

## **ANEXO 18**

### **RESOLUCIÓN MSC.362(92) (adoptada el 14 de junio de 2013)**

#### **RECOMENDACIÓN REVISADA SOBRE UN MÉTODO UNIFORME PARA EVALUAR LOS MEDIOS DE INUNDACIÓN COMPENSATORIA**

EL COMITÉ DE SEGURIDAD MARÍTIMA,

RECORDANDO el artículo 28 b) del Convenio constitutivo de la Organización Marítima Internacional, artículo que trata de las funciones del Comité,

RECORDANDO TAMBIÉN la resolución A.266(VIII), por la que la octava Asamblea adoptó la Recomendación de un método uniforme para dar cumplimiento a los medios de inundación compensatoria en buques de pasaje,

RECORDANDO ADEMÁS la resolución MSC.245(83), por la que, en su 83º periodo de sesiones, adoptó la Recomendación sobre un método uniforme para evaluar los medios de inundación compensatoria,

TOMANDO NOTA de que era necesario revisar y mejorar la antedicha Recomendación sobre un método uniforme para evaluar los medios de inundación compensatoria, habida cuenta de los resultados de las últimas investigaciones sobre la inundación compensatoria,

RECONOCIENDO que es necesario establecer una metodología para evaluar los medios de inundación compensatoria en los buques sujetos a las prescripciones aplicables sobre compartimentado y estabilidad con avería del capítulo II-1 del Convenio SOLAS, con el objeto de garantizar la utilización uniforme de los medios de inundación compensatoria y equilibrado,

HABIENDO EXAMINADO, en su 92º periodo de sesiones, la Recomendación revisada sobre un método uniforme para evaluar los medios de inundación compensatoria, elaborada por el Subcomité de estabilidad y líneas de carga y de seguridad de pesqueros en su 55º periodo de sesiones,

1. ADOPTA la Recomendación revisada sobre un método uniforme para evaluar los medios de inundación compensatoria, cuyo texto figura en el anexo de la presente resolución;
2. INVITA a los Gobiernos a que apliquen la Recomendación revisada que figura en el anexo a los buques construidos el 14 de junio de 2013 o posteriormente y a que la pongan en conocimiento de todas las partes interesadas.
3. TOMA NOTA de que continúan siendo válidos los cálculos para evaluar los medios de inundación compensatoria efectuados antes del 14 de junio de 2013.

## ANEXO

### RECOMENDACIÓN REVISADA SOBRE UN MÉTODO UNIFORME PARA EVALUAR LOS MEDIOS DE INUNDACIÓN COMPENSATORIA

#### Índice

1	Definiciones
2	Fórmulas
3	Criterios aplicables a las tuberías de ventilación
4	Alternativas
Apéndice 1	Ejemplo de la utilización de los ángulos de escora y las cargas de agua en distintas etapas de la inundación compensatoria
Apéndice 2	Coeficientes de fricción en los medios de inundación compensatoria
Apéndice 3	Ejemplo basado en los datos de un buque de pasaje

## 1 Definiciones

$\sum k$ : suma de los coeficientes de fricción del medio de inundación compensatoria considerado.

$s$  ( $m^2$ ): área de la sección transversal de la tubería o conducto de inundación compensatoria. Si el área de la sección transversal no es circular:

$$S_{equiv} = \frac{\pi \cdot D_{equiv}^2}{4}$$

donde:

$$D_{equiv} = \frac{4 \cdot A}{p}$$

A = área real de la sección transversal

p = perímetro real de la sección transversal

$\theta_0$  ( $^\circ$ ): ángulo antes de iniciarse la inundación compensatoria. Se puede asumir que el medio de inundación compensatoria está lleno o vacío según su configuración y volumen interno (véase la figura 1 b) en el apéndice 1).

$\theta_f$  ( $^\circ$ ): ángulo de escora en la posición de equilibrio final ( $\theta_f \leq \theta$ ).

$\theta$  ( $^\circ$ ): cualquier ángulo de escora que se observe en un determinado momento entre el comienzo de la inundación compensatoria y la posición de equilibrio final.

$W_f$  ( $m^3$ ): volumen de agua que se utiliza para llevar el buque desde el comienzo de la inundación compensatoria  $\theta_0$  hasta la posición de equilibrio final  $\theta_f$ .

$W_\theta$  ( $m^3$ ): volumen de agua que se utiliza para llevar el buque desde cualquier ángulo de escora  $\theta$  hasta la posición de equilibrio final  $\theta_f$ .

$H_0$  (m): carga de agua antes del comienzo de la inundación compensatoria, con la misma hipótesis que para  $\theta_0$ .

$H_\theta$  (m): carga de agua para cualquier ángulo de escora  $\theta$ .

$h_f$  (m): carga de agua final después de la inundación compensatoria ( $h_f = 0$ , cuando el nivel dentro del compartimiento de equilibrado es igual al nivel exterior del mar).

