

LA CAPTACION DE CAPAS ACUIFERAS ¿POZOS HORIZONTALES O POZOS VERTICALES?

Por FRANCISCO ZAPATA TEJEDOR,
Ingeniero de Caminos.

Presenta el autor interesantes ideas sobre las ventajas e inconvenientes de los pozos verticales u horizontales, y después de un estudio teórico, llega a fijar un criterio para la elección de uno u otro sistema en general.

Introducción.

El problema de acompasar los suministros de agua al aumento de población y desarrollo industrial es general en todos los países, y en España está más acusado por las condiciones extremas de nuestro clima y el régimen de nuestros ríos. Esta necesidad de agua, aparte del aumento de población y de industrias, se ha incrementado por la mejora del nivel de vida en la vivienda moderna, y que ha hecho aumentar en Europa la dotación específica por habitante en diez veces en los últimos cien años.

El agua subterránea ha sido aprovechada también en escala creciente, siguiendo la demanda. Del anticuado pozo rústico de abastecimiento individual se ha pasado a instalaciones de captación que abastecen a grandes poblaciones. Hoy, en muchos países europeos, representa la parte de agua subterránea más de la mitad del consumo total. Por ejemplo, en Bélgica llega al 76 por 100, en Alemania al 70 por 100 y en Suiza al 52 por 100. En los Estados Unidos también son preponderantes los abastecimientos de agua subterránea, que representan el 75 por 100 del total, sobrepasando actualmente de los 100 millones de metros cúbicos al día el agua obtenida de capas acuíferas.

En España son muy limitadas las instalaciones de aprovechamiento de aguas subterráneas para abastecer importantes poblaciones. Su empleo en gran cantidad ha sido para pueblos, aldeas o abastecimientos individuales, resultando suficiente al principio con el pozo vertical ordinario. Es consecuencia de una tradición en nuestra técnica hidráulica y difícil de cambiar, por creerse que la circulación del agua subterránea no puede ser tan dirigida y embalsada como lo puedan ser las corrientes superficiales. Lo que ocurre es que, en éstas, ambas cualidades son prácticamente intuitivas y en las corrientes subterráneas se requiere, para su estimación, un completo estudio hidrogeológico.

En estos dos últimos años se ha evolucionado en España en este aspecto, y han sido dos organismos oficiales, la Confederación Hidrográfica del Guadiana y el Instituto Nacional de Colonización quienes

están poniendo intensamente al día el aprovechamiento de aguas subterráneas con fines distintos. La Confederación, a base de un plan previo de investigaciones y una selección en los sistemas de captación para el abastecimiento a los núcleos urbanos. El Instituto, con importantes medios de prospección y perforación para captar capas surgentes profundas con destino a riegos.

La hidrología del agua subterránea ha alcanzado en estos últimos años un gran desarrollo y ha pasado de ser una ciencia descriptiva y cualitativa a ser tan cuantitativa como la hidrología del agua de superficie. Ha sido consecuencia del perfeccionamiento de los sistemas de captación que han permitido obtener grandes caudales para el suministro a grandes poblaciones. Los pozos horizontales son en la actualidad el más moderno sistema de captación, con más posibilidades de perfeccionamientos futuros que los que ofrecen los clásicos pozos verticales.

Dentro de la técnica europea, esta innovación ha suscitado controversias sobre los rendimientos hidráulicos de ambos sistemas, al planear teóricamente las cualidades hidrodinámicas de cada uno. En el Congreso de la Asociación General de Higienistas y Técnicos Municipales celebrado en Evian en junio de 1953, fué puesto a discusión este tema con criterios no coincidentes, y entre los defensores de los pozos verticales filtrantes destacamos al Sr. Vibert, ya que comentaremos su "Ensayo de comparación Hidrodinámica", que presentó en el citado Congreso. Posteriormente, en publicaciones técnicas se ha seguido discutiendo ambos sistemas, en bastantes casos con argumentaciones más de fondo comercial que técnico.

Pretendemos con este trabajo centrar esa controversia en el problema que continuamente se presenta en España de captar nuestras capas aluviales, de características muy peculiares, y considerando no solamente la cualidad hidrodinámica de los rendimientos, sino también la funcional y económica.

Por lo expuesto anteriormente respecto a la escasa utilización de la hidráulica de las aguas subterráneas en nuestro país, nos permitirá el lector recordar brevemente las características funcionales de los dos tipos de captación.

Pozos verticales.

Casi todos los pozos construidos en España, sin sentido hidráulico alguno, son los que denominamos *pozos verticales ordinarios*, caracterizados por tener el revestimiento con pequeña superficie de percolación lateral, algunos mecinales, y en los cuales la mayor parte de la infiltración se produce por el fondo. En gran parte de ellos sobrepasa la velocidad de entrada de la crítica, por lo que se producen colmataciones e incrustaciones y una disminución de su rendimiento con el tiempo. Aparte de ello, su rendimiento no está en proporción a los volúmenes de excavación y revestimiento a que su construcción obliga.

