

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL

EL ENSAYO DE BOMBEO EN LAS CAPTACIONES
DE AGUA SUBTERRANEA

INFORME No. 1204

JAIME LOPEZ CASAS
GEOLOGO

BOGOTA, D. E., DICIEMBRE 4 DE 1956

EL ENSAYO DE BOMBEO EN LAS CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRANEA

La mayoría de las personas que contratan perforaciones para la obtención de agua subterránea no se preocupan del control del rendimiento real de tales pozos, y sufren perjuicios serios por este motivo. La información que sigue les dará una prueba de la importancia del control y de los métodos para efectuarlo.

El presente artículo resume las principales ideas acerca de la necesidad de hacer un ensayo de bombeo como parte integral y culminante en la construcción de cualquier pozo para la explotación de aguas subterráneas. En la descripción de los métodos, así como en las ideas mismas, no puede ser original por cuanto se trata de conceptos básicos y simples que están siendo aplicados de muchos años atrás en otros países donde el agua subterránea es el elemento vital para poblaciones e industrias. Principalmente en los idiomas inglés y alemán abunda la bibliografía que describe los métodos del ensayo de bombeo para las captaciones de agua; generalmente esas publicaciones son altamente técnicas, y por razones del idioma así como por insuficiencia en la preparación científica estarían fuera del alcance de la gran mayoría de nuestros perforadores e interesados en los asuntos de aguas subterráneas. Es por esto que creemos que las ideas y métodos aquí expuestos, en forma elemental, tengan alguna novedad, y ciertamente estamos seguros de que hay una urgente necesidad en su conocimiento y aplicación entre nosotros: los contratantes de construcciones de pozos, cuyo número se acrecienta día a día en Colombia, deben informarse con certeza del resultado de su gestión al pagar un costo elevado por la construcción de un pozo. El conocimiento de los recursos del país en aguas subterráneas y su conservación, que son factores esenciales del progreso en todos los órdenes agropecuarios, industriales y de abasto de poblaciones, sólo se puede lograr con base en los ensayos de bombeo.

El ensayo de bombeo, en condiciones perfectas, debe ser la prueba conjunta de la capacidad de la fuente subterránea, o sea el acuífero, y de la capacidad del pozo en sí para aprovecharse de él. La capacidad del acuífero es una condición natural, o sea preexistente a la construcción del pozo, por lo cual para llenar la anterior finalidad de calificar el acuífero mediante la construcción y el ensayo de bombeo de un pozo para agua, se requiere que el pozo en sí tenga una construcción óptima y altamente técnica. La calidad del pozo en relación al acuífero depende de su profundidad, de su diámetro; de la calidad, diámetro, longitud y demás especificaciones del filtro y de la bomba que sirve para la explotación del agua. Un pozo que penetre poco en la capa acuífera, sea de diámetro reducido y de filtro deficiente, puede ocultar completamente la capacidad quizá enorme de un acuífero para rendir agua. En Colombia existen pozos que

extraen una buena cantidad de agua de sedimentos finos cuya permeabilidad tan sólo es regular y cuyo rendimiento es comprobadamente pobre.

El interés inmediato del ensayo de bombeo es definir la capacidad del pozo, o sea la cantidad de agua que produce en una unidad de tiempo por cada metro de descenso en el nivel de agua; con este conocimiento luego se calcula la capacidad requerida de la bomba permanente de que se debe dotar el pozo para su explotación.

En la interpretación del ensayo de bombeo deben tenerse en cuenta cinco factores para el cálculo de la bomba y la capacidad del pozo:

1) Los detalles de la construcción del pozo: profundidad, diámetro; longitud, colocación; diámetro, tipo y calidad del filtro y cualquier otra como relleno de grava, etc.

2) El nivel piezométrico del agua, o sea el nivel del agua medido en condiciones naturales antes del bombeo y después de algunas horas de terminada la perforación y limpieza del pozo.

3) La cantidad de agua bombeada en litros por segundo o galones por minuto durante el ensayo de bombeo.

4) El tiempo total e ininterrumpido de bombeo del pozo.

