

**ANEXO TÉCNICO
PAUTA PARA ELABORACIÓN DE PROYECTOS
PRUEBAS DE BOMBEO**

**INSTITUTO DE DESARROLLO AGROPECUARIO
INDAP**

MINISTERIO DE AGRICULTURA

I. DEFINICIÓN

COMPROBACION DE LA EXISTENCIA DE AGUAS SUBTERRANEAS.¹

Para solicitar un derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas, el solicitante deberá haber comprobado previamente la existencia de las mismas, lo cual se verifica a través de la obra de captación correspondiente, la que a lo menos deberá haber llegado al nivel del agua del acuífero.

La normativa por la que se rigen las aguas subterráneas en nuestro país, establece una clara distinción entre los conceptos de comprobación de la existencia de ellas, y el de determinación de su disponibilidad. Así el artículo 60 del Código de Aguas, se limita a establecer la posibilidad de que el interesado pueda solicitar el derecho de aprovechamiento de las aguas subterráneas cuya existencia hubiese comprobado.

El criterio de la Dirección General de Aguas, establece que la comprobación de la existencia de aguas subterráneas no está ligada necesariamente a la terminación total de todas las faenas asociadas a la construcción de la obra de captación. Por lo tanto, no se requiere que al momento de la presentación de una solicitud de derecho de aprovechamiento, se haya realizado las pruebas de bombeo o exista el acondicionamiento para el uso regular de la obra de captación; pero si debe estar en construcción y debe haberse comprobado la existencia del agua subterránea (es decir, haber llegado al menos al nivel freático de ella).

PRUEBAS REQUERIDAS PARA SUSTENTAR EL CAUDAL POSIBLE A EXTRAER DE UNA OBRA DE CAPTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS.

Una prueba de bombeo, permite el análisis de las obras de captación de aguas subterráneas y del acuífero en que se encuentran; el estudio de las variaciones de los niveles, es precisamente en lo que consiste la prueba de bombeo y lo que permite obtener información, tanto sobre la obra de captación de aguas subterráneas en sí, como sobre las características del acuífero.

Para el estudio y análisis de los datos obtenidos mediante pruebas de bombeo en obras de captación de aguas subterráneas tipo pozo profundo, en general se recomiendan pruebas de una duración mínima de 24 hrs. en acuíferos confinados y de 72 hrs. en acuíferos no confinados.

Existen una serie de obras de captación de aguas subterráneas, para la extracción de este recurso. Para determinar el caudal que es posible extraer desde cada una de ellas, la Dirección General de Aguas requiere las pruebas de bombeo suficientes de acuerdo a la obra de captación de que se trate.

Las pruebas requeridas por la Dirección General de Aguas corresponden a las establecidas en la Norma Chilena NCh N° 777/2, la cual indica que para determinar el caudal que es posible extraer desde una obra de captación de aguas subterráneas tipo pozo profundo, es necesario que después de un tiempo razonable de bombeo a caudal constante (24 hrs. como mínimo) se produzca una estabilización de niveles o una clara tendencia a ello, es decir, que la variación de las depresiones sea tan pequeña que no se aprecien para intervalos pequeños de tiempo; de tal modo que puedan considerarse estabilizados.

Si el cono de depresión producido por el bombeo, alcanza una frontera o condición de borde permeable, donde la recarga iguale al caudal constante bombeado, se producirá la estabilización de niveles. Si ello no ocurre, en la realidad los niveles estrictamente no se

¹ Según "MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS" de la Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, República de Chile, aprobado por Res. Ex. D.G.A N° 3504 del 17 de Noviembre de 2008.

estabilizarán; frente a esta última situación lo que se acepta, es una franca tendencia a la estabilización de niveles, es decir que la velocidad de descenso de ellos disminuya lo suficiente hacia el final de la prueba de bombeo (mínimo 180 minutos), de tal modo que la variación de los niveles sea imperceptible.

De acuerdo al artículo 23 de la Resolución DGA N° 425 de 2007, se establece que la prueba de bombeo de gasto constante presenta una clara tendencia a la estabilización cuando se observa un descenso de 2 cm/hora, durante las últimas 3 horas de bombeo.