$g$  ( $m/s^2$ ): aceleración debida a la gravedad (9,81  $m/s^2$ ).

## 2 Fórmulas

2.1 Tiempo necesario desde el comienzo de la inundación compensatoria  $\theta_0$  hasta la posición de equilibrio final  $\theta_f$ :

$$T_f = \frac{2W_f}{S \cdot F} \cdot \frac{1}{\sqrt{2gH_0}} \cdot \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{h_f}{H_0}}\right)}$$

2.2 Tiempo necesario para llevar el buque desde cualquier ángulo de escora  $\theta$  hasta la posición de equilibrio final  $\theta_f$ :

$$T_\theta = \frac{2W_\theta}{S \cdot F} \cdot \frac{1}{\sqrt{2gH_\theta}} \cdot \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{h_f}{H_\theta}}\right)}$$

2.3 Tiempo necesario desde el comienzo de la inundación compensatoria  $\theta_0$  hasta que se logra cualquier ángulo de escora  $\theta$ :

$$T = T_f - T_\theta$$

2.4 Factor adimensional de reducción de la velocidad a través de un medio de equilibrado, en función de los codos, válvulas, etc. del sistema de inundación compensatoria:

$$F = \frac{1}{\sqrt{(\sum k_i) + 1}}$$

Los valores de  $k$  pueden obtenerse del apéndice 2 o de otras fuentes fiables, como la dinámica de fluidos computacional (CFD) o las pruebas con modelos. Cuando se utilicen otras fuentes fiables, puede que el factor +1 de las fórmulas no sea pertinente. La CFD se puede utilizar también para evaluar el coeficiente de descarga del conducto de inundación compensatoria en su totalidad.

2.5 Inundación compensatoria a través de dispositivos sucesivos de diferente sección transversal:

Si el mismo caudal pasa por dispositivos de inundación sucesivos de sección transversal  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  ... con sus correspondientes coeficientes de fricción  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  ..., el coeficiente  $k$  total para  $S_1$  es:

$$\Sigma k = k_1 + k_2 \cdot S_1^2 / S_2^2 + k_3 \cdot S_1^2 / S_3^2 \dots$$

2.6 Si por los distintos dispositivos de inundación no pasa el mismo volumen, se debería multiplicar cada coeficiente  $k$  por el cuadrado del cociente entre el volumen que pasa por el dispositivo y el volumen que pasa por la sección de referencia (que se utilizará para el cálculo del tiempo):

$$\Sigma k = k_1 + k_2 \cdot S_1^2 / S_2^2 \cdot W_2^2 / W_1^2 + k_3 \cdot S_1^2 / S_3^2 \cdot W_3^2 / W_1^2 \dots$$

2.7 En el caso de la inundación compensatoria a través de dispositivos en paralelo que conducen al mismo espacio, para el cálculo del tiempo de equilibrado se debería suponer lo siguiente:

$$S \cdot F = S_1 \cdot F_1 + S_2 \cdot F_2 + \dots$$

siendo:  $F = \frac{1}{\sqrt{(\sum k_i) + 1}}$  para cada dispositivo de sección transversal  $S_i$ .

### 3 Criterios aplicables a las tuberías de ventilación

3.1 En los medios en los cuales el área total de la sección transversal de las tuberías de aire es el 10 % o más del área de la sección de inundación compensatoria, podrá excluirse el efecto limitativo de la contrapresión del aire en los cálculos de la inundación compensatoria. Debería tomarse como valor mínimo el área de la sección de las tuberías de aire o el área neta de la sección transversal de todos los dispositivos de cierre automático, si este valor es inferior.

3.2 En los medios en los cuales el área total de la sección transversal de las tuberías de aire es inferior al 10 % del área de la sección de inundación compensatoria, se debería tener en cuenta el efecto limitativo de la contrapresión del aire en los cálculos de la inundación compensatoria. A tal fin se podrá utilizar el siguiente método:

El coeficiente  $k$  utilizado en el cálculo del tiempo de inundación compensatoria debería tener en cuenta la disminución de la presión en la tubería de ventilación. Ello puede hacerse utilizando un coeficiente equivalente  $k_e$ , que se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$k_e = k_w + k_a \cdot (\rho_a / \rho_w) \cdot (S_w / S_a)^2$$

siendo:

$k_w$  = coeficiente  $k$  para el medio de inundación compensatoria (agua)

$k_a$  = coeficiente  $k$  para la tubería de ventilación

$\rho_a$  = densidad del aire

$\rho_w$  = densidad del agua

$S_w$  = área de la sección transversal del dispositivo de inundación compensatoria (agua)

