

Criterios de peligrosidad en medio urbano. Estudio comparativo entre referencias nacionales e internacionales

Russo B.¹, Gómez M.², Macchione F.³

¹Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia (Univ. de Zaragoza), brusso@unizar.es

²Grup de Recerca FLUMEN, Universitat Politècnica de Catalunya, manuel.gomez@upc.edu

³Laboratorio Lampit, Università della Calabria, f.macchione@unical.it

1 Introducción

Más de la mitad de la población del planeta y en particular la de España vive en medio urbano. El crecimiento del número de ciudades, del tamaño de las mismas, las elevadas condiciones de impermeabilidad y en algunos casos la climatología irregular, con tormentas intensas en periodos de tiempo cortos, genera cada año un rosario de problemas de inundación que si bien son pequeños en extensión (pocos Kilómetros cuadrados), tienen una gran repercusión entre los ciudadanos y suponen cuantiosos daños materiales dado el elevado valor de los bienes localizados en cualquier entorno urbano, y en ocasiones también pérdidas de vidas humanas. La provincia de Granada el año pasado, Cambrils en el año 2002, Santa Cruz de Tenerife en el 2001, Alicante en 1999, y otras muchas poblaciones de la costa mediterránea y del Sur de España, son ejemplos de sitios donde se han producido cuantiosos daños materiales acompañados de pérdidas de vidas humanas. La seguridad de las actividades ciudadanas durante un suceso de lluvia, como el tráfico peatonal y vehicular, y la no inundabilidad de viviendas, es el objetivo principal que guía el funcionamiento de un sistema de drenaje. Sucesos de lluvia extremos combinados con una insuficiente capacidad del sistema de drenaje pueden producir inundaciones de áreas urbanas y problemas asociados a la circulación vehicular y peatonal (aquaplaning, salpicaduras, peligro de arrastre y vuelco para peatones y vehículos, etc.). Estudios recientes relacionan los criterios de peligrosidad asociados a escorrentía en zonas urbanas al comportamiento hidráulico del sistema de calles durante un suceso extremo de lluvia y eso se justifica al pensar en la gran capacidad de transporte de agua que muchas de ellas pueden tener. Actualmente existe un cierto acuerdo en literatura sobre el hecho que la peligrosidad hidráulica asociado a escorrentía urbana sea básicamente asociado a los parámetros del flujo calado (y) y velocidad (v) y muchos autores han proporcionado, en el curso de los últimos años, algunas expresiones que evalúan el grado de peligrosidad del flujo en función de uno de estos parámetros o de la combinación de los dos (Abt *et al.*, 1989; Reiter, 2000; Kelman, 2002; Shand *et al.*, 2010).

En muchos de estos casos la peligrosidad del flujo se define como la condición necesaria para que ocurra un fenómeno de vuelco o deslizamiento del peatón por efecto del flujo. Generalmente estos estudios relacionan la estabilidad de un peatón frente a la acción del flujo, al producto entre calado (en m) y velocidad (m/s). Para un individuo adulto este valor suele estar en el rango de $0.5 - 1 \text{ m}^2/\text{s}$. Sin embargo, muchas de estas experiencias están relacionada a flujos en cauces o llanuras de inundación por lo cual no son muy adecuadas para caracterizar la peligrosidad del flujo en el calles urbanas cuando las inundaciones se producen por el efecto combinado de la escorrentía superficial y de los caudales excedentes del sistema de drenaje en carga (bajos calados y velocidades elevadas).

De hecho, en caso de inundaciones en ámbito rural, las corrientes suelen caracterizarse por elevadas laminas de agua (hasta metros de alturas) y velocidades moderadas a lo largo de duraciones significativas. Por el contrario, las inundaciones urbanas producidas por eventos de lluvias extremos, se caracterizan por calados de pocos centímetros (generalmente menos de 1 m) y velocidades muy elevadas (hasta 3-4 m/s) debido a los bajos coeficientes de rugosidad de las superficies impermeables. Además, si consideramos el fenómeno del deslizamiento frente al flujo, se puede observar que la fuerza del flujo es linealmente proporcional al calado y función del cuadrado de la velocidad (Nanía, 1999), por lo cual resulta necesario determinar criterios de peligrosidad específicos para calles urbanas en caso de inundaciones producidas por exceso de escorrentía superficial durante episodios de tormentas.

