de PVC preparados para alojar tanto los postes de sección cuadrada de 35 mm de lado, como los postes de sección circular de 40 mm de diámetro. En la figura 2 se muestra, a modo de ejemplo, la disposición y las características geométricas del sistema 1.

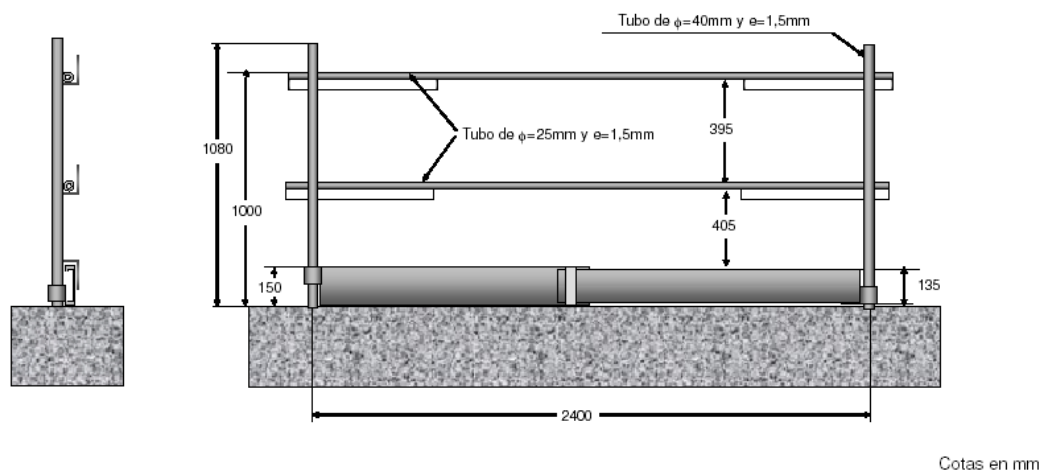


Figura 2. Características geométricas del sistema 1.

Las dimensiones de uno de los sistemas estudiados son las empleadas habitualmente para la protección de bordes de forjado en obras de construcción. El segundo de los sistemas se utiliza en ocasiones excepcionales. Las dimensiones del tercer sistema se han determinado después de realizar un cálculo en base a la norma UNE-EN 13374.

En la evaluación analítica se han adoptado los siguientes modelos de cálculo: las barandillas se han considerado como vigas biapoyadas, siendo los apoyos los vínculos con el poste; el poste se ha considerado como una ménsula, empotrado en el forjado.

Para el cálculo del sistema, se han estudiado los elementos por separado, incorporando en el análisis de cada uno de ellos los efectos producidos por el resto.

El análisis en ELU es idéntico para la barandilla principal e intermedia. La situación más desfavorable para estos elementos se produce cuando la carga está situada en el centro de la barandilla, resultando el máximo momento flector en la barra.

En el poste, la situación más desfavorable se produce cuando la carga se aplica en su extremo volado y la sección más desfavorable es la base, donde se produce el máximo momento flector y el máximo cortante (Figura 3).

Figura 3. Modelo de cálculo para las barandillas y el poste.

Para el cálculo del sistema en ELS el movimiento horizontal del sistema se ha obtenido como la suma de la flecha de la barandilla cargada en el centro de la luz y la flecha del poste. La flecha en el poste se ha calculado con una acción que es la mitad de la carga de la barandilla y aplicada en su extremo (Figura 4). Se ha comprobado la flecha en la barandilla principal, que es mayor que la flecha de la barandilla intermedia.

$$\delta = \delta_B + \delta_P$$

Figura 4. Obtención de la flecha del sistema.

El cálculo para acciones accidentales en la barandilla sigue la misma metodología que el cálculo en ELU aplicando una carga vertical de 1,25 kN en la posición más desfavorable y utilizando como coeficientes de mayoración de acciones o minoración de la resistencia de los materiales el valor unidad.

Resultados

En la tabla 2 se muestran los valores de desplazamiento en mm por los tres sistemas en la comprobación de flecha.

		EN-13374 (mm)	OSHA-1926.502 (mm)
S 1	POSTE $\square 40 \cdot 1,5$	7,10	21.06
	SISTEMA	60,70	180.08 (171.4)
S 2	POSTE $\square 35 \cdot 1,5$	6,32	18.75
	SISTEMA	18,54	55.00 (46.14)
S 3	POSTE $\square 40 \cdot 2$	5,51	16.35
	SISTEMA	15,03	44.59 (36.82)

Tabla 2. Comparación entre los resultados obtenidos en la comprobación de flecha.