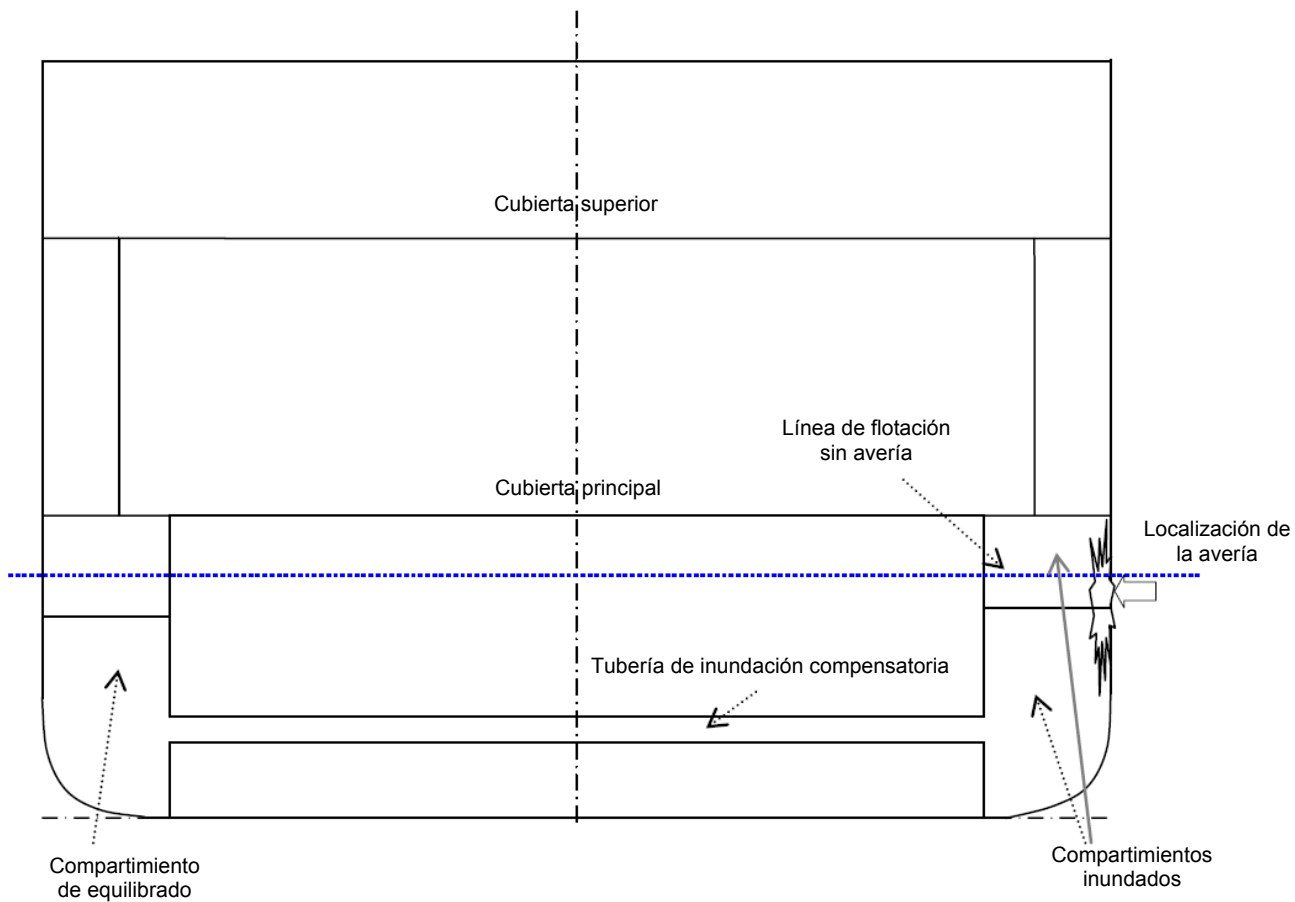
$S_a$  = sección transversal de la tubería de ventilación

