

ANÁLISIS DE LA REGULACIÓN TÉCNICA INTERNACIONAL RELATIVA A SISTEMAS PROVISIONALES DE PROTECCIÓN DE BORDE

¹ Cobo Escamilla, A. *; ² González García, M.N.

Grupo de Investigación UPM: Patología de Estructuras, Protecciones Colectivas y Medios Auxiliares de Edificación
Universidad Politécnica de Madrid

¹ Departamento de Tecnología de la Edificación

² Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control
Avda. Juan de Herrera, 6, 28040 Madrid, España
e-mail: alfonso.cobo@upm.es

RESUMEN

Los sistemas provisionales de protección de borde (SPPB) son un medio eficaz para prevenir el riesgo de caída en altura.

Las normas establecen los requisitos geométricos y mecánicos que deben superar los SPPB para poder ser utilizados en obras de construcción.

El objetivo de este trabajo es comparar distintos reglamentos internacionales relativos a SPPB y obtener analíticamente las soluciones que se obtendrían como SPPB utilizando esos reglamentos.

Para ello se han utilizado reglamentos de USA, Europa, Australia y Canadá. Se han comparado las exigencias indicadas por estos reglamentos y se han obtenido las dimensiones de SPPB utilizando los mismos.

Los resultados muestran una diferencia significativa entre las soluciones obtenidas.

1.- Introducción

Teniendo en cuenta la normativa de Prevención de Riesgos Laborales, la estrategia preventiva frente al riesgo de caída en altura establece el siguiente orden de actuación: en primer lugar eliminar los riesgos en el origen; si no es posible, la altura de caída debe ser limitada mediante protecciones colectivas; en último lugar hay que dotar a los trabajadores de equipos de protección individual frente a la caída [1].

La protección frente a caída en altura mediante sistemas provisionales de protección de borde (SPPB) constituye un sistema eficaz porque elimina el riesgo en el origen, impidiendo la caída y evitando por tanto la posibilidad de sufrir lesiones cuando un trabajador impacta contra otro tipo de sistema que solo limita la altura de caída.

2.- Objetivos

Comparar las dimensiones obtenidas para sistemas provisionales de protección de borde usando distintas normas internacionales.

3.- Normativa empleada

3.1.- EN 13374 [2]

En relación a la prevención de caídas a distinto nivel en edificios y otras estructuras, los requisitos establecidos por la normativa española para estos sistemas han sido

muy genéricos hasta que afortunadamente, a finales del año 2004, se produce un punto de inflexión. La norma UNE-EN 13374 "Sistemas provisionales de protección de borde. Especificaciones del producto, métodos de ensayo", aprobada por el CEN el 24-12-2003 y publicada por AENOR en diciembre de 2004, especifica los requisitos de comportamiento y métodos de ensayo para los sistemas provisionales de protección de borde, para superficies horizontales e inclinadas, empleados durante la construcción o el mantenimiento de edificios y otras estructuras. Esta norma es la versión en español de la Norma Europea EN 13374 de junio de 2004. En el momento de la redacción de este trabajo la norma EN se encuentra en proceso de revisión.

Los requisitos están destinados a prevenir la caída de personas o materiales desde un borde abierto como bordes de forjados, tejados, escaleras o excavaciones. La norma se puede aplicar tanto a superficies horizontales como inclinadas.

La norma clasifica los sistemas de protección de borde en tres clases (A, B y C), en función del ángulo de inclinación del forjado y la altura de caída del cuerpo que protege, exigiéndoles unos requisitos u otros, tanto a nivel de geometría del sistema como a nivel de resistencia de los diferentes componentes: barandilla superior e intermedia, protección intermedia, rodapié y poste (fig. 1 "Clases a utilizar en diferentes inclinaciones de forjado y alturas de caída según EN 13374").

Los sistemas clase A se utilizan para ángulos menores de 10° , evaluándose mediante cargas estáticas. Se trata de protecciones diseñadas para soportar a una persona que se apoye sobre la protección, que sujete su mano cuando camina junto a ella o para detener a una persona que camina o cae en dirección a la protección. Su evaluación puede realizarse de modo analítico o experimental. Esta clase de protección es la que más se utiliza en la práctica.

