

## TEMA 7 HIDRÁULICA DE CAPTACIONES VERTICALES

### INTERFERENCIA ENTRE POZO DE BOMBEO Y RÍO

CI51J Hidráulica de Aguas Subterráneas y Su Aprovechamiento

Profesor C. Espinoza

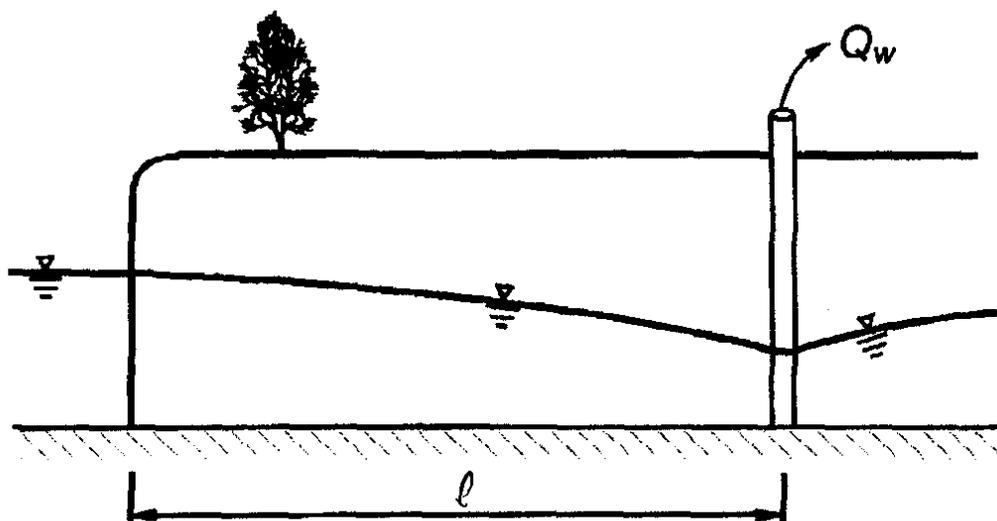
Semestre Otoño 2005

#### 1. INTRODUCCION

El esquema tradicional de análisis de interferencia entre un pozo de bombeo y un río o cauce superficial se basa en una serie de supuestos básicos que en problemas prácticos no son del todo ciertos.

Uno de los aspectos más controvertidos acerca de esta situación corresponde al uso de un esquema analítico para el análisis de interferencia que supone una penetración total del cauce dentro del acuífero, tal como se muestra en la Figura 1. Este esquema, que es en la mayoría de las aplicaciones prácticas irreal, ha dado origen a una serie de enfoques teóricos (Theis, 1941; Glover and Balmer, 1954; Jenkins, 1968) los que han perdurado en el tiempo debido a su facilidad de uso y la carencia de alternativas a su utilización. De esta manera estos enfoques se han extendido a nivel mundial y hoy en día son utilizados en gran parte de los problemas de interferencia entre pozos de bombeo y fuentes superficiales.

Figura 1  
Esquema Tradicional de Análisis



Debido a la discrepancia que se ha observado entre las soluciones analíticas tradicionales y el problema real, una serie de investigadores se ha dedicado a buscar esquemas alternativos o a mejorar las soluciones analíticas existentes. Es así como otros enfoques analíticos, más cercanos a la realidad (ver Figuras 2 y 3), han sido abordados por Hantush (1964), Wallace et al (1990), Spalding and Khaleel, 1990 y más recientemente por Hunt (1999) y Butler et al (2001). En forma complementaria, otros investigadores han aprovechado el auge de los sistemas

computacionales para estudiar el problema a través de métodos numéricos (Sophocleous et al, 1995).