### 4 Alternativas

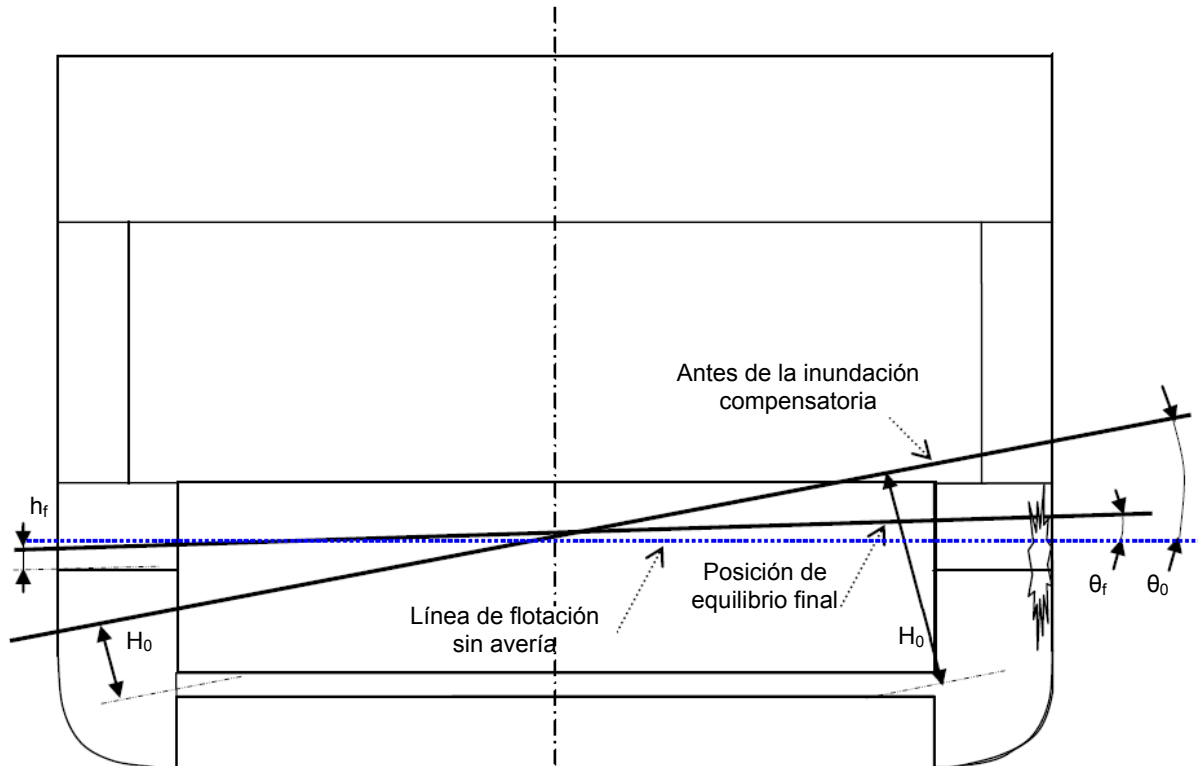
Como alternativa a lo dispuesto en las secciones 2 y 3, o para medios distintos de los ilustrados en el apéndice 2, también podrá hacerse un cálculo directo utilizando la dinámica de fluidos computacional (CFD), simulaciones en el tiempo o pruebas con modelos.

## APÉNDICE 1

### EJEMPLOS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS ÁNGULOS DE ESCORA Y LAS CARGAS DE AGUA EN DISTINTAS ETAPAS DE LA INUNDACIÓN COMPENSATORIA

