

CONDICIÓN DE PELIGROSIDAD DE INUNDACIÓN PARA LAS PERSONAS

Guillermo Víctor Malinow

Guillermo Malinow & Asociados S.R.L.
Av. Cabildo 3150 Piso 9° – C1429AAP Buenos Aires, Argentina – telfax: 54 11 45 44 39 69
gmalinow@gmalinow-ingenieria.com.ar - www.gmalinow-ingenieria.com.ar

RESUMEN

Teniendo en cuenta la necesaria demarcación de las áreas inundables para poder encaminar acciones en materia de protección civil, e independientemente de la probabilidad de ocurrencia de un determinado evento hidrológico extraordinario, se muestran resultados experimentales así como criterios empleados en diversos países para poder, durante una dada inundación, interpretar a partir de cuando existiría peligro para la integridad física de las personas. Como conclusión se propone un rango de valores para establecer la peligrosidad de una inundación en función de la profundidad y la velocidad del agua.

ABSTRACT

On the basis of experimental results and criteria already used in several countries to demarcate flooding areas, without taking into account the occurrence of an extraordinary hydrological event, it was carried out analysis in order to determine when people living in such areas may be in danger. In conclusion, a range of different values as a function of depth and water velocity is proposed to establish the dangerousness to their physical integrity in case of flooding.

INTRODUCCIÓN

La demarcación de las zonas de riesgo de inundación y la evaluación de la vulnerabilidad de las áreas potencialmente afectables por ésta, es la base para elaborar la cartografía temática de riesgo de inundaciones (CTRI), paso previo ineludible para la puesta en práctica de cualquier tipo de medida no estructural y por tanto esencial para poder llevar a cabo una gestión eficaz de las zonas inundables.

El hecho de poder materializar la zonificación de riesgos y peligrosidades, a partir de la estimación de la altura de inundación y la velocidad del agua en cada punto de interés, resulta de estricta utilidad para delimitar la extensión de las áreas a incluir en los mapas de inundación así como para orientar la planificación territorial y urbana, de modo de poder establecer las correspondientes restricciones al uso y/o dominio del suelo, y para planificar las acciones de protección civil que permitan actuar durante las emergencias.

Para ello se trata de definir la condición de “*inundación peligrosa*” para interpretar a partir de cuando habría peligro para la integridad física de una persona, es decir como poder valorar la capacidad de arrastre del agua y la muerte por ahogamiento de la misma.

OBJETIVO

El presente documento tiene por objetivo proponer elementos de juicio para valorar el nivel de peligrosidad de inundación a ser tenido en cuenta para elaborar la cartografía temática de inundaciones.

CRITERIOS

En general esta condición se la relaciona con parámetros tales como la profundidad **h**, la velocidad del agua **v** para cada sitio dentro de la zona de inundación, o bien el producto de ambos **h * v**, para poder clasificar la zona de inundación entonces en zona de “inundación muy peligrosa” y zona de “inundación de mediana peligrosidad”. También, más recientemente, se ha intentado reflejar esta condición adicionando otro parámetro como ser el arrastre del agua **A** por unidad de ancho de la lámina líquida.

En el presente trabajo se investiga acerca de las normas de aplicación en distintos países del mundo y por distintas organizaciones abocadas a la definición de estos parámetros, pudiéndose verificar que no existe un criterio unificado para definir la condición peligrosa.

EXPERIENCIAS Y RECOMENDACIONES

Es interesante mencionar antes que nada sobre algunos experimentos llevados a cabo en la Universidad Estatal de Colorado, U.S.A. (Transportation Department of Boulder, 2002) que han mostrado que una persona parada en el agua durante una inundación es cada vez menos estable a medida que la velocidad o la profundidad del agua aumenta.

Los resultados fueron que una persona adulta de 1,80 m. de altura es derribada por el agua con 1,20 m. de profundidad y a una velocidad de solo 0,30 m/s, o cuando la profundidad es de 0,30 m. pero la velocidad alcanza a 1,20 m/s. Además se menciona que las personas de menor estatura tendrían mayores problemas en aguas de menores profundidades y con velocidades menores a las citadas.

