

Comparación entre los resultados analíticos y experimentales obtenidos en la evaluación de sistemas de protección de borde clase A según la norma UNE-EN 13374 “Sistemas provisionales de protección de borde, especificaciones de producto”

**M^a de las Nieves González García
Alfonso Cobo Escamilla**

E.U.A.T.M. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
COLEGIO OFICIAL DE APAREJADORES Y ARQUITECTOS TÉCNICOS DE MADRID

RESUMEN

La norma UNE-EN 13374 “Sistemas provisionales de protección de borde. Especificaciones del producto, métodos de ensayo” clasifica los sistemas de protección de borde en tres clases (A, B y C), en función de la inclinación del sistema de protección y de la altura de caída de la persona a proteger.

Se ha trabajado en un primer momento sobre tres sistemas clase A utilizados habitualmente en las obras, evaluándolos experimentalmente y analíticamente.

Los resultados muestran que algunas de las soluciones comúnmente empleadas no superan los requisitos normativos. También se realizan consideraciones sobre la comparación de los resultados obtenidos analítica y experimentalmente.

1.- ANTECEDENTES

De la VI Encuesta Nacional de condiciones de trabajo, realizada en el año 2007 por el Instituto Nacional de Seguridad en el Trabajo, se extrae que en el sector de la construcción las *caídas de personas desde altura* ocupan el primer lugar en cuanto a riesgos de accidente detectados por sector de actividad (59,3%), con una frecuencia que casi cuadruplica a la del conjunto de trabajadores que han señalado algún riesgo de accidente en su trabajo (15,8% de media entre los cuatro sectores); la importancia de este dato es mayor si se tiene en cuenta la habitualmente elevada gravedad de estos accidentes. Dado que el riesgo de caída de altura en construcción es muy elevado, asociado a él, se señala la existencia de *aberturas o huecos desprotegidos, escaleras o plataformas en mal estado*. Hay que resaltar que un tercio de los trabajadores expuestos identifican dicha deficiencia preventiva (32,2%). Como causas del riesgo de caídas de personas desde altura se señala en un 13,6% de los casos las *aberturas o huecos desprotegidos, escaleras o plataformas en mal estado*.

Las protecciones contra caídas son las que se van a estudiar con más detalle, considerando éstas como aquellos dispositivos artificiales intercalados entre la superficie de trabajo y el vacío con el fin de evitar o limitar la caída tanto de trabajadores como de distintos materiales.

1.1.- NORMATIVA

En España no existe una norma específica de obligado cumplimiento que trate el tema de las protecciones colectivas de obras de construcción.

La Norma UNE-EN 13374-2004, “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, en caso de haberse seguido otorga presunción de conformidad de que el

sistema es seguro. Está indicada para superficies horizontales e inclinadas, empleados durante la construcción o el mantenimiento de edificios y otras estructuras.

La norma UNE-EN 13374 clasifica los SPPB en 3 clases (fig. 1) en función del ángulo de inclinación del forjado y la altura de caída del cuerpo que protege. Los sistemas clase A se utilizan para ángulos menores de 10°, evaluándose éstos 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.