1. CAPTACIONES DE TIPO POZO PROFUNDO.

Para captaciones de tipo pozo profundo, será necesario contar con los antecedentes técnicos que permitan a lo menos, determinar la curva característica y el radio de influencia de la explotación subterránea que se está analizando.

En pozos profundos, se exigirá una prueba de bombeo de gasto constante para el caudal solicitado, con una duración de 24 horas como mínimo y con un tiempo de estabilización o de franca tendencia a la estabilización de los niveles de por lo menos 180 minutos, es decir que presenten una variación tan pequeña que pueden considerarse estabilizados (variaciones menores o iguales a 2 cm. por hora en la últimas 3 horas).

Además de la prueba de gasto constante, es recomendable requerir las pruebas de gasto variable con caudales de bombeo ascendentes y el perfil estratigráfico del pozo.

El caudal susceptible de extraer desde esta obra corresponderá al caudal de gasto constante con estabilización mínima de niveles por 180 minutos.

2. POZOS DE GRAN DIAMETRO.

Cuando se bombea un pozo de gran diámetro, el caudal bombeado tiene dos orígenes: uno, el aportado por el acuífero, y el otro, el aportado por el volumen de agua que el mismo pozo tiene almacenado en el momento de iniciar el bombeo.

En obras de captación de gran diámetro, como pozos norias, se requerirá una prueba de gasto constante para el caudal solicitado, con estabilización de niveles de por lo menos 180 minutos. El caudal estabilizado es el susceptible de extraer desde este tipo de obras.

Si no es posible lograr la estabilización de niveles, se podrá realizar también una prueba de agotamiento de la noria, con medición de toda la recuperación. En este caso el caudal susceptible de extraer podrá ser determinado, mediante el método de Porchet, el cual mediante el uso conjunto del descenso y la recuperación, permite conocer en todo instante el caudal que aporta el acuífero al pozo independientemente del aportado por el almacenamiento del mismo.

a) Campo de Aplicación.

- Pozos de gran diámetro
- Sección constante
- Prueba de bombeo de gasto constante
- No se logra estabilización de niveles
- Prueba de recuperación
- Recuperación de al menos un 75 %.

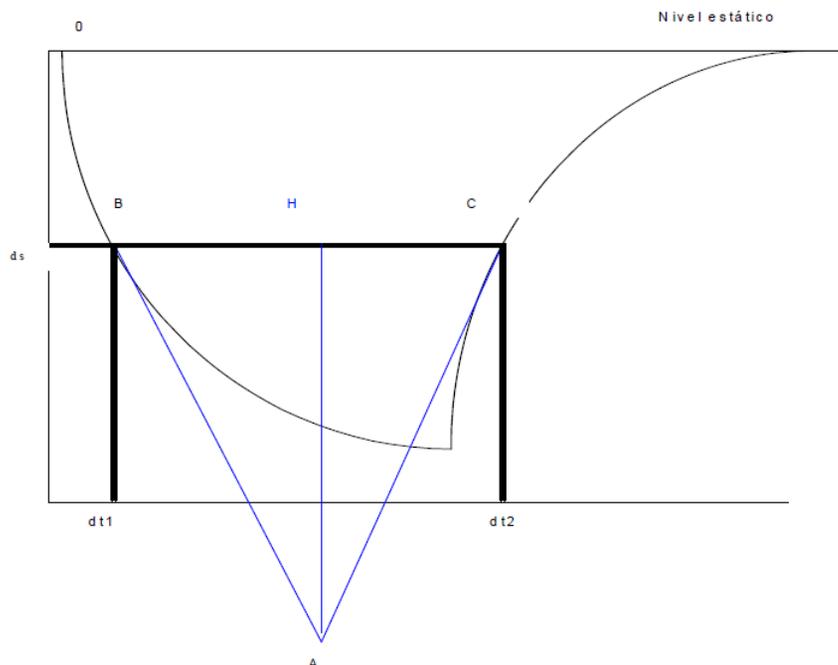
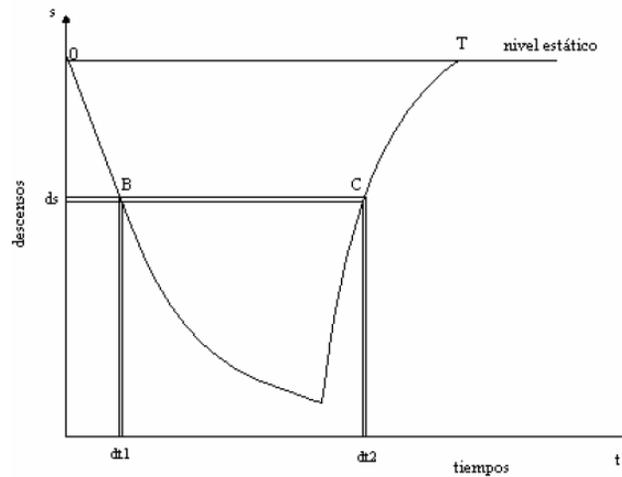
b) Descripción método de Porchet.

