

INFLUENCIA DE UNA RED PLANA VERTICAL DE DRENES SOBRE LOS CAUDALES DE INFILTRACION POR UN TERRENO PERMEABLE BAJO UN MACIZO IMPERMEABLE(*)

ESTUDIO MEDIANTE ANALOGIA ELECTRICA BIDIMENSIONAL EN MEDIO CONTINUO

Por FRANCISCO GONZALEZ DE POSADA (1)
JOAQUIN CRUCES DE ABIA (2)

Mediante analogía eléctrica bidimensional en conductor sólido se estudia, de modo sistemático, la influencia de una red plana vertical de drenes (pozos) sobre los caudales de infiltración por un terreno permeable bajo un macizo impermeable.

Se consideran las siguientes variables: distancia entre ejes de drenes, diámetro de los drenes y distancia del plano de ejes a un paramento del macizo impermeable, todas en términos relativos respecto de la longitud del macizo.

Se obtiene una información cuantitativa sobre el incremento de los caudales de infiltración aguas arriba de la red, la disminución de los caudales de infiltración aguas abajo y los caudales evacuados por la red drenante. Los resultados, expresados en términos adimensionales, se representan gráficamente respecto de un sistema de referencia tal, que constituyen rectas concurrentes en un punto.

1. OBJETO DE LA EXPERIMENTACION

La introducción en un terreno permeable de un sistema drenante no limita su actuación a recoger, en mayor o menor grado según su "eficacia", los caudales que se infiltrarían naturalmente por el terreno sin la existencia del sistema. A veces se concede poca importancia a otro problema inherente a la actuación del drenaje: el incremento de los caudales de infiltración. Estos caudales pueden crecer excesivamente y modificar, en consecuencia, las características del terreno y la eficacia inicial o prevista del sistema drenante.

En este artículo se resumen unos trabajos realizados, en el Laboratorio de Fundamentos Físicos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid (3), con la finalidad de obtener una *información cuantitativa de referencia inicial* de la influencia de una red plana vertical de drenes sobre los caudales de infiltración por un terreno permeable bajo un macizo impermeable, analizando el *incremento de los caudales de infiltración aguas arriba de la*

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de julio de 1974.

(1) Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Licenciado en Ciencias Físicas. Licenciado en Ciencias Sociales. Profesor adjunto de Fundamentos Físicos.

(2) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor encargado de Curso y del Laboratorio de Fundamentos Físicos.

(3) Es justo reconocer y agradecer la colaboración prestada, en la obtención de los resultados de esta investigación, por M.^a Dolores Redondo Alvarado, licenciada en Ciencias Químicas, y por Pablo Quintanilla Laburu, alumno de tercer curso de la Escuela, colaboradores del Laboratorio y de la Cátedra de Fundamentos Físicos.

red, la disminución de los caudales de infiltración aguas abajo y los caudales evacuados por la red drenante.

2. HIPOTESIS DE TRABAJO

Con objeto de realizar investigaciones sistemáticas sobre modelos bidimensionales se han adoptado las siguientes hipótesis (fig. 1):

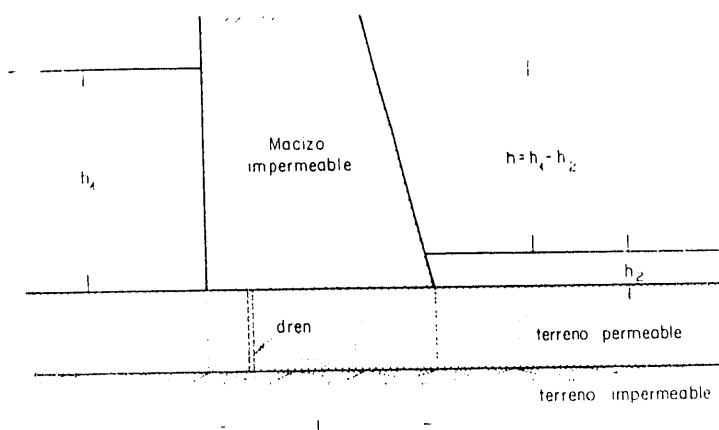


Fig. 1. — Sección paralela a la dirección de la infiltración.

a) Relativas a la obra y al terreno.