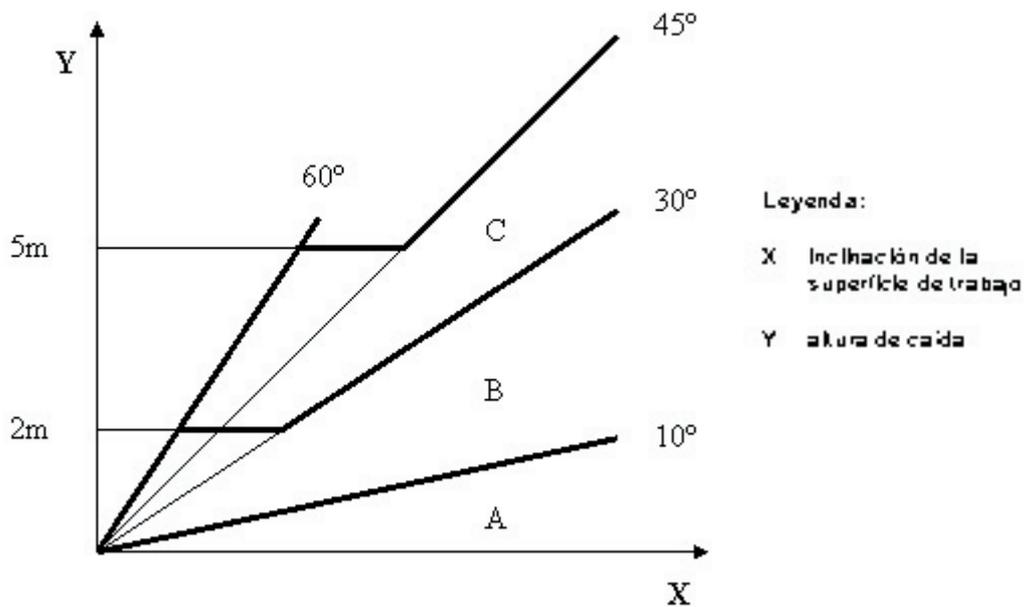


Fig. 1 "Clases para utilizar en diferentes inclinaciones y alturas de caída"

Esta clase de protección es la que más se da en la práctica y las soluciones habitualmente empleadas en obras no se ajustan a los requerimientos de la norma UNE-EN 13374.

Actualmente se colocan, a modo de sistemas provisionales de protección de borde, diversas soluciones de las que se ignora su comportamiento mecánico. Ante esta situación, el Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid (COATM), tradicionalmente preocupado y en vanguardia en materia de seguridad y salud, está llevando a cabo una investigación para comparar las soluciones habitualmente empleadas en España con los requerimientos de la norma. Para ello se ha realizado un análisis pormenorizado de la norma y se han ensayado sistemas de protección de borde comúnmente utilizados. Además, se han evaluado los mismos sistemas de modo analítico, para comparar los resultados obtenidos por ambas vías: analítica y experimental.



Fotografía 1. Sistema provisional de protección de borde clase A colocado habitualmente en obra.

1.2.- OBJETIVOS

El objetivo que se pretende alcanzar con la realización de este trabajo de investigación es evaluar la capacidad resistente de los SPPB clase A utilizados habitualmente en obras y establecer los cambios que son necesarios para que cumplan la norma UNE-EN 13374. Este objetivo supone la realización de las siguientes etapas:

1. Analizar la norma UNE-EN 13374 para determinar los requisitos exigidos a los sistemas de protección de borde Clase A.
2. Estudiar analíticamente el comportamiento de elementos integrantes de sistemas provisionales de protección de borde.
3. Realizar ensayos para conocer empíricamente el comportamiento de las partes integrantes de sistemas provisionales de protección de borde.
4. Comparar los resultados obtenidos analíticamente y mediante la realización de ensayos.
5. Obtener las dimensiones geométricas que deben poseer los elementos usados como partes integrantes de sistemas provisionales de protección de borde, en función de los materiales empleados y de la geometría de los elementos, para que cumplan los requisitos de la norma UNE-EN 13374.
6. Comprobar si la metodología de análisis de SPPB especificados por la norma UNE-EN 13374 es la correcta y, en caso contrario, proponer las mejoras oportunas.

2.- CONTENIDO

Se han ensayado tres sistemas provisionales de protección de borde con las siguientes características:

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Barandillas	acero Ø25 mm	acero Ø40 mm	acero Ø40 mm
	espesor 1.5 mm	espesor 1.5 mm	espesor 2 mm
Postes verticales	acero Ø 40 mm	acero 35 mm x 35 mm	acero Ø 40 mm
	espesor 1.5 mm	espesor 1.5 mm	espesor 2 mm
	1200 mm de longitud	1200 mm de longitud	1200 mm de longitud
Rodapié	telescópico, fabricado en chapa metálica		

Tabla 1 “Características de los tres sistemas ensayados”.

En todos los casos se han empleado como único material el acero y el rodapié ha sido idéntico, telescópico y fabricado con chapa. Las barandillas principal e intermedia y el poste se han resuelto con secciones tubulares de acero S235. Las orejetas de los postes de acero son de acero S275. En la (tabla 1) se detallan las características geométricas de los tres sistemas.