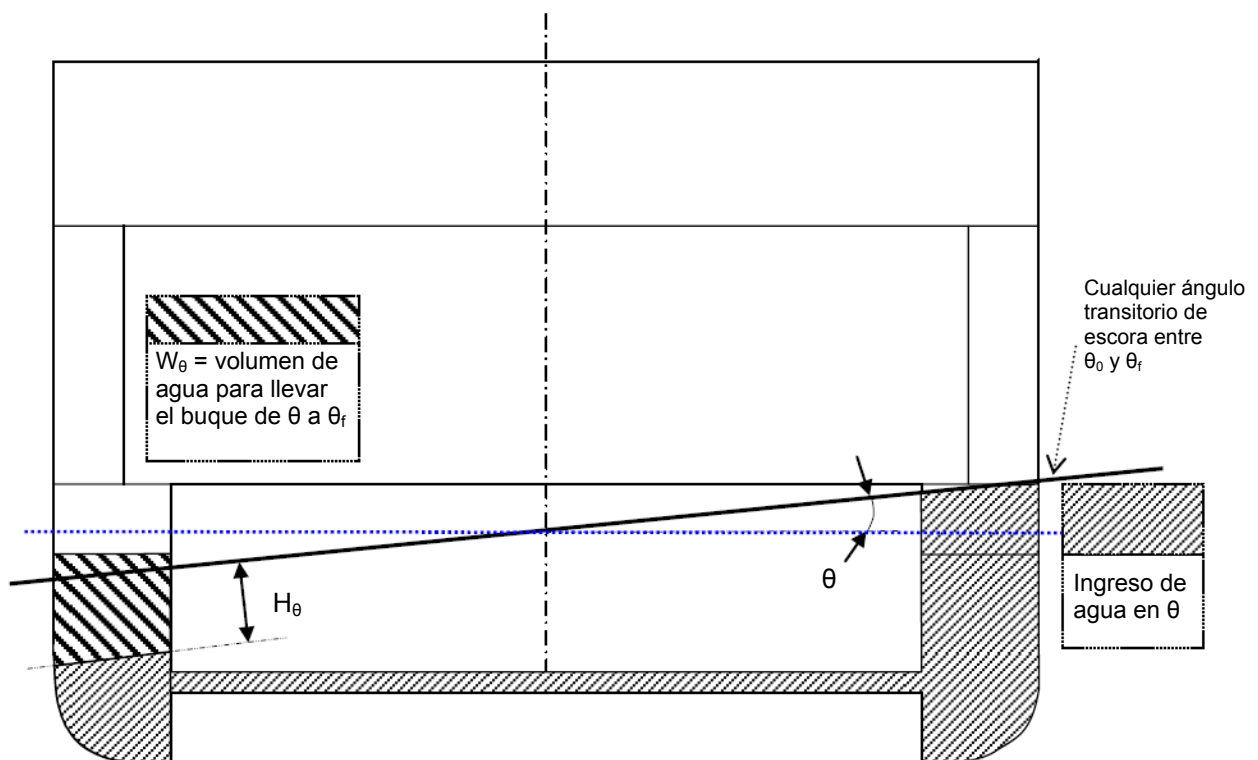


**Figura 1 a): Sección en la que se muestran la tubería y los compartimientos de inundación compensatoria**



**Figura 1 b): Etapas inicial y final de la inundación compensatoria**

**Nota:**  $H_0$ , a la izquierda de la figura 1 b), se utiliza para describir la carga de agua en el supuesto de que el dispositivo de inundación compensatoria esté plenamente inundado, mientras que  $H_0$  a la derecha de la figura 1 b) indica la carga de agua en el supuesto de que el dispositivo de inundación compensatoria esté vacío.



**Figura 1 c): Situación en cualquier ángulo de escora transitorio ( $\theta$ )**

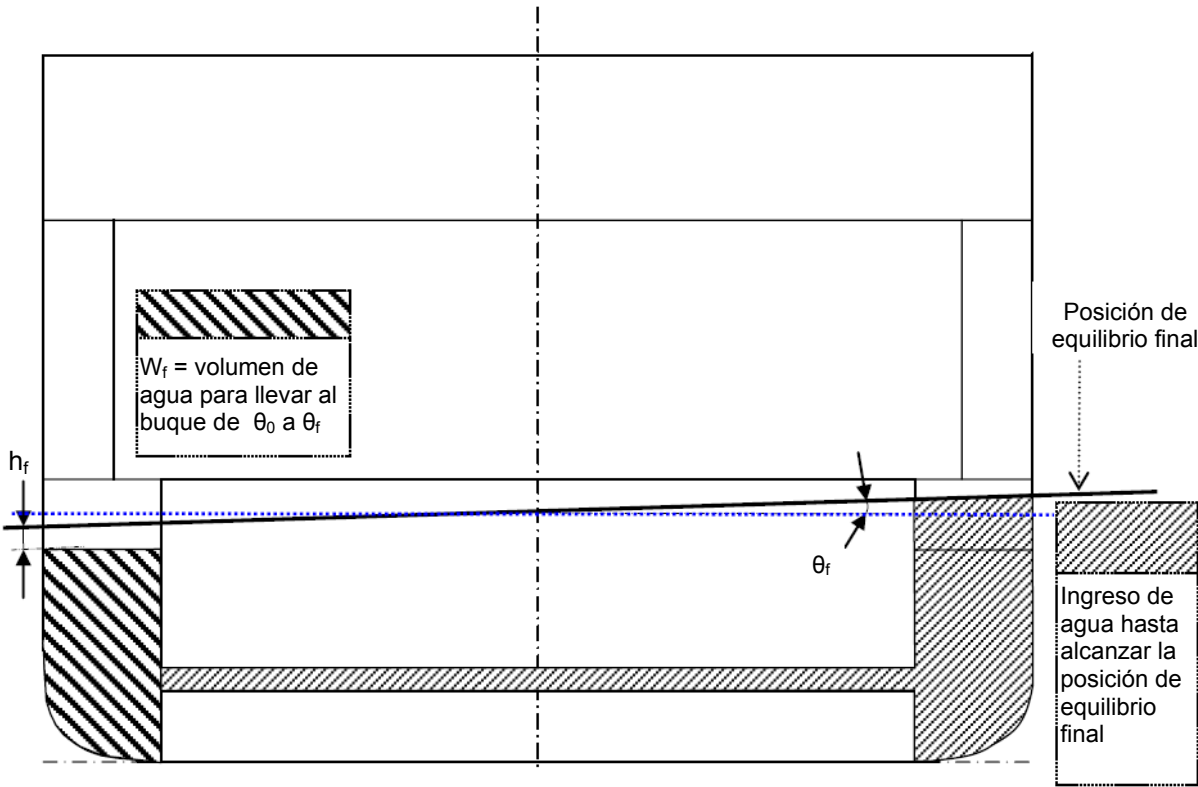
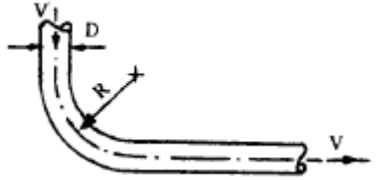
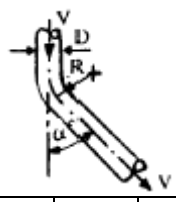
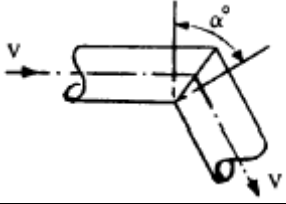
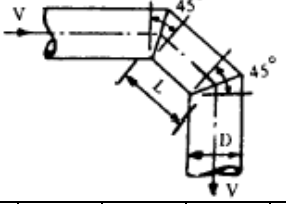
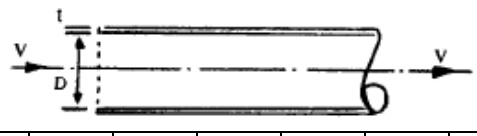
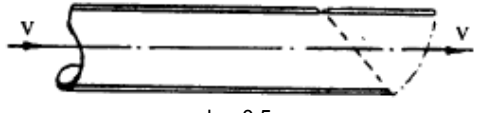