En la columna correspondiente a la norma OSHA-1926.502 se indican en primer lugar las flechas horizontales (que en esta norma no son objeto de comprobación) y a continuación las flechas verticales.

En la tabla 3 se muestran los resultados en la comprobación de resistencia de los tres sistemas analizados.

		EN-13374		OSHA-1926.502	
		M _{Sd} (kN·m)	M _{Rd} (kN·m)	M _{Sd} (kN·m)	M _{Rd} (kN·m)
BARANDILLA	S1	0,27	0,18	0,53	0,18
	S2	0,27	0,48	0,53	0,48
	S3	0,27	0,62	0,53	0,62
POSTE	S1	0,45	0,48	0,53	0,48
	S2	0,45	0,54	0,53	0,54
	S3	0,45	0,62	0,53	0,62

Tabla 3. Comparación entre los resultados obtenidos utilizando las dos normas de estudio en la comprobación de resistencia.

En la Tabla 3 se indican los valores obtenidos para el momento solicitación (M_{Sd}) y el momento que es capaz de resistir la sección (M_{Rd}). La comprobación en ELU exige que M_{Rd} ≥ M_{Sd}.

Discusión de resultados

Para el sistema 1 puede comprobarse que utilizando las dos normas se obtiene el mismo resultado: no se superan los requisitos normativos. Si se utiliza la norma europea, el requisito de desplazamiento no se cumple por el sistema. El poste cumple a ELU, aunque muy justo (0,48 kN·m frente a 0,45 kN·m), pero la barandilla no es capaz de superar la comprobación a flexión (0,18 kN·m frente a 0,27 kN·m). Si se utiliza la normativa norte americana, tanto la barandilla como el poste no son capaces de cumplir los requisitos resistentes. En cuanto al desplazamiento, en este caso solo se exige que el sistema después de actuar las cargas quede 1000mm por encima del suelo, lo que exigiría que en su posición inicial la barandilla superior quedase al menos a 1171.4 mm por encima de la referencia horizontal.

Los sistemas 2 y 3 superan los requisitos de desplazamiento y de resistencia de la norma EN-13374. Para superar el requisito de desplazamiento utilizando la norma OSHA sería necesario que los sistemas S2 y S3 estuviesen inicialmente a una altura mínima de 1046.1 mm y 1044.6 mm, respectivamente. La barandilla del sistema 2 no supera el requisito de resistencia de la norma OSHA, el poste del sistema 2 y todo el sistema 3 superan los requisitos de flecha y de desplazamiento de la norma OSHA.

Conclusiones

La mayoría de los SPPB utilizados habitualmente en obras no cumplen los requisitos exigidos por las normas UNE-EN 13374 y OSHA-1926.502 cuando se evalúan analítica.

El formato de comprobación de las normas UNE-EN 13374 y OSHA-1926.502 para SPPB difiere sustancialmente tanto en los valores de las acciones a utilizar como en las comprobaciones a efectuar.

De los tres sistemas analizados, el único que es capaz de superar los requisitos de ambas normas es el formado por postes y barandillas de sección circular tubular de diámetro 40 mm y espesor 2 mm.

La evaluación resistente de la norma OSHA-1926.502 es más exigente que la indicada por la norma UNE-EN 13374, al utilizar la primera de las normas valores para las acciones superiores a los de la segunda.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Congreso ORP 2015 la posibilidad de participar en el mismo con esta comunicación.

Referencias bibliográficas

CEN; UNE-EN 13374: Temporary edge protection systems. Product specification, test methods. European Committee for Standardization (CEN), 2013

Ministerio de la Presidencia; Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. Anexo IV. Disposiciones de seguridad y salud que deberán aplicarse a las obras. Parte C. Disposiciones mínimas específicas relativas a puestos de trabajo en las obras en el exterior de los locales. 3. Caídas de altura: a). Boletín Oficial del Estado, 25 de octubre de 1997, nº 256

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo; *VI Encuesta Nacional de condiciones de trabajo*, 2007. NIPO: 211-07-057-0. Disponible en: <http://www.mtas.es/insht/statistics/viencuesta.pdf>

OSHA; Analysis of Construction Fatalities. The OSHA Data Base 1985-1989. U.S. Department of labor, Washington, DC, 1990

OSHA; *Part 1926 Subpart M CFR 1926.500 - Fall Protection for the Construction Industry*. Occupational Safety & Health Administration. US Department of Labor, Washington, DC, 1998

SESS. Service d'expertise et soutien statistique; *IRSST-Sources: Base de données de l'INFOCENTRE de la CSST*, mise à jour au 1 mai 1999, 1999