Por lo que se refiere al marco normativo relativo a la gestión de los riesgos frente a las inundaciones, la Directiva de Inundaciones 2007/60/CE (CE, 2007), y su transposición en el Real Decreto 903, 2010 (BOE, 2010) establecen un calendario de desarrollo de políticas destinadas a reducir las consecuencias negativas de las

inundaciones sobre la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, que contempla una evaluación preliminar del riesgo de inundación (2011), mapas de peligrosidad y riesgo de inundaciones (2013) y planes de gestión del riesgo de inundación (2015).

Por todo eso, resulta evidente la necesidad de evaluar la peligrosidad hidráulica de la manera más adecuada y rigurosa posible. Con este fin, en este artículo, se presenta, por un lado, un extenso trabajo de recopilación bibliográfica sobre el tema de los criterios para evaluar la peligrosidad hidráulica en caso de inundaciones en ámbito urbano y peri-urbano, y por otro, los resultados de una campaña experimental dentro de una nueva línea de investigación promovida por el Grupo Agbar y desarrollada por el Grupo de Investigación Flumen de la Universitat Politècnica de Catalunya.

2 Estado del arte sobre criterios de peligrosidad en relación a las inundaciones en medio urbano y peri-urbano

Con el fin de resumir los criterios de peligrosidad hidráulica asociados a inundaciones en ámbito urbano y rural, a continuación, en las Tablas 1, 2 y 3 se presentan algunas referencias relacionadas a calado, velocidad y combinación de los dos parámetros, encontrados en literatura y recopilados en la tesis de doctorado de Russo (2010).

Tabla 1 Criterios de peligrosidad de calado máximo: referencias a nivel mundial.

Fuente	Referencia	y_{\max} (m)
Urban Storm Drainage Criteria Manual. Urban Drainage and Flood Control District. Denver, Colorado (EE. UU.)	Wright-Mc Laughlin, 1969	0.45
Control del desarrollo urbano en las zonas inundables (España)	Témez, 1992	1.00
Clark County Regional Flood Control District (CCRFCD). Hydrological criteria and drainage design manual, Clark County (EE. UU.)	CCRFCD, 1999	0.30
Criterio de Mendoza (Argentina)	Nanía, 1999	0.30
Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMC). Floodplain Management in Australia (Australia y Nueva Zelanda)	ARMC, 2000	1.20 – 1.50
Risques Hydro-météorologiques, crues et inondations / risque, aléa et vulnérabilité /DDS-TUE364/9 (Suiza)	Belleudy, 2004	0.00 – 1.00
PICBA06: Plan Integral de Alcantarillado de Barcelona 2007 (España)	CLABSA, 2007	0.06
Road Drainage Manual, National Transport Commission (Republica de Sud África)	Rooseboom <i>et al.</i> , 1981	0.06
Piano di bacino stralcio per la difesa idraulica e idrogeologica (Italia)	Región Liguria, 1993	1.00 – 2.00

Tabla 2 Criterios de peligrosidad de velocidad máxima: referencias a nivel mundial.

Fuente	Referencia	v_{\max} (m/s)
Control del desarrollo urbano en las zonas inundables (Spain)	Témez, 1992	1.00
Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMC). Floodplain Management in Australia (Australia y Nueva Zelanda)	ARMC, 2000	1.50
Risques Hydro-météorologiques, crues et inondations / risque, aléa et vulnérabilité /DDS-TUE364/9 (Suiza)	Belleudy, 2004	0.25 - 1.00
Piano di bacino stralcio per la difesa idraulica e idrogeologica (Italia)	Región Liguria, 1993	0.30 – 0.70

Tabla 3 Criterios de peligrosidad de calados y (m) y velocidad v (m/s). Además se consideran la altura H (en m) y el peso M (en kg) de los individuos.