Se supone un macizo impermeable (presa de hormigón, muro, dique, azud, sota de un canal, núcleo impermeable en el interior de presas de material suelto...) situado sobre un terreno permeable que descansa sobre una capa impermeable horizontal, que los drenes atraviesan toda la capa permeable (4), y que en la dirección perpendicular a la sección de la figura la longitud es infinita, permaneciendo idénticas las secciones paralelas a la de la figura.

b) Relativas a la infiltración.

Se supone que el terreno permeable es homogéneo e isotrópico, que la red de corriente es "horizontal" (5) en la zona proyectante vertical del macizo impermeable y que se establecen regímenes estacionarios de corrientes subterráneas.

3. LA EXPERIMENTACION

En el marco de las hipótesis anteriores, y con la idea de ofrecer resultados adicionales, se considera como "unidad experimental" una rebanada paralelepípedica.

(4) Hipótesis necesaria para este estudio bidimensional. En la actualidad se proyectan los correspondientes modelos tridimensionales. De momento es suficiente constatar que los caudales de infiltración —en esta hipótesis— son superiores a los que se obtendrían con profundidades menores de los drenes.

(5) Hipótesis coherente con la (4) para este estudio bidimensional. La distorsión que produce sobre los resultados, lógicamente pequeña, se estudiará en los modelos tridimensionales.

dica "horizontal" (de altura "1"), para tratamiento bidimensional, representada en la figura 2 (6).

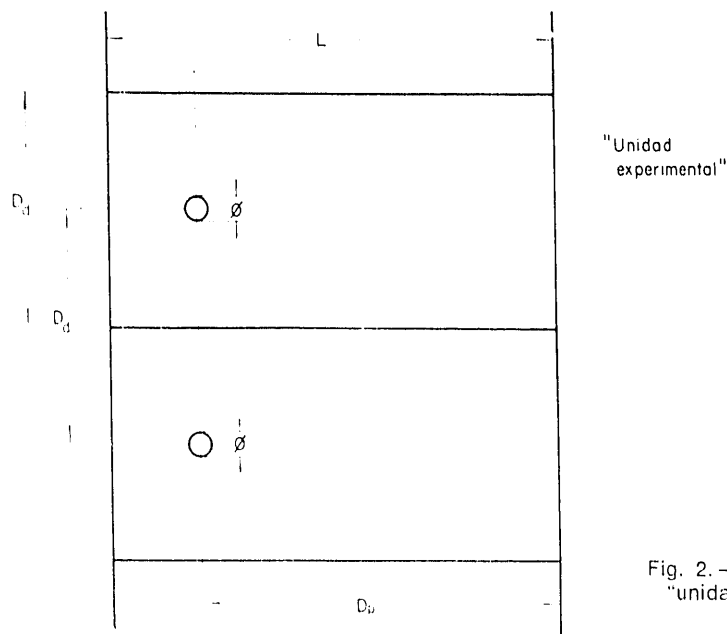


Fig. 2. — Definición de la "unidad experimental".

Como magnitud geométrica lineal de referencia se utiliza L , anchura del macizo impermeable, y respecto de ella se definen las siguientes variables lineales que intervienen en el problema:

D_d = distancia entre ejes de drenes.

D_u = distancia del plano de ejes de drenes al proyectante vertical de la línea de aguas abajo del macizo impermeable.

$\varnothing$ = diámetro del dren.

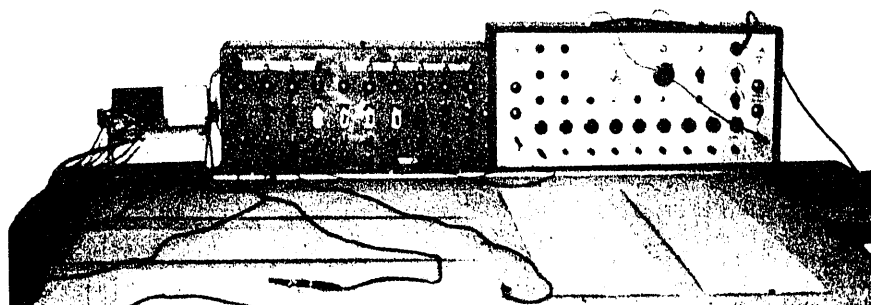


Fig. 3. — Mesa de trabajo.

(6) La "unidad experimental" considerada tiene un eje de simetría; en consecuencia, se podría haber elegido como "unidad experimental" una mitad de aquélla. La razón de no actuar así es muy simple: los modelos analógicos utilizados se han aprovechado simultáneamente para otros estudios que recomendaban trabajar sobre la "unidad experimental" elegida.