Un pozo de estas características pasa a ser un depósito de agua, de modo que en un bombeo en régimen no permanente (niveles no estabilizados), parte del agua bombeada procede del almacenamiento en su interior. El efecto de almacenamiento del pozo desaparece en régimen permanente, al estabilizarse los niveles.

En este tipo de pozos, no pueden aplicarse directamente las técnicas de análisis de ensayos de bombeo ya que se incurriría en grandes errores (tendencia hacia el caudal real de la bomba utilizada).

Este método permite resolver gráficamente y matemáticamente un ensayo de bombeo en pozos de gran diámetro, utilizando la curva de bombeo y la de recuperación.

Para un intervalo dt_1 , situado en el tiempo t del bombeo, se produce un descenso del nivel, ds , que supone un vaciado del pozo igual al agua extraída menos la que penetra en el pozo procedente del acuífero. Durante la recuperación, todo ascenso igual al anterior, ds , se hará en un tiempo dt_2 con el único aporte del agua del acuífero (Custodio, 1996).



$$Q' = Q * \frac{dt_1}{(dt_1 + dt_2)}$$

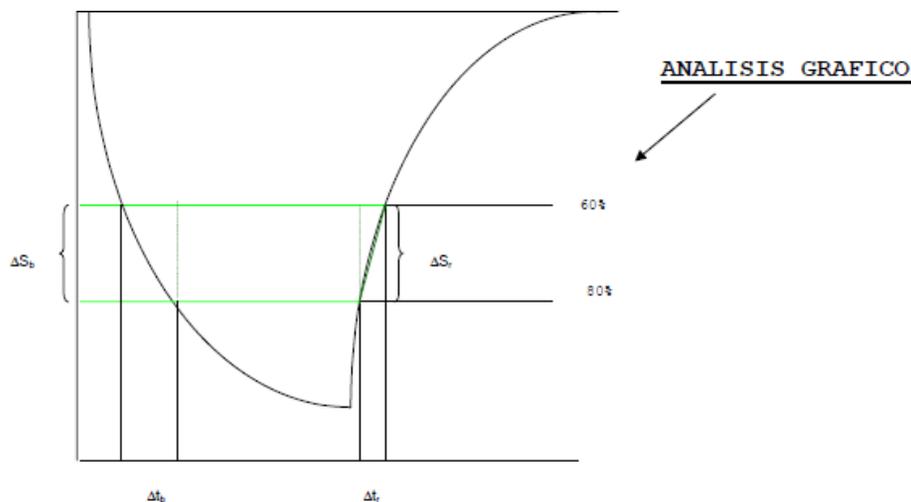
$$Q' = Q * \frac{B * H}{B * C}$$

Para distintos tiempos del bombeo se encuentran distintos Q' , con los que se realiza un hidrograma de variación para analizar el bombeo como si se tratase de un bombeo a caudal variable.

Para calcular matemáticamente el caudal a extraer desde un pozo de gran diámetro de elegirá un tramo de la curva de bombeo y recuperación en el cual se cumpla:

$$\Delta S_b = \Delta S_r$$

$$Q' = Q * \frac{dt_1}{(dt_1 + dt_2)} = Q * \frac{\Delta t_b}{\Delta t_b + \Delta t_r}$$



Este tramo corresponde entre el 60 % y 80 % del espesor saturado en la curva de bombeo y los valores equivalentes para la curva de recuperación, ya que este tramo representa las condiciones de “mejor operación” del pozo.