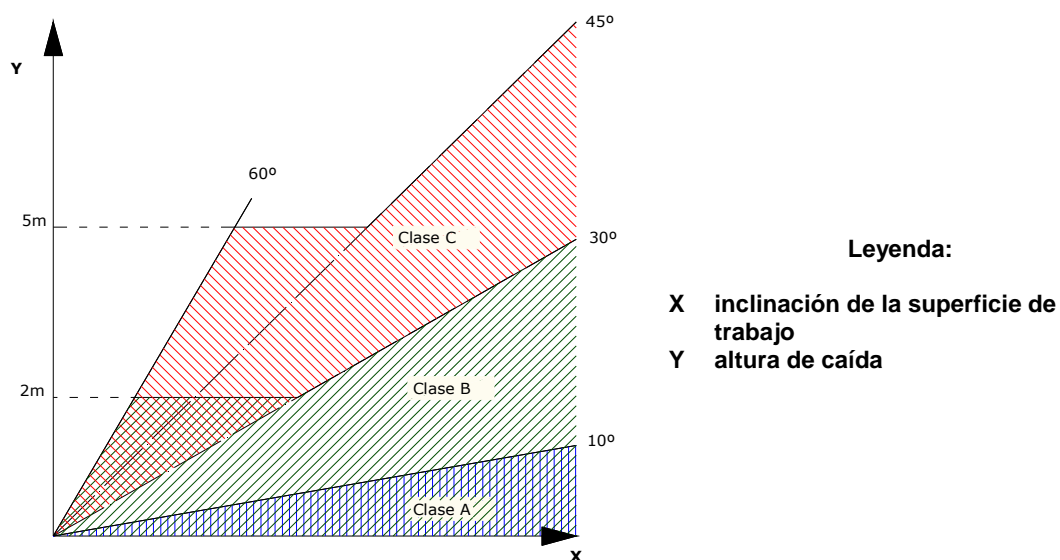


Figura 1. Clases a utilizar en diferentes inclinaciones de forjado y alturas de caída según EN 13374.

3.2.- OSHA - 1926.502. Fall protection systems criteria and practices, supart M. Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor [3]

El sistema debe ser capaz de resistir una carga de 0.89 kN aplicada en cualquier dirección y sobre cualquier punto de la barandilla superior. Cuando la carga se aplica

en dirección vertical, el sistema no debe quedar a una altura inferior a 1.0 m del forjado. Las barandillas intermedias y estructuras intermedias en forma de panel deben ser capaces de resistir una carga de 0.67 kN aplicada en cualquier punto y en cualquier dirección. Los rodapiés deben ser capaces de resistir una carga puntual de 0.22 kN aplicada en cualquier punto y en cualquier dirección.

La altura de la barandilla superior debe ser de 1.1 m sobre la superficie de trabajo. La altura mínima de los rodapiés debe ser de 0.09 m. Entre su borde inferior y el forjado no debe quedar una altura superior a 0.06 m.

3.3.- Québec Safety Code for the Construction Industry, 2001. S-2.1, r6. Código de Seguridad para los trabajos de construcción de Québec [4].

Esta norma establece requisitos de resistencia y construcción para SPPB.

Los requisitos de resistencia sólo se establecen para la parte superior del sistema. La norma indica que el sistema debe ser capaz de resistir simultáneamente una carga horizontal puntual de 900 N y una carga puntual vertical de 450 N aplicadas en cualquier punto de la barandilla superior.

En los requisitos de construcción se indica que la altura de la barandilla debe estar comprendida entre 1.0 y 1.2 m por encima de la superficie de trabajo.

Cuando el SPPB esta construido con madera, estará formado por una barandilla superior de al menos 38 mm de altura por 89 mm de ancho, apoyada en postes de las mismas dimensiones, separados como máximo 1.8 m y colocados de forma que los 89 mm de anchura del poste estén sobre el eje de la barandilla superior; una barandilla de anchura no menor a 75 mm situada en la mitad de la altura y sujeta a la cara interior de los postes; y un rodapié de al menos 89 mm de altura sujeto a la cara interior de los postes.