Fuentes	Referencias	Expresión
Federal Emergency Management Agency (FEMA). The floodway: a guide for community permit officials (EE. UU.)	FEMA, 1979 y 1997	$v \cdot y \leq 0.56$
Australia Runoff and Runoff, A guide of flood estimation. Vol. 1&2 (Australia)	Institution of Engineers (1987)	$v \cdot y \leq 0.40$
Human Stability in a High Flood Hazard Zone. AWRA Water Resources Bulletin (EE. UU.)	Abt <i>et al.</i> , 1989	$v \cdot y \leq (0.50)$ (para monolite)
Human Stability in a High Flood Hazard Zone. AWRA Water Resources Bulletin (EE. UU.)	Abt <i>et al.</i> , 1989	$v \cdot y \leq 0.0929 [e^{0.022(2.2M \cdot H / 25.4) 1.09}]^2$
Management urban development in floodplain (España)	Témez, 1992	$v \cdot y \leq 0.50$
Clark County Regional Flood Control District (CCRFCFCD). Hydrological criteria and drainage Design manual. Clark County (EE. UU.)	CCRFCFCD, 1999	$v \cdot y \leq 0.55$
PhD Dissertation. Tech. Univ. of Catalonia (España)	Nanía, 1999	$v^2 \cdot y \leq 1.00$
PhD Dissertation. Tech. Univ. of Catalonia (España)	Nanía, 1999	$v \cdot y \leq 0.45$
EU-Project RESCDAM. Helsinki PR Water Consulting (Finlandia)	Reiter, 2000	$v \cdot y \leq (0.25 - 0.70)$
EU-Project RESCDAM. Helsinki University of Technology. Finnish Environment Institute. Finlandia	Karvonen <i>et al.</i> 2000	$v \cdot y \leq 0.006H \cdot M$ 0.3 (Condiciones buenas) $v \cdot y \leq 0.004H \cdot M$ 0.2 (Condiciones normales) $v \cdot y \leq 0.002H \cdot M$ 0.1 (Condiciones malas)
Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources (DIPNR). NSW Floodplain Development Manual. South Wales Government, Sydney, Australia.	DIPNR, 2005	$v \leq 3.3y + 2.7$ Limites: $v \leq 2$; $y \leq 0.8$
Flood Risks to People Project (Phase 2) Department for Environment Food and Rural Affairs, Reino Unido.	Ramsbottom <i>et al.</i> 2006.	Peligrosidad hidráulica = $y(v + 0.5) + DF$ (DF: Debris Factor entre 0-1) 0.75 – 1.5 : Peligro para algunos 1.5 – 2.5 : Peligro para muchos > 2.5 : Peligro para todos

3 Campaña experimental para estimar criterios de peligrosidad en calles urbanas durante episodios de lluvias extremos

3.1 Descripción del modelo físico realizado en la UPC

Muchas de las experiencias citadas en el apartado anterior, se refieren al estudio de la estabilidad de un peatón en áreas inundadas, y los resultados han sido obtenidos a través de modelos físicos representando canales naturales en escala real (Figure 1). Sin embargo, no ha sido encontrada ninguna referencia bibliográfica relativa a experiencias de este tipo en un ámbito urbano, y, en particular, en calles inundadas por efecto de fuertes tormentas, durante las cuales suelen producirse corrientes con fuertes velocidades y calados no muy elevados.

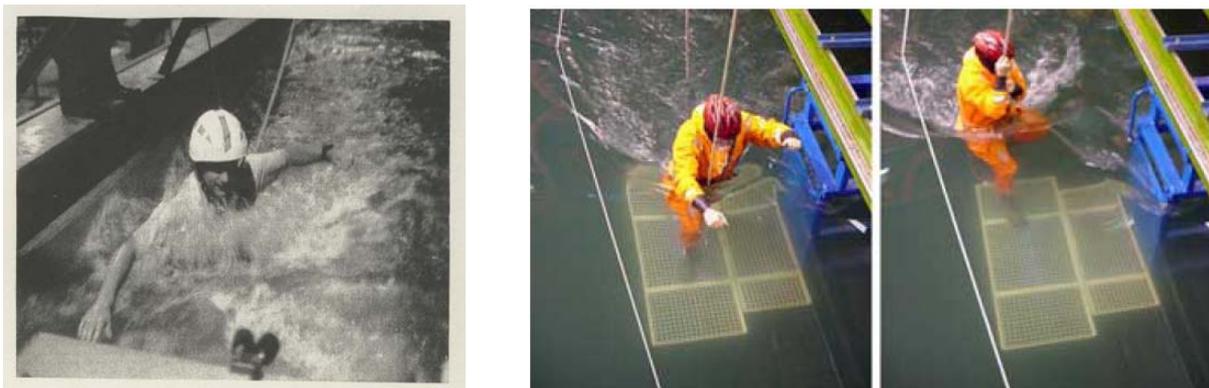


Figura 1 Algunas experiencias experimentales relativas al estudio de la estabilidad de individuos frente a corrientes en canales naturales (Abt et al., 1989; ARMC, 2000).

Con este fin, en el marco de un proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia Español, y por la Fundación Agbar, el Grupo de Investigación FLUMEN de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), ha realizado una plataforma de ensayos para hallar criterios de estabilidad de individuos en condiciones de velocidades del flujo críticas. La idea ha sido simular, con la máxima precisión posible, una sección de calle a escala real (con aceras, bordillos, calzada con bombeo transversal, etc.) y reproducir, a través de varios ensayos, diferentes situaciones críticas al variar los caudales circulantes por la plataforma y las pendientes longitudinales de la misma.