Por estas razones, modernamente se utilizan los *pozos verticales filtrantes*, ejecutados con la técnica de perforaciones, disponiéndolos para captar lateralmente en toda la profundidad de la capa, a base de un núcleo tubular percolador y filtro adecuado entre éste y las paredes de la perforación. Sus diámetros son bastante más pequeños que en los pozos ordinarios, lo usual, según los casos, son diámetros que varían de 0.40 a 1 metro, con mayores rendimientos y seguridad que en aquéllos. Por ello, al hablar de pozos verticales, nos referiremos siempre a los filtrantes.

Las condiciones hidrodinámicas de estos pozos son bastante conocidas, al menos en su aspecto teórico, y en la figura 1.^a se representa su esquema funcional.

El rendimiento de un pozo (caudal correspondiente a un determinado descenso) se determina con las leyes establecidas por los hidráulicos Dupuit, Thiem, Sichardt y Weber, entre otros, considerando las siguientes hipótesis: extensión horizontal indefinida de la capa, homogeneidad con espesor constante de ésta, y que el acuífero no tiene alimentación ni extracción de agua parcialmente.

La curva que relaciona caudales relativos con descensos relativos, se llama *característica del rendimiento de un pozo* (fig. 1.^a), y teóricamente es una parábola. En la práctica, sólo es utilizable la rama AB

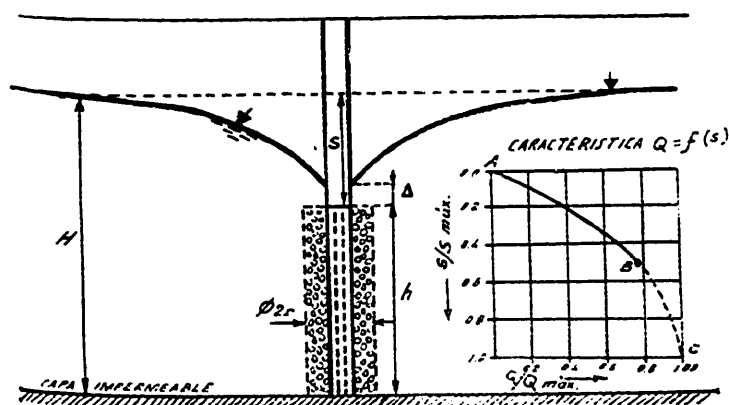


Fig. 1.^a — Esquema funcional de un pozo vertical.

de la característica, siendo B el punto correspondiente al rebajamiento relativo, en que es explotado el pozo con el máximo caudal real. Dicho punto corresponde a una altura de nivel hidrodinámico sobre el fondo del pozo, que se llama *altura crítica*, con igual concepto que en la hidráulica de canales. Para su determinación, es corriente utilizar la condición Sichardt de gradiente crítico, más que nada por facilidad operativa, pues no está justificada claramente; Kozeny en 1927 y Vibert en 1943 proponen también el límite de caudal máximo por la condición de gradiente crítico, y Breitenöder, en 1942, fija como hipótesis que la línea de agua sea tangente a las paredes del pozo en la entrada, es decir, un gradiente infinito totalmente distinto al de Sichardt, fijado en $\frac{1}{15 \sqrt{k}}$.

Estas discrepancias demuestran que la hidráulica de los pozos verticales tiene un punto oscuro en cuanto se refiere a la fijación del rebajamiento máximo. Estudios recientes, comenzados por Boulton en 1951, a base de considerar el movimiento del agua en las proximidades del pozo, podrá ser, después de contrastados con la experiencia, una solución a esta cuestión más lógica que la actual de fijar un gradiente crítico, al considerar la forma del movimiento en su conjunto con las variantes: radio del pozo y radio de alcance del bombeo.

Cuando el caudal que se desea captar es superior al individual por pozo, entonces hay que establecer un grupo o batería de pozos, disponiéndolos bien linealmente o en los vértices de un polígono, según sea la forma de alimentación de la capa. Para evitar instalaciones individuales de elevación, los caudales son sifonados en un pozo central de aspiración, se puede evitar éste estableciendo un circuito de aspiración, lineal o circular, que pase por las inmediaciones de cada pozo. La utilización de estos dispositivos viene limitada por la profundidad del nivel de agua en régimen de explotación máxima.

Pozos horizontales.