En el caso que el SPPB esté fabricado con acero consistirá en una barra de al menos 10 mm de diámetro para las barandillas superior e intermedia; postes de acero con separación máxima de 3.0 m; y un rodapié de al menos 89 mm de altura, unido a la cara interior de los postes.

Para verificar la adecuación de una barandilla con un documento normativo se debe comprobar la resistencia mecánica y la construcción. Los requerimientos mecánicos se verifican mediante el ensayo de una barandilla para la combinación de cargas que producen las máximas sollicitaciones y movimientos de los componentes de la barandilla y los requerimientos de construcción se verifican chequeando las características geométricas de las barandillas. Si se cumplen ambos requerimientos las barandillas se adecuan a los requerimientos normativos.

3.4.- RSST-2001. Reglamento para la sanidad y la seguridad en el trabajo [5]

Fija como requisitos de resistencia los siguientes: una carga puntual horizontal de 0.55 kN y una carga vertical uniformemente repartida de 1.50 kN/m. Para los requisitos de construcción establece la altura de la barandilla superior entre 0.9 y 1.1 m; la barandilla intermedia debe situarse en el punto medio entre la barandilla superior y el forjado; la altura del rodapié debe ser igual o superior a 0.1 m.

3.5.- Australian Standard. AS 1657-1992. Fixed platforms, walkways, stairways and ladders - Design, construction and installation [6]

Un poste debe estar diseñado para resistir una carga horizontal concentrada de 550 N aplicada en cualquier punto.

Una barandilla debe estar diseñada para resistir las siguientes cargas horizontales o verticales que no actúan simultáneamente: una acción de 550 N y una carga uniformemente repartida de 330 N/m.

4.- Modelos de cálculo empleados

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 (Estado Límite Último) 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, donde se produce el máximo momento flector en la barra. No obstante también se analizará la situación de máximo cortante correspondiente a la carga próxima al apoyo.

En el poste, la situación más desfavorable se produce cuando la carga se aplica en su extremo volado, siendo la sección inferior la más solicitada, donde se produce el máximo momento flector y el máximo cortante.

En la figura 2 (fig. 2 "Modelo de cálculo para las barandillas y el poste") se muestran los modelos de cálculo para las barandillas cuando la carga se aplica en su punto medio y para el poste cuando la carga se aplica en su extremo volado.

Para el cálculo del sistema en ELS (Estado Límite de Servicio) 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 (fig. 3 " Obtención de la flecha del sistema al que se aplican las fuerzas F_{T1} o F_{T2} , en la posición más desfavorable"). Se ha comprobado la flecha en la barandilla principal, que es mayor que la flecha de la barandilla intermedia.

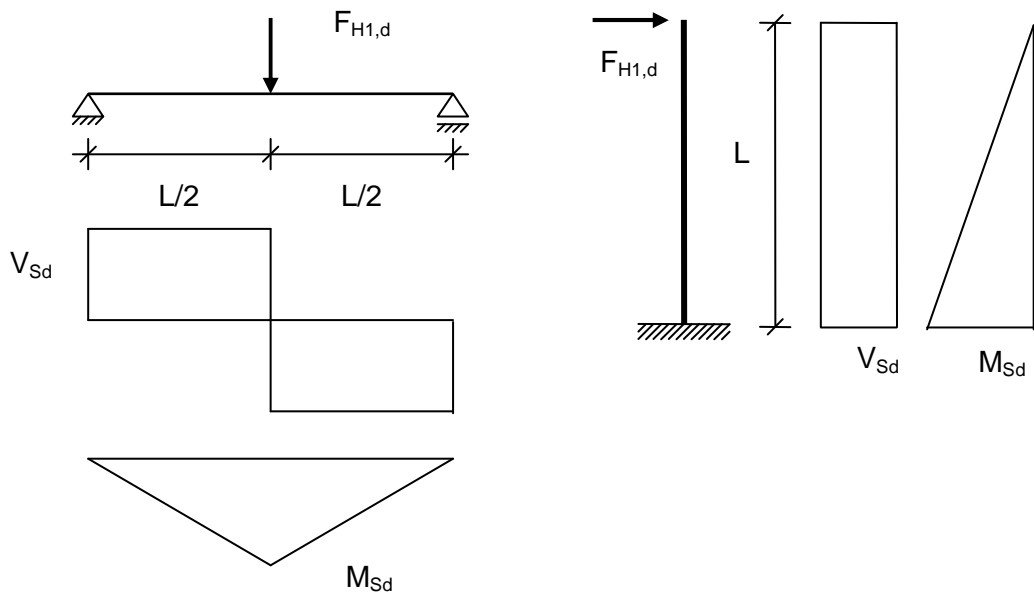


Figura 2. Modelo de cálculo para las barandillas y el poste.