Un repaso de algunas recomendaciones para clasificar el riesgo de inundación vigentes en diferentes países muestra que los criterios adoptados tienden a valores parecidos de estos parámetros, pero no hay un criterio unificado aún en el plano internacional. Para mejor interpretación vale citar que se denomina “*intensidad de sumersión*” al producto de la velocidad media en un punto dado y la profundidad del agua:

$$\mathbf{I} [\text{m}^2/\text{s}] = \mathbf{v} [\text{m/s}] * \mathbf{h} [\text{m}] \quad (1)$$

En España, para las riberas del Júcar (Confederación Hidrográfica del Júcar, 2000) se establece que la condición de peligrosidad se cumple para profundidades **h** > 1,00 m., velocidades **v** > 1 m/s y situaciones en las que **I** > 0,50 m²/s. En cambio para cauces urbanos andaluces (Comunidad Autónoma de Andalucía, 2002) la división de tales zonas es cuando se cumple que **I** = 0,50 m²/s.

En Australia (Emergency Management Australia, 1999) se menciona que a un adulto le resulta difícil y peligroso desplazarse por el agua cuando la profundidad de la lámina **h** > 1,20 m., o cuando la velocidad del agua **v** > 0,80 m/s., o para diferentes combinaciones de la

profundidad y de la velocidad entre estos límites.

En Suiza (OFEG, 2003), basándose en el valor que adquiere **I** se propone una valoración de la peligrosidad particular de la onda de inundación en: elevada, mediana, moderada y baja. En la Tabla N° 1 se indican tales rangos del nivel de peligrosidad.

Tabla N° 1: Condición de peligrosidad de inundación según la Oficina Federal de Agua y Geología de Suiza

Condición de peligrosidad	Intensidad de sumersión [m ² /s]
Elevada	≥ 2
Mediana	$1 \leq \mathbf{I} < 2$
Moderada	$0,5 \leq \mathbf{I} < 1$
Baja	$< 0,5$

Para la confección de CTRI por inundaciones debidas a la falla de presas, en el Estado de California, U.S.A., (Government of California, 2000) se exige que el área de inundación debe extenderse hasta donde se cumpla la condición de que la profundidad del agua sea $h \leq 0,30$ m., medida sobre el nivel preexistente antes del accidente, y la velocidad de la misma sea $v \leq 2,60$ m/s.

A nivel de país, en España (Ministerio de Medio Ambiente, 1996), para elaborar los CTRI que permitan evaluar las afectaciones y daños potenciales debidos a la hipotética rotura de una presa, se propone el empleo de relaciones empíricas de la profundidad y la velocidad media del agua, información que surge de la misma modelación sobre la propagación de la correspondiente onda de crecida. De tales relaciones se ha elaborado la curva límite de gran peligro para las vidas humanas para el caso de campo abierto, que se muestra en el Gráfico N° 1.

De experimentaciones realizadas que se citan en la literatura técnica (Motta, D. et al, 2004), los valores de arrastre unitario para valorar la peligrosidad por inundación son de 1.500 N/m para la condición de baja peligrosidad y de 2.500 N/m para el límite superior, superado el cual la condición es de alta peligrosidad.

Cabe recordar que el kilogramo (Kg), unidad de fuerza del Sistema Métrico Decimal, equivale a $9,8 \text{ Kg.m/seg}^2 = 9,8 \text{ Newton}$, unidad de medida del Sistema Internacional.

Para determinar el arrastre unitario de una corriente por metro de ancho de la sección de escurrimiento, se emplea la ecuación siguiente:

$$A = \gamma_w \left(\frac{v^2 h}{g} + \frac{h^2}{2} \right) \quad (2)$$

En dicha documentación se citan los rangos para valorar la condición de peligrosidad relativa de inundación considerando además la profundidad y la velocidad media del agua. Para

seguridad edilicia se expresa que es altamente peligroso cuando las velocidades de la corriente $v \geq 1,50$ m/s, y peor aún cuando $v \geq 2,00$ m/s.