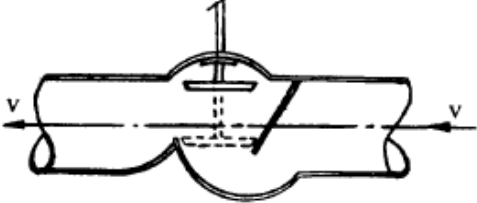
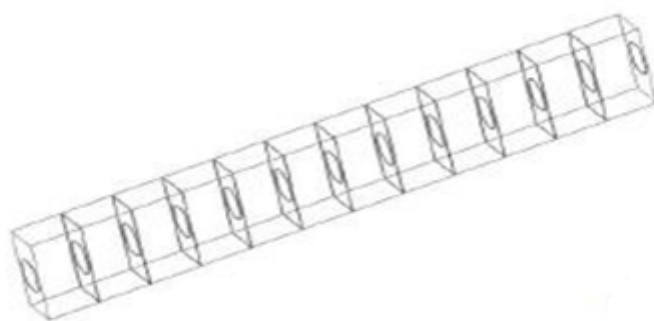


Figura 1 d): Situación en la posición de equilibrio final



**APÉNDICE 2**  
**COEFICIENTES DE FRICCIÓN EN LOS MEDIOS DE INUNDACIÓN COMPENSATORIA**

<p align="center">FIGURA 2</p>  <table border="1" data-bbox="188 533 778 593"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>0,03</td> <td>0,26</td> <td>0,23</td> <td>0,20</td> <td>0,18</td> </tr> </tbody> </table> <p align="center">CODO CURVILÍNEO DE 90°</p>	R/D	2	3	4	5	6	k	0,03	0,26	0,23	0,20	0,18	<p align="center">FIGURA 3</p>  <table border="1" data-bbox="810 542 1407 600"> <thead> <tr> <th>alpha</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>45</th> <th>60</th> <th>75</th> <th>90</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>0,06</td> <td>0,12</td> <td>0,18</td> <td>0,24</td> <td>0,27</td> <td>0,30</td> </tr> </tbody> </table> <p align="center">CODO RADIAL R/D = 2</p>	alpha	15	30	45	60	75	90	k	0,06	0,12	0,18	0,24	0,27	0,30		
R/D	2	3	4	5	6																								
k	0,03	0,26	0,23	0,20	0,18																								
alpha	15	30	45	60	75	90																							
k	0,06	0,12	0,18	0,24	0,27	0,30																							
<p align="center">FIGURA 4</p>  <table border="1" data-bbox="188 862 778 922"> <thead> <tr> <th>alpha°</th> <th>5</th> <th>15</th> <th>30</th> <th>45</th> <th>60</th> <th>90</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>0,02</td> <td>0,06</td> <td>0,17</td> <td>0,32</td> <td>0,68</td> <td>1,26</td> </tr> </tbody> </table> <p align="center">CODO ANGULAR</p>	alpha°	5	15	30	45	60	90	k	0,02	0,06	0,17	0,32	0,68	1,26	<p align="center">FIGURA 5</p>  <table border="1" data-bbox="810 862 1407 922"> <thead> <tr> <th>L/D</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>0,41</td> <td>0,40</td> <td>0,43</td> <td>0,46</td> <td>0,46</td> <td>0,44</td> </tr> </tbody> </table> <p align="center">CODO DE DOBLE ÁNGULO DE 90°</p>	L/D	1	2	3	4	5	6	k	0,41	0,40	0,43	0,46	0,46	0,44
alpha°	5	15	30	45	60	90																							
k	0,02	0,06	0,17	0,32	0,68	1,26																							
L/D	1	2	3	4	5	6																							
k	0,41	0,40	0,43	0,46	0,46	0,44																							
<p align="center">FIGURA 6</p>  <table border="1" data-bbox="188 1108 778 1169"> <thead> <tr> <th>t/D</th> <th>0,01</th> <th>0,02</th> <th>0,03</th> <th>0,04</th> <th>0,05</th> <th>&gt;0,05</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>0,3</td> <td>0,68</td> <td>0,53</td> <td>0,46</td> <td>0,44</td> <td>0,43</td> </tr> </tbody> </table> <p align="center">ENTRADA DE TUBERÍA</p>	t/D	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	>0,05	k	0,3	0,68	0,53	0,46	0,44	0,43															
t/D	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	>0,05																							
k	0,3	0,68	0,53	0,46	0,44	0,43																							
<p align="center">FIGURA 7</p>  <p align="center">k = 0,5</p> <p>El valor de k aumenta al decrecer el número de Froude, sobre todo a velocidades inferiores a 2 m/s.</p> <p align="center">VÁLVULA DE RETENCIÓN</p>	<p align="center">FIGURA 8</p> <p align="center"><math>k = \frac{0,02}{D}</math> por unidad de largo</p> <p>Este coeficiente es un valor medio y varía según el número de Reynold (esto es, varía V siendo constantes D y v) y según las asperezas del tubo.</p> <p align="center">PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL TUBO</p>																												
<p align="center">FIGURA 9</p>  <p align="center">k = 0,3</p> <p align="center">VÁLVULA DE COMPUERTA</p>	<p align="center">FIGURA 10</p>  <p align="center">k = 0,8</p> <p align="center">VÁLVULA DE MARIPOSA</p>																												
<p align="center">FIGURA 11</p>  <p align="center">k = 6,0</p> <p align="center">VÁLVULA DE DISCO</p>																													