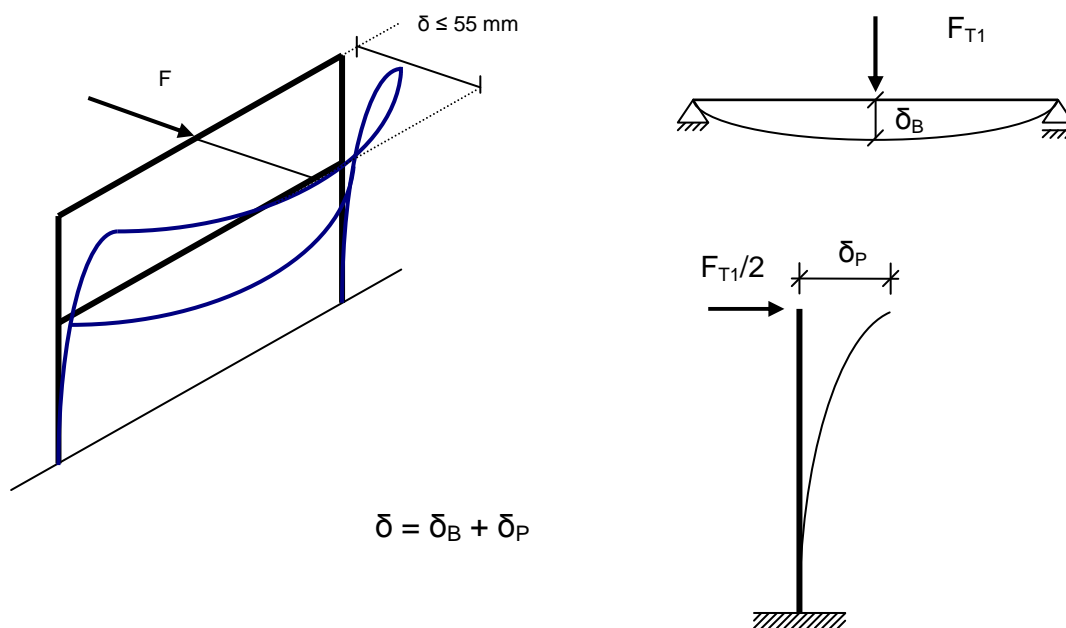


Figura 3. Obtención de la flecha del sistema al que se aplican las fuerzas F_{T1} o F_{T2} , en la posición más desfavorable.

En la tabla 1 (Tabla 1) se indican las comprobaciones a realizar para la evaluación frente a ELU en la barandilla.

Sección	Solicitud	Comprobación	Acciones	Resistencia de la sección
				ACERO
Centro de la barandilla	Flexión	$M_{Sd} \leq M_{Rd}$	$M_{Sd} = \frac{F_{H1,d} \cdot L}{4}$	$M_{Rd} = \frac{W \cdot f_y}{\gamma_M}$
	Cortante	$V_{Sd} \leq V_{Rd}$	$V_{Sd} = \frac{F_{H1,d}}{2}$	$V_{Rd} = A_v \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M}$
	Interacción flexión-cortante	$V_{Sd} \leq \frac{V_{Rd}}{2}$	$V_{Sd} = \frac{F_{H1,d}}{2}$	$\frac{V_{Rd}}{2} = \frac{A_v}{2} \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M}$
Extremo de la barandilla	Cortante	$V_{Sd} \leq V_{Rd}$	$V_{Sd} = F_{H1,d}$	$V_{Rd} = A_v \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M}$

Tabla1. Comprobaciones a realizar para la evaluación analítica en ELU en la barandilla.