Todas las experiencias similares desarrolladas hasta la fecha, se refieren a corrientes naturales en medio rural con calados altos (del orden de varios decímetros ó metros) y velocidades medias (1-2 m/s) (Témez, 1992; Reiter, 2000) o a canales rectangulares (Abt *et al*, 1989). El modelo, construido en el Laboratorio de Hidráulica de la UPC, reproduce fielmente una calle con bombeo transversal del 2% (valor que impone la normativa local), mientras las pendientes longitudinales pueden variar hasta llegar al valor máximo del 10%.

El modelo se alimenta a través de un sistema de impulsión formado por tres bombas cuya capacidad máxima es de 500 l/s (2 bombas con capacidad máxima de 200 l/s y otra con capacidad máxima de 100 l/s). Debido a esa importante limitación, para poder alcanzar valores de velocidad del flujo elevadas, se ha considerado un ancho de calzada de 2.6 m con 5 m de largo. La altura del bordillo en correspondencia de la cuneta se ha fijado en 0.15 m.

Con todos estos datos se ha realizado en diseño preliminar del modelo que puede verse en los croquis de las figuras 2 y 3.

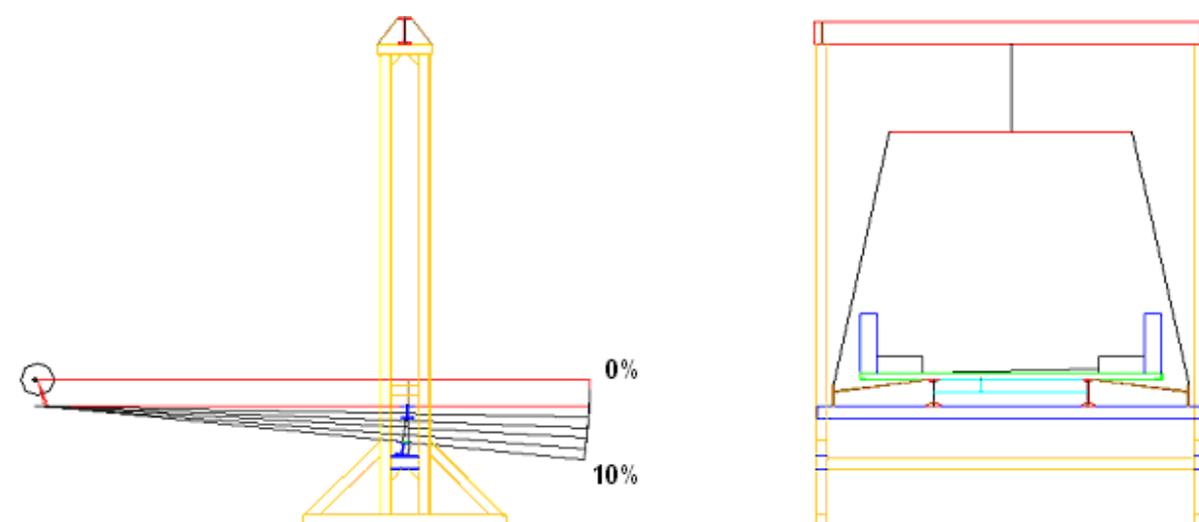


Figura 2 Detalles del modelo físico y representación de sus sistema de elevación.

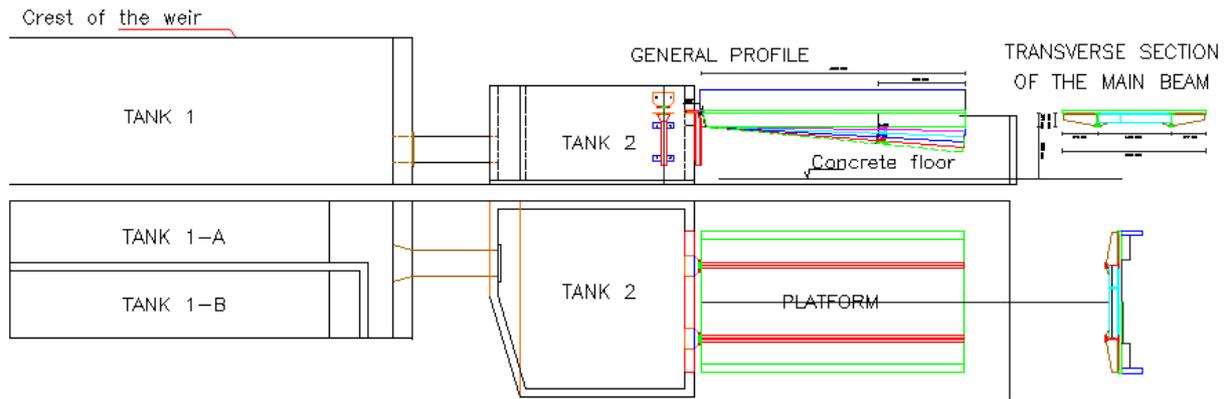


Figura 3 Vistas generales del modelo en perfil y en planta.