5) El descenso del nivel de agua provocado por el bombeo y medido frecuentemente, en tal forma que sea posible asegurarse de que se ha obtenido un nivel de bombeo estable. Esto quiere decir que con la cantidad de agua que se está bombeando ha llegado el momento en que el nivel de agua no desciende más. Esta operación de bombeo debe prolongarse por no menos de 24 horas.

La interpretación del ensayo de bombeo con fines hidrológicos para la calificación de la capacidad y extensión del acuífero requiere, además de los anteriores puntos (que son la base mínima del ensayo de bombeo):

1) los cálculos hidráulicos según la información matemática que dé ese ensayo; 2) el conocimiento de la geología regional, para poder estimar las posibilidades de aflujo y reposición del agua extraída del pozo; 3) conocimiento de la columna estratigráfica y demás detalles de la perforación del pozo bombeado, lo cual debe ser suministrado por el perforador del pozo; 4) el conocimiento de la meteorología e hidrología regionales. Lo anterior quiere decir que la primera parte de la cuestión corresponde en conciencia al perforador, o bien al contratista de perforación de pozos, como parte esencial y culminante del contrato de perforación. Sólo las grandes compañías de perforación o los institutos oficiales pueden tener personal experto para la aplicación e interpretación conjunta y correcta de todos los factores arriba enumerados.

Como el ensayo de bombeo está llamado a calificar el resultado de la construcción de un pozo, o sea que de todas maneras se debe realizar en su parte básica para calcular la capacidad del pozo y, por consiguiente, de la bomba para la explotación que se ha de instalar, debe ser preocupación del propietario o contratista exigir el ensayo de bombeo. El contratante de la construcción de cualquier pozo o captación de agua subterránea debe depender del ensayo de bombeo para justificar la inversión hecha, por lo cual debe presenciarlo personalmente o hacerlo presenciar de una persona de toda confianza, y por lo menos algo informada en el asunto.

De acuerdo con lo anterior, podemos dividir el tema en ensayos de bombeo simples y ensayos de bombeo técnicos.

El método más simple no puede ser otro que bombear el pozo por algún sistema durante un tiempo que se determinará por lo menos en horas, no menor de 24, a razón de tantos galones por hora o litros por segundo o por minuto, etc., con un descenso de tantos metros durante todo ese tiempo de bombeo. No debe haber interrupción en el bombeo, una vez comenzado, y el dato de la cuantía de agua que se bombea reviste la mayor importancia. Si al cabo de las 24 horas no se ha estabilizado el nivel de bombeo, es de todas maneras necesario continuar el bombeo hasta que se estabilice, lo cual se interpreta como que el agua que extrae la bomba es igual a la cantidad de agua que entra en el pozo.

Insistimos en que son tres y sólo tres los datos que se deben obtener de un ensayo de bombeo simple: cantidad de agua bombeada; tiempo continuo de bombeo; descenso del nivel de agua debido a ese bombeo, hasta alcanzar un nivel estable de bombeo.

Es conveniente poner de presente que si la necesidad de una casa o de una finca, etc., exige determinada cantidad de agua, por ejemplo, una extracción de 3 litros por segundo del pozo que se va a probar, no debe bombearse el pozo a cantidad menor de la que se aspira a extraer, es decir, en caso del ejemplo a no menor de 3 litros por segundo, o sea a unos 47.5 galones por minuto.

El tiempo de bombeo es fácil de medir mediante un reloj apuntando el día, la hora y el minuto en que se comenzó el bombeo, y luego el día, la hora y el minuto en que se suspendió.

