

Estudio, mediante simulación analógica, del caudal de filtración en el flujo, a través de diques verticales construidos sobre terrenos permeables cortados por pantallas impermeables empotradas en la base del dique

Por F. GONZALEZ DE POSADA
y M. D. REDONDO ALVARADO

Cátedra de Fundamentos Físicos de las Técnicas.
E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
Universidad de Santander.

El estudio de la filtración a través de diques relativamente permeables, en el marco de la teoría física «Hidráulica del medio permeable de Darcy» en régimen permanente conduce a una ecuación de Laplace, en un recinto, la parte inundada del dique, con unas condiciones de contorno determinadas por el problema objeto de estudio.

La imposibilidad de resolución por vía analítica nos ha invitado a enfocar el problema mediante su estudio experimental por Simulación Analógica. Problema previo a la posibilidad de abordar la resolución de la ecuación de Laplace en el recinto ya señalado, es la propia determinación de dicho recinto del que, a priori, se desconoce la situación y forma de la superficie libre, problema que, también se resuelve mediante Simulación Analógica.

En este trabajo, haciendo uso de los conceptos de las teorías físicas analógicas y de los conocimientos experimentales de la Simulación Analógica eléctrica en medio continuo sólido, se ha realizado un estudio sistemático acerca del caudal de filtración en diques de paredes verticales de cinco anchuras diferentes, con pantallas impermeables de seis penetraciones con diez relaciones de alturas de agua en los paramentos de aguas arriba y abajo del dique, lo que supone, en conjunto, un estudio sobre 300 modelos bidimensionales diferentes.

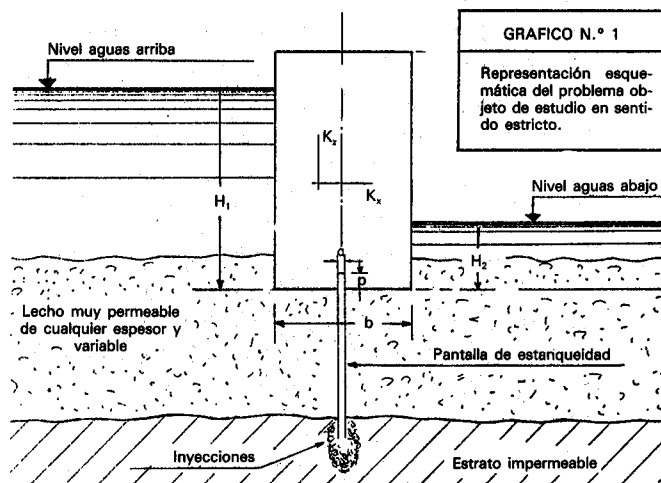
Los resultados numéricos de los caudales se expresan adimensionalmente mediante el número de Darcy, representándolos seguidamente en forma gráfica continua con objeto de analizar su variación en función de la geometría del dique, de las relaciones de alturas de agua en los paramentos aguas arriba y abajo, y de las penetraciones de la pantalla en la base del dique. De este modo los resultados pueden ser de utilidad para los ingenieros ya que permiten interpolaciones para valores diferentes de los estudiados sean cuales fueren las dimensiones reales del prototipo.

1. INTRODUCCION. EL PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO

Existen numerosos e interesantes trabajos de investigación sistemática de problemas de filtración a través de diques permeables de paredes verticales apoyados sobre lechos impermeables, así como de filtración a través de presas de materiales sueltos, mediante simulación analógica bidimensional en medio conductor eléctrico continuo [1] a [9].

El problema objeto de estudio en el presente trabajo consiste en el cálculo y análisis de los caudales de filtración en el flujo a través de diques verticales construidos sobre lechos muy permeables cortados por una pantalla de estanqueidad dispuesta en el plano central biempo-

trada en un estrato impermeable inferior y en la base del dique (Gráfico n.º 1).



La determinación de la superficie libre, problema no sólo simultáneo, sino previo para la resolución del problema general de la filtración a través del dique por ser dicha superficie un contorno del recinto inundado y sin el conocimiento de aquélla no poder abordarse el estudio de éste, se determina previamente también por Simulación Analógica [10]. Posteriormente se estudia la distribución de los caudales infiltrados, y su variación según los distintos parámetros introducidos.

Las magnitudes, consideradas como variables en función de las cuales se realiza el estudio, son: H_1 , nivel de aguas arriba; H_2 , nivel de aguas abajo; b , anchura del dique; a , anchura de la pantalla; y , p , penetración de la pantalla. El trabajo se ha concebido como de experimentación sistemática con objeto de que sus resultados sean de utilidad general para los diferentes casos de este tipo que puedan presentarse.

2. HIPOTESIS GENERALES DE LA TEORIA FISICA «HIDRAULICA DE LOS MEDIOS PERMEABLES». CONDICIONES Y ECUACION DE RECINTO

El problema de la filtración de agua a través de un dique vertical es uno de los casos típicos que se estudian en el marco de las hipótesis simplificativas de la teoría física «hidráulica de los medios permeables», denominada «hidráulica subterránea» [1] y [6]. De ellas destacamos esquemáticamente las siguientes:

- a) El material se supone homogéneo respecto a la filtración; es decir, el campo tensorial conductividad hidráulica del medio (o permeabilidad relativa) no es función de punto, sino sólo de la dirección y del tiempo. En consecuencia:

$$\mathcal{K} = \mathcal{K}(\vec{n}, t) \quad [1]$$

- b) La estructura fisico-geométrica del material permeable y las características específicas del fluido permanecen estables; es decir, el campo tensorial conductividad hidráulica no depende del tiempo. Por tanto:

$$\mathcal{K} = \mathcal{K}(\vec{n}) \quad [2]$$

- c) La filtración se realiza en régimen permanente; es decir, se estudia con niveles constantes de agua en ambos parámetros, y por tanto el potencial hidráulico en el recinto del dique sólo es función de punto:

$$h = h(x, y, z) \quad [3]$$

- d) El flujo tiene lugar según un régimen contenido en el dominio de validez de la ley de Darcy:

$$\vec{v} = -\mathcal{K} \text{ grad } h \quad [4]$$

- e) El fluido se supone incompresible, $\rho(p, t) = \text{cte}$. Simbolizando por \vec{u} el campo de las velocidades reales del fluido se tiene:

$$\rho = \text{cte.} \Rightarrow \quad [5]$$

$$\Rightarrow \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \text{ grad } \rho = 0 \Rightarrow \quad [6]$$

$$\frac{D\rho}{Dt} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{grad } \rho \cdot \vec{u} = 0 \quad [7]$$

Por tanto, de la ecuación euleriana de conservación de la masa fluida

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \text{ div } \vec{u} = 0 \quad [8]$$

se deduce

$$\text{div } \vec{u} = 0 \quad [9]$$

- f) El campo de las velocidades de filtración se supone solenoidal; es decir:

$$\text{div } \vec{v} = 0 \quad [10]$$

- g) El campo potencial hidráulico (carga hidráulica o altura piezométrica) se supone de la clase C^2 y en la hipótesis de medio permeable isótropo ($K = \text{cte}$. en todas las direcciones) es un campo escalar armónico; es decir:

$$\Delta h = 0 \quad [11]$$

- h) Análogamente, para el caso de un medio permeable anisótropo, realizando la transformación lineal que aplica el medio anisótropo en su «medio isótropo correspondiente», el potencial hidráulico tam-

bién verifica la ecuación de Laplace:

$$\Delta h = 0$$

- i) En las superficies libres se prescinde de los efectos capilares debidos a la tensión superficial.