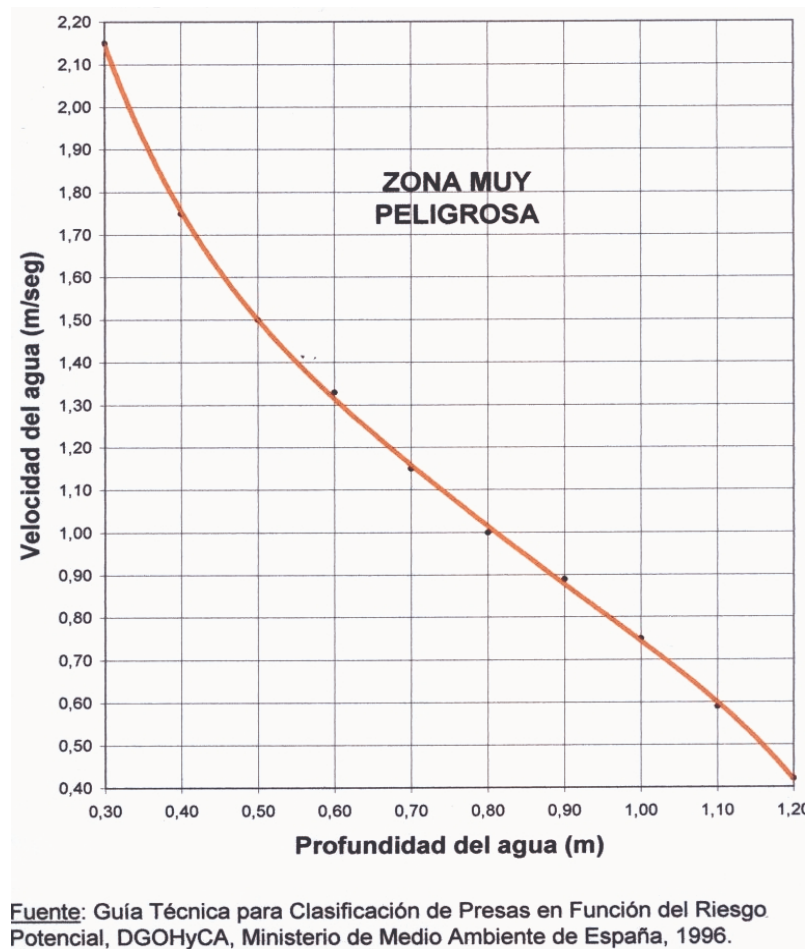


Gráfico N° 1 : Curva límite para valorar la condición de peligrosidad por inundación en campo abierto para las vidas humanas

Además se menciona que en forma experimental también se ha verificado que, para que una persona pueda mantener la estabilidad durante una inundación, debe cumplirse la condición de $I \leq 0,60$ m²/s. Combinando el arrastre unitario, la profundidad y la velocidad del agua se puede valorar la peligrosidad relativa, indicándose en la Tabla N° 2 los rangos recomendados.

Para comparar los criterios expuestos se elaboró el Gráfico N° 2, donde se compara la variación del parámetro I de las diferentes propuestas, para así poder obtener una conclusión válida.

Tabla N° 2: Condición de peligrosidad relativa en función de la profundidad y la velocidad del agua para valores de referencia de arrastre admisibles

Peligro-sidad relativa	A_{adm} (N/m)	Velocidad del agua (m/s)		
		$v < 0,50$	$0,50 \leq v < 1,00$	$1,00 \leq v < 1,50$

Baja	1.500	$h < 0,50$ m	$h < 0,30$ m	$h < 0,30$ m
Intermedia		$0,50 \leq h < 0,70$	$0,30 \leq h < 0,50$	
Alta	2.500	$h \geq 0,70$ m	$h \geq 0,50$ m	$h \geq 0,30$ m