La medición del descenso de bombeo es un poco más difícil, por cuanto requiere alguna práctica. Con el objeto de hacer esa medición se han inventado algunos instrumentos como la medición eléctrica, la pipa sonora y la columna de aire a presión. Pero esos instrumentos no están al alcance de la mayoría de los perforadores, y ciertamente que existe para el ensayo simple de bombeo un instrumento más sencillo, más común y tan preciso como los anteriores: la cinta métrica de longitudes de 10, 20, 30, hasta 50 metros, es un instrumento muy apropiado para esa medición. Con un lápiz de tiza, mejor de color claro, se tiñen de 1 a 2 metros en el extremo de la cinta. Se requiere el conocimiento previo aproximado de la profundidad del nivel de agua para no introducir en el pozo ni poca ni mucha longitud de la cinta. El perforador siempre tiene idea de la profundidad del nivel de agua. Unos minutos antes del ensayo de bombeo se mide la profundidad (o altura, en caso de agua saltante) del nivel de agua, tomando como base de cualquiera de estas medidas el nivel del suelo o el cuello de la tubería del pozo. A medida que avanza el bombeo se mide la profundidad del nivel con relación al mismo punto. La última medición debe hacerse inmediatamente que se suspenda el ensayo, pues el nivel de agua tiende a subir muy rápidamente en los primeros minutos después de suspendido el bombeo. La diferencia entre las dos cifras extremas así obtenida dará el descenso del nivel promovido por el bombeo. En algunos casos, como cuando se usa compresor para el ensayo de bombeo, no es posible hacer mediciones mientras que se bombea, por lo cual lo único aconsejable en ese caso es bombear mucho tiempo para asegurarse de que el nivel de bombeo se ha estabilizado; en estos casos se harán las mediciones inmediatamente antes y después del bombeo.

La medición más difícil de acometer y que requiere preparación más cuidadosa es la de la cantidad de agua bombeada. Creemos que en general hay un grave descuido en la apreciación de esa cantidad. En no pocos casos la cantidad de agua bombeada la refieren al diámetro de la tubería por donde sale el agua, y así dicen que se bombearon dos o tres pulgadas de agua durante dos o tres horas. Otras veces la refieren a la capacidad de la bomba, que puede ser expresada en galones por minuto durante tal o cual tiempo. Estos dos conceptos encierran errores muy comunes y ponen de presente la dificultad que hay en tales mediciones, pues el empleo de presas de aforo, por simples que sean, de orificios, medidores de corrientes y demás sistemas clásicos de medir agua, requieren técnica, aplicación de fórmulas y, en general, son aparatos de costo alto.

El chorro de agua que sale por un tubo no reúne las condiciones que permiten saber por la simple inspección ocular del chorro de agua la cantidad de agua que se mueve en él. La cantidad de agua que sale por un tubo no solamente está sujeta al diámetro de éste sino a la velocidad de salida del agua, a que el chorro llene completamente el tubo y a que no haya mezclada con el agua una buena cantidad de aire. Una estimación de la cantidad de agua que surge en relación con el diámetro de la tubería es muy insegura, y no debe ser aceptada ni siquiera como aproximación de la cantidad de agua bombeada en el ensayo de un pozo, tanto menos si el ensayo se hace con una bomba de pistón o con compresor, pues en estos casos el chorro de agua no es continuo.

La capacidad de una bomba, por ejemplo, de 1.000 galones por hora, es una cantidad máxima en condiciones ideales de diseño de las bombas. En la práctica es difícil que una bomba extraiga agua a una capacidad constante e ideal, pues su funcionamiento está sujeto a muchos factores. Naturalmente nos referimos a bombas centrífugas o de turbina, pues las bombas de pistón y los compresores tienen una capacidad difícilmente o imposible de estimar de antemano. La calidad del combustible, o el voltaje, el grado de pureza del aceite que lubrica las partes de una bomba, el estado de sus piezas, etc., hace que cambie la capacidad ideal en el bombeo para una bomba, y en un ensayo de bombeo de varias horas estos cambios pueden producir una alteración notable de la cantidad de agua extraída en total. No es posible admitir sin objeciones el cálculo de que una bomba de 1.000 galones por hora que ha trabajado 5 horas haya extraído 5.000 galones en total. Es necesario, pues, que durante el bombeo se hagan algunas mediciones de la capacidad de la bomba y luego esos resultados se promedien y se adopten como base de la cantidad de agua extraída, en galones por minuto o por hora, o litros por segundo, o litros por minuto. En el ejemplo que damos de un bombeo simple se puede observar que las mediciones o aforos del promedio de agua bombeada deben hacerse repetidas veces.

En el caso que venimos tratando, de un ensayo de bombeo simple, por ejemplo, el de un pozo para uso casero, o de pequeña capacidad, la medición del agua extraída se puede hacer sencillamente y con bastante exactitud con la ayuda de dos canecas o tambores de 55 galones o menores, si es que el agua que se extrae es poca. La tubería de descargue se mantiene siempre vertiendo en una de las canecas, tan pronto se llene una, dentro de determinado tiempo, se pone la otra caneca y mientras se llena esta última se vacía la primera para tenerla lista, tan pronto se llene la otra.