3. PUNTERAS

En el caso de extracción de aguas subterráneas mediante sistema de punteras, se requerirá una prueba de gasto constante de 24 horas para el caudal solicitado, con estabilización de niveles de por lo menos 180 minutos. El caudal estabilizado es el susceptible de extraer desde este tipo de obras.

En este caso, el control de niveles deberá efectuarse en un piezómetro especial habilitado para ello

4. PREPARACIÓN INFORME.

Para todos los casos anteriores sobre metodología de pruebas de bombeo, se debe incorporar al informe de presentación de esta prueba lo siguiente:

- Introducción
- Método seleccionado
- Fecha de la prueba
- Mapa satelital de la captación
- Ubicación de la captación (coordenadas (m) UTM, datum SIRGAS WGS84)
- Geometría de la captación (largo, ancho, profundidad y diámetro cuando corresponda)
- Estratigrafía del perfil de suelo de modo visual.
- Habilitación de la captación.
- Indicar tipo, modelo y marca de equipos utilizados para la realización de la prueba (equipo de bombeo, contador volumétrico, pozómetro, etc)
- Conclusiones y recomendaciones.

Prueba de gasto constante (PGC):

- Indicar caudal o caudales utilizado para el bombeo y caudal resultante, según metodología utilizada.
- Tiempos de bombeo, tanto acumulado como parcial (desde $t=0$ min a $t=1440$ min).
- Tiempos de recuperación, tanto acumulado como parcial (desde $t=1440$ a $t=1620$).
- Nivel estático al inicio y termino de la prueba.
- Nivel dinámico durante toda la prueba.
- **Set fotográfico mostrando la realización de la prueba. Este informe debe ser firmado y/o validado mediante nombre y firma, tanto del beneficiario como del consultor del proyecto.**

Ejemplo prueba de gasto constante y recuperación:

Prueba de Bombeo: Gasto constante (PGC) Q=5 l/s			
Empresa: SOCIEDAD AGRICOLA INDAP LTDA			
Fecha de inicio: 25-01-2022			
Pozo 1	Coordenadas	12345678 N	987654 E
h (hora)	t (min)	m (metros)	observación
15:00:00	0	3,65	
	1	4,6	Agua Clara
	2	4,63	
	3	4,63	
	4	4,64	
	5	4,65	
	10	4,65	
	20	4,65	
	30	4,7	
16:00:00	60	4,75	
17:00:00	120	4,85	
18:00:00	180	4,85	
19:00:00	240	4,85	
20:00:00	300	4,85	
21:00:00	360	4,85	
22:00:00	420	4,85	
23:00:00	480	4,85	
0:00:00	540	4,85	
1:00:00	600	4,85	
2:00:00	660	4,85	
3:00:00	720	4,85	
4:00:00	780	4,85	
5:00:00	840	4,85	
6:00:00	900	4,85	
7:00:00	960	4,85	
8:00:00	1020	4,85	
9:00:00	1080	4,85	
10:00:00	1140	4,85	
11:00:00	1200	4,85	
12:00:00	1260	4,85	
13:00:00	1320	4,85	
14:00:00	1380	4,85	
15:00:00	1440	4,85	