En la (fig. 2) se muestra la disposición y las características geométricas del sistema 3 ensayado.

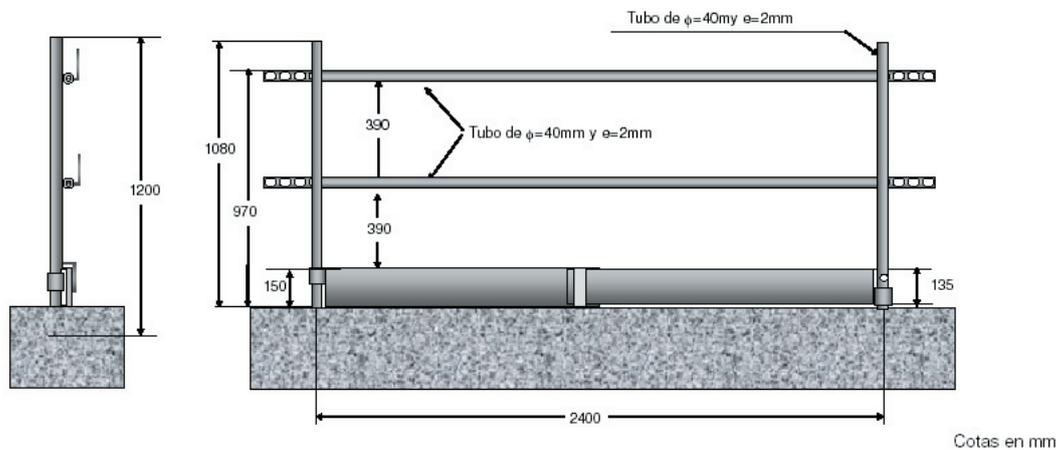


Fig. 2 "Características geométricas del Sistema 3"

Todas las pruebas realizadas se han llevado a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Elementos de Seguridad de AIDICO -Instituto Tecnológico de la Construcción, Unidad Técnica de Seguridad-, ubicado en Paterna (Valencia), que cuenta con la Infraestructura y Equipamiento necesarios para la realización de los ensayos cumpliendo con las especificaciones indicadas en la norma UNE-EN 13374:2004, en relación con el método de ensayo.

En cada una de las muestras de ensayo, los ciclos de carga son aplicados en cuatro puntos. Estos puntos de aplicación de la carga se han elegido bajo criterios normativos y criterios del propio equipo investigador (disposición más desfavorable) asumiéndose como puntos críticos del sistema, y son los indicados en la (fig. 3).

Los puntos 1, 2 y 3, situados en el centro de las barandillas superior e inferior y del rodapié, producen el máximo momento flector en estos elementos (requisitos de resistencia y carga accidental) y el máximo desplazamiento del sistema (requisito de flecha).

El punto 4, situado en el extremo del poste, produce el máximo momento flector y el máximo desplazamiento en el poste.