Se contabilizará el número de canecas llenadas durante el tiempo de bombeo y se obtendrá así una figura muy exacta de la cantidad de agua extraída. En la figura número 1 se muestra un sistema de tubería y llaves que sugerimos para facilitar el empleo y la exactitud del método anteriormente expuesto para pozos de capacidad hasta de 5 litros por segundo. Lo esencial del sistema es una Y con llaves de paso y de muy fácil construcción, de suerte que todos los perforadores la pueden tener como parte integral del equipo de perforación. El sistema es muy conveniente, pues da resultados muy precisos si se ejecuta con la debida atención. Frecuentemente para el ensayo de bombeo se usan bombas de pistón y aun compresores; en estos casos la medición de la cantidad total del agua extraída es esencial y el sistema expuesto es muy conveniente, si no el único sencillo.

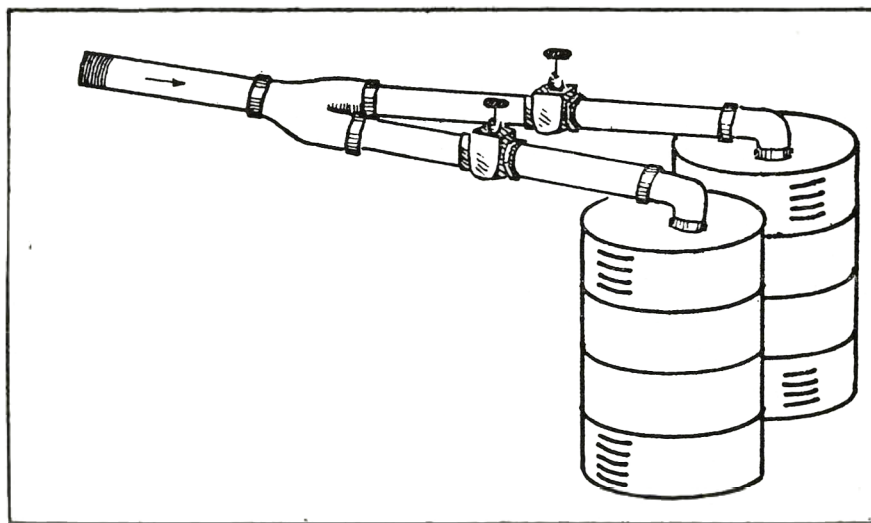


FIGURA 1.—Sistema de una Y con llaves para el control de aforos en un ensayo de bombeo simple. El diámetro de la tubería y el volumen de las canecas se deben ajustar a las necesidades.

Con base en el resultado del ensayo simple de bombeo, que ojalá presencie el contratante mismo, se puede calcular la capacidad del pozo, o sea la cantidad de agua extraída por metro de descenso en el nivel de agua, y, de consiguiente, con una interpretación por parte de una persona práctica se podrá calcular la potencia de la bomba de que debe ser provisto el pozo para su debida y segura explotación. Esta interpretación quizá no corresponda al perforador mismo, pero con los datos obtenidos por él, mediante el ensayo de bombeo, las casas distribuidoras de bombas determinarán la capacidad y el tipo de la bomba más apropiado a las circunstancias.

Como parte muy importante del ensayo de bombeo debe tomarse una muestra de agua con el fin de realizar análisis químicos de ésta. En este *Boletín* aparece un artículo sobre la calidad química de las aguas subterráneas, y se dan indicaciones para la recolección de las muestras de agua. Desde luego, otra muestra debe someterse al análisis bacteriológico.

Con el objeto de clarificar la explicación sobre un ensayo de bombeo se adjunta a la presente descripción un cuadro (ver figura 2), sobre los

datos que debe aportar el ensayo de bombeo. También se interpretan esos datos en forma gráfica para que quede en claro la reacción de los niveles de agua al bombeo. Como se ve en ese gráfico, el descenso del nivel en las primeras horas de bombeo es bastante rápido y luego trata de estabilizarse en un punto que depende de la cantidad de agua que se bombea, la calidad del pozo y la calidad de la capa acuífera. Al suspender el bombeo, la curva de recuperación es una imagen invertida de la curva de descenso, y, por consiguiente, depende de los mismos tres factores enunciados; es por esto que la curva de recuperación tiene gran valor para los análisis hidrológicos.

