CI61Q

CI61Q/CI71M
PRINCIPIOS DE REMEDIACION Y RESTAURACION

DISEÑO DE SISTEMAS CONVENCIONALES DE BOMBEO Y TRATAMIENTO

SEMESTRE PRIMAVERA 2007

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

CI61Q

INTRODUCCION
HISTORIA DE SU USO
ESTRATEGIAS
ZONAS DE CAPTURA

CI61Q

Contención y limpieza de agua subterránea contaminada son los objetivos primarios de los programas de remediación de acuíferos.

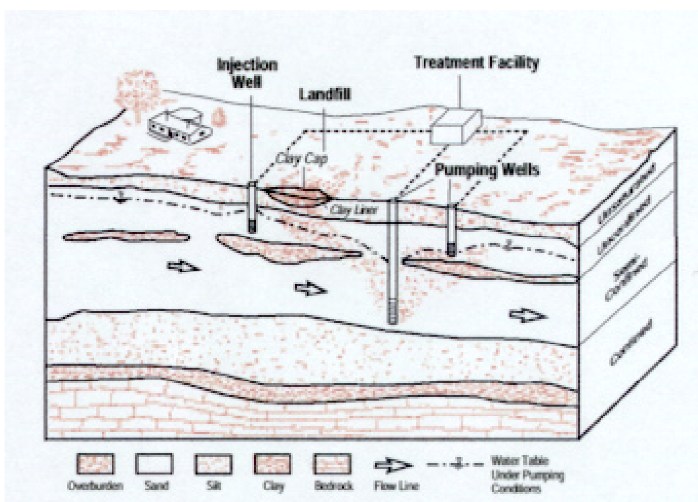
Un enfoque común para lidiar con agua subterránea contaminada es la extracción del agua para su tratamiento, y la posterior reinyección de ésta en el acuífero. Este enfoque se conoce como Sistema Convencional de Bombeo y Tratamiento.

Eficiencia de este sistema de tratamiento es limitada por diversos factores:

- Naturaleza del contaminante
- Complejidad geológica
- Diseño e implementación inadecuada
- Operación deficiente
- Lentitud del proceso

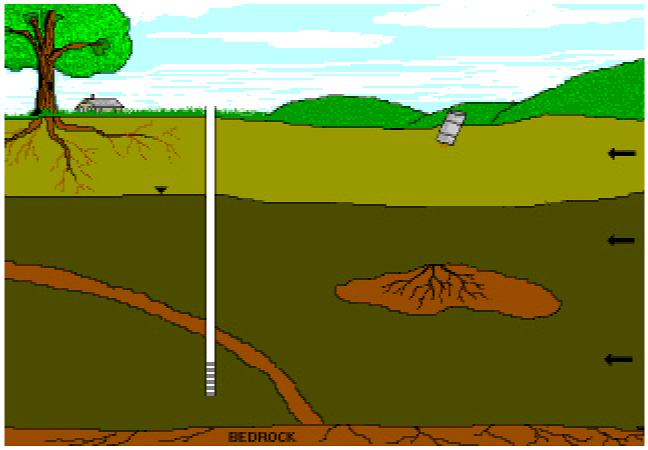
CI61Q

SISTEMA CONVENCIONAL DE BOMBEO Y TRATAMIENTO



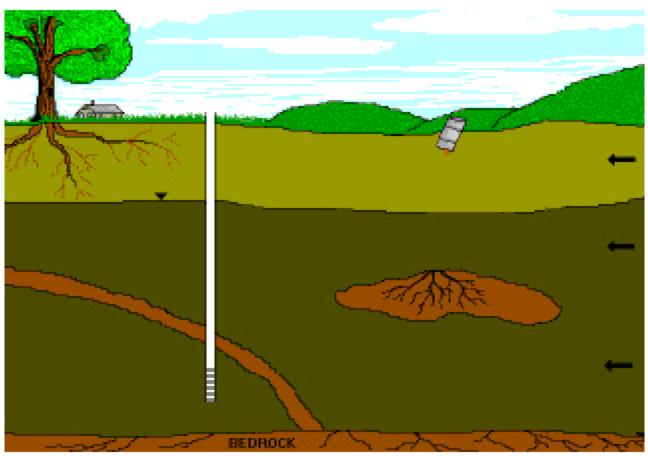
CI61Q

CONTAMINACION POR DNAPL



CI61Q

CONTAMINACION POR LNAPL



CI61Q

INTRODUCCION

HISTORIA DE SU USO

ESTRATEGIAS

ZONAS DE CAPTURA

CI61Q

Sistema de bombeo y tratamiento es usado primordialmente para las siguientes actividades:

- Contención hidráulica:

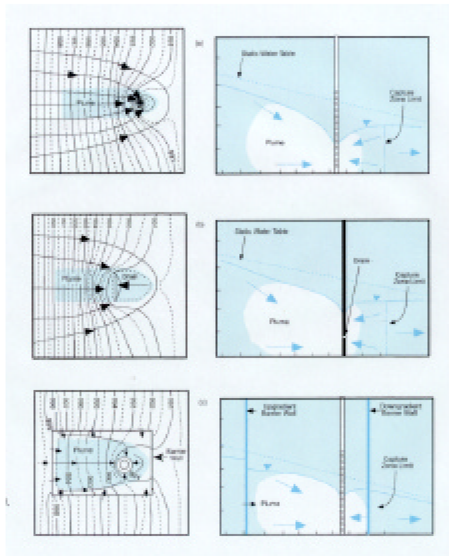
    Pozo de bombeo aislado
    Dren subsuperficial y pozo
    Pozo de bombeo y barrera

- Tratamiento

- Mezcla de ambas actividades

CI61Q

SISTEMAS DE CONTENCION HIDRAULICA



CI61Q

Uso de esta metodología comenzó en la década de 1980.

Método se cuestionó durante década de 1990. No es posible alcanzar “restauración total” de un sitio contaminado en un lapso razonable (5 a 10 años).

Mayores problemas ocurren en el caso de compuestos que se adsorben, los que dan origen a “colas” y “rebotes”.

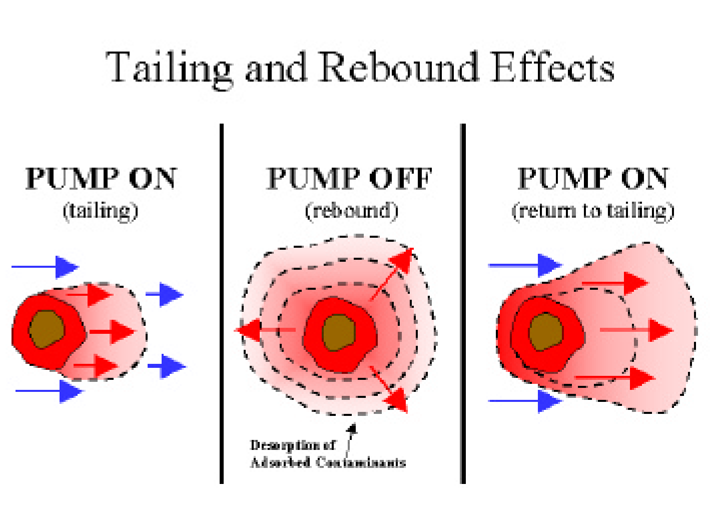
Tendencia moderna indica que lo más apropiado es la combinación de bombeo y tratamiento con bioremediación y con atenuación natural.

Técnica recomendada para acuíferos del tipo arena y grava (alta permeabilidad).

Diferentes alternativas para sistema de tratamiento.

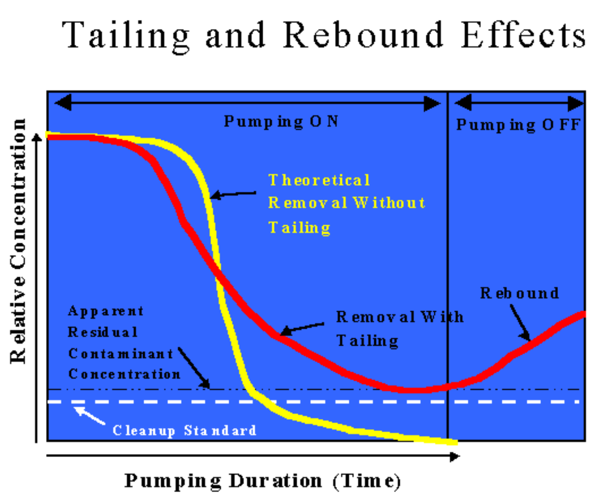
CI61Q

EFECTOS DE “COLA” Y “REBOTE”



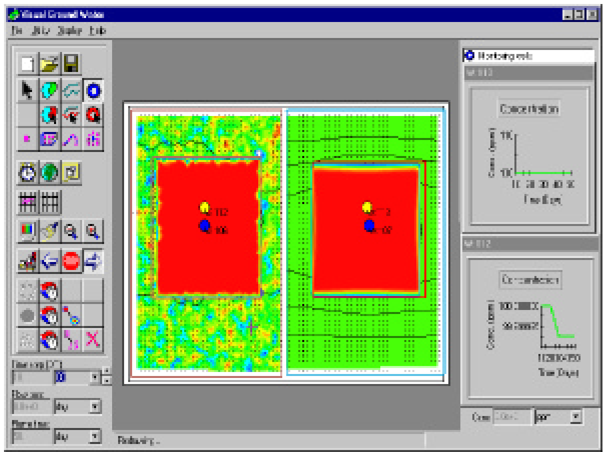
CI61Q

EFECTOS DE “COLA” Y “REBOTE”