Como consecuencia de estas hipótesis, los problemas de filtración a través de diques relativamente permeables se reducen a la resolución de una función armónica en un dominio, el recinto inundado, sometido a unas determinadas condiciones de contorno.

3. HIPOTESIS PARTICULARES PARA EL ESTUDIO SOBRE MODELOS ANALOGICOS BIDIMENSIONALES. CONDICIONES DE CONTORNO

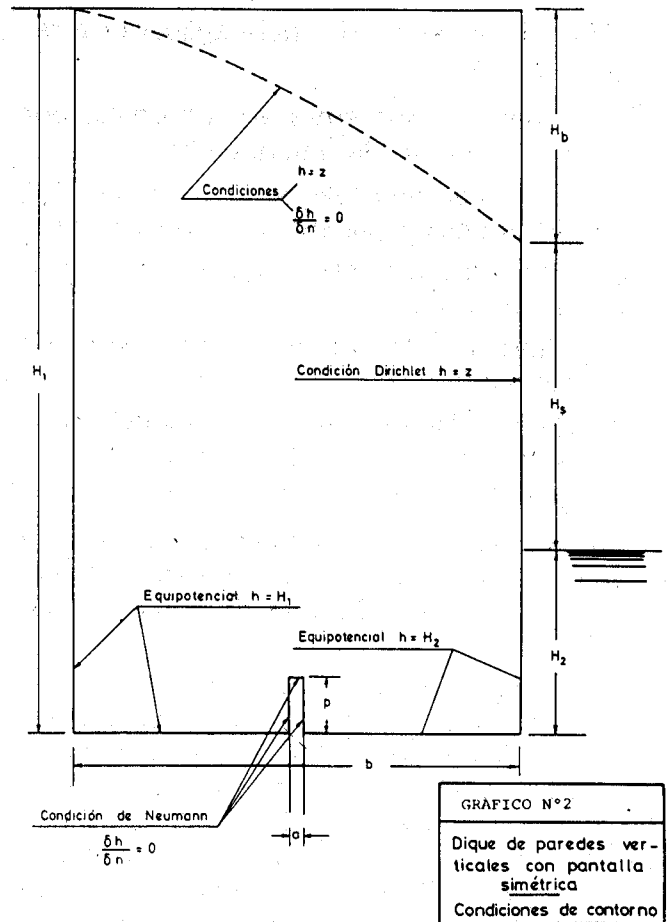
La resolución de la ecuación de Laplace, $\Delta h = 0$, para el potencial hidráulico en el dique exige el conocimiento de las condiciones de contorno, que se definen en este caso mediante las hipótesis particulares siguientes:

- El contorno del dique aguas arriba de la pantalla está sometido a un potencial hidráulico constante desde el nivel de embalse hasta la base.
- La pantalla se supone absolutamente impermeable.
- El paramento no inundado de aguas abajo y la línea de saturación se suponen sometidos a la presión atmosférica.
- El flujo se supone bidimensional, hipótesis determinante de este estudio.

Como consecuencia de estas hipótesis son las condiciones de contorno que se indican en el gráfico n.º 2. Con ellas queda determinada completamente y de manera unívoca la función $h(x,y,z)$ en el recinto de acuerdo con los teoremas de unicidad de las funciones armónicas.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Conocido por completo el contorno, es decir, determinada la superficie de saturación y considerándola como superficie libre (condición de Neumann, $\frac{\partial h}{\partial n} = 0$), se está en condiciones



de aplicar la fórmula analógica que nos permite conocer los caudales filtrados en problemas bidimensionales:

$$\frac{q}{k\psi} = \frac{\rho l}{v_0} \quad [12]$$

que también se puede expresar como:

$$\frac{q}{kH_1} = \left(1 - \frac{H_2}{H_1}\right) \frac{\rho l}{v_0} \quad [13]$$

Esta relación es la que utilizamos en la expresión de los resultados numéricos y gráficos.

Siendo:

$$\frac{q}{kH_1} = N.º \text{ de Darcy.}$$

- q = Caudal que atraviesa una determinada superficie S del prototipo.
- k = Conductividad hidráulica.
- ψ = Potencial hidráulico = $H_1 - H_2$
- H_1 = Altura de agua en el paramento de aguas arriba.
- H_2 = Altura de agua en el paramento de aguas abajo.
- ρ = Resistividad del medio conductor eléctrico, inversa de la conductividad.

ESTUDIO DEL CAUDAL DE FILTRACION EN EL FLUJO A TRAVES DE DIQUES VERTICALES

sistividades de los testigos cortados en sentido vertical y en sentido horizontal, es decir,

$$\rho_m = \sqrt{\bar{\rho}_H \cdot \bar{\rho}_V} \quad [14]$$

Cada panel, que representa 10 modelos diferentes, se define mediante un único valor de ρ_m , lógicamente, ya que la variación del parámetro adimensional $\frac{H_2}{H_1}$ representativo de ni-

veles de agua, no implica la utilización de otro material conductor o modelo físico diferente.

4.2. Número de Darcy

Los resultados resumidos en las tablas n.º 1 y 2, unidos al valor constante de la tensión continua de alimentación de los modelos, $V_0 = 7$ voltios, permiten obtener los correspondientes números de Darcy mediante el paso de las magnitudes eléctricas a las analógicas hidráulicas por la fórmula (13).

$$\frac{q}{k H_1} = \left(1 - \frac{H_2}{H_1}\right) \frac{\rho I}{V}$$

Los valores obtenidos se clasifican en la tabla n.º 3. Estos valores permiten un detallado estudio gráfico del fenómeno a partir de los 300 modelos investigados, contrastando la influencia de cada una de las variables sobre los valores de los caudales infiltrados según las expresiones obtenidas mediante Análisis Dimensional [12].

5. REPRESENTACIONES GRAFICAS

5.1. Caudales de filtración en función de las relaciones H_2/H_1 para diferentes penetraciones en la pantalla

Los resultados clasificados en la tabla n.º 3, de los números de Darcy, permiten diversas representaciones gráficas de apreciable interés, siendo todas ellas expresión gráfica de la ecuación obtenida del estudio del problema mediante Análisis Dimensional [12].

$$\frac{q}{k H_1} = F\left(\frac{H_2}{H_1}, \frac{b}{H_1}, \frac{p}{H_1}\right) \quad [15]$$