En los ensayos de bombeo de pozos de alta producción para la industria, la irrigación y el abastecimiento público el ensayo de bombeo reviste grande interés y seriedad. Una cuidadosa preparación del ensayo de bombeo es necesaria, pues los datos que se han de obtener son los mismos pero más detallados y completos que los que da el ensayo simple de bombeo, y básicamente dan la misma información indispensable para los cálculos de las bombas. Para abastecimientos públicos y con fines industriales, el declinar regional de los niveles de agua debido a la explotación de pozos de alta capacidad, tiene grande importancia en lo que pueden afectar otros pozos y en el futuro planeamiento para la expansión de la explotación de las aguas subterráneas, tanto para definir la distancia entre uno y otro pozo, como para dar una figura en cuanto a la cantidad de agua explotable en cada uno de los ellos. Cuántas inversiones de buenas sumas de dinero se hubieran ahorrado en Colombia si se hubieran hecho ensayos de bombeo como base de controlar su producción real.

En estos bombeos técnicos se deben hacer varias medidas del nivel del agua durante el bombeo a medida que éste progresa. Al iniciarse el bombeo se harán mediciones tan frecuentes como sea posible, es decir, máximo de unos 3 minutos aparte durante los primeros 15 minutos; luego progresivamente se espaciarán a unos 5 minutos durante la siguiente hora y media de bombeo; en las siguientes 3 horas se medirá el nivel cada 20 minutos. Después de unas 4 horas y media de comenzado el bombeo, sólo será necesario medir el nivel cada hora hasta la terminación del ensayo.

Para ensayos importantes, los cuales deben dar una idea de las cualidades del acuífero en explotación, como, por ejemplo, para el abastecimiento de industrias grandes, y principalmente de poblaciones, se deben establecer pozos de observación, que no son otros que los ya existentes en las cercanías del pozo bombeado o pozos especialmente contruídos en diámetro pequeño y que solamente penetren unos pocos metros por debajo del nivel de agua regional. En esos pozos de observación se iniciarán las mediciones al mismo tiempo y a todo lo largo del ensayo de bombeo en la misma forma que se describieron para el pozo bombeado. Debido a que la permeabilidad vertical de los estratos es en general menor que la horizontal, la localización de los pozos de observación se debe poner entre 25 hasta 150 metros de distancia del pozo de bombeo, pero en pozos de gran capacidad se deben colocar a distancias de 100 y 250 metros del pozo en bombeo.

Las empresas especializadas pueden instalar medidores gráficos automáticos de las fluctuaciones de los niveles de agua, los cuales reproducen una curva de descenso del nivel en los pozos de observación a medida que avanza el ensayo de bombeo.

DESCRIPCION NUMERICA E INTERPRETACION GRAFICA DE UN ENSAYO DE BOMBEO

- FIG. 2 -

RECUPERACION DEL NIVEL DE AGUA DESPUES DEL BOMBEO

FECHA	HORA	NIVEL DEL AGUA	FECHA	HORA	NIVEL DEL AGUA
JUN. 3	6 a.m.	2 mts.	JUN. 3	4.00	4.92 mts
	6.40	2		5.00	4.99
	7.15	2		6.00	5.05
	7.55	2		7.00	5.10
	8.00	2		8.00	5.13
	8.15	2.50		9.00	5.15
	8.40	3.15		10.00	5.17
	9.00	3.40		11.00	5.20
	9.30	3.67		12.00	5.20
	10.00	3.86	JUN. 4	2	5.20
	11.00	4.20		4.00	5.20
	12.00	4.42		8.00	5.20
	1	4.60		8.00	5.20
	2.00	4.75			
	3.00	4.85			

FECHA	HORA	NIVEL DEL AGUA
JUN. 4	8 a.m.	5.20 mts.
	8.30	4.18
	9.00	3.87
	9.30	3.50
	10.00	3.33
	11.00	3.04
	12.00	2.80
	1	2.60
	2.00	2.45
	3.00	2.35
	4.00	2.25
	5.00	2.20
	6.00	2.15
	7.00	2.10
	8.00	2.05
	10.00	2.00

AFOROS DEL BOMBEO

FECHA Y HORA	VOLUMEN	TIEMPO
JUN. 3	Gls	Seg.
8.30 a.m.	55	80
10.00	55	78
1.00	55	80
4.00	55	80
8.00	55	75
12.00	55	77
JUN. 4		
5.00	55	76
7.30	55	77

TOTAL 440 Gls. 623 Seg.