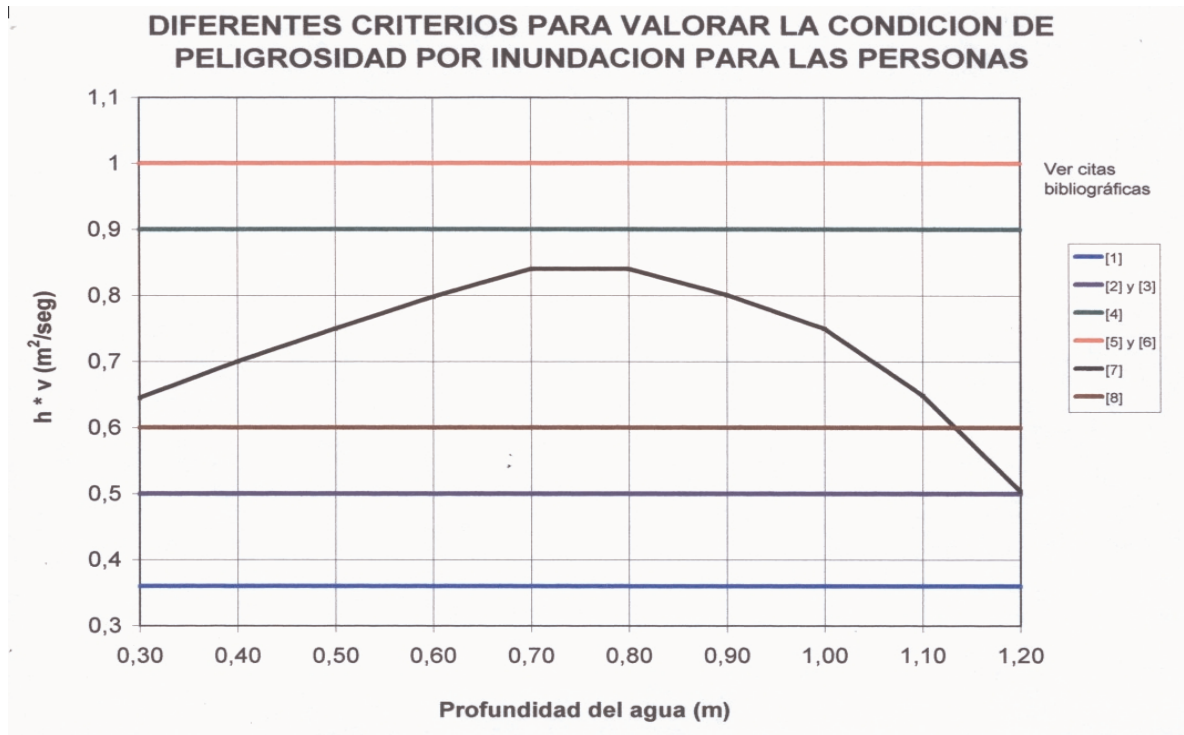


Gráfico N° 2: comparación de la variación del parámetro $h * v$ en función de la profundidad del agua, según las diferentes regulaciones analizadas

CONCLUSIONES

A los fines de proponer un criterio para ser considerado en nuestro país, del análisis de los valores obtenidos experimentalmente y de los adoptados por diferentes regulaciones, pareciera que hay cierto consenso de que para profundidades de la lámina de agua $h > 1,00$ a 1,20 m. una persona pierde la estabilidad y corre serio peligro de morir por ahogamiento cuando las velocidades medias del agua en tales casos son a su vez $v \approx 0,30$ a 0,50 m/s.

De la observación del Gráfico N° 2 podría decirse que cuanto más alto es el valor del parámetro I más arriesgado es asumir que todavía no se ha alcanzado la condición de alta peligrosidad (por ej: la condición propuesta en [5]: (Suiza, 2003) y [6]: (California, 2000), considerando profundidades como la antes citada se cumple para valores altos de la velocidad, lo cual llevaría a los planificadores a asumir demasiados riesgos.

Seguramente nos podríamos quedar más tranquilos si adoptamos criterios como los propuestos en [2]: (Júcar, 2000), [3]: (Andalucía, 20002) y [8]: (Motta, D., 2004), que admiten que la condición de peligrosidad alta se cumple para velocidades v de hasta 0,50 m/seg. para igual condición de profundidad. Para completar las referencias indicadas en dicho Gráfico, se indica las siguientes correspondencias: [1]: (Colorado, 2002); [4]: (Australia, 1999) y [7]: (MMA Español, 1996).

Es por ello que resulta conveniente considerar una zona de transición, a partir de la cual se estará en la condición de peligrosidad alta, cuyo rango de valores se indican en la Tabla N° 3 y su representación gráfica se indica en el Gráfico N° 3. El criterio ingenieril permitirá luego la selección de los parámetros más aconsejables según el caso de que se trate.

Tabla N° 3
Zona de transición propuesta

Delimitación superior	$I = 0,60 \text{ m}^2/\text{s}$	para: $h \leq 1,20 \text{ m};$ $v \leq 1,00 \text{ m/s}$
Delimitación inferior	$I = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$	para: $h \leq 1,00 \text{ m};$ $v \leq 0,80 \text{ m/s}$