Figura 2  
Esquema de Análisis Utilizado por Hantush (1964)

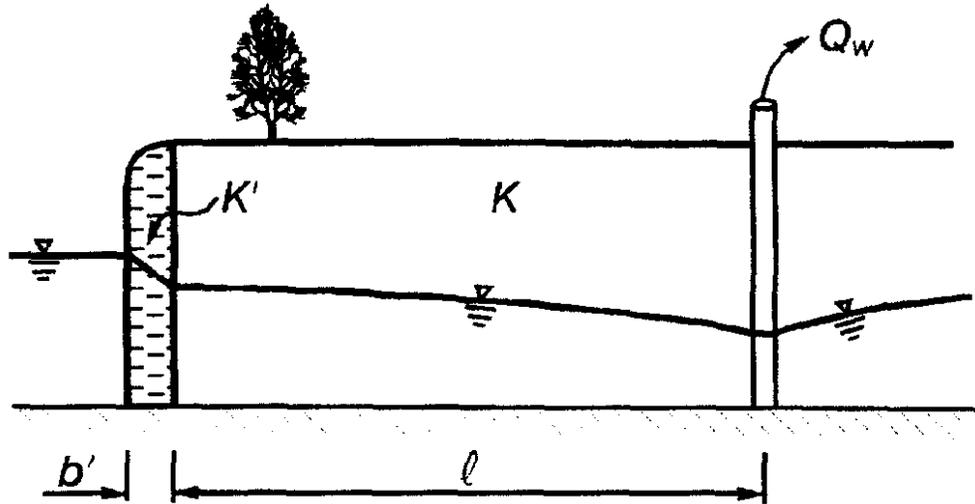
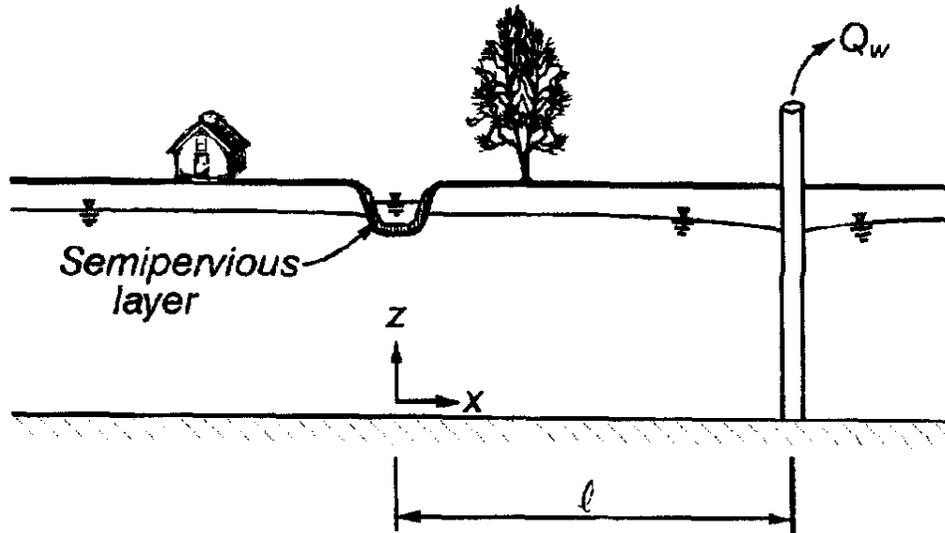


Figura 3  
Esquema de Análisis Utilizado por Hunt (1999)



## 2. SOLUCIONES ANALITICAS

### 2.1 Solución de Jenkins

La solución o **Enfoque de Jenkins** fue desarrollado en forma inicial por Theis (1941), luego fue mejorado por Glover and Balmer (1954) y finalmente fue popularizado por Jenkins en 1968. Esta solución toma como hipótesis más controvertida que el cauce penetra completamente la profundidad de la napa, ver Figura 1, con lo que da origen a una solución analítica muy simple para evaluar el porcentaje del caudal del pozo de bombeo que es proporcionado por el río hacia la napa. En el Anexo 1 se presenta el desarrollo de esta expresión a partir de la solución original de Theis y el uso de superposición. Esta solución tiene la forma siguiente:

$$\frac{q}{Q} = \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{S \cdot l^2}{4 \cdot T \cdot t}}\right) \quad (1)$$

donde  $q/Q$  es la fracción del caudal del pozo de bombeo ( $Q$ ) que es extraída desde la fuente longitudinal,  $S$  es el coeficiente de almacenamiento,  $l$  es la distancia perpendicular entre el pozo de bombeo y el cauce,  $T$  es el coeficiente de transmisibilidad y  $t$  es el tiempo de bombeo.