Leyenda:

$F_{H1,d}$: Valor de cálculo de la acción

L: Longitud de la viga

M_{Sd} : Máximo momento flector de cálculo

V_{Sd} : Esfuerzo cortante de cálculo

M_{Rd} : Momento flector que es capaz de resistir la sección

V_{Rd} : Esfuerzo cortante que es capaz de resistir la sección

W: Momento resistente de la sección

A_v : Área de cortante

A: Área de la sección

f_y : Límite elástico del acero empleado

$f_{m,d}$: Tensión de cálculo a flexión en madera

$f_{v,d}$: Tensión de cálculo a cortante en madera

γ_M : Coeficiente de minoración de la resistencia del material

En la tabla 2 (Tabla 2) se indican las comprobaciones a realizar para la evaluación frente a ELU en el poste.

Sección	Solicitud	Comprobación	Acciones	Resistencia de la sección
				ACERO
Base del poste	Flexión	$M_{Sd} \leq M_{Rd}$	$M_{Sd} = F_{H1,d} \cdot L$	$M_{Rd} = \frac{W \cdot f_y}{\gamma_M}$
	Cortante	$V_{Sd} \leq V_{Rd}$	$V_{Sd} = F_{H1,d}$	$V_{Rd} = A_v \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M}$
	Interacción flexión-cortante	$V_{Sd} \leq \frac{V_{Rd}}{2}$	$V_{Sd} = F_{H1,d}$	$\frac{V_{Rd}}{2} = \frac{A_v}{2} \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M}$

Tabla 2. Comprobaciones a realizar en la evaluación analítica en ELU en el poste.

La sección más desfavorable es la base, donde se produce el máximo momento flector y el máximo cortante correspondiente.

La comprobación de flecha únicamente la establece la norma EN 13374. En este caso la norma EN 13374 limita el movimiento horizontal **del sistema** bajo una carga dada. Se trata de obtener el movimiento de todo el sistema para lo que hay que sumar al movimiento de la barandilla, el movimiento experimentado por el poste, que es mayor en el punto donde apoya la barandilla principal. La flecha resultante no debe ser mayor de 55 mm.

La formulación para obtener el movimiento de la **barandilla** es la siguiente (fig. 4 "Obtención de la flecha de la barandilla"):

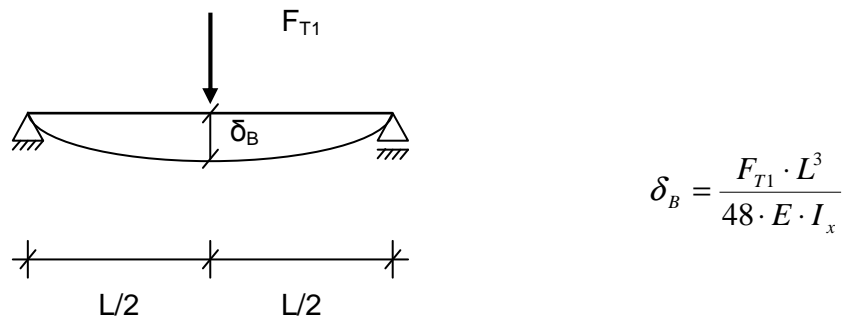


Figura 4. Obtención de la flecha de la barandilla.

Leyenda:

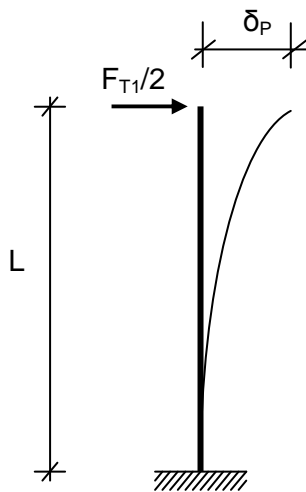
- δ_B : Flecha de la barandilla
- F_{T1} : Fuerza aplicada para cumplir los requisitos de flecha
- L : Luz de la barandilla
- E : Módulo de elasticidad del material empleado
- I_x : Momento de inercia de la sección de la barandilla respecto al eje que pasa por el centro de gravedad

Si la sección está constituida por un tubo circular de radio exterior R_e y radio interior

$$R_i, I_x = \frac{\pi}{4} (R_e^4 - R_i^4)$$

El módulo de elasticidad longitudinal del acero es $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

Para calcular la flecha del sistema δ_s , se suma la flecha de la barandilla δ_B más la flecha en el poste considerando una acción que es la mitad de la carga aplicada en la barandilla δ_P (fig. 5 "Obtención de la flecha del poste").



$$\delta_p = \frac{F_{T1}/2 \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$\delta_s = \delta_B + \delta_p$$

Figura 5. Obtención de la flecha del poste.