El agua antes de llegar a la plataforma, alcanza un depósito de carga conectado a través de dos válvulas eléctricas a dos canales paralelos dotados de vertederos triangulares. El caudal de ensayo está regulado a través de las válvulas, y además controlado por dos limnímetros situados aguas arriba de los aliviaderos. El esquema de funcionamiento del modelo se representa en la Figura 3 en la cual la línea en azul representa aproximadamente el eje hidráulico de la corriente.

Aguas arriba de la plataforma hay un pequeño depósito de cabecera para amortiguar la energía del flujo procedente del depósito de carga y proporcionar una entrada del flujo en la plataforma de la manera más uniforme posible (Figura 4). Este depósito ha sido realizado considerando tres diferentes volúmenes comunicados a través de ladrillos taladrados. Los primeros 2 compartimientos proporcionan la disipación de la energía, mientras, a través del tercero, se consigue que el agua tenga una lámina horizontal antes de entrar en la plataforma. El perímetro de este compartimento ha sido modelado para limitar las pérdidas de carga debidas a la contracción de la sección del flujo.



Figura 4 Esquema de funcionamiento de la plataforma.



Figura 5 Depósito de cabecera de la plataforma.

3.2 Protocolo de ensayo

El objetivo de la campaña experimental durante los ensayos, fue la de reproducir, de la forma más real posible, el comportamiento de individuos al circular por calle urbanas inundadas y con parámetros del flujo (calados y velocidades) potencialmente peligrosos. En particular el fin de la campaña ha sido lo de hallar velocidades límites para poder caracterizar la peligrosidad hidráulica asociada a este tipo de inundación en medio urbano.

Con este objetivo, 23 individuos (15 varones y 8 mujeres) entre 48 y 100 Kg y con alturas entre 1.48 y 1.82 m, han sido seleccionados para los ensayos. Cada ensayo consistió en circular por la plataforma (Figura 6) perpendicularmente, paralelamente y diagonalmente al flujo. Finalmente se realizaron 834 ensayos. Según los datos proporcionados por Shand *et al.* (2010), estos valores (tanto en números de ensayos, como en número de individuos) no han sido alcanzados en ninguna campaña experimental anterior sobre estos temas.



Figura 6 Individuo durante un ensayo con un caudal de circulación de 300 l/s y una pendiente longitudinal del 6%.

Cada individuo repitió el ensayo para todas las pendientes longitudinales y todos los caudales circulantes hasta alcanzar el valor máximo de 500 l/s (con incrementos progresivos de 100 l/s) o al no poder terminar correctamente el ensayo debido a las condiciones del flujo.

Las pendientes longitudinales ensayadas y los diferentes caudales circulantes se representan a continuación:

I_y : 2%, 4%, 6%, 8%, 10%

Q : 100 l/s, 200 l/s; 300 l/s; 400 l/s; 500 l/s.

Los ensayos se repitieron en condiciones de visibilidad óptimas y en condiciones de visibilidad limitadas obligando los individuos a circular con gafas especiales. Los ensayos se desarrollaron en superficies de hormigón con rugosidad muy próxima a las de las calles urbanas y no se consideraron efectos de transportes de sedimentos o efecto de debris-flow.

Además de considerar las velocidades límites relacionadas a claras condiciones de peligrosidad alta (*high hazard*), también se definieron las condiciones de peligrosidad moderada (*moderate hazard*) y de peligrosidad leve (*low hazard*). En particular para caracterizar el nivel de peligrosidad asociado a las condiciones del flujo y al comportamiento de cada individuo, se han considerado las siguientes situaciones.

Condiciones de peligrosidad alta (*high hazard conditions*)

- El individuo presentaba claros síntomas de inestabilidad (por ejemplo el individuo no podía permanecer estable estando parado de pie o circulando por la plataforma o había sido arrastrado por el flujo, etc.)
- El individuo presentaba clara pérdida de maniobrabilidad (por ejemplo el individuo no podía acabar el protocolo de ensayo correctamente sin agarrarse a los cables de seguridad, etc.)