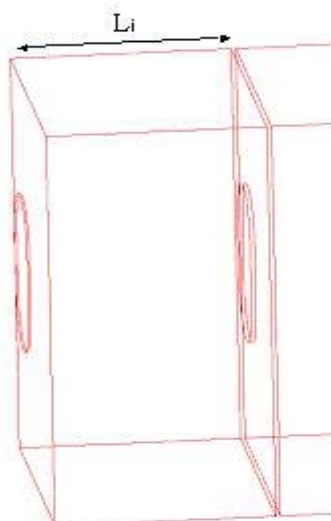
**Figura 11: Inundación compensatoria a través de una serie de conductos estructurales con un registro**

$$k = 0,6718 \times L_i^{0,119} \quad (0 < L_i < 12)$$
$$k = 0,903 \quad (12 \leq L_i)$$

donde:

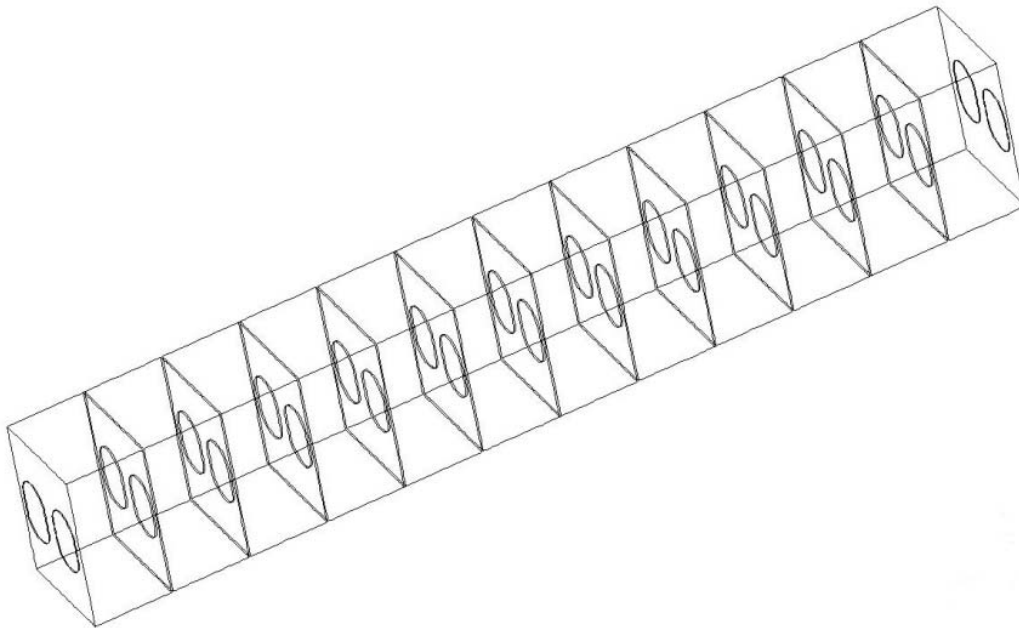
k: coeficiente de fricción relativo a cada espacio entre dos vagras adyacentes  
 $L_i$ : longitud del conducto en metros

**Nota:** k se evalúa en función del área real de la sección transversal, por lo que para los cálculos se utiliza el área real A de la sección transversal y no  $S_{equiv}$ . La pérdida de presión para la entrada en el primer registro ya está incluida en el cálculo.