TABLA N.º 3
NUMEROS DE DARCY
DE LOS 300 MODELOS INVESTIGADOS

$\frac{b}{H_1}$	$\frac{p}{H_1}$	$\frac{H_2}{H_1}$									
		0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
1	0.20	0.09	0.17	0.25	0.31	0.37	0.42	0.45	0.51	0.53	0.58
	0.12	0.12	0.22	0.31	0.40	0.48	0.55	0.61	0.66	0.71	0.77
	0.08	0.14	0.25	0.36	0.46	0.55	0.65	0.73	0.78	0.86	0.91
	0.04	0.15	0.29	0.42	0.53	0.66	0.76	0.84	0.99	1.03	1.12
	0.02	0.17	0.34	0.50	0.61	0.76	0.87	0.98	1.11	1.22	1.32
	0	0.21	0.41	0.59	0.76	0.93	1.09	1.20	1.38	1.52	1.64
1/2	0.20	0.15	0.31	0.46	0.56	0.64	0.70	0.77	0.81	0.86	0.87
	0.12	0.17	0.34	0.50	0.63	0.76	0.82	0.91	0.96	1.01	1.07
	0.08	0.20	0.39	0.53	0.68	0.80	0.90	0.98	1.04	1.10	1.16
	0.04	0.21	0.42	0.58	0.74	0.87	0.99	1.09	1.17	1.22	1.26
	0.02	0.22	0.45	0.63	0.81	0.95	1.08	1.18	1.28	1.37	1.41
	0	0.26	0.51	0.73	0.93	1.13	1.30	1.47	1.60	1.68	1.77
1/4	0.20	0.29	0.55	0.77	0.96	1.10	1.21	1.27	1.29	1.33	1.35
	0.12	0.30	0.56	0.79	1.00	1.14	1.28	1.37	1.43	1.45	1.46
	0.08	0.31	0.58	0.82	1.03	1.20	1.33	1.42	1.48	1.58	1.58
	0.04	0.33	0.62	0.85	1.11	1.32	1.50	1.61	1.67	1.75	1.77
	0.02	0.36	0.67	0.95	1.32	1.42	1.60	1.76	1.86	1.97	2.00
	0	0.41	0.75	1.13	1.44	1.67	1.90	2.11	2.20	2.32	2.40
1/8	0.20	0.54	1.05	1.42	1.80	2.06	2.24	2.38	2.46	2.48	2.50
	0.12	0.60	1.13	1.60	2.04	2.38	2.60	2.79	2.89	2.96	2.98
	0.08	0.65	1.23	1.74	2.20	2.56	2.72	3.00	3.19	3.30	3.35
	0.04	0.69	1.30	1.84	2.33	2.74	3.04	3.37	3.52	3.66	3.69
	0.02	0.73	1.39	1.99	2.53	2.99	3.35	3.69	3.92	4.00	4.07
	0	0.78	1.50	2.20	2.80	3.36	3.91	4.21	4.58	4.78	4.86
1/16	0.20	1.06	2.00	2.80	3.45	4.00	4.34	4.61	4.67	4.75	4.77
	0.12	1.12	2.10	2.95	3.68	4.27	4.61	5.00	5.14	5.30	5.34
	0.08	1.19	2.28	3.15	3.96	4.62	5.15	5.51	5.77	5.96	6.10
	0.04	1.25	2.38	3.30	4.21	4.80	5.50	5.94	6.22	6.47	6.55
	0.02	1.31	2.45	3.47	4.35	5.18	5.75	6.33	6.62	6.86	7.10
	0	1.45	2.65	3.75	4.77	5.59	6.35	6.87	7.23	7.41	7.62