### 2.2 Solución de Hantush

Hantush (1964) consideró la existencia de una zona de menor permeabilidad adyacente al cauce, cuyo espesor es conocido (ver Figura 2). Aún cuando siguió considerando que el cauce penetra completamente la napa, esta nueva hipótesis se acerca más a una situación real. A pesar de lo anterior, esta fórmula no fue considerada adecuada para estudios prácticos debido a las dificultades para estimar el espesor de esta zona de baja permeabilidad. Es importante mencionar además que en situaciones reales esta zona de menor permeabilidad se ubica bajo el lecho del río y no sólo a un costado.

Esta solución tiene la forma siguiente:

$$\frac{q}{Q} = \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{S \cdot l^2}{4 \cdot T \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{T \cdot t}{S \cdot L^2} + \frac{l}{L}\right) \cdot \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{T \cdot t}{S \cdot L^2}} + \sqrt{\frac{S \cdot l^2}{4 \cdot T \cdot t}}\right) \quad (2)$$

donde  $L$  es un coeficiente de recarga desde el cauce, el que tiene dimensiones de longitud, mientras que el resto de las variables son similares al problema anterior. La expresión para el coeficiente de recarga  $L$  es como sigue:

$$L = \frac{K}{K'} \cdot b' \quad (3)$$

donde  $K'$  es la conductividad de la zona más impermeable al costado del cauce y  $b'$  es su espesor.

### 2.3 Solución de Hunt (1999)

Hunt (1999) abordó la solución analítica de un problema con una geometría más cercana a la del caso real, tal como se muestra en la Figura 3. En este caso se considera un cauce superficial que penetra sólo una fracción del espesor saturado, bajo el cual se ubica una zona o lecho de menor permeabilidad (*streambed*). La solución analítica a este problema es similar a la de Hantush (1964) con algunas diferencias en cuanto al significado de algunos parámetros:

$$\frac{q}{Q} = \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{S \cdot l^2}{4 \cdot T \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{I^2 \cdot t}{4 \cdot S \cdot T} + \frac{I \cdot l}{2 \cdot T}\right) \cdot \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{I^2 \cdot t}{4 \cdot S \cdot T}} + \sqrt{\frac{S \cdot l^2}{4 \cdot T \cdot t}}\right) \quad (4)$$

donde  $I$  se define como un coeficiente de recarga que tiene dimensiones de velocidad. La forma de este coeficiente de recarga es como sigue:

$$I = \frac{K' \cdot w}{b'} \quad (5)$$

donde  $K'$  es la conductividad de la zona más impermeable bajo el cauce,  $b'$  es su espesor, y  $w$  es el ancho del cauce.