PROMEDIOS

$$\frac{623 \text{ Seg.}}{60} = 10.5 \text{ min.}$$

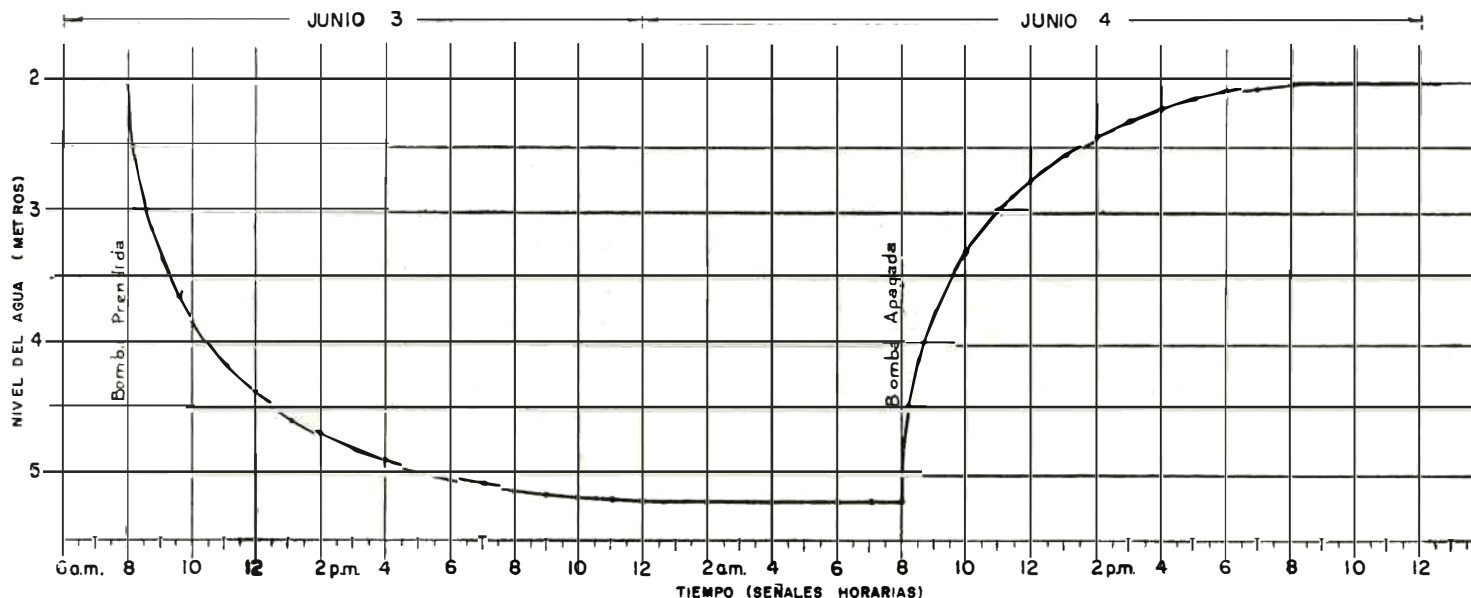
$$\frac{440 \text{ Gls.}}{10.5 \text{ Min.}} = 42 \text{ Gls/min.}$$

MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL
SECCION DE HIDROGEOLOGIA

PLANCHA 2 de 2 INFORME Nº 1204

NOVIEMBRE 1956

JAIME LOPEZ CASAS
GEOLOGO



Es necesario que las mediciones con la cinta métrica se aproximen por lo menos hasta los medios centímetros y que el tiempo preciso de la medición sea apuntada con aproximación de segundos. Si se tienen pozos de observación, las rápidas mediciones requieren colaboración de varios individuos y de consiguiente una cuidadosa preparación en el ensayo. Principal cuidado se ha de tener en que los relojes de los participantes estén sincronizados de manera que toda la información se pueda referir a un mismo horario. Pasadas las primeras horas del ensayo, un solo operario basta para realizar esas mediciones, pues ellas están espaciadas lo suficiente como para permitir su traslado de un pozo a otro.