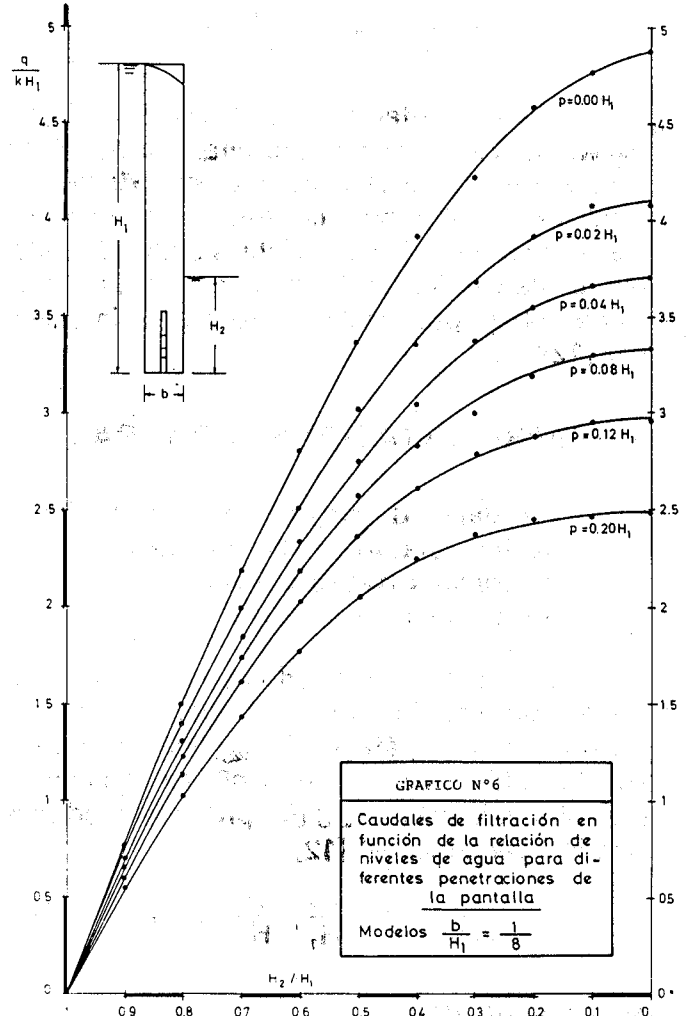
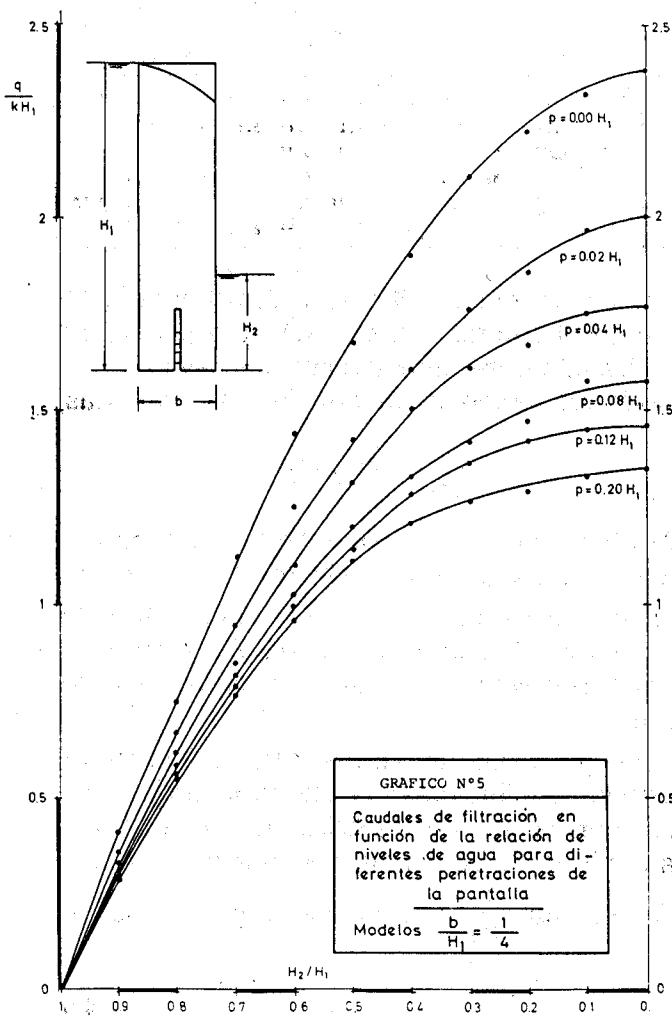
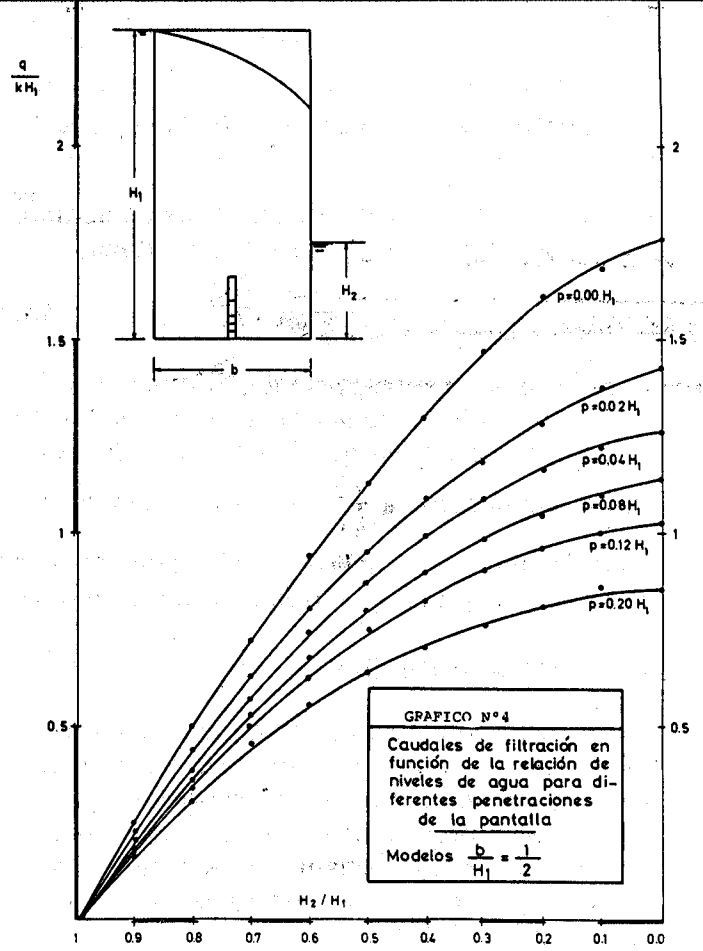
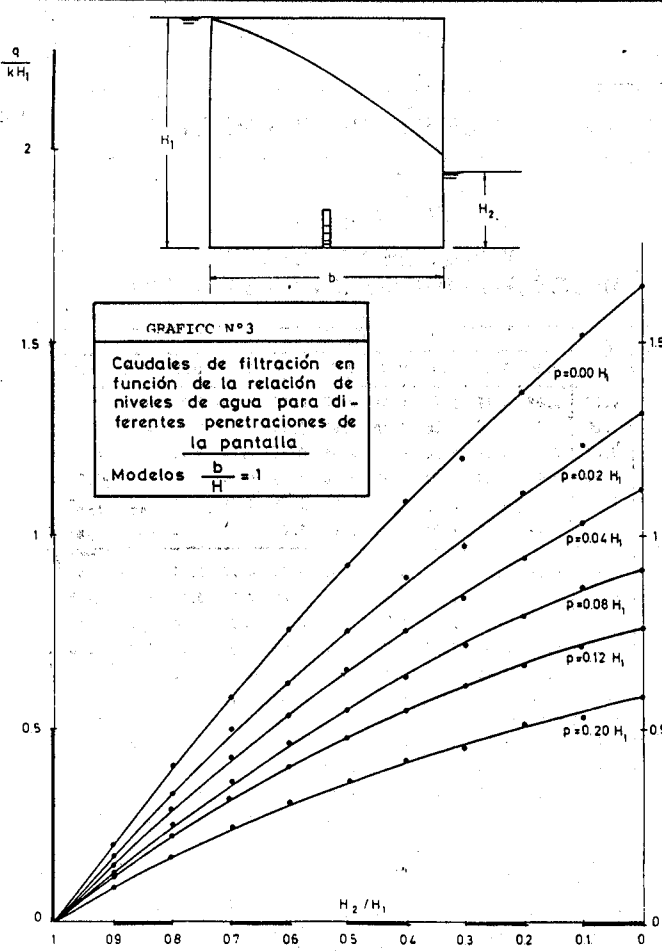
En los gráficos n.º 3 al 7, se representa la variación del caudal con el nivel de aguas abajo para las diferentes penetraciones ensayadas, utilizando las variables adimensionales definidas,

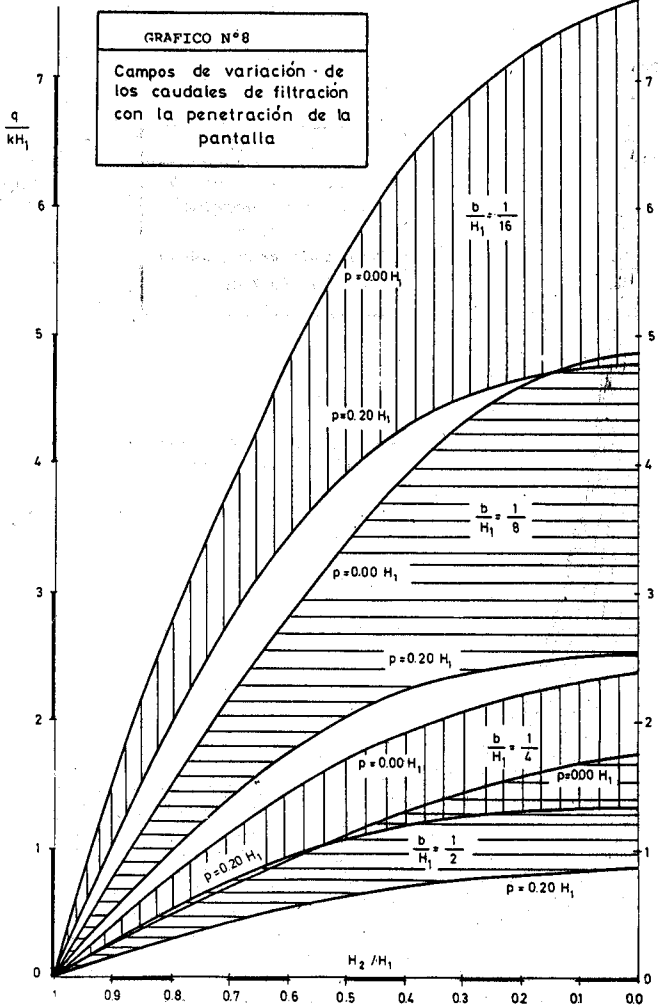
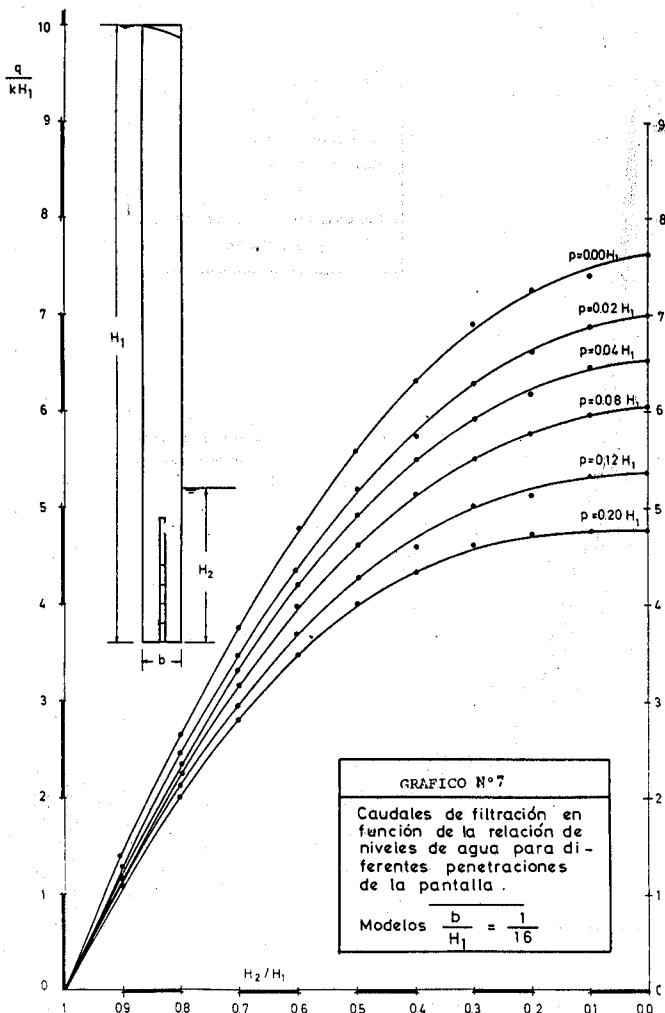
$$\frac{q}{k H_1}, \frac{H_2}{H_1} \text{ y } \frac{p}{H_1}$$