La "eficacia" o "capacidad" drenante de la red se representa también en términos relativos respecto de otra magnitud lineal h .

En estas condiciones se realizan ensayos sistemáticos mediante analogía eléctrica bidimensional con papel teledeltos confeccionando una serie de paneles análogos, de tal modo que en cada "unidad experimental" se fijan $L = 60$ cm, D_d y D_p , y se aprovecha para realizar las investigaciones correspondientes a diferentes diámetros de los drenes.

En la figura 3 se muestra una fotografía de la mesa de trabajo con el instrumental utilizado en los registros y una serie de paneles analógicos. En la figura 4 se representa un esquema de la instalación.

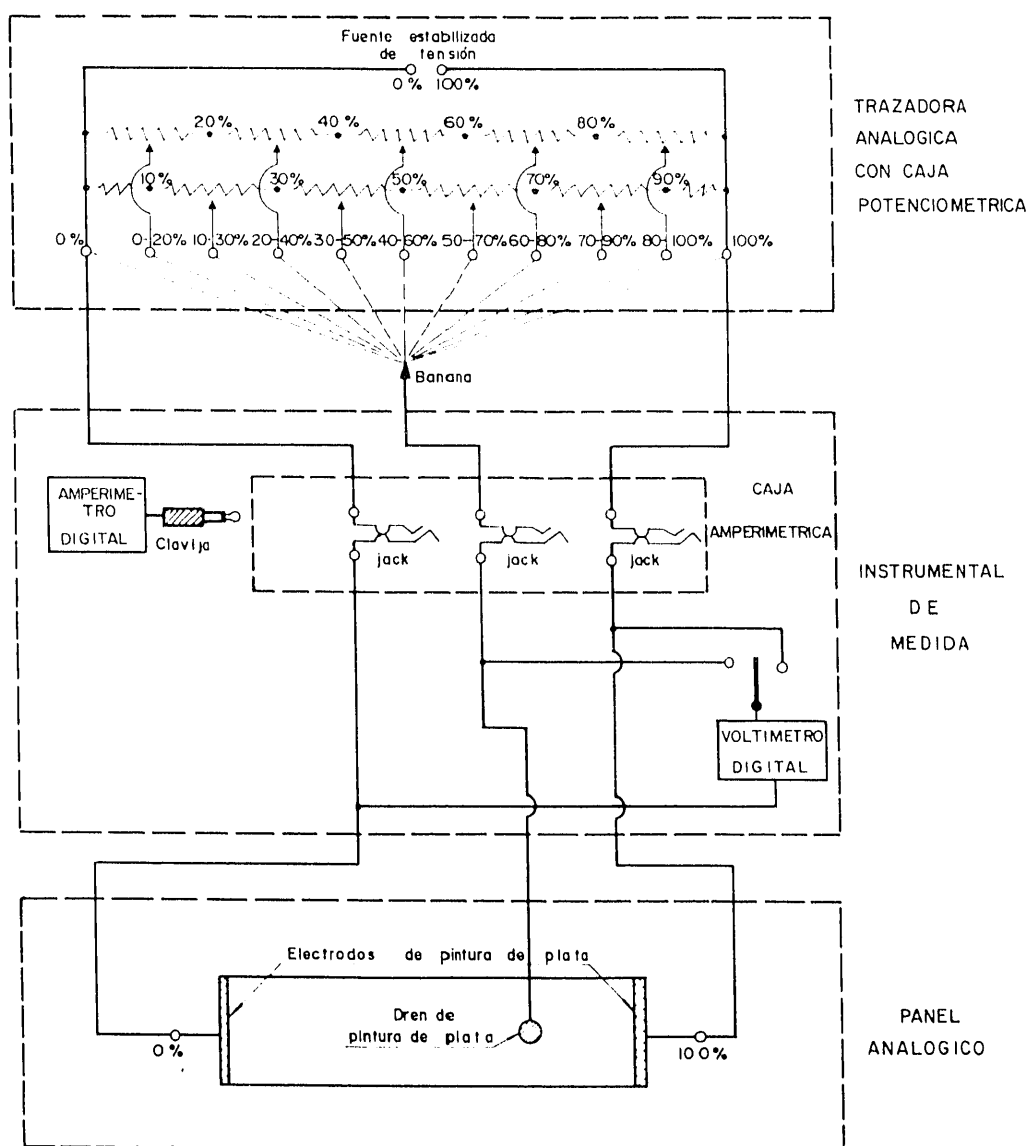


Fig. 4. — Esquema de la instalación.