Condiciones de peligrosidad moderada (*moderate hazard conditions*)

- El individuo mostraba significativas pérdidas de estabilidad (por ejemplo el individuo no podía moverse de forma correcta o hacía gran esfuerzo para permanecer estable)
- El presentaba pérdida significativa de maniobrabilidad (por ejemplo el individuo mostraba evidentes dificultades para acabar el ensayo)

Condiciones de peligrosidad leve (*low hazard conditions*)

- El individuo se agarraba de forma instintiva al cable de seguridad
- El individuo mostraba dificultades al entrar al agua y bajar la acera
- El individuo mostraba pequeños problemas de estabilidad al circular por la plataforma

3.3 Resultados de la campaña experimental

Para cada condición de peligro detectada (leve, moderada o alta) se han registrado los datos de caudal, calado y velocidad, calculando también los parámetros v y v^2 y relacionados a los criterios de seguridad al vuelco y al deslizamiento (Témez, 1992; Gómez 2008). Finalmente se registraron, en condiciones de visibilidad óptima:

- 54 condiciones de peligro leve
- 28 condiciones de peligro moderado
- 13 condiciones de peligro alto

mientras para condiciones de visibilidad limitada se registraron:

- 77 condiciones de peligro leve
- 40 condiciones de peligro moderado
- 16 condiciones de peligro alto

Con todos los datos correspondientes a las situaciones de peligro, se ha calculado el percentil 95-esimo de as velocidades para peligro alto, moderado y leve, resultando que, para clasificar los umbrales entre las varias zonas de peligrosidad pueden utilizarse los valores de la Tabla 4.

Tabla 4 Criterios de peligrosidad de calado máximo: referencias a nivel mundial.

Nivel de peligrosidad	Condiciones del flujo
	(calados entre 9 y 16 cm)
Alto	$v \geq 1.88$ m/s
Moderado	$1.5 \leq v < 1.88$ m/s
Bajo	$v < 1.51$

Los parámetros de las condiciones del flujo asociados a peligrosidad alta se han comparado con los criterios de peligrosidad teóricos de deslizamiento y vuelco más empleados en España (Témez, 1992; Nanía, 1999) en el caso de individuos con pesos de alrededor 50 y 60 Kg. Como se puede observar en las Figura 7 y 8, casi todos los puntos están por debajo de las gráficas de Nanía y Gómez, mientras están siempre por encima de la de Témez, demostrándose que los criterios teóricos de estabilidad al vuelco y al deslizamiento son inadecuados para representar la realidad de la estabilidad de individuos durante inundaciones en medio urbano.

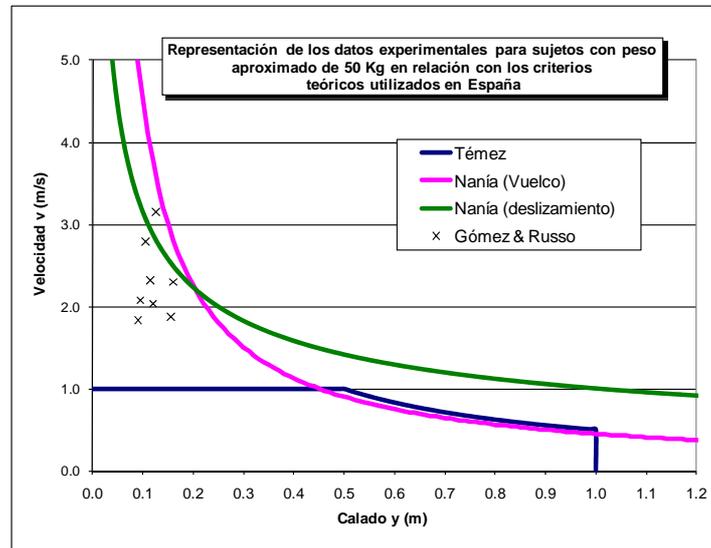


Figura 7 Datos experimentales comparados con algunos criterios de peligrosidad teóricos utilizados en España para un individuo con un peso de 50 Kg.