con objeto de facilitar su empleo en cualquier caso concreto por su extraordinaria sencillez.

Estas representaciones gráficas permiten también la interpolación para cualquier otro valor de la penetración de la pantalla en la base del dique.

En el gráfico 8, se representan las figuras anteriores, simplificadas por sus funciones extremas, con objeto de visualizar también de forma conjunta la influencia del cuarto parámetro adimensional $\frac{b}{H_1}$ que define la geometría del



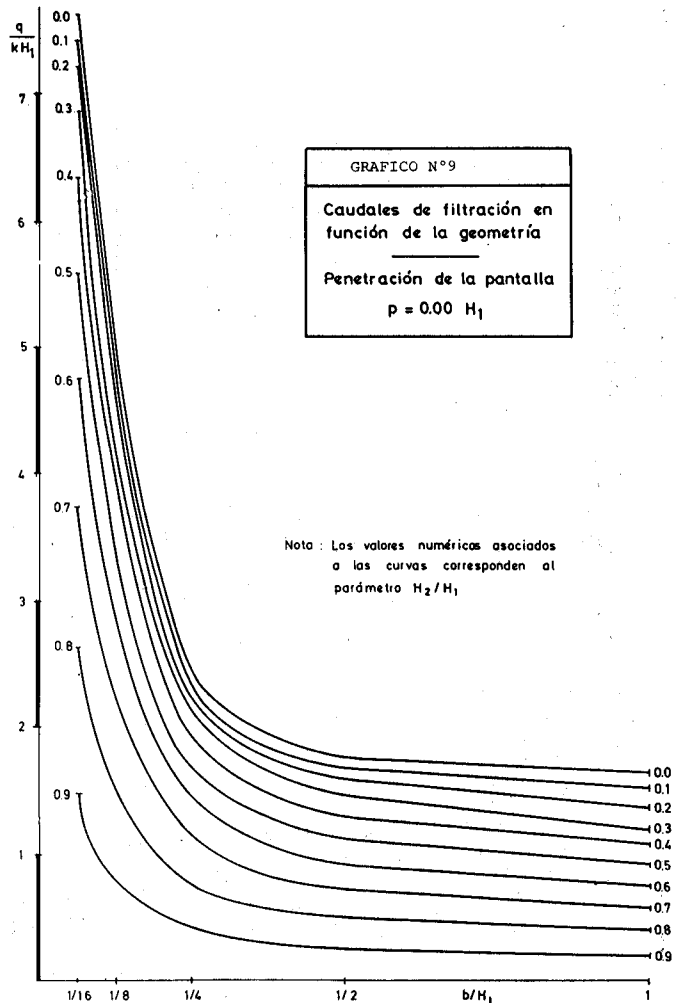


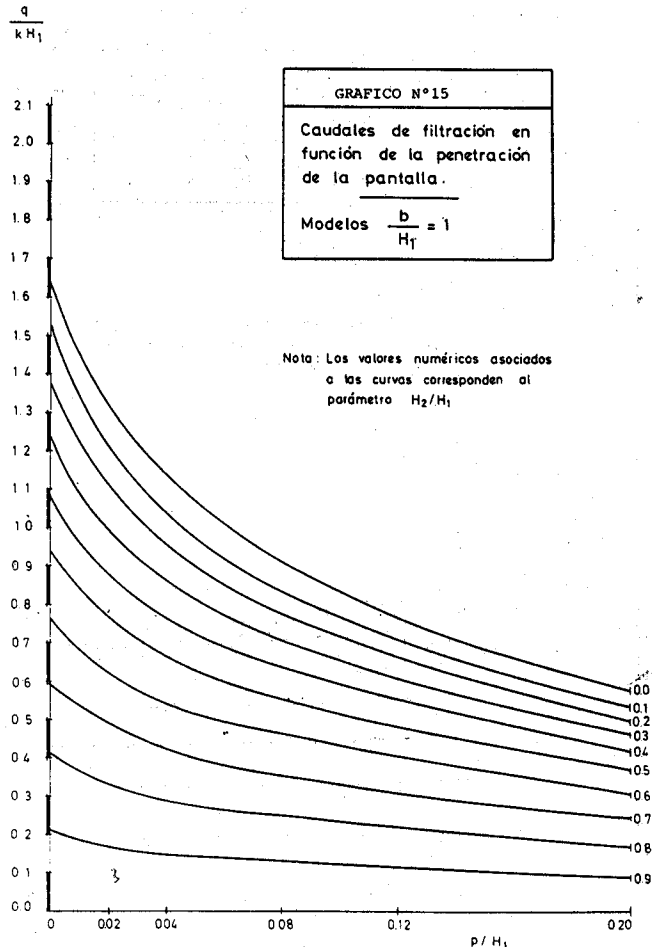
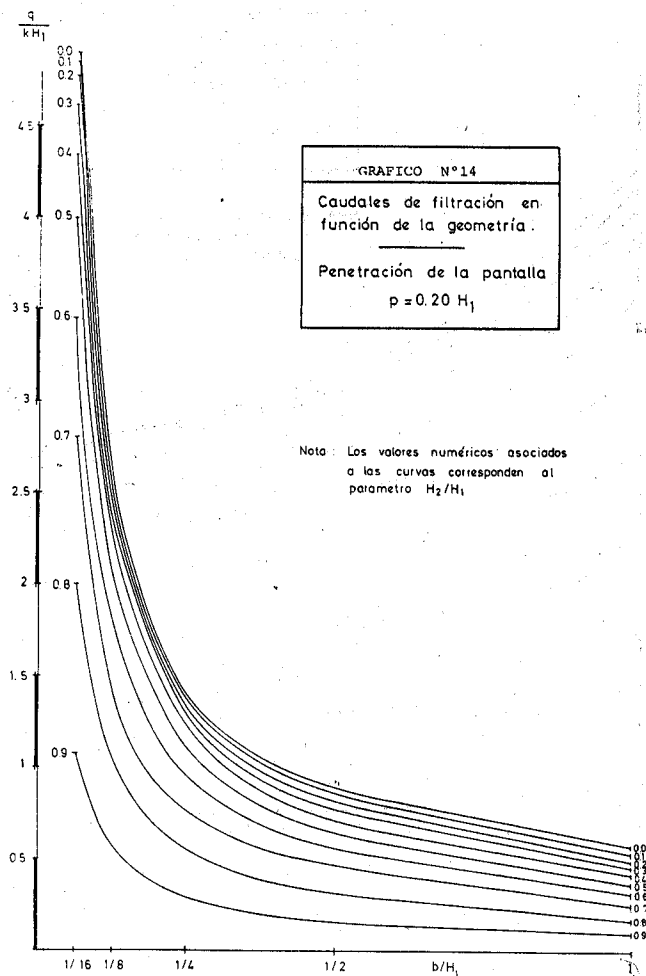
dique. Se aprecian de esta manera los campos de variación del caudal, o números de Darcy, con la penetración de la pantalla, en función de la relación de niveles y para las diferentes geometrías del dique.