$L_i$  (en metros)

**Figura 12**



**Figura 13: Conducto estructural de inundación compensatoria con dos registros**

$$k = 1,7968 \times L_i^{-0,026} \quad (0 < L_i < 12)$$
$$k = 1,684 \quad (12 \leq L_i)$$

donde:

k: coeficiente de fricción relativo a cada espacio entre dos vagras adyacentes  
L<sub>i</sub>: longitud del conducto en metros

**Nota:** k se evalúa en función del área real de la sección transversal, por lo que para los cálculos se utiliza el área real A de la sección transversal y no S<sub>equiv</sub>. La pérdida de presión para la entrada en el primer registro ya está incluida en el cálculo.

### APÉNDICE 3

#### EJEMPLO BASADO EN LOS DATOS DE UN BUQUE DE PASAJE

Dimensiones de la tubería de inundación compensatoria considerada:

Diámetro	$D = 0,39 \text{ m}$
Longitud	$l = 21,0 \text{ m}$
Sección transversal	$S = 0,12 \text{ m}^2$
Espesor de la pared	$t = 17,5 \text{ mm}$

Valores de k para el sistema de inundación compensatoria considerado:

Entrada	0,45
Fricción de la tubería $(\frac{0,02l}{D})$	1,08
2 codos radiales ( $\alpha = 45^\circ$ )	0,36
Válvula de retención	0,50

Se supondrá que se dispone de ventilación suficiente.

De lo cual se deduce que:

$$F = \frac{1}{\sqrt{(\sum k_i) + 1}} \qquad F = \frac{1}{\sqrt{3,39}} = 0,54$$

Tiempo necesario desde el comienzo de la inundación compensatoria  $\theta_0$  hasta la posición de equilibrio final  $\theta_f$ :

$$T_f = \frac{2W_f}{S \cdot F} \cdot \frac{1}{\sqrt{2gH_0}} \cdot \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{h_f}{H_0}}\right)}$$

Carga de agua antes del comienzo de la inundación compensatoria:

$$H_0 = 5,3 \text{ m}$$

Volumen de agua que se utiliza para llevar al buque desde el comienzo de la inundación compensatoria hasta la posición de equilibrio final:

$$W_f = 365 \text{ m}^3$$

Carga de agua final después de la inundación compensatoria:

$$h_f = 1,5 \text{ m}$$

$$T_f = \frac{2 \cdot 365 \text{ m}^3}{0,12 \text{ m}^2 \cdot 0,54} \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 5,3 \text{ m}}} \cdot \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{1,5 \text{ m}}{5,3 \text{ m}}}\right)}$$

$$T_f = 721 \text{ s}$$

Cálculo de cualquier situación transitoria de inundación compensatoria:

El objetivo es obtener la situación al cabo de 600 s.

Situación transitoria supuesta:

Volumen inundado compensatorio:  $265 \text{ m}^3$

Volumen de agua que se utiliza para llevar el buque desde la situación transitoria hasta la posición de equilibrio final:  $W_\theta = 365 \text{ m}^3 - 265 \text{ m}^3 = 100 \text{ m}^3$

Carga de agua correspondiente:  $H_\theta = 2,8 \text{ m}$

Tiempo necesario para llevar el buque desde cualquier situación transitoria hasta la posición de equilibrio final:

$$T_\theta = \frac{2 W_\theta}{S \cdot F} \cdot \frac{1}{\sqrt{2gH_\theta}} \cdot \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{h_f}{H_\theta}}\right)}$$

$$T_\theta = \frac{2 \cdot 100 \text{ m}^3}{0,12 \text{ m}^2 \cdot 0,54} \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 2,8 \text{ m}}} \cdot \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{1,5 \approx \text{m}}{2,8 \approx \text{m}}}\right)}$$

$$T_\theta = 240 \text{ s}$$

Tiempo entre el comienzo de la inundación compensatoria y la situación transitoria supuesta:

$$T = T_f - T_\theta = 721 \text{ s} - 240 \text{ s} = 481 \text{ s}$$

Dado que T es inferior a 600 s, cualquier otra situación transitoria con un volumen inundado compensatorio mayor se podrá calcular de la misma manera.

Por el contrario, si T fuese superior a 600 s, se podrá calcular cualquier otra situación transitoria con un volumen inundado compensatorio menor.

La situación al cabo de 600 s podrá determinarse mediante iteraciones sucesivas.

\*\*\*