En el año 1934 el Ingeniero Ranney, de California, propuso mejorar la captación de aguas subterráneas existentes en Sunbury Cross, aguas arriba del Támesis, para el abastecimiento de Londres, a base de construir un pozo colector desde el cual se introdujeran horizontalmente en la capa acuífera tubos de acero perforados. La captación se ejecutó, y está en explotación sin la más pequeña disminución de rendimiento.

Dicha idea dió origen al desarrollo de los pozos horizontales, y como su nombre indica, la infiltración del agua se realiza a través de drenes horizontales que alimentan a un pozo-colector vertical.

Ranney ha desarrollado y mejorado luego, durante la segunda guerra mundial, su sistema en los

Estados Unidos, y en los últimos diez años ha sido introducido en Europa, donde también han surgido últimamente otros procedimientos análogos (Fehlmann, Vincent, G. D. F. etc.), todos los cuales se diferencian esencialmente en la dimensión y clase del revestimiento percolador, los medios de estanqueidad durante el trabajo y la forma de producir el filtro de contorno.

progresivamente hasta alcanzar el valor de cero en las inmediaciones del pozo-colector. Por ser un movimiento tridimensional existe también una corriente transversal creada por un gradiente tangencial con origen en el plano bisector de los drenes, pero la cual tiene pequeño valor.

Vimos anteriormente que la característica del rendimiento en un pozo vertical de condiciones freáticas

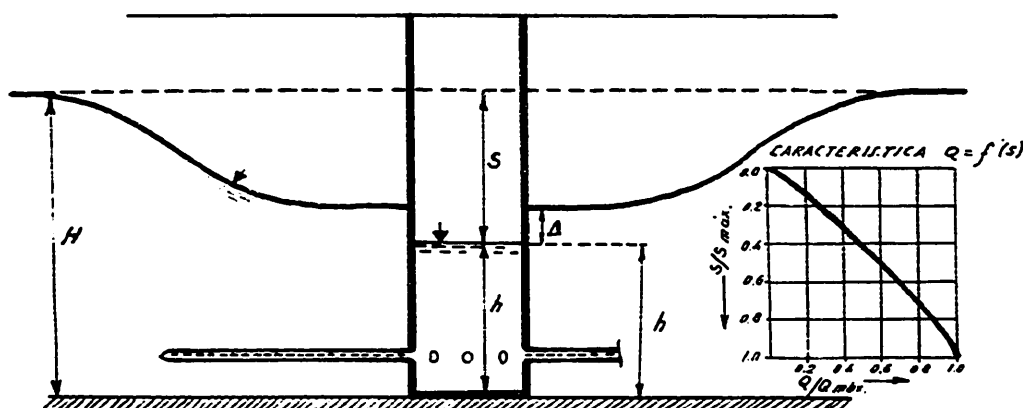


Fig. 2.ª — Esquema funcional de un pozo horizontal.

Fácilmente se comprende que si un dren, con adecuada forma y superficie de criba para la percolación, es introducido en un terreno acuífero y realiza de la extracción del fino granular para formar el filtro de contorno, su rendimiento hidráulico, de acuerdo con su sección y longitud, es totalmente independiente del sistema usado para su introducción.

En un pozo vertical, el rendimiento viene determinado por los siguientes valores: diámetro de la perforación, permeabilidad, espesor del acuífero y rebajamiento. En total *cuatro* variables.

En un pozo horizontal es mayor el número de variables que hay que considerar: permeabilidad, espesor del acuífero, rebajamiento, número y longitud de los drenes, diámetro de ellos, situación relativa de los drenes, diámetro del filtro y su permeabilidad. En total, *nueve* variables. Se ve, por tanto, que es imposible traducir en una fórmula teórica el valor del rendimiento en este tipo de pozos. Sin embargo, los resultados en captaciones ejecutadas y los ensayos en modelo reducido, han permitido conocer sus características hidrodinámicas con bastante aproximación.

El movimiento del agua subterránea, en este tipo de captación, también cumple, dentro de amplios límites, con la ley de Darcy y corresponde, por tanto, a un potencial de velocidades. En la figura 2.ª se representa el esquema funcional de un pozo horizontal en sección vertical por el eje de un dren. La superficie del agua, en régimen de bombeo, tiene una forma típica, con un gradiente acusado por encima de la punta de los drenes, y va disminuyendo

era teóricamente una parábola. En un pozo vertical de condiciones artesianas la característica es una línea recta. El pozo horizontal, hidráulicamente considerado, es un caso intermedio entre los dos tipos de pozos verticales, ya que al aumentar el rebajamiento dis-