5.2. Caudales de filtración en función de la geometría del dique para diferentes relaciones de niveles de H_2/H_1

Los resultados de los números de Darcy de la tabla n.º 3, pueden representarse también de la forma gráfica que se registra en los gráficos n.º 9 al 14, expresando el caudal respecto de la anchura del dique para diferentes niveles de aguas abajo. Cada uno de estos gráficos corresponde a una penetración distinta de la pantalla. Las variables utilizadas son también las adimensionales correspondientes al nivel potencial de aguas arriba.

Estas gráficas constituyen otra forma de representación de la ecuación en variables adimensionales (15).





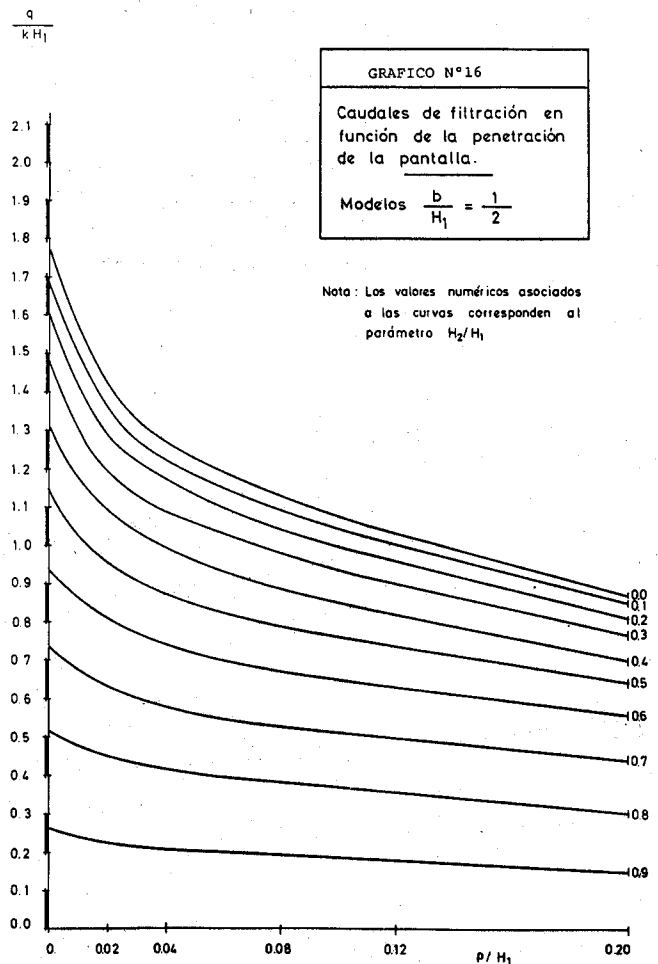
El intervalo de posibles aplicaciones prácticas puede considerarse limitado por