En esta clase de ensayos es muy importante determinar con la mejor exactitud la cantidad de agua bombeada. En aforos de pozos, el método más usual es el del orificio, ya sea en el tubo de salida o en un recipiente.

Un método poco conocido pero recientemente de intensa aplicación y que sirve para dar informaciones sobre la permeabilidad y demás cualidades de una capa acuífera consiste en la medición de la recuperación del nivel del agua inmediatamente después de suspendido el ensayo de bombeo hasta que el nivel se haya rehabilitado completamente. Este sistema es exactamente igual al de las mediciones durante el bombeo, o sea que durante los primeros 15 minutos inmediatamente posteriores al suspender el ensayo de bombeo se ha de medir el nivel tantas veces cuanto sea posible; durante la siguiente hora y media la medición se ha de hacer cada 5 minutos y luégo cada 30 minutos hasta completar las 3 horas después de terminado el ensayo; se continuarán luégo las mediciones cada media hora hasta el punto donde el nivel se haya recuperado a su valor original. En esta clase de análisis es necesario conocer la cantidad de agua bombeada, o sea el promedio de bombeo y la duración de éste.

La interpretación de esta información, obtenida del ensayo de bombeo técnico, pertenece al campo de la hidrogeología e hidráulica, y está más allá del propósito de este artículo, como que no corresponde a lo que se puede exigir a un perforador de pozos de agua, pues pertenece a un campo técnico especializado. Pero la información así obtenida debe guardarse cuidadosamente como un tesoro para planeamientos futuros. Por otra parte, insistimos en que un ensayo de bombeo técnico como el descrito en general hasta aquí, sirva los mismos propósitos del ensayo de bombeo simple, agregando uno muy importante, cual es el de definir, en sentido matemático, las cualidades hidráulicas del acuífero, es decir, la permeabilidad, la dirección del flujo acuoso y la cantidad del agua extraíble de él por los métodos naturales. Es decir, que siendo de todas maneras esencial llevar a cabo un ensayo de bombeo, en el caso de industrias o poblaciones, se debe de una vez realizar un ensayo técnico.

Los métodos modernos de análisis del ensayo de bombeo pertenecen a una nueva era en el campo de la hidrología e hidráulica subterránea, pues fueron enunciados únicamente en 1935. Desde entonces han sido extensamente reconocidos y aplicados por los institutos de agua más avanzados en los estudios de las aguas subterráneas. Sus resultados son altamente técnicos y científicos, pero sería aventurado calificarlos de matemáticos a pesar de que usa ampliamente de esa ciencia en la obtención de tales

resultados. Es difícil, si no imposible, reducir los complejos fenómenos de la naturaleza a cifras exactas, pero sí nos podemos aproximar a ellas.

Es nuestro deseo explicar los métodos interpretativos de los ensayos de bombeo en un próximo número de este *Boletín Geológico*.

JAIME LÓPEZ C.,
Geólogo.

BIBLIOGRAFIA

- GUNTHER THIEM.—“Hidrologische Methoden”. J. M. Gebhardt, Leipzig, 1906.
- C. V. THEIS.—“The relation between the Lowering of the Piezometric Surface and the rate and Duration of Discharge of a Well using Ground Water Storage”. Transactions of the American Geophysical Union, 1935, pág. 519-524.
- L. K. WENZEL and V. C. FISHEL.—“Methods for determining Permeability of water, bearing materials”. W. S. Geological Survey Water supply paper 887, 1942.
- TURNEAURE, F. E. and RUSSEL, H. L.—“Public Water Supplies”. New York, John Willy & Sons, 1942. — “The Johnson Drillers Journal”. Vol. 28, N° 3 y N° 4, 1956.
- C. O. WISLER.—“Hydrology”. John Wiley & Sons. 1949.