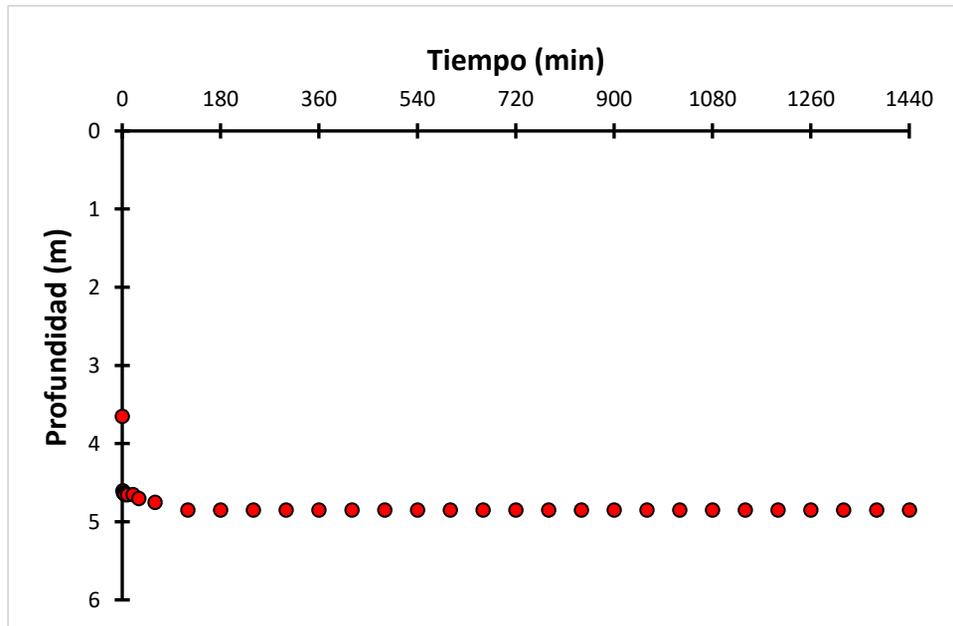


Figura 1. Prueba a gasto constante (PGC) con un caudal de 5 l/s.

Prueba de recuperación posterior a PGC

Prueba de Bombeo: Prueba de recuperación Q=5 l/s			
Empresa: SOCIEDAD AGRICOLA INDAP LTDA			
Fecha de inicio: 26-01-2022			
Pozo 1	Coordenadas	1234567 N	987654 E
h (hora)	t (min)	m (metros)	observación
15:00:00	0	4,85	
	1	3,9	Agua clara
	2	3,9	
	3	3,9	
	4	3,9	
	5	3,85	
	10	3,8	
	20	3,75	
	30	3,7	
16:00:00	60	3,65	100% recuperación
	90	3,65	
17:00:00	120	3,65	
	150	3,65	
18:00:00	180	3,65	

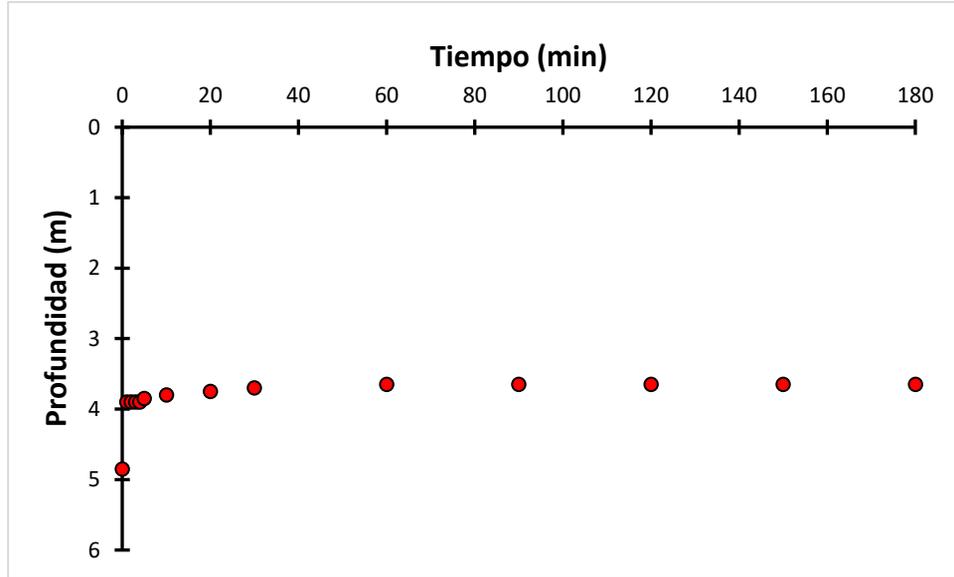


Figura 2. Prueba de recuperación posterior a prueba de gasto constante ($Q= 5l/s$)