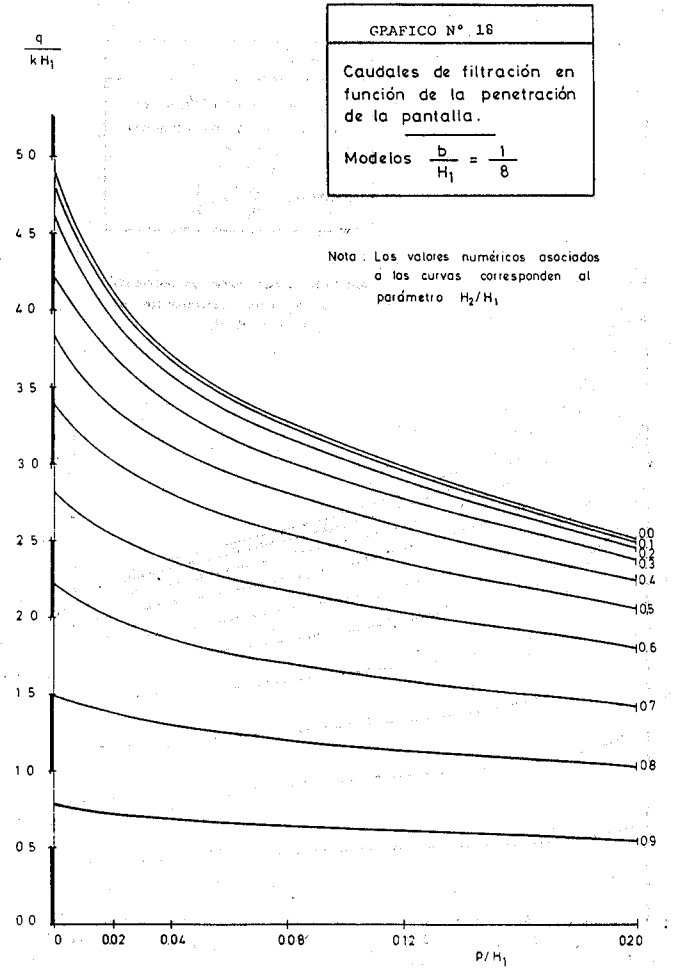
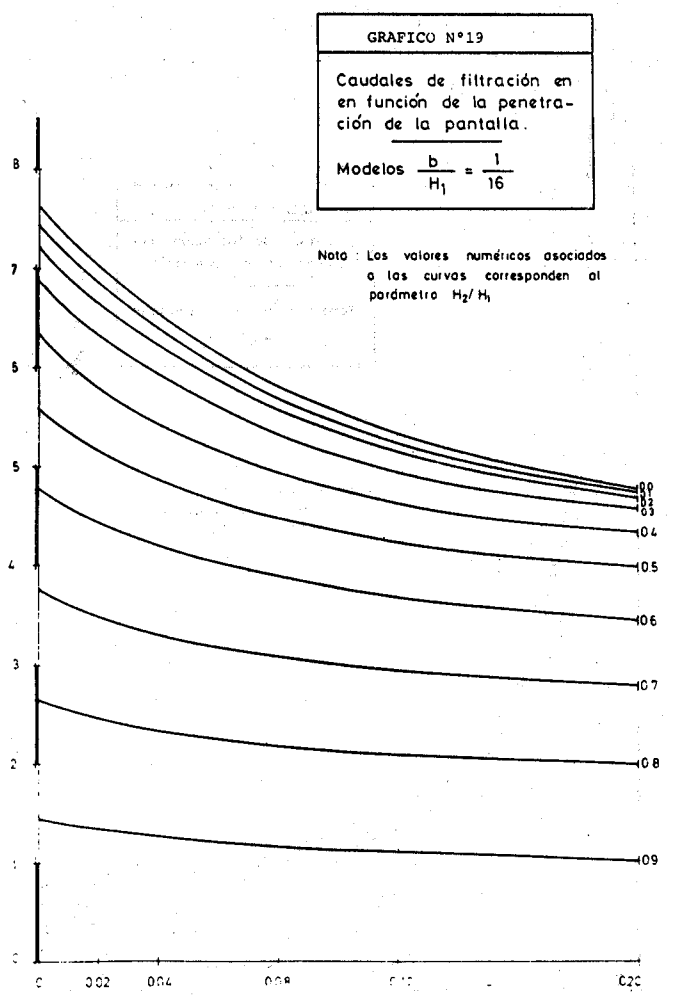
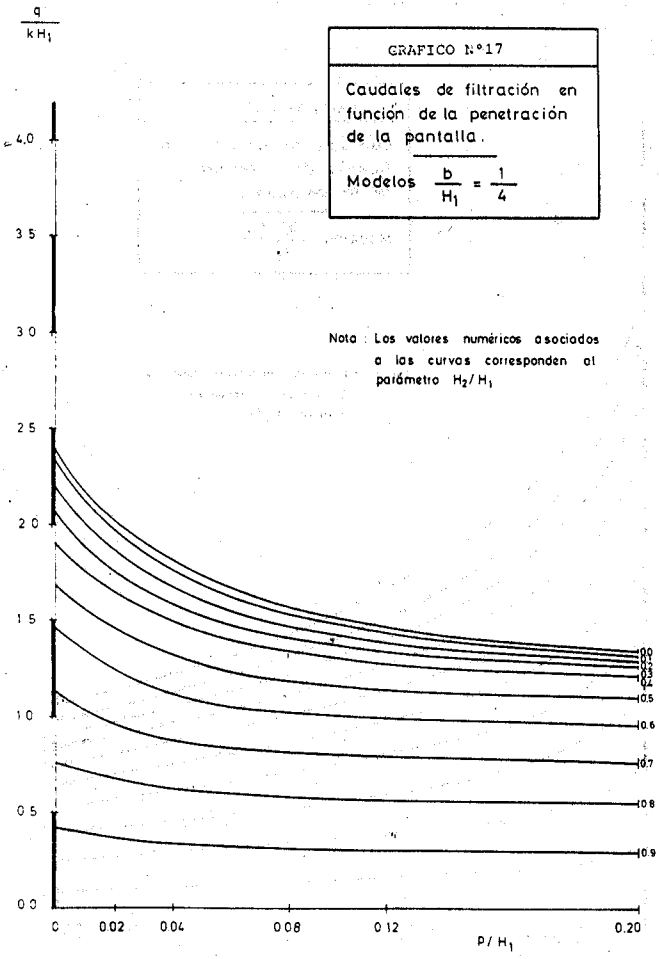
$$\frac{1}{8} < \frac{b}{H_1} < \frac{1}{2}$$

5.3. Caudales de filtración en función de la penetración de la pantalla para diferentes relaciones de niveles de agua H_2/H_1

La estructura de la ecuación (15), invita finalmente a representar los caudales de filtración en función de la penetración de la pantalla (tercera variable de la que depende la función indeterminada F), utilizando como parámetro de la familia de curvas las relaciones de niveles de agua y como parámetro definidor de cada figura la geometría del dique.

En los gráficos n.º 15 al 19, se representan los resultados de la tabla n.º 3, de acuerdo con las consideraciones anteriores.





5.4. Disminución de los caudales de filtración a través del dique con la penetración de la pantalla en éste

La pantalla tiene una función primaria exclusiva: impedir el flujo a través del estrato altamente permeable inferior al dique.

Esta función la cumplirá tanto mejor cuanto más impermeable sea ella. Por otra parte, hay que garantizar la estanqueidad de los empotramientos de esta pantalla. Desde el punto de vista del estudio de los caudales de filtración a través del dique, objeto de este trabajo, es conveniente dedicar unas líneas al empotramiento de la pantalla en la base del dique.

La construcción de la pantalla y el acoplamiento del material del dique deben realizarse cuidadosamente con objeto de garantizar una buena estanqueidad frente al flujo hidráulico ordinario.

No debe olvidarse que la longitud de empotramiento de la pantalla influye en las características del flujo a través del dique, fundamen-

ESTUDIO DEL CAUDAL DE FILTRACION EN EL FLUJO A TRAVES DE DIQUES VERTICALES

talmente en la zona inferior de éste. Desde el punto de vista de la filtración esta influencia puede considerarse positiva: el caudal de filtración se reduce con la longitud de la pantalla. Pero en otro sentido la longitud de empotramiento tiene influencias negativas: por una parte, se incrementaría apreciablemente el costo de la obra, ampliando la altura de la pantalla en la zona funcional del dique; y, por otra, se aumentarían los riesgos mecánicos de la pantalla, inherentes al aumento de longitud, por estar sometida a unas leyes de esfuerzos cortantes y momentos flectores de mayor envergadura.

Resulta conveniente, por tanto, ofrecer los resultados de la influencia de la longitud de penetración en los caudales de filtración, con objeto de facilitar a los proyectistas y constructores que utilicen este estudio, una información suficiente que les permita tomar las decisiones adecuadas con conocimiento de causas y efectos.

En la tabla n.º 4, se representan, los valores de la disminución relativa del caudal de filtración con la penetración de la pantalla para los 300 modelos investigados. Los caudales se definen, en términos adimensionales, respecto del caudal filtrado en la solución teórica de la longitud de empotramiento nulo, mediante la relación q/q_0 , siendo q el caudal correspondiente a penetración de pantalla indicada y q_0 el correspondiente a penetración nula. Los valores de esta tabla se obtienen mediante división de los números de Darcy q/kH_1 y q_0/kH_1 asociados que se clasificaron en la tabla n.º 3.

Resulta superfluo hacer representaciones gráficas, ya que, en cierta manera, la disminución del caudal de filtración con la penetración de la pantalla puede apreciarse gráficamente en las figuras n.º 15 al 19, en relación con los niveles de agua para cada geometría del dique.