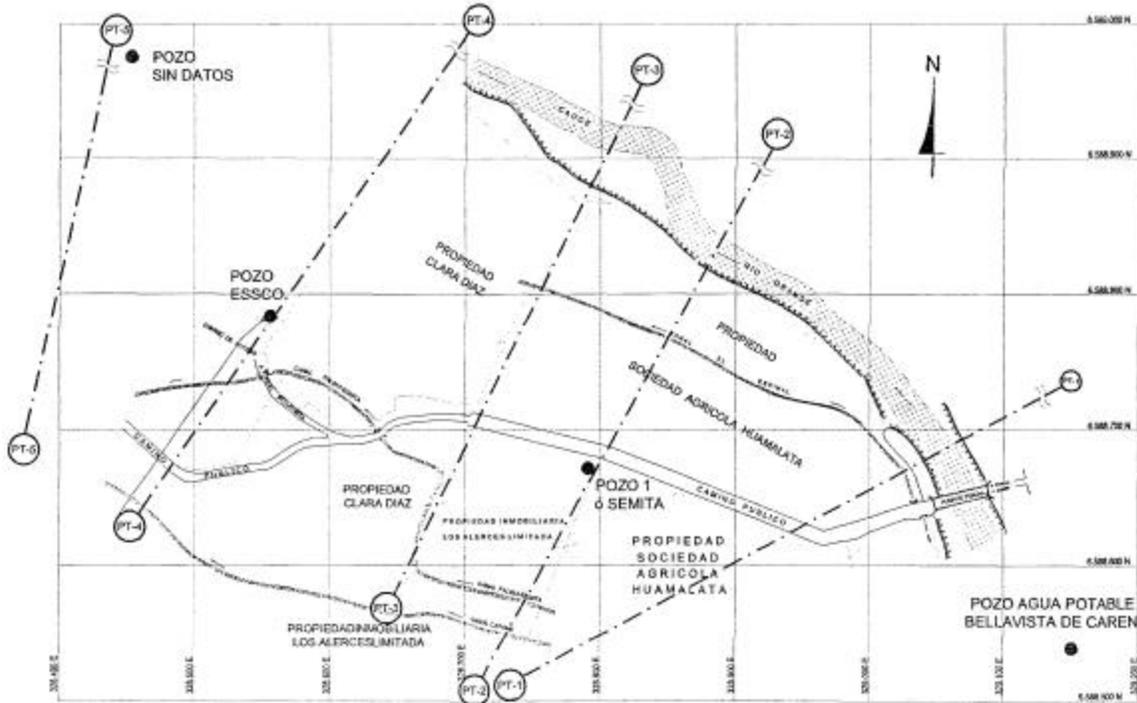
### 3. CASO POZO SEMITA

Para efectos de ilustrar las soluciones anteriores se ha utilizado un caso real en el cual se evaluó el efecto de un pozo de bombeo sobre un curso de aguas superficiales que escurre cercano a él. La Figura 4 muestra la ubicación del pozo de bombeo relativo al cauce superficial, mientras que la información para este análisis se muestra en la Tabla 1. En este caso se ha supuesto que el bombeo se realiza a lo largo de un año de operación y se ha considerado dos valores posibles de la conductividad hidráulica del fondo del cauce.

**Tabla 1**  
**Datos Básicos para Análisis de Interferencia**

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Transmisibilidad	$T$	1280	m <sup>2</sup> /día
Espesor acuífero	$m$	60	m
Conductividad Hidráulica	$K$	≈ 20	m/día
Coficiente de Almacenamiento	$S$	0.15	
Longitud pozo y cauce	$l$	175	m
Espesor lecho	$b'$	1.0	m
Ancho cauce	$w$	5.0	0
Conductividad Hidráulica Lecho	$K'$	$\frac{1}{100} \cdot K \approx 0.2$ $\frac{1}{200} \cdot K \approx 0.1$	m/día
Coficiente de recarga	$I$	1.0 0.1	m/día

**Figura 4**  
**Ubicación Pozo de Bombeo y Cauce Superficial**



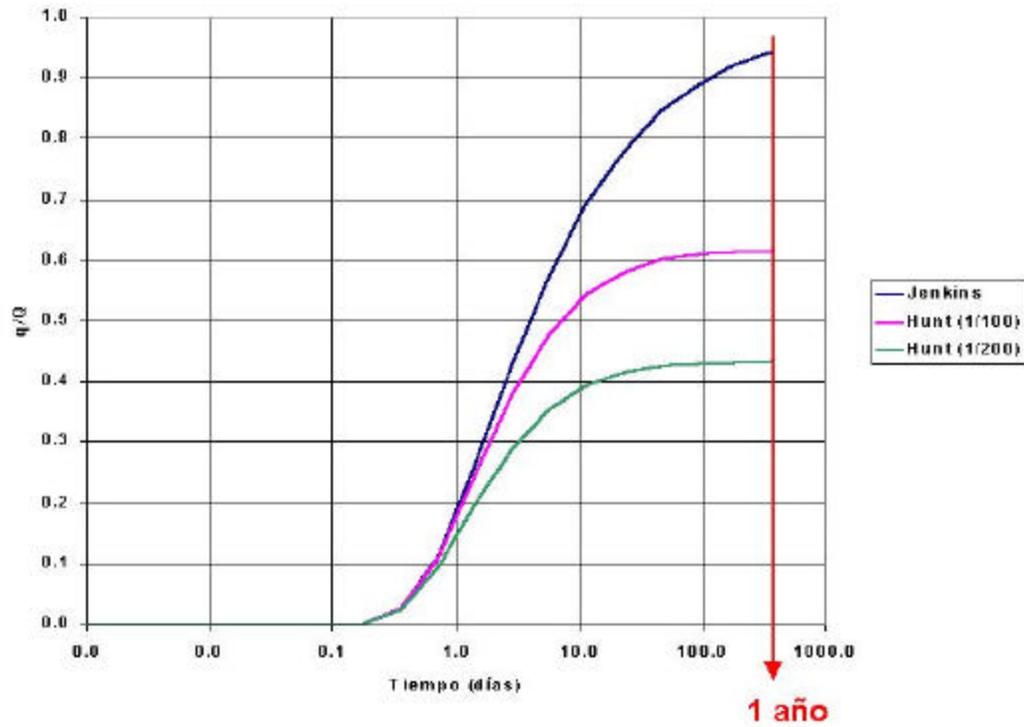
Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 2 y en la Figura 5. La Tabla 2 muestra el valor del porcentaje de caudal aportado por el río hacia la napa como una función del tiempo. Esta misma información se ha incluido en la Figura 5, comparándose en ésta la solución de Jenkins y la de Hunt, en este último caso para los dos valores de la conductividad hidráulica del lecho del cauce.