En la experimentación se han medido las magnitudes analógicas eléctricas correspondientes a las hidráulicas (fig. 5):

Q_{no} = caudal de infiltración sin drenaje.

Q_{d} = caudal infiltrado por el dren.

Q_{f} = caudal infiltrado por el terreno con drenaje.

Q_{t} = caudal total infiltrado con drenaje = $Q_{\text{d}} + Q_{\text{f}}$.

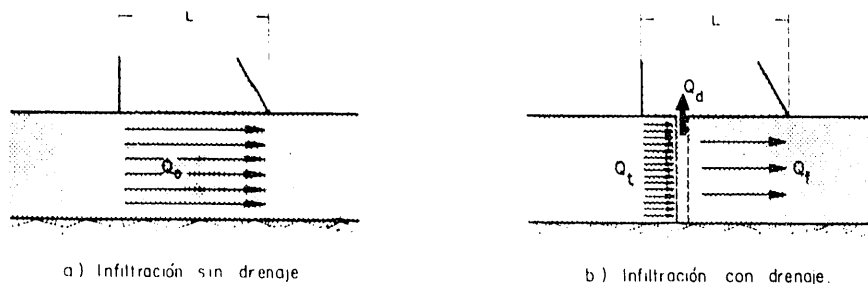


Fig. 5. — Esquema de la infiltración.

4. RESULTADOS

Los resultados se han sometido a diversos tratamientos con objeto de obtener representaciones lo más útiles y cómodas posibles. Este análisis ha permitido confeccionar los gráficos que se acompañan, en los cuales puede apreciarse que, como consecuencia de la elección de ejes, los resultados de la experimentación son rectas que parten del punto (0,1). En el gráfico 0 se registran los correspondientes a una "unidad experimental"; este gráfico se introduce para facilitar la comprensión de los restantes. En ordenadas (· 1) se representan los valores adimensionales $Q_{\text{f}}/Q_{\text{no}}$, es decir, la relación de aumento de caudal correspondiente a la introducción del sistema drenante; en ordenadas (· 1) los valores adimensionales $Q_{\text{d}}/Q_{\text{no}}$, es decir, la relación de disminución de caudal por el terreno permeable aguas abajo de la red; en abscisas (parte central) la "eficacia" de los drenes en términos de $e = h_{\text{no}} - h_{\text{d}}$, siendo:

$$h_{\text{no}} = \frac{D_{\text{p}}}{L} \cdot h \text{ (indicador de la posición del plano de ejes de los drenes);}$$

$$h_{\text{d}} = c \cdot h \left(0 \cdot c \cdot \frac{D_{\text{p}}}{L}; h_{\text{d}} \cdot h_{\text{no}} \right)$$

y, en abscisas (partes superior e inferior), la posición del plano de ejes de los drenes en los diferentes ensayos representados en cada gráfico.

Una característica digna de resaltar es la *independencia de los resultados respecto de la permeabilidad K del terreno*.

5. INCREMENTO DE LOS CAUDALES TOTALES DE INFILTRACION

En los gráficos 1 a 5 se resumen, con los criterios expuestos en el apartado anterior, los resultados de la experimentación, en forma adimensional, correspondien-

La "eficacia" o "capacidad" drenante de la red se representa también en términos relativos respecto de otra magnitud lineal h .

En estas condiciones se realizan ensayos sistemáticos mediante analogía eléctrica bidimensional con papel teledeltos confeccionando una serie de paneles analógicos, de tal modo que en cada "unidad experimental" se fijan $L = 60$ cm, D_{il} y D_{pu} , y se aprovecha para realizar las investigaciones correspondientes a diferentes diámetros de los drenes.

En la figura 3 se muestra una fotografía de la mesa de trabajo con el instrumental utilizado en los registros y una serie de paneles analógicos. En la figura 4 se representa un esquema de la instalación.