6. CONCLUSIONES

La investigación sistemática ha permitido conocer los valores de los caudales correspondientes a los 300 modelos ensayados. Todos los resultados se ofrecen en términos adimensionales y de acuerdo con los [11] [12] estudios teóricos de Análisis Dimensional realizados. Como parámetro fundamental se considera el mono-

TABLA N.º 4

DISMINUCION RELATIVA DEL CAUDAL CON LA PENETRACION DE LA PANTALLA

Valores de q/q_0 en % siendo $\left. \begin{array}{l} q_0 = \text{caudal infiltrado con} \\ \text{pantalla de } p = 0. \\ q = \text{caudal infiltrado con} \\ \text{la pantalla correspondiente.} \end{array} \right\}$

$\frac{b}{H_1}$	$\frac{p}{H_1}$	$\frac{H_2}{H_1}$									
		0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
1	0.20	42.86	41.46	42.37	40.79	39.78	38.53	37.50	36.96	34.87	37.37
	0.12	57.14	53.66	52.54	52.63	51.61	50.46	50.83	47.83	46.71	46.95
	0.08	66.67	60.98	61.02	60.53	59.14	59.63	60.83	56.52	56.58	55.49
	0.04	71.43	70.73	71.19	69.74	70.97	69.72	70.00	71.74	67.66	68.29
	0.02	80.95	82.93	84.75	80.26	81.72	79.82	81.67	80.43	80.26	80.49
1/2	0.20	57.69	60.78	63.01	60.22	56.64	53.85	52.38	50.63	51.19	49.15
	0.12	65.38	66.67	68.49	67.74	67.26	63.08	61.90	60.00	60.12	58.19
	0.08	76.92	76.47	72.60	73.12	70.80	69.23	66.67	65.00	65.48	65.54
	0.04	80.77	82.35	79.45	79.57	76.99	76.15	74.15	73.13	72.62	71.19
	0.02	84.62	88.24	86.30	87.10	84.07	83.02	80.27	80.00	81.55	79.66
1/4	0.20	70.73	73.53	68.14	66.67	65.87	63.68	60.19	58.64	57.33	56.25
	0.12	73.17	74.67	69.91	69.44	68.26	67.37	64.93	65.00	62.50	60.83
	0.08	75.61	77.33	72.57	71.53	71.86	70.00	67.30	67.27	68.10	65.83
	0.04	80.49	82.67	75.22	77.08	79.04	78.95	76.30	75.91	75.43	73.75
	0.02	87.80	89.33	84.07	91.67	85.03	84.21	83.41	84.55	84.91	83.33
1/8	0.20	69.23	68.67	64.55	64.29	61.31	57.29	56.53	53.71	51.88	51.44
	0.12	76.92	75.33	72.73	72.86	70.83	66.50	66.27	63.10	61.92	61.32
	0.08	83.33	82.00	79.09	78.57	76.19	69.57	71.26	69.65	69.04	68.93
	0.04	88.46	86.67	83.64	83.21	81.55	77.75	80.05	76.86	76.57	75.93
	0.02	93.59	92.67	90.45	90.36	88.99	85.68	87.65	85.59	84.94	83.74
1/16	0.20	73.10	75.47	74.67	72.33	71.56	68.35	67.00	64.59	64.10	62.60
	0.12	77.24	79.25	78.67	77.15	76.39	72.60	72.78	71.09	71.52	72.06
	0.08	82.07	86.04	84.00	83.02	82.65	81.10	80.20	79.81	80.43	82.32
	0.04	86.21	89.91	88.00	88.26	85.87	86.61	86.46	86.03	87.31	88.39
	0.02	90.34	92.45	92.53	91.19	92.67	90.55	92.14	91.56	92.58	95.82

mio adimensional que hemos denominado número de Darcy, $D = \frac{q}{kH_1}$, monomio asociado a la magnitud caudal, objeto principal de estudio de este trabajo.

En concreto se ofrecen como conclusiones:

- Las representaciones gráficas continuas de los caudales de filtración en función de la relación de niveles de agua para diferentes penetraciones de la pantalla, considerando como variable discreta la definición geométrica del dique (Gráficos n.º 3 a 8).
- Las representaciones gráficas continuas de los caudales de filtración en función de la geometría del dique para diferentes relaciones de niveles de agua en los

paramentos, considerando como variable discreta la penetración de la pantalla (Gráficos n.º 9 a 14).

- c) Las representaciones gráficas continuas de los caudales de filtración en función de la penetración de la pantalla para diferentes relaciones de niveles de agua, considerando como variable discreta la geometría del dique (Gráficos 15 a 19).
- d) El intervalo de variación del número de Darcy en la filtración con superficie libre a través de diques permeables, que resulta ser $0 < D < 8$, resaltándose la conclusión teórica de que el caudal es directamente proporcional a la conductividad hidráulica del medio permeable.
- e) La influencia muy considerable que tiene la longitud de penetración de la pantalla en la base del dique sobre los caudales de filtración a través de éste. (En la tabla n.º 4, se reflejan los valores de la relación q/q_0 en %). Esta influencia, que en algunos de los casos extremos estudiados supone una reducción de más del 50 por 100, es consecuencia, en parte apreciable, del pequeño espesor de estas pantallas actuales. Todas las figuras citadas en los párrafos anteriores son, en diferente manera, representaciones gráficas de esta influencia.

BIBLIOGRAFIA

1. SCHNEEBELI, G. (1966): «Hydraulique souterraine», Eyrolles, París.
2. SCHNEEBELI, G. (1955): «Le barrage de Serre Ponçon sur la Durance. «Étude des infiltrations», S.H.F, La houille blanche, n.º special.
3. MATTA, G. (1957): «Étude des écoulements d'infiltration à travers les digues en terre». 7.º Congrès de l'A.I.R.H., Lisboa.
4. HUARD DE LA MARRE, P. (1958): «Resolution de problemes d'infiltrations à surface libre au moyen d'analogies électriques», Publications Scientifiques et Techniques du Ministère de l'Air, París.
5. MALAVARD, L.; L. RENARD, G. (1962). «La technique des analogies rhéométriques. Techniques générales du laboratoire de physique», vol. 2, págs. 94-112, Centre National de la Recherche Scientifique, París
6. DAVIS, S. y DE WIEST, R. (1971): «Hidrología», Ariel, Barcelona.
7. KARPLUS, W. (1958): «Analog Simulation», Mc Graw, Hill, New York.
8. GONZALEZ DE POSADA, F. y REDONDO ALVARADO M. D. (1979): «Analogical simulation of the seepage through cores of earth dams on pervious foundations interrupted by an impervious cut off bified in an inferior stratum and in the core base. Application des Grands Barrages. Treizieme Congres des Grands Barrages. New Delhi.
9. GONZALEZ DE POSADA F, REDONDO ALVARADO M. D. (1981): «Estudio mediante Simulación Analógica de la filtración a través del núcleo de la Presa de Hatilo», IV Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Zaragoza.
10. GONZALEZ DE POSADA, F. REDONDO ALVARADO M. D. (1982): «Estudio mediante Simulación Analógica de la superficie libre, o de saturación en el flujo a través de diques verticales construidos sobre terrenos permeables cortados por pantallas impermeables empotradas en la base del dique», III Semana de Hidrogeología, Lisboa.
11. GONZALEZ DE POSADA, F. (1979): «La Hidráulica del medio permeable como teoría física mecánica clásica. Utilización del Análisis Dimensional», Simposio Nacional de Hidrología, Tomo V, págs. 1-17, Pamplona.
12. GONZALEZ DE POSADA, F., REDONDO ALVARADO, M. D., PRIETO FERNANDEZ, J. R. (1979): «Flujo a través de diques permeables. Estudio mediante Análisis Dimensional del caudal de filtración». II Simposio Nacional de Hidrografía, págs. 75-90. Tomo V. Pamplona.