**Tabla 2**  
**Aporte de Río a la Napa**

Tiempo días	q/Q		
	Jenkins	Hunt (1/100)	Hunt (1/200)
0.1	0.0000	0.0000	0.0000
0.2	0.0015	0.0015	0.0014
0.4	0.0248	0.0245	0.0223
0.7	0.1125	0.1089	0.0930
1.4	0.2619	0.2437	0.1962
2.9	0.4276	0.3776	0.2895
5.7	0.5748	0.4785	0.3543
11.4	0.6916	0.5428	0.3928
22.8	0.7791	0.5796	0.4138
45.6	0.8428	0.5992	0.4245
91.2	0.8885	0.6090	0.4297
182.5	0.9210	0.6135	0.4320
365.0	0.9441	0.6154	0.4330

Los resultados incluidos en la Tabla 2 y Figura 5 muestran claramente la diferencia entre ambos enfoques, lo que se traduce en un menor aporte del río hacia el pozo de bombeo al cabo de un año de operación. De esta manera, la solución de Jenkins indica que el aporte del río es superior al 94% del caudal bombeado, mientras que al cabo del mismo tiempo, el enfoque de Hunt indica que este aporte es sólo del 62% o 43%, dependiendo del valor del coeficiente de permeabilidad del lecho.

**Figura 5**  
**Aporte del Río al Pozo de Bombeo**



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Butler Jr, J., Vitaly A. Zlotnik, and Ming-Shu Tsoul. 2001. Drawdown and Stream Depletion Produced by Pumping in the Vicinity of a Partially Penetrating Stream. *Ground Water* 39, no. 5: 651-659.

Glover, R.E., and C.G. Balmer. 1954. River depletion from pumping a well near a river. *American Geophysical Union Transactions* 35, no. 3: 468-470.

Hantush, M.S. 1965. Wells near streams with semipervious beds. *Jnl Geophysical Research* 70, no. 12: 2829-2838.

Hunt, B. 1999. Unsteady stream depletion from ground water pumping. *Ground Water* 37, no. 1: 98-102.

Jenkins, C.T. 1968. Techniques for computing rate and volume of stream depletion by wells. *Ground Water* 6, no. 2: 37-46.

Spalding, C.P., and R. Khaleel. 1991. An evaluation of analytical solutions to estimate drawdowns and stream depletions by wells. *Water Resources Research* 27, no. 4: 597-588.

Sophocleous, M., A. Koussis, J.L. Martin, and S.P. Perkins. 1995. Evaluation of simplified stream-aquifer depiction models for water rights administration. *Ground Water* 33, no. 4: 579-588.

Theis, C.V. 1941. The effect of a well on the flow of a nearby stream. *American Geophysical Union Transactions* 22, no. 3: 734-738.

Wallace, R.B., Y. Darama, and M.D. Annable. 1990. Stream depletion by cyclic pumping of wells. *Water Resources Research* 26, no. 6: 1263-1270.