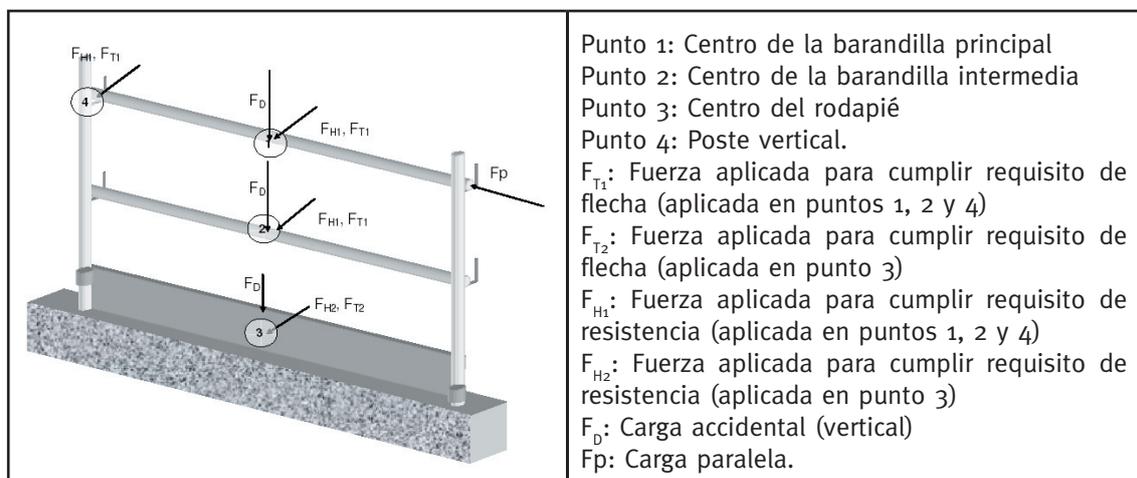


Fig. 3 "Disposición del ensayo"

3.- RESULTADOS OBTENIDOS

SISTEMA 1

	F_{max}	\square_1	\square_2	\square
Punto 1	0.30 kN	4.24 mm	70.91 mm	66.67 mm
Punto 2	0.30 kN	1.26 mm	57.99 mm	56.73 mm
Punto 3	0.20 kN	4.98 mm	18.41 mm	13.43 mm
Punto 4	0.30 kN	3.12 mm	24.10 mm	20.98 mm

Tabla 2 “Resultado de movimientos para el Sistema 1”

Parámetros utilizados para el requisito de deformación:

- \square_1 : Deformación inicial producida en el elemento tras la precarga inicial (flecha de referencia).
- \square_2 : Deformación máxima producida en el elemento durante la aplicación de la carga estática sin mayorar (estado límite de servicio).
- \square : Deslizamiento característico del sistema ($\square_2 - \square_1$).
- F_{max} : Carga máxima a la que se somete el elemento.

	F_{max}	R_u	\square_1	\square_2	\square_3	\square_{max}
Punto 1	0.50 kN	0.57 kN	1.37 mm	139.61 mm	30.27 mm	138.24 mm
Punto 2	0.50 kN	-	3.71 mm	116.10 mm	17.67 mm	112.39 mm
Punto 3	0.35 kN	-	8.43 mm	38.61 mm	2.25 mm	30.18 mm
Punto 4	0.50 kN	1.082 kN	1.46 mm	30.07 mm	1.60 mm	28.62 mm

Tabla 3 “Resultado de resistencia para el Sistema 1”

Parámetros utilizados en el requisito de resistencia:

- F_{max} : Carga máxima aplicada para en ensayo de aceptación.
- \square_1 : Deformación residual tras la precarga inicial.
- \square_2 : Deformación instantánea en la aplicación de la carga máxima.
- \square_3 : Deformación residual tras la carga máxima aplicada.
- \square_{max} : Deformación máxima ($\square_2 - \square_1$).
- R_u : Resistencia última.

Se aplica una carga vertical hacia abajo de 1,25kN, en el centro de la barandilla principal. Por la curva obtenida (aunque no se pudo alcanzar la carga de 1,25kN) se observa que el elemento no es capaz de resistir esta carga ya que sólo se deforma, sin coger más carga.

SISTEMA 2

	F_{max}	\square_1	\square_2	\square
Punto 1	0.30 kN	5.45 mm	34.31 mm	28.87 mm
Punto 4	0.30 kN	4.41 mm	23.89 mm	19.48 mm

Tabla 4 “Resultado de movimientos para el Sistema 2”



Fotografía 2. Ensayo a flecha del sistema 2.

	F_{max}	R_u	δ_1	δ_2	δ_3	δ_{max}
Punto 1	0.50 kN	1.34 kN	3.80 mm	50.49 mm	3.17 mm	46.69 mm
Punto 4	0.50 kN	0.82 kN	2.85 mm	36.97 mm	6.25 mm	34.12 mm

Tabla 5 “Resultado de resistencia para el Sistema 2”.

Se aplica una carga vertical hacia abajo de 1,25kN, en el centro de la barandilla principal y sobre el troquelado del extremo de la barandilla. La barandilla resiste sin problemas esta carga accidental.