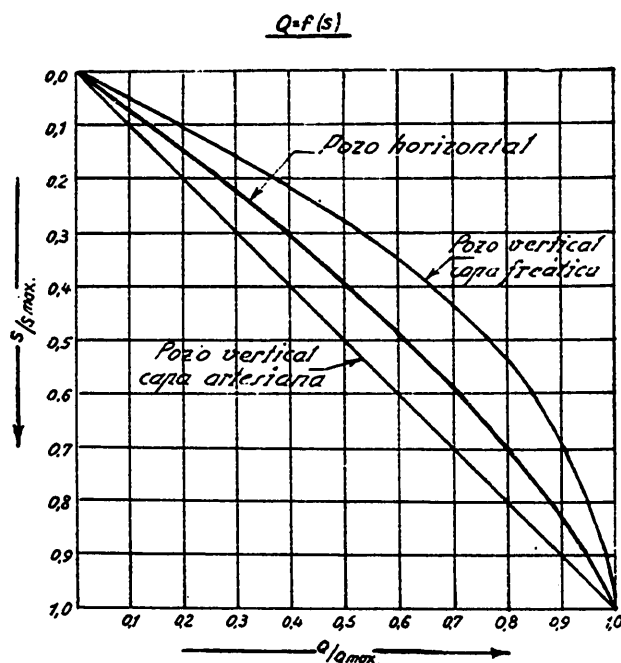


Figura 3.ª

minuye la sección transversal de afluencia (cualidad de los primeros) y, sin embargo, se mantiene constante la superficie de entrada en los drenes (cualidad de los segundos). Por tanto, la *característica del rendimiento de un pozo horizontal* es una curva intermedia entre aquellas dos (fig. 3.^a), prácticamente asimilable a una exponencial de exponente algo inferior a la unidad.

En el pozo horizontal la incógnita de la altura crítica desaparece, ya que ésta corresponde al rebajamiento máximo, que es precisamente el nivel del plano donde están situados los ejes de drenes.

Elettrica de enero de 1951. Este autor, de una forma brillante y sugestiva, partiendo de la consideración de un campo potencial, determina por el cálculo en una fisura de longitud $2l$ el movimiento del agua (líneas de corriente y equipotenciales), y pasa del sistema de las dos fisuras alineadas al haz simétrico de $2n$ fisuras de longitud l , por medio de una transformación conforme. En la figura 4.^a (parte superior) se representa la red hidrodinámica del movimiento plano en un sistema de cuatro fisuras, obtenidos por el citado autor. A medida que nos alejamos de los extremos de las fisuras, las líneas equipotenciales van

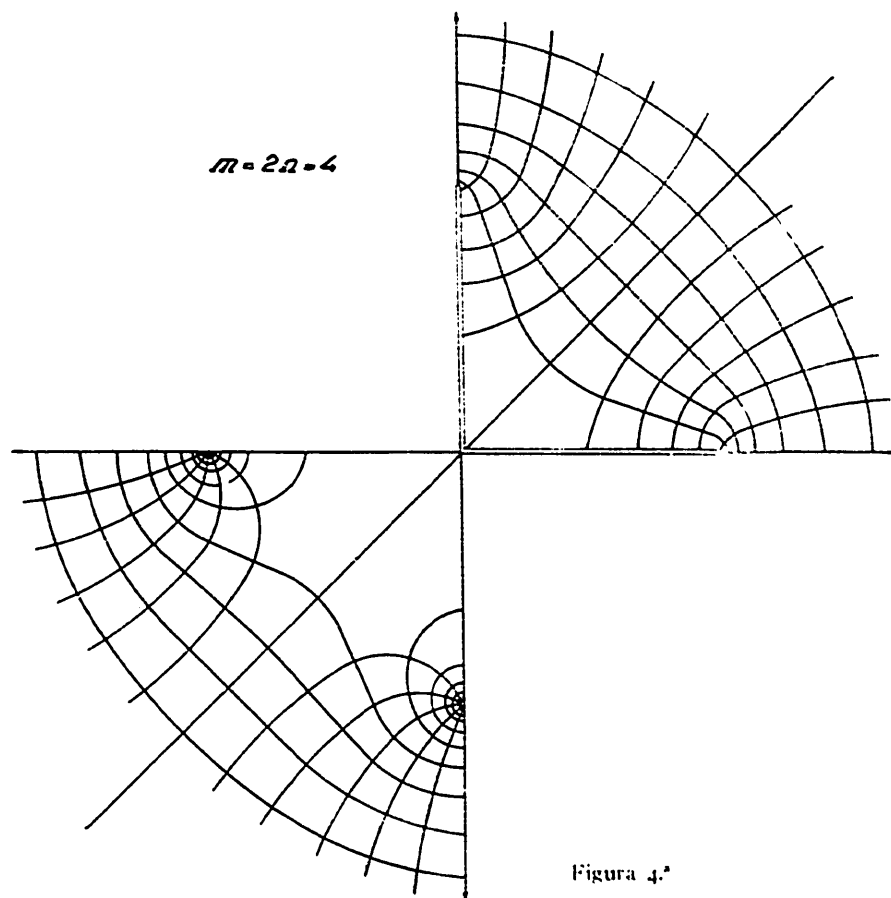


Figura 4.^a

Comparación teórica.