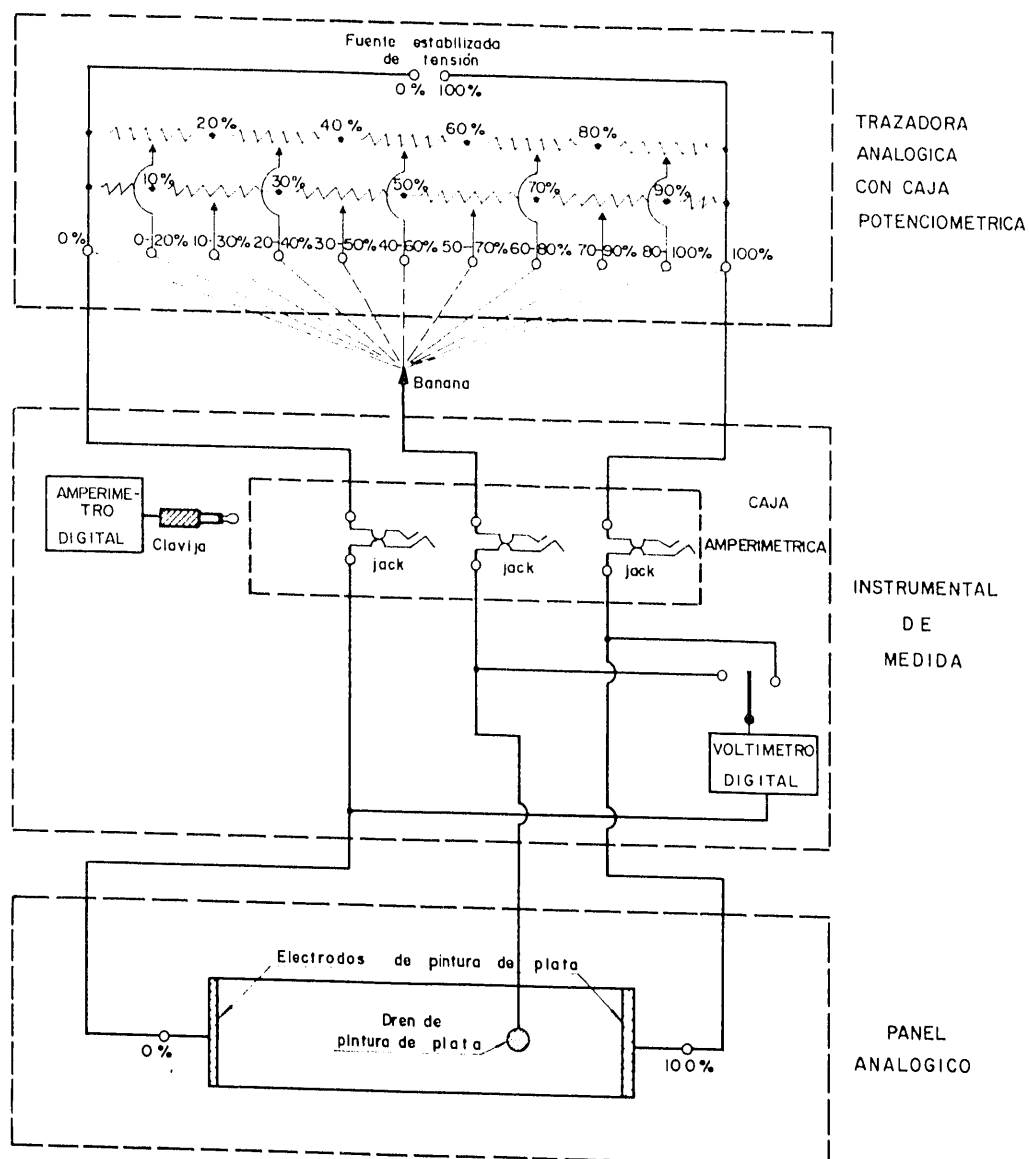


Fig. 4. — Esquema de la instalación.

En la experimentación se han medido las magnitudes analógicas eléctricas correspondientes a las hidráulicas (fig. 5):

Q_u = caudal de infiltración sin drenaje.

Q_d = caudal infiltrado por el dren.

Q_f = caudal infiltrado por el terreno con drenaje.

Q_t = caudal total infiltrado con drenaje = $Q_d + Q_f$.