SISTEMA 3

	F_{max}	δ_1	δ_2	δ
Punto 1	0.30 kN	1.33 mm	22.99 mm	21.66 mm
Punto 2	0.30 kN	1.08 mm	15.64 mm	14.56 mm
Punto 4	0.30 kN	2.47 mm	17.44 mm	14.97 mm

Tabla 6 “Resultado de movimientos para el Sistema 3”.

	F_{max}	R_u	δ_1	δ_2	δ_3	δ_{max}
Punto 1	0.50 kN	1.94 kN	1.83 mm	39.03 mm	1.20 mm	37.20 mm
Punto 2	0.50 kN	-	0.48 mm	24.10 mm	0.31 mm	23.62 mm
Punto 4	0.50 kN	1.41 kN	3.18 mm	26.33 mm	1.32 mm	23.15 mm

Tabla 7 “Resultado de resistencia para el Sistema 3”.

Al igual que en el sistema 2 la barandilla resiste sin problemas esta carga accidental.

4.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

4.1.- ANALÍTICOS

SISTEMA 1

La barandilla no resiste en Estado Límite Último ni las cargas accidentales.

El sistema experimenta una flecha superior al límite de la norma, básicamente por la deformación de la barandilla (53,6 mm).

SISTEMA 2

Tanto la barandilla como el poste y el sistema resisten las cargas a Estado Límite Último y a Estado Límite de Servicio.

El cálculo para cargas accidentales a la barandilla no resulta airoso si se emplea la tensión correspondiente al límite elástico y, para superar esta especificación, es necesario recurrir a tensiones superiores, lo cual no es usual en los cálculos de estructuras.

SISTEMA 3

Los cálculos a ELU y ELS verifican que los elementos y el sistema cumplen con los requisitos de la norma.

Para cumplir las acciones accidentales, e igual que para el sistema 2, es necesario utilizar tensión superior al límite elástico e inferiores a la de rotura.

4.2.- EXPERIMENTAL

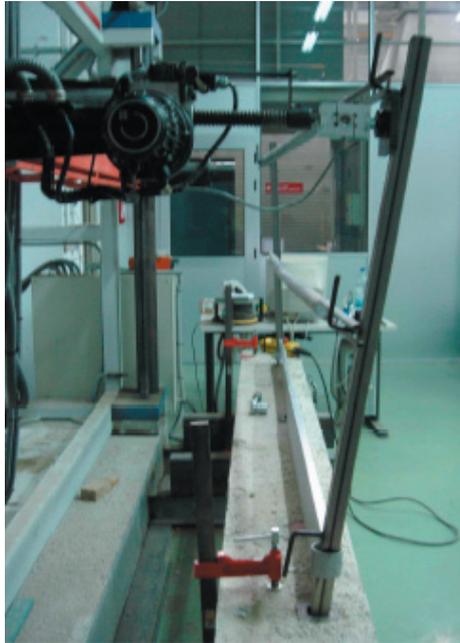
SISTEMA 1

El rodapié cumple los ensayos prescritos por la norma.

El poste cumple el ensayo de resistencia, la barandilla no cumple resistencia y el sistema no cumple el ensayo de deformación. Cambiando la barandilla y manteniendo el poste, el sistema podría ser válido.

SISTEMA 2

El sistema supera el ensayo de flecha pero no supera el de resistencia al experimentar el poste una flecha residual superior al 10% de la instantánea.



Fotografía 3. Ensayo de resistencia última del sistema 2.

SISTEMA 3

El sistema supera los requisitos de deformación y resistencia establecidos por la norma.

El aumento de la rigidez de las secciones de barandilla y poste han dado como resultado movimientos significativamente menores en el sistema.

En la (tabla 8) se muestra el movimiento del sistema en los 3 casos estudiados para la carga de 0,30 kN en el centro de la barandilla principal, separando el movimiento correspondiente al poste y a la barandilla.

	SISTEMA 1	SISTEMA 2	SISTEMA 3
POSTE	□ 40 / 1,5 12,05	□ 35 / 1,5 11,94	□ 40 / 2,0 8,72
BARANDILLA	□ 25 / 1,5 58,86	□ 40 / 1,5 22,37	□ 40 / 2,0 14,27
SISTEMA	70,91	34,31	22,99

Tabla 8 “Resultados de deformación para los tres sistemas ensayados”.

