SOCIEDAD CHILENA DE INCENIERIA HIDRAULICA

IX CONGRESO NACIONAL

UNA METODOLOGIA SIMPLE PARA EL ANALISIS

DEL FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE PRODUCCION

DE AGUAS SUBTERRANEAS CON MULTIPLES CAPTACIONES

GUILLERMO CABRERA F. (1)

GONZALO PEREZ C. (2)

RESUMEN

Se ha desarrollado una metodología simple, apoyada en un modelo computacional, para analizar el funcionamiento del sistema de punteras ubicado en la playa de Ritoque que abastece al balneario de Quintero.

A partir de ello ha podido definirse el comportamiento del sistema para diferentes condiciones de operación, lo que ha permitido establecer las características de ciertas obras de mejoramiento que significarían un aumento de un 23% en los caudales de producción y una disminución de 1.0 m en los niveles deprimidos máximos actuales, con el consiguiente mejor control de eventuales problemas de intrusión salina que pudieran producirse.

Una metodología como ésta sería aplicable a cualquier sistema de explotación de aguas subterráneas, particularmente en casos en que se utiliza

multiples captaciones.

⁽¹⁾ Profesor e Investigador. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de

⁽²⁾ Ingeniero Civil. Universidad de Chile.

INTRODUCCION

Los sistemas de punteras (well-point) se usan en forma extensa en todo el mundo, como obras de abastecimiento, de drenaje o agotamiento de aguas subterráneas para excavaciones cuyo sello debe quedar bajo la cota del nivel freático.

Las mallas de punteras para abastecimiento permanente comenzaron a utilizarse en Chile en forma sistemática hace ya casi tres décadas, de tal manera que a la fecha existe un gran número de obras de este tipo.

Puede citarse como ejemplo notable, la captación por punteras de 600 l/s, construida en 1976 en Laja, para la fábrica de celulosa del lugar, así como numerosas captaciones para uso potable, industrial y otros.

La explicación para el importante desarrollo de este sistema de captación puede radicar en las características geomorfológicas de nuestro país. Un litoral extenso, y numerosos ríos y esteros con lecho arenoso, se presentan favorables para la explotación de acuíferos superficiales mediante punteras, en lugares donde otras captaciones superficiales o subterráneas no permiten un abastecimiento seguro.

En la Va Región, los servicios de agua potable son explotados y administrados en su gran mayoría por ESVAL. De ellos, existen cuatro servicios en los cuales una parte, o el total de su fuente de abastecimiento consiste en mallas de punteras. El de mayor importancia de esos cuatro es el de Quintero, no sólo por los caudales que produce, sino además por su ubicación muy cercana al mar con el consecuente riesgo de intrusión salina a que se encuentra expuesto.

En el presente trabajo se ha desarrollado una metodología simple, apoyada en un modelo computacional, que ha permitido analizar el funcionamiento del sistema de punteras que abastece a Quintero, a partir de lo cual ha podido definirse el comportamiento de ese sistema para diferentes condiciones de operación, llegándose finalmente a establecer algunas modificaciones en la planta que, de materialiarse, racionalizarían el uso del recurso. Una metodología como esta sería aplicable a cualquier sistema de explotación de aguas subterráneas, particularmente a aquellos que utilizan múltiples captaciones.

EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO EN QUINTERO

Este balneario tiene su captación de agua potable en la Planta Ritoque, ubicada en las dunas de la playa del mismo nombre. Se compone a la fecha de tres sistemas de punteras, independientes entre sí, los cuales descargan a un estanque semienterrado de 500 m3 de capacidad, ubicado en el mismo recinto de la planta, y desde donde se reeleva a los estanques en la ciudad. (Figura 1).

Sistema A.- Es el sistema más reciente; su construcción data de 1986. Consta de 63 punteras, distribuidas a lo largo de 3 ramales. El colector de las punteras es de asbesto cemento, de diámetro variable.

Sistema B.- Se compone actualmente de 5 mallas de 8 punteras cada una, más una malla de 16 punteras. La construcción de estas mallas se realizó en varias etapas. Las primeras se construyeron en la década de 1960, siendo las que iniciaron el desarrollo de este tipo de captaciones en nuestro país. En diferentes etapas posteriores se fueron incorporando al sistema las mallas Nos. 5, 6, 7, 8 y 9, todas conectadas al colector de aspiración.

Sistema C.- consta de 23 punteras, distribuídas en dos mallas, más un pozo excavado; de ellas 19 fueron retiradas por problemas con los materiales, dada su antigüedad, y también por señales que indicaban la probable ocurrencia de intrusión salina. El pozo No. 4, que forma parte de este sistema, es un pozo excavado en la duna, de aproximadamente 2 m de diámetro, que se explota mediante una bomba centrífuga autocebante.

DIAGNOSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

La Planta de Ritoque se ubica en una amplia extensión de dunas hacia donde confluyen las aguas del Estero Quintero o Valle Alegre, el que representa la fuente de recarga de mayor importancia en el área. Sonda jes de prospección ejecutados han permitido establecer que el basamento rocoso impermeable se ubica a 50 m. como máximo y solamente entre 12 y 15 m. a lo largo de la línea de playa.

Desde 1970 se ha realizado campañas de terreno en las cuales se ha efectuado pruebas de bombeo en las punteras o pozos excavados del sector, como

por ejemplo las desarrolladas por Labarthe (970), con el objetivo de establecer las condiciones de funcionamiento del sistema en cuanto al descenso de los niveles freáticos por un lado, y a los posibles problemas de intrusión salina ligados a lo anterior por otro. Con posterioridad, ESVAL ha controlado parcialmente tanto niveles como caudales de producción, lo que se hizo más sistemático a partir de 1986. Además, HIDROGAN (1986), efectuó pruebas de bombeo con ocasión del desarrollo del proyecto de mejoramiento del sistema de punteras, luego de lo cual se construyó el Sistema A, mencionado en el punto anterior; durante esas pruebas, la atención se concentró mayoritariamente en el sector. Nororiente de la planta, cerca de la sala de máquinas, dado que desde el punto de vista de los costos y de la operación eficiente del sistema resultaba más conveniente construir allí nuevas instalaciones, aunque eso podría significar mayores descensos de los niveles freáticos en el sector. lo que efectivamente ocurrió.

Las pruebas de bombeo realizadas entregaron resultados diferentes según su proveniencia; en efecto, en 1970 se determinó valores de transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento de 30 m²/hr y 0.02, respectivamente, mientras que en las de 1986 esos valores fueron de 9 m²/hr y 0.05.

En cuanto al efecto que ha tenido el bombeo sobre el funcionamiento del sistema y especialmente sobre los niveles, éste ha sido notable. En efecto, los caudales de producción de la planta, necesarios para el abastecimiento de Quintero, en los meses de Mayo y Junio apenas superan los 30 l/s mientras que en Febrero alcanzan casi 100 l/s, debiendo restringirse la producción de la planta durante la noche y el abastecimiento durante el día (en el Verano de 1998 se entregó agua sólo durante 4 horas diarias a la vecina localidad de Loncura). Por otra parte, hay un consistente descenso de los niveles de aquas subterráneas en el sector durante el Verano, lo que los lleva incluso bajo la cota media del nivel del mar (-3.52 m), tal como puede apreciarse en la Figura 2, en que se ha graficado la posición de esos niveles en piezómetros de observación a lo largo del perfil A-A señalado en la Figura 1. Este último aspecto resulta especialmente delicado, dado que en esas condiciones puede producirse una inversión de los gradientes hidráulicos naturales con la consiguiente intrusión salina al sistema de captaciones.

Con el fin de entender en mejor forma el funcionamiento del sistema y buscando a través de eso definir alternativas que permitan utilizar más racionalmente el recurso para evitar los problemas ya señalados, se analizó

más en detalle todos los antecedentes y se estableció una metodología de análisis que, orientada a este problema particular, puede servir de base para el estudio de sistemas de producción de aguas subterráneas formado por múltiples captaciones.

El análisis desarrollado consistió en la simulación del funcionamiento del sistema mediante un modelo computacional que se calibra a través de la representación de una situación real, haciendo variar los coeficientes de transmisibilidad y almacenamiento.

El modelo en sí se estructuró de forma tal que fuera posible representar el efecto que produce el bombeo desde los 143 pozos, funcionando simultáneamente, sobre 19 puntos de observación ubicados aproximadamente a lo largo del perfil esquematizado en la Figura 1. Para esos efectos, conocida la posición relativa de las punteras respecto a los piezómetros de observación, gracias a sus coordenadas, se utilizó la relación de Theis expresada en la forma del desarrollo en serie que tiene y se aceptó como válido aplicar el principio de superposición para el cálculo del descenso total en cada punto. La información de caudales extraídos desde cada puntera se obtuvo de dividir el caudal total producido en cada sistema, por el número de punteras que lo integran, lo que pudo calcularse de la información que posee ESVAL.

La relación de Theis en su expresión en serie es la siguiente:

$$S = \frac{Q \cdot W(u)}{4 \cdot \pi \cdot T} \tag{1}$$

en que la función W (u) se expresa como:

$$W(u) = 0.5772 - \ln(u) + u - u^{*2}/(2\cdot 2!) + u^{*3}/(3\cdot 3!) \dots$$
 (2)

siendo $u = r^2 \cdot S/(4 \cdot T \cdot t)$, donde s es el descenso del nivel piezométrico en un punto ubicado a una distancia r luego de un período t de bombeo, Q es el caudal de bombeo, T es el coeficiente de transmisibilidad y S es el coeficiente de almacenamiento de la napa.