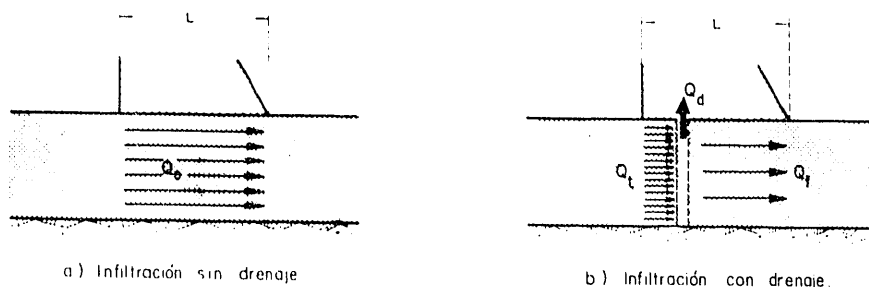


Fig. 5. — Esquema de la infiltración.

4. RESULTADOS

Los resultados se han sometido a diversos tratamientos con objeto de obtener representaciones lo más útiles y cómodas posibles. Este análisis ha permitido confeccionar los gráficos que se acompañan, en los cuales puede apreciarse que, como consecuencia de la elección de ejes, los resultados de la experimentación son rectas que parten del punto (0,1). En el gráfico 0 se registran los correspondientes a una "unidad experimental"; este gráfico se introduce para facilitar la comprensión de los restantes. En ordenadas ($\cdot 1$) se representan los valores adimensionales Q_t/Q_u , es decir, la relación de aumento de caudal correspondiente a la introducción del sistema drenante; en ordenadas ($\cdot 1$) los valores adimensionales Q_f/Q_u , es decir, la relación de disminución de caudal por el terreno permeable aguas abajo de la red; en abscisas (parte central) la "eficacia" de los drenes en términos de $e = h_u - h_d$, siendo:

$$h_u = \frac{D_p}{L} \cdot h \text{ (indicador de la posición del plano de ejes de los drenes);}$$

$$h_d = c \cdot h \left(0 \cdot c \cdot \frac{D_p}{L}; h_d \cdot h_u \right)$$

y, en abscisas (partes superior e inferior), la posición del plano de ejes de los drenes en los diferentes ensayos representados en cada gráfico.

Una característica digna de resaltar es la *independencia de los resultados respecto de la permeabilidad K del terreno*.

5. INCREMENTO DE LOS CAUDALES TOTALES DE INFILTRACION

En los gráficos 1 a 5 se resumen, con los criterios expuestos en el apartado anterior, los resultados de la experimentación, en forma adimensional, correspondien-

tes a los incrementos de los caudales totales de infiltración producidos por la introducción de las diferentes redes drenantes consideradas.

Las conclusiones quedan reflejadas en dichos gráficos; no obstante parece interesante destacar que, con las hipótesis adoptadas, *la razón Q_i/Q_{ii} crece linealmente con la eficacia del sistema drenante* (utilizando el concepto de "eficacia" definido anteriormente), para valores dados de D_p , D_d y α respecto de L ; y que el *incremento de los caudales de infiltración*, producido por una red plana vertical de drenes bajo un macizo impermeable, *puede hacerse excesivamente grande*, y, en consecuencia, pueden modificarse apreciablemente las características del terreno permeable y del sistema drenante.

6. DISMINUCION DE LOS CAUDALES DE INFILTRACION AGUAS ABAJO DE LA RED DE DRENES

En los gráficos 6 a 10 (análogos respectivamente a los del 1 a 5) se resumen, también con los criterios expuestos, los resultados correspondientes a este problema.

Las conclusiones quedan reflejadas, como en el caso anterior, en los gráficos; sin embargo, parece conveniente destacar que, con las hipótesis adoptadas, *la razón Q_i/Q_{ii} decrece linealmente con la eficacia del sistema drenante* para valores dados de D_p , D_d y α respecto de L ; y que una red plana vertical de drenes de adecuado proyecto *puede reducir apreciablemente los caudales de infiltración* por un terreno permeable cuando interese esta finalidad.

7. CAUDALES EVACUADOS POR LA RED DRENANTE

Los caudales de infiltración evacuados por la red drenante, en términos adimensionales también, pueden obtenerse de forma inmediata a partir de los gráficos análogos 1-6, 2-7, 3-8, 4-9 y 5-10, sin más que efectuar (puede verse directamente en el gráfico 0):

$$\frac{Q_{di}}{Q_{ii}} = \frac{Q_i}{Q_{ii}} - \frac{Q_i}{Q_{ii}}$$

No parece necesario confeccionar nuevos gráficos ni extenderse en más consideraciones.