Puede comprobarse como, para el requisito de flecha elástica, el poste no es determinante y las 3 soluciones anteriores dan valores de flecha para el poste muy similares.

Sin embargo, la diferencia en la flecha de las barandillas es importante. El paso del tubo 40·1,5 al tubo 40·2 supone una disminución significativa de la flecha de la barandilla y la barandilla de 25·1,5, por si sola, tiene una flecha superior a la del sistema.

5.- CONCLUSIÓN

En la (tabla 9) se resumen los resultados analíticos y experimentales obtenidos por los tres SPPB de tubo metálico.

		ANALÍTICO				EXPERIMENTAL					
		ELS	ELU	ACCIDENTAL		DEFORMACIÓN	RESISTENCIA				
							FD	Ru	_3		
Sist. 1	BARANDILLA										
	□ 25 / 1,5	NO	NO			SI	NO	NO	NO		
	POSTE										
	□ 40 / 1,5	SI				SI	SI	SI	SI		
	SISTEMA	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
Sist. 2	BARANDILLA										
	□ 40 / 1,5	SI	¿SI?*			SI	SI	SI	SI		
	POSTE										
	□ 35 / 1,5	SI				SI	SI	NO	NO		
	SISTEMA	SI	SI	¿SI?*	¿SI?*	SI	SI	SI	NO	NO	NO
Sist. 3	BARANDILLA										
	□ 40 / 2,0	SI	¿SI?*			SI	SI	SI	SI		
	POSTE										
	□ 40 / 2,0	SI				SI	SI	SI	SI		
	SISTEMA	SI	SI	¿SI?*	¿SI?*	SI	SI	SI	SI	SI	SI

* Las barandillas para resistir la carga accidental necesitan trabajar a una tensión superior a la tensión en el límite elástico, pero inferior a la mínima Resistencia última a tracción, R_m , indicada por las normas EN 10210-1: 1994 y EN 10219-1:1997.

Tabla 9 “Resumen de resultados analíticos y experimentales de los tres sistemas ensayados”

A partir de los resultados anteriores, se pueden anotar las siguientes conclusiones:

1. La barandilla formada por tubo 25/1,5 no es capaz de superar los requisitos de la norma ni analítica ni experimentalmente.
2. El poste 40/1,5 es capaz de superar los requisitos de la norma tanto analítica como experimentalmente.
3. La barandilla 40/1,5 supera los requisitos de resistencia cuando se evalúa experimentalmente. Sin embargo, evaluada analíticamente bajo carga accidental es necesario recurrir a tensiones superiores a las del límite elástico.
4. El poste de tubo cuadrado 35/1,5 supera el cálculo a ELU y sin embargo no es capaz de superar el ensayo de resistencia de la norma.

5. De los tres sistemas ensayados, el único que es capaz de superar los requisitos de la norma cuando se evalúa experimentalmente es el sistema 3 formado por tubo 40/2. Para que este sistema sea capaz de superar la evaluación analítica, es necesario movilizar tensiones superiores al límite elástico cuando se calcula a carga accidental.
6. Los resultados para el cálculo analítico y la evaluación experimental no coinciden. Siendo en el caso del tubo cuadrado 35/1,5 usado como poste, más exigente la evaluación experimental que la analítica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la financiación aportada por el Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid.

BIBLIOGRAFÍA

AIDICO. *Guía didáctica virtual sobre evaluación y gestión de medios de protección colectiva en el sector de la construcción [CD]*. Valencia, España. Disponible previa solicitud en: <http://aulavirtual.aidico.es> [Consulta: 3 marzo 2008].

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (2004). *Sistemas provisionales de protección de borde. Especificaciones del producto, métodos de ensayo. UNE-EN 13374*. AENOR, Madrid, España.

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2007). *VI Encuesta Nacional de condiciones de trabajo*. NIPO: 211-07-057-0. Disponible en: <http://www.mtas.es/insht/statistics/viencuesta.pdf> [Consulta: 9 junio 2008].