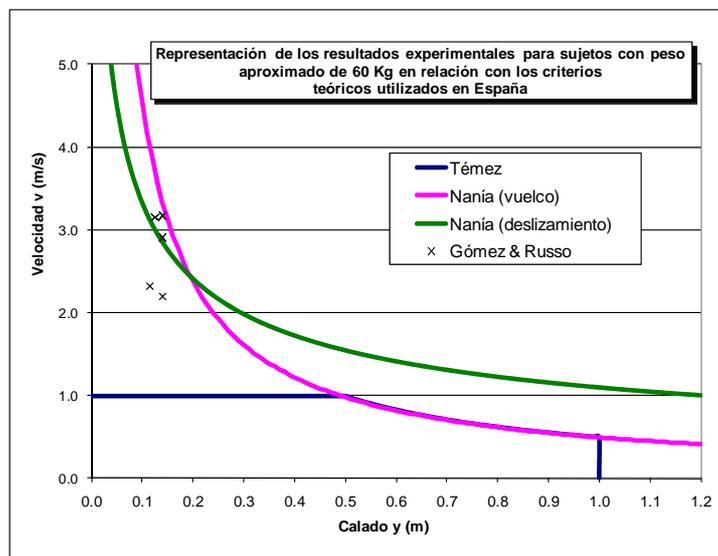


Figura 8 Datos experimentales comparados con algunos criterios de peligrosidad teóricos utilizados en España para un individuo con un peso de 60 Kg.

Finalmente se ha propuesto una relación (ecuación 1) entre las características del individuo (peso y altura) y los parámetros del flujo calado y velocidad relacionados a las condiciones de peligrosidad alta. En particular, se propuso una relación lineal entre la raíz del mínimo producto $v \cdot y$ el producto entre peso (M) y altura (H) de los

individuos (Gómez *et al.*, 2010). A través de esta ecuación es posible estimar, a partir de los datos de peso y altura de cada sujeto, el mínimo producto $v \cdot y$ a la cual éste podrá sufrir condiciones de peligro alto. El grado de ajuste de esta expresión con los datos experimentales, se puede observar en la Figura 9.

$$(v \cdot y)^{\frac{1}{2}} = 0.0063(M \cdot H) - 0.0726 \quad [1]$$

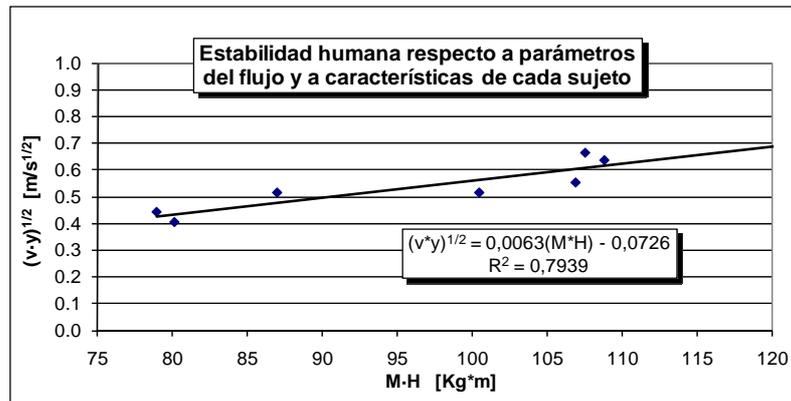


Figura 9 Relación entre los parámetros del flujo asociados a inestabilidad de peatones en calles durante episodios de inundaciones y características de los individuos (peso y altura).

4 Conclusiones

El nivel de peligrosidad para el flujo en calles urbanas se puede medir a través de dos parámetros del flujo: calado y velocidad. Estos parámetros se emplean generalmente para representar los mapas de peligrosidad así como indican en las nuevas normativas nacionales y europeas de reciente aprobación. En este marco, resulta evidente evaluar la peligrosidad hidráulica de la manera más adecuada y rigurosa posible.

Hoy en día existen muchas referencias que limitan estos parámetros para flujo en medio rural y cauces naturales, mientras hay muy pocas experiencias en medio urbano que se puedan aplicar a un sistema de calle.

Este trabajo propone un estudio del estado del arte en este campo, proponiendo estudios teóricos y experiencias experimentales. Un completo análisis de las referencias encontradas, ha demostrado que hoy en día no existen experiencias que hayan tenido como objetivo el estudio específico del flujo en calles en zona urbana. Además el parámetro velocidad no ha sido suficientemente estudiado con respecto a calados pequeños típicos de inundaciones en calles urbanas.

Con el objetivo de estudiar un criterio de peligrosidad que limitara las velocidades en medio urbano en caso de inundaciones producidas por escorrentía, se ha desarrollado una plataforma para ensayos sobre los criterios de estabilidad de individuos en condiciones de velocidades del flujo críticas.