El estudio analítico del movimiento en un pozo horizontal, sólo puede ser abordado aproximadamente. Para ello hay que partir de condiciones que permitan considerar un movimiento plano, y éstas son: capa horizontal artesiana de espesor constante, y en vez de drenes, fisuras verticales de altura, la de la capa y anchura prácticamente despreciable frente a las otras dimensiones.

Sustituyendo el conjunto de drenes por otro de fisuras, el Prof. Citrini, de Milán, ha realizado un estudio teórico (Drenaggi a raggiera e sistemi di pozzi in una falda artesiana), aparecido en *L'Energia*

tomando curvatura más constante, es decir, se van convirtiendo en circunferencias, y las líneas de corriente en rectas, resultando una red hidrodinámica semejante al movimiento hacia un pozo vertical. Con esta consideración, Citrini ha determinado el radio (R) del pozo vertical equivalente al haz de $2n$ fisuras de longitud l , obteniendo la sencilla expresión:

$$R = l \sqrt[n]{\frac{1}{2}}. \quad [1]$$

De la anterior fórmula se deduce que para un drenaje de 4 fisuras ($n = 2$), con longitud $l = 20$ metros, el radio del pozo equivalente resulta $R = 14$

metros. Si fueran 8 el número de fisuras, el valor del radio es $R = 17$ m. Con los valores tan altos que resultan para el radio del pozo vertical equivalente, es evidente que, prácticamente, no se puede reemplazar por un sólo pozo el rendimiento obtenido por un drenaje de fisuras y hay que ir a una batería de pozos verticales de pequeño diámetro.

Por un método análogo al anterior, partiendo del movimiento en un único pozo, determina el correspondiente a un grupo de m pozos de radio r , simétrica y uniformemente distribuidos en un círculo de radio R_1 . En la figura 4.^a (parte inferior), se repre-

metro 4.00 m. y 8 fisuras de longitud 20,00 m., que desaguan en él, y otra captación denominada sistema II, formada por una batería de 8 pozos verticales de diámetro 0,50 m., distribuidos uniformemente en un círculo de radio 22,00 m. El esquema de ambos sistemas se representa en la figura 5.^a.

Aplicando las fórmulas [1] y [2] de Citrini, se obtiene para el sistema I un valor $R = 18,5$ m., y para el sistema II, el valor $R' = 16,3$ m. De esto se deduce que en la primera solución se obtiene un rendimiento en la captación algo superior y que para establecer la equivalencia hidrodinámica habría que

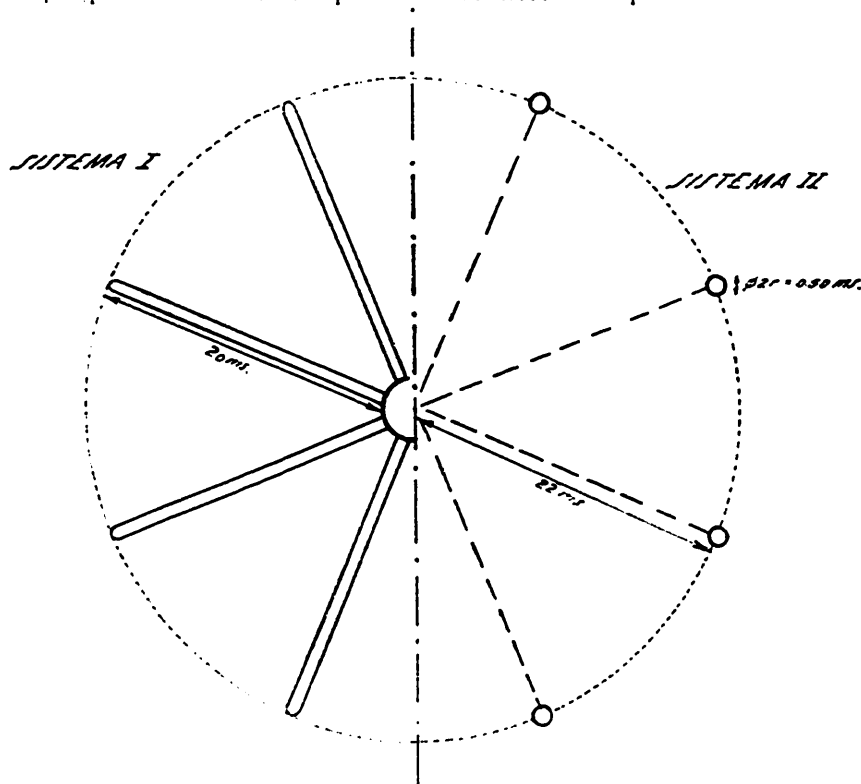


Figura 5.^a

sentan las líneas de corriente y equipotenciales en un sistema de cuatro pozos. Por las mismas consideraciones anteriores determina el valor R' , radio del pozo vertical equivalente al grupo de m pozos y cuya expresión es:

$$R' = \sqrt[m]{m r R^{m-1}}. \quad [2]$$

De la anterior expresión se deduce que R' aumenta más con m que con r ; por tanto, para lograr caudal importante es más conveniente, prácticamente, aumentar el número de pozos verticales que el radio de ellos.

Consideremos una captación que denominamos sistema I, constituida por un pozo colector de diá-

umentar R_1 , manteniendo el número y diámetro de los pozos verticales. Si se reduce el número de fisuras y pozos, mejora aún más el rendimiento del sistema I respecto al del sistema II.

Ya indicamos anteriormente que este estudio comparativo sólo es aplicable en el caso de una capa de condiciones artesianas, y que la sustitución de los drenes por las fisuras de altura, la de la capa, no es motivo para manifestar con generalidad, como hacen algunos autores, que reduce el rendimiento de la instalación. Ocurre más acusadamente en drenes largos y en pequeño número, pero en capas de pequeño espesor con drenes cortos y en gran número, son más favorables éstos que las fisuras.

El Prof. Vibert, en el citado Congreso de Evian, presentó un estudio: "Essai d'une comparaison hydrodynamique", publicado en *Le Genie Civil* de junio de 1953. Exactamente igual que Citrini, consideró el haz de fisuras y la batería de pozos en una capa artesiana, pero en un caso particular de ocho elementos, es decir, los dos sistemas I y II a que nos referimos antes y que se indican en la figura 5.^a, pero sin hacer intervenir la longitud l de ranuras ni el radio R de distribución de los pozos y suponiendo un radio de alcance fijo para los sistemas. De esta forma, por un método gráfico determina las líneas de corriente y equipotenciales y fija los radios de los pozos verticales equivalentes, deduciendo gráficamente que son prácticamente iguales y que hay equivalencia hidrodinámica entre los dos sistemas. Pasa entonces de la fisura de toda la altura (H') a la fisura de altura limitada $\frac{\pi d}{2}$, siendo d el diámetro del dren, para asimilar el sistema I al de drenes. Denominando Q el caudal del sistema II en capa artesiana, Q' el caudal del sistema I (con ocho drenes de diámetro d), obtiene la expresión

$$Q' = Q \sqrt{\frac{\pi d}{2 H'}} \quad [3]$$

Pasa de la capa artesiana (en carga) a la freática (capa libre), haciendo $H' \cong H$ y llamando Q_1 al caudal del sistema II y Q'_1 al caudal del sistema I (con ocho drenes de diámetro d), obtiene la expresión

$$Q'_1 = Q_1 \sqrt{\frac{\pi d}{2 H}} \times \frac{2 H}{H + h} \quad [4]$$

Considera Vibert un caso ideal de explotación de una capa aluvial (libre), definida por $H = 8,00$ metros, rebajamiento $6,00$ m.; por tanto, $h = 2,00$ metros, y que se utilizan los citados sistemas, el I con drenes de diámetro $d = 0,30$ m. Como resultado de la fórmula [4], obtiene $Q'_1 = 0,40 Q_1$, y con ellos, la conclusión de que el sistema I de ocho drenes puede ser reemplazado por la batería de tres pozos verticales.

El autor, del caso particular de ocho drenes, ha generalizado para todos los tipos de instalaciones, y además, en la aplicación de sus fórmulas no considera el efecto del filtro de contornos. Para ello, igual que en los pozos verticales, hay que considerar el diámetro del filtro en vez del de la entubación. La experiencia ha demostrado que en drenes de diámetro $0,15$ a $0,20$ m., el diámetro del filtro, según los terrenos, puede variar de $1,00$ a $2,50$ m. Tomando como valor medio $1,50$ m. y entrando en la fórmula [4], se obtiene $Q'_1 = 0,90 Q_1$. Las conclusiones ya son

distintas, es decir, para sustituir al pozo horizontal de ocho drenes hacia falta una batería de siete pozos verticales, lo cual está más aproximado a la realidad.