5.- Resultados obtenidos

En la tabla 3 (Tabla 3) se indican los resultados obtenidos para la barandilla principal y para el poste utilizando las acciones prescritas por las normas analizadas en el punto 3 y utilizando los modelos de cálculo desarrollados en el punto 4.

	EN-13374	RSST (2001)	S-2.1, r.6, 2001	OSHA, 1998	AS 1657-1992
Barandilla principal	○ 42.4 · 2.0 $W_{pl} \geq 3.19$ cm^3	○ 48.3 · 2.5 $W_{pl} \geq 5.06$ cm^3	○ 48.3 · 2.0 $W_{pl} \geq 3.79$ cm^3	○ 42.4 · 2.0 $W_{pl} \geq 2.50$ cm^3	○ 33.7 · 2.0 $W_{pl} \geq 1.54$ cm^3
Poste	○ 33.7 · 2.5 $W_{pl} \geq 2.11$ cm^3	○ 42.4 · 2.0 $W_{pl} \geq 2.57$ cm^3	○ 48.3 · 2.0 $W_{pl} \geq 4.21$ cm^3	○ 48.3 · 2.0 $W_{pl} \geq 4.17$ cm^3	○ 42.4 · 2.0 $W_{pl} \geq 2.57$ cm^3

Tabla 3. Resultados obtenidos para la barandilla principal y el poste.

Puede comprobarse cómo existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en función de la norma empleada.

Para la barandilla principal, la norma más restrictiva es RSST (2001) que implica el empleo de una sección tubular circular 48.3 · 2.5 ($W_{pl} \geq 5.25 \text{ cm}^3$) condicionada por la carga uniforme de 1.50 kN/m.

Para el poste, la norma más exigente es S-2.1, r.6, 2001 que implica el uso de una sección circular tubular 48.3 · 2.0 ($W_{pl} \geq 4.29 \text{ cm}^3$) debido a la carga puntual de 0.9 kN.

6.- Conclusiones

Existen diferencias significativas entre los requisitos mecánicos exigidos por las normas internacionales para los SPPB.

La evaluación analítica realizada sobre la barandilla principal y el poste arroja soluciones que oscilan entre el tubo de sección circular $48.3 \cdot 2.5$ ($W_{pl} \geq 5.25 \text{ cm}^3$) hasta el tubo $33.7 \cdot 2.0$ ($W_{pl} \geq 2.01 \text{ cm}^3$), para la barandilla. En el caso del poste, este intervalo se encuentra entre el tubo $33.7 \cdot 2.5$ ($W_{pl} \geq 2.44 \text{ cm}^3$) hasta el tubo $48.3 \cdot 2.0$ ($W_{pl} \geq 4.29 \text{ cm}^3$).

Únicamente se especifica un requerimiento de control de flecha en la norma EN 13374, cuando este criterio es básico para garantizar la seguridad de los trabajadores al impactar sobre un SPPB.

REFERENCIAS

- [6] Australian Standard. AS 1657-1992. Fixed platforms, walkways, stairways and ladders - Design, construction and installation.
- [2] European Standard. EN 13374 Temporary edge protection systems - Product specification, test methods. 2004.
- [1] OPPBTP. Mémo-pratique B1 M 01 94, 1994.
- [3] OSHA, 1998. Part 1926 Subpart M CFR 1926.502 Fall Protection systems criteria and practices. Occupational Safety & Health Administration. US Department of Labor, Washington, DC.
- [5] RSST (2001). Règlement sur la santé et la sécurité du travail. Éditeur officiel du Québec. Québec. Canadá.
- [4] S-2.1, r.6, 2001. Québec Safety Code for the Construction Industry. Les Publications du Québec, Gouvernement du Québec, Québec. Canadá.