Un detallado protocolo de ensayo ha sido elaborado para desarrollar una campaña experimental específica con el fin de obtener nuevos criterios de seguridad que se puedan aplicar en calles urbanas y representen adecuados parámetro de diseño para realizar eficientes sistemas de drenaje superficial.

Los resultados han puesto en evidencia que los criterios teóricos actualmente utilizados en España no son adecuados para garantizar la seguridad peatonal en casos de fuertes lluvias quedando casi siempre en el lado de la inseguridad con respecto a la realidad representada por los datos experimentales obtenidos durante esta campaña experimental.

Se ha presentado una ecuación hallada a partir de los resultados experimentales, para estimar, a partir de los datos de peso y altura de cada sujeto, el mínimo producto $v \cdot y$ a la cual éste podrá sufrir condiciones de alta peligrosidad.

5 Agradecimientos

Los autores de este artículo agradecen al Ministerio de Educación y Ciencia Español, y a la Fundación Agbar el soporte proporcionado para este estudio.

6 Referencias bibliográficas

Abt S.R., Wittler R. J., Taylor A. y Love D. J. (1989). Human Stability in a High Flood Hazard Zone. AWRA Water Resources Bulletin Vol. 25 N°. 4: 881-890, Agosto 1989. EE. UU.

Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMC), (2000). Floodplain Management in Australia. *Best Practice Principles and Guidelines*. SCARM Report 73, CSIRO Publishing.

Belleudy P. (2004). Risques Hydro-météorologiques, crues et inondations / risque, aléa et vulnérabilité /DDS-TUE364/ 9.

Boletín Oficial del Estado (BOE) (2010). *Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación*. BOE Núm. 171, 15 de julio de 2010.

Clark County Regional Flood Control District (CCRFCD) (1999). *Hydrological criteria and drainage design manual*. Clark County, USA.

Clavegueram de Barcelona S.A. (CLABSA) (2007). PICBA06, Plan Integral de Alcantarillado de Barcelona 2006, Barcelona, España.

Comisión Europea (CE) (2007). *Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2007 sobre la evaluación y la gestión del riesgo de inundaciones*.

Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources (DIPNR) (2005). *NSW Floodplain Development Manual*. New South Wales Government, Sydney, Australia.

Federal Emergency Management Agency (FEMA), (1979). The floodway: a guide for community permit officials. US Federal Insurance Administration, Community Assistance Series, N°.4, 1979. USA.

Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1997). FEMA news room: *FEMA offers flood safety tips*. Updated: January 7, 1997. <http://www.fema.gov/DIZ97/fl001.html>. EE. UU.

Institution of Engineers (1987). Australia Rainfall and Runoff, Vol. 1&2, Ed. Pilgrim D.H., Australia.

Karvonen R.A., Hepojoki H.K., Huhta H.K. and Louhio A. 2000. *The Use Of Physical Models In Dam-Break Flood Analysis, Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis (RESCDAM)*. Final report of Helsinki University of Technology, Finnish Environment Institute.

Nanía L. (1999). Metodología numérico experimental para el análisis del riesgo asociado a la escorrentía pluvial en una red de calles. Tesis Doctoral, E.T.S. Ing. de Caminos, Universidad Politécnica de Barcelona, España.

Reiter P. (2000). *International methods of risk Analysis, Damage evaluation and social impact studies concerning Dam-Break accidents*. Helsinki PR Water Consulting, Finlandia.

Regione Liguria (1993). *Piano di bacino stralcio per la difesa idraulica e idrogeologica*. Autorità di Bacino Regionale. Ambito di Bacino No. 7, DIANESE, Italia.

Rooseboom A., Basson M. S., Loots C. H., Wigggett J. H. and Bosman J. (1986). *Manual on Road Drainage*. National Transport Commission. Republic of South Africa. 2nd Edition.

Russo B. (2009). *Design of surface drainage systems according to hazard criteria related to flooding of urban areas*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya. España.

Shand D., Smith G., Blacka M. (2010). *Appropriate criteria for the safety and stability of people in stormwater design*. Proceedings of National Conference of the Stormwater Industry Association. Sydney, Australia, November, 9-12, 2010.

Témez Pelaez J. R. (1992). Control del desarrollo urbano en las zonas inundables. En 'Inundaciones y Redes de Drenaje Urbano'. Editores J. Dolz, M. Gómez, JP Martín. CICCIP Monografías. Madrid, España.

Wright-Mc Laughlin Engineers (1969). *Urban Storm Drainage Criteria Manual*. Urban Drainage and Flood Control District, Denver, Colorado, EE. UU.