El generalizar la comparación hidrodinámica en el caso de ocho drenes, no es correcto. Ya vimos por las fórmulas de Citrini, que en el caso de los dos sistemas estudiados, el rendimiento del haz de fisuras es algo mayor que en el grupo de pozos, y sin embargo, Vibert los considera equivalentes. Al reducir el número de fisuras y de pozos, aumenta el rendimiento a favor del sistema I. Por tanto, todas las transformaciones analíticas para pasar al pozo horizontal, partiendo de la equivalencia hidrodinámica entre el haz de m fisuras y el grupo de m pozos, conducen a resultados fuera de la realidad, y más aún cuando se extrapolan a un movimiento tridimensional.

Comparación práctica.

Análogamente que en Hidráulica, los ensayos en modelo reducido y las mediciones directas en instalaciones ejecutadas, han permitido llegar a un conocimiento bastante exacto de la circulación del agua, tanto a través del terreno como en el interior de los drenes, en un pozo horizontal. Son interesantes en este aspecto los ensayos en modelo reducido realizados por Nahrgang y Falcke en el Laboratorio de Karlsruhe y las mediciones tomadas por Bosshard en pozos horizontales construidos en Suiza.

Uno de los argumentos, probablemente el principal, que se esgrime en contra de los pozos horizontales, es de que parte de la longitud de cada dren es inactiva a efectos de admisión, y que, por tanto, la superficie real de infiltración es inferior a la que dan las propagandas de los distintos procedimientos que la determinan sobre el total de los drenes. Desde luego, en ciertos casos, la red de líneas de corriente tiene una disposición como la de la figura 4.^a (parte superior), es decir, con concentración de filetes en el tramo inmediato a la punta del dren; pero se comete un error al generalizar este caso de circulación teórica, por considerar solamente el movimiento a través del terreno y olvidarse del movimiento del agua a lo largo de los drenes, el cual influye en aquél.

Los resultados experimentales y ensayos han demostrado que si las pérdidas de carga por la infiltración en el terreno son mayores que las correspondientes a la circulación en los drenes, entonces la entrada de agua predomina en el tramo de punta. Si ocurre lo contrario, entonces predomina la entrada de agua por el tramo de origen del dren. En la práctica, estamos en el primer caso, cuando con permeabilidad baja tenemos un caudal pequeño por dren o si el pozo horizontal está dotado de drenes de gran

diámetro. El segundo caso corresponde para aquel pozo horizontal en que el caudal está repartido en pocos drenes de gran longitud, es decir, si con buena permeabilidad se tienen velocidades grandes dentro de los drenes.

Por lo expuesto se comprende que con las variables que se pueden manejar (número, diámetro y longitud de drenes), estamos en condiciones de dirigir el movimiento del agua hacia los drenes, con predominio de una de las dos formas. En ninguno de los dos casos queda ningún tramo íntegramente inactivo: lo que ocurre es que en ellos la velocidad de entrada del agua es inferior a la media, y en el tramo con concentración de líneas de corriente, la velocidad es superior. Estas velocidades máximas en los tramos más activos son, a pesar de todo, más pequeñas que las usuales en los pozos verticales y es la gran ventaja de los pozos horizontales, al evitarse el riesgo de colmataciones e incrustaciones.

Los estudios hidrodinámicos que resumimos anteriormente, por su particular planteamiento, sólo deben considerarse en sentido cualitativo o para valorar, dentro de un mismo sistema, la influencia de algunos valores de la capa. Como en todos los problemas de Ingeniería, deben tantearse las soluciones posibles y adoptar aquella más conveniente, tanto desde el punto de vista económico como del funcional. Debe tenerse muy en cuenta no solamente la parte de obra captante, sino también la instalación de elevación, los gastos de entretenimiento y conservación y la duración de la captación.

El grupo o batería de pozos verticales, a excepción del caso de capas superficiales que pueden sifonarse a un pozo colector o aspirarse con un circuito único, siempre requieren una diversidad de instalaciones de elevación. Por el contrario, el pozo horizontal siempre tiene un grupo de elevación. En el referido caso de que la batería de pozos verticales pueda explotarse con elevación única, las conducciones de sifonamiento o aspiración, los pozos y las obras accesorias correspondientes, ocupan una importante superficie del terreno, inconveniente que ha obligado en algunos casos a desechar esta solución, aunque el estudio económico le fuera favorable.

En capas freáticas de pequeño espesor (inferior a 3,00 m.), bastante frecuente en España, la ventaja de los pozos horizontales es manifiesta. En efecto, en los pozos verticales, al limitarse el rebajamiento por la velocidad crítica de entrada, aquél es pequeño y por tanto su rendimiento. Sin embargo, los pozos horizontales pueden explotarse con un rebajamiento casi total (hasta el nivel de los drenes), con diferencia de rendimiento acusadísima. Si aplicamos la fórmula [4] de Vibert, no obstante ser pesimista para

los pozos horizontales, encontramos que, siendo h despreciable ante H , se transforma en

$$Q_1 = Q_2 \sqrt{\frac{2\pi d}{H}}$$

y sustituyendo $H = 3,00$ m. y $d = 1,50$ m., se obtiene $Q_1 = 1,76 Q_2$. Es decir, se precisarían 14 pozos verticales para tener el caudal de un pozo horizontal con 8 drenes.