Aunque en rigor la relación de Theis es aplicable al caso de napas confinadas, se ha supuesto válida en esta situación, dado que el espesor de la napa superaría los 30 m. en el sector de la planta.

A partir de este esquema de modelación y tomando en cuenta que la

mayor sensibilidad de un modelo de este tipo se tiene en el caso en que el efecto del bombeo sobre los niveles freáticos es importante, para su calibración se eligió la situación producida el 1º de Marzo de 1987. Dedo que debía tomarse un período de tiempo de bombeo continuo y considerando que a partir de Enero la planta se había operado a plena capacidad, para los efectos prácticos de la modelación se supuso un período ininterrumpido de 1000 horas de bombeo; esa condición resulta conservadora, dado que al usar la relación de Theis no se está considerando la posibilidad que la recarga natural de la napa haga tender los niveles a estabilizarse, lo que en todo caso, al menos durante el Verano, no ocurre.

En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos para distintos pares de valores de T y S, en donde se ha partido de un nivel estático de 2.0 m, bajo la cota 0.0 definida como la del radier de la sala de máquinas, debido a que históricamente esa es la cota reconocida como tal y además es la cota para la cual la curva de niveles freáticos simulados que mejor se ajusta en su forma a la de niveles medidos, coincide en su posición. Los valores de T y S determinados en este proceso de calibración fueron $T = 5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ y S = 0.06.

En cuanto al problema de la intrusión salina en las captaciones, además de existir niveles fredicos bajo la cota media del nivel del mar, se ha detectado concentraciones de cloruros excesivos en algunos puntos del sistema, como en torno a la malla N° 6 por ejemple (Ver Figura 1), en que se han medido valores sobre 1000 mg/l; esa malla es la más cercana a la línea de playa. En todo caso, estos niveles fuera de los estándares aceptables (250 mg/l) no aparecen en las aguas entregadas para el consumo, ya que estas últimas son el producto de la mezcla proveniente de todos los sistemas.

De los antecedentes señalados queda de manifiesto que los problemas de funcionamiento de la planta, con descensos del nivel freático relativamente mayores en el sector Norte y altas concentraciones puntuales de cloruros, prodrían deberse principalmente a la distribución espacial que se le ha dado a las punteras, más que a caudales excesivos, los que en todo caso son también altos.

ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO

A partir del análisis incluido en el punto anterior y de sus conclusiones, se estudió varias alternativas de distribución y producción de líneas de punteras en la planta, con el objetivo de conseguir a través de esto una disminución en los descensos de niveles, o mantenerlos dentro de cierto rango razonable de ser posible, además de un aumento en la producción total, tratando de mantener la mayor parte de los sistemas existentes funcionando.

Se analizó 6 alternativas diferentes, además de la condición actual de funcionamiento de la planta, para el período de 1000 horas de funcionamiento continuo establecido como criterio de diseño. Como elemento común a todas las alternativas nuevas está la eliminación de una de las mallas actuales, que aporta 10 l/s al sistema, con lo cual se consigue de inmediato que el descenso máximo se reduzca en más de 1 m. Las primeras 4 alternativas nuevas mantienen la explotación del pozo excavado, mientras que las 2 últimas lo suprimen; en esas 4 alternativas señaladas se elimina algunas líneas existentes y se incorpora otras nuevas. Las características fundamentales de cada alternativa se reseñan en la Tabla 1.

TABLA 1. SISTEMAS ALTERNATIVOS DE DISTRIBUCION DE CAPTACIONES.

	Tiempo		SISTEMA			B SISTEMA		C TOTAL	
	(pra)	Punt .	Q(1/s)	Punt.	Q(1/s)	Punt.	Q(1/s)	Punt.	Q(1/s)
Actual	1.000	63	36	56	36	24	20	143	92
1	1.000		36	40	26	24	20	127	82
2	1.000		36	56	36	24	20	143	92
3	1.000		36	56	36	32	25	151	97
4	1.000		36	56	36	56	41	175	113
5	1.000		36	56	36	79		196	123
6	1.000		36	56	36	102		221	138

Los resultados obtenidos de la simulación para representar la condición del sistema el 1º de Marzo, luego de 1000 horas de bombeo continuo de caudales se presentan en la Figura 4. De acuerdo a ello, la mejor alternativa de distribución de punteras dentro del sistema resulta ser la Nº4, ya que además de corresponder a un aumento del 23% en los caudales de producción, permitiría asegurar profundidades máximas de los niveles de aguas subterraneas de 1.2 m.

bajo el nivel medio del mar, lo que corresponde a casi 1.0 m. menos que la profundidad máxima actual; en esta alternativa se eliminan 23 punteras incorporándose 47 nuevas.