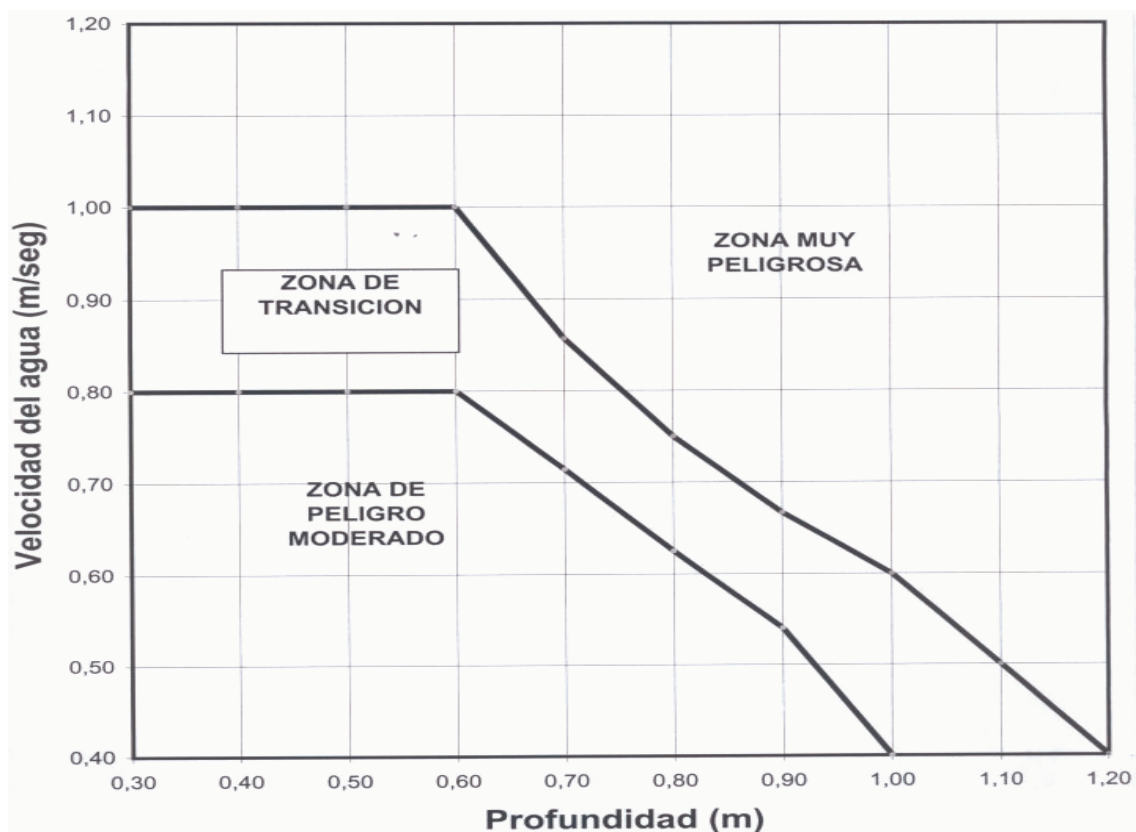


Gráfico N° 3: Rango de valores propuestos por el autor para definir la zona límite.

En cuanto a valores de la profundidad y la velocidad del agua para inundaciones en zonas urbanas o de viviendas, cabe mencionar que la literatura técnica consultada cita que para mantener la seguridad edilicia ya es altamente peligroso cuando las velocidades de la corriente $v \geq 1,50 \text{ m/s}$, y peor aún cuando $v \geq 2,00 \text{ m/s}$.

El documento español que propone el empleo de valores empíricos para esta situación, incluye velocidades muy superiores a las propuestas para campo abierto. Desde una posición

conservadora, y dada la responsabilidad que implica asumir valores recomendables para estos casos, se sugiere ser precavido al momento de adoptar el criterio de valoración.

Finalmente, respecto a la inclusión del arrastre unitario de la corriente como otro parámetro a considerar, dada la poca información desarrollada y recopilada sobre este punto, no se está en condiciones de considerarla dentro de los criterios para realizar la delimitación en cuestión.

LISTA DE SÍMBOLOS

I : intensidad de sumersión [m^2/s]
A : arrastre unitario de la corriente [N/m];
v : velocidad media del agua [m/s];
h : profundidad del agua [m];
g : aceleración de la gravedad [m/s^2];
 γ_w : peso específico del agua [N/m^3].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Comunidad Autónoma de Andalucía (2002). *Plan Director de Riberas de Andalucía*, España.

Confederación Hidrográfica del Júcar (2000). *Plan Global frente a Inundaciones en la Ribera del Júcar*, España.

Emergency Management Australia (1999). "Managing the Floodplain", *Australian Emergency Manual Series, Guide 3*, Australia.

Government of California (2000). *California Code of Regulations. Public Safety, Dam Inundation Mapping Procedures*, U.S.A.

Ministerio de Medio Ambiente de España (1996). *Guía Técnica para Clasificación de Presas en Función del Riesgo Potencial*, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, España.

Motta D., Galindo Pacheco R., (2004) "Definizione di una Metodologia per la Valutazione degli Indici di Pericolosità Associati ad Eventi Estremi di Carattere Alluvionale o Catastrófico", Cesi, Italia. (Inédito).

Office Federal des Eaux et de la Geologie (2003). *Appreciation du Danger Particulier a l'aide de Calculs Simplifies de l'onde de Submersion*, Suiza.

Transportation Department of Boulder (2002). *Manual de Protección contra Inundaciones*, Boulder County, Colorado, U.S.A.