Un caso muy corriente es captar capas aluviales en las proximidades de un río, la cual, en realidad, es una toma realizada por infiltración subálvea, con un plano de alimentación o de carga de contornos conocidos. Se resuelve con pozos verticales a base de establecer la batería según una línea paralela a la orilla. Si se utiliza pozo horizontal, se disponen los drenes en abanico hacia el lado del río. Ya vimos, al considerar las líneas piezométricas de ambos tipos, que en el pozo horizontal el fuerte gradiente se sitúa por encima de la punta de los drenes: luego al acercarse éstos más al río o pasar debajo de él, las condiciones de infiltración son muy superiores a las de los pozos verticales.

Nuestras capas aluviales, en general, son más heterogéneas y no tienen el espesor y extensión de las correspondientes a los ríos de Europa central. Las campañas de exploraciones realizadas por nuestra Sociedad en diversas cuencas (el Duero, en zonas de Valladolid y Zamora; el Tago, por la provincia de Toledo; el Guadiana, en las vegas bajas de Badajoz, y el Guadalquivir, en la provincia de Sevilla), nos han permitido deducir que los aluviones en cada sitio están constituidos por depósitos sucesivos de granulometría y composición muy diversa. Es corriente, en determinados ríos, encontrar tramos con fondo colmatado o de muy pequeña permeabilidad, y por el contrario, en otros de régimen más torrencial se presenta el aluvión de gran tamaño (gravas gruesas o bolos) en forma de lentejones comunicados entre sí y que son pasos privilegiados para las corrientes subálveas. Esta heterogeneidad de nuestras capas aluviales se ha considerado, equivocadamente, como una causa para adoptar la solución de toma directa en el río en vez de la de infiltración subálvea, pues si la variabilidad del caudal sólido arrastrado es lo que ocasionó la diferencia de permeabilidades en capas, también repercute en la construcción y conservación de la toma directa y en el coste de las obras complementarias para la eliminación del caudal sólido.

Con esta variabilidad de permeabilidades en nuestras capas aluviales, que producen una permeabilidad media, baja en muchos casos, en un ensayo de bombeo, es ventajosa la solución de pozo horizontal al

permitir colocar los drenes captantes dentro del tramo de la capa que tiene mayor permeabilidad. Sin embargo, la ejecución de los drenes no es posible en todos los terrenos incoherentes, ya que las gravas o bolos limitan su longitud de la misma forma que los pilotes de hincia o los de penetración estática tienen limitada su profundidad cuando tropiezan con áridos muy gruesos. En estos casos hay que recurrir, sin estudio comparativo, a los pozos verticales filtrantes.

Resumiendo todo lo anteriormente expuesto, podemos sentar las siguientes conclusiones:

1.^a En capas artesianas de surgencia total y para cualquier profundidad, debe irse al pozo vertical.

2.^a En capas artesianas de surgencia parcial, con capa de alta o media permeabilidad, y para cualquier profundidad, es aconsejable el pozo vertical. En el caso de capa de baja permeabilidad, pequeña profundidad y gran caudal, el estudio comparativo debe decidir entre el grupo de pozos verticales y el pozo horizontal.

3.^a Para pequeños caudales, que puedan captarse en capas freáticas con un pozo vertical filtrante único considerando la velocidad crítica de infiltración, es más económica la solución de pozo vertical

4.^a En capas freáticas de alta permeabilidad y pequeña profundidad de elevación para poder explotar el grupo de pozos verticales con elevación única, la elección de solución debe decidirse por un estudio económico comparativo, aunque, en general, será más económica la batería de pozos verticales.

5.^a En capas freáticas de baja permeabilidad y pequeña profundidad de elevación, en general, siempre es más aconsejable el pozo horizontal, aunque la batería de pozos verticales pueda sifonarse o aspirarse por circuito único.

6.^a En capas freáticas de pequeño espesor (inferior a 3.00 m.) y para cualquier permeabilidad y profundidad, es más ventajosa, en general, la solución de pozo horizontal.

7.^a En capas freáticas de relativa profundidad, en que cada pozo vertical requiere una elevación individual, es siempre más económica la solución de pozo horizontal.

8.^a En captaciones por infiltración subálvea y en todas aquellas en que la capa acuífera tiene una alimentación limitada y próxima, tanto desde el punto de vista hidrodinámico como el funcional, es más ventajoso el pozo horizontal.