El presupuesto de las obras de mejoramiento de la solución correspondiente a la alternativa N'4 elegida alcanza a poco más de US\$ 80.000. Mayores detalles respecto a este punto y al estudio en general se incluyen en el trabajo de Pérez (1989).

CONCLUSIONES

A través del estudio de un caso particular, como lo es el del abastecimiento de agua potable a la localidad de Quintero se ha desarrollado una metodología simple, y general, apoyada en un modelo computacional, que basada en el uso de la relación de Theis para pozos de bombeo y en la aplicación del principio de superposición, permite analizar el funcionamiento de un sistema de aguas subterráneas sometido a la explotación por múltiples captaciones.

Mediante el modelo, a través de un proceso iterativo de prueba y error, es posible determinar las constantes elasticas del acuífero al reproducir la distribución conocida de niveles en el tiempo, obtenida de pozos de observación, y simular luego de ello el funcionamiento del sistema de producción para diferentes condiciones de operación.

De este último proceso de simulación se puede establecer las condiciones más adecuadas de operación del sistema, lo que resulta especialmente útil en el caso de plantas de producción de aguas subterráneas sometidas a una intersa explotación.

AGRADECIMIENTOS

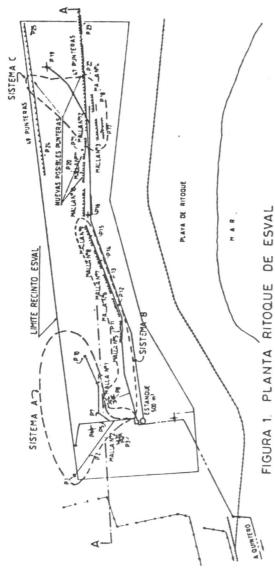
Los autores desean expresar sus agradecimientos a la Empresa de Obras Sanitarias de la Va Región (ESVAL), que patrocinó el desarrollo de este estudio, dando además todas las facilidades necesarias para su realización.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

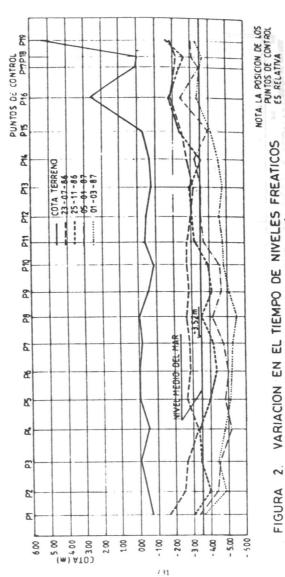
- MIDROSAN (1986). Proyecto de Reparación Planta Ritoque, Quintero. EXVAL.
- LABARTHE J. (1970). "Análisis Experimental Hidroeconómico de Rejillas Empleadas en Captaciones de Aguas Subterráneas en Chile". Memoria de Título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- PEREZ G. (1989), "Análisis de Sistemas de Mallas de Punteras como Fuentes de Agua Potable en la Región de Valparaíso". Memoria de Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.



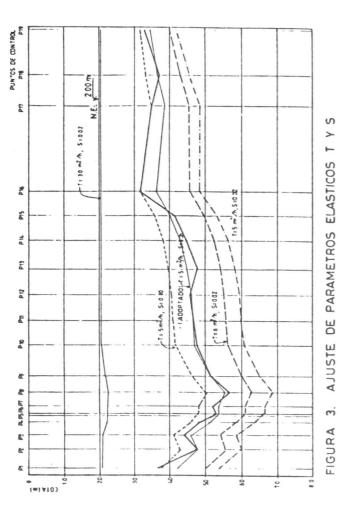




730



VARIACION EN EL TIEMPO DE NIVELES FREATICOS (PERFIL A-A DE FIGURA 1) ~ FIGURA



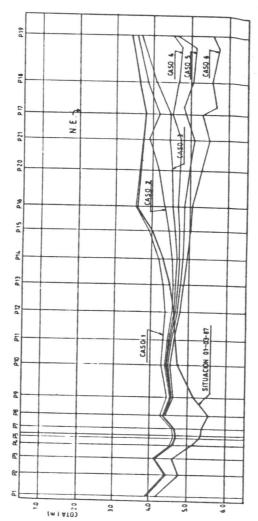


FIGURA 4. NIVELES FREATICOS SEGUN DISTINTAS ALTERNATIVAS

(FECHA: 1º DE MARZO, 1= 1000 horas)

T= 5 m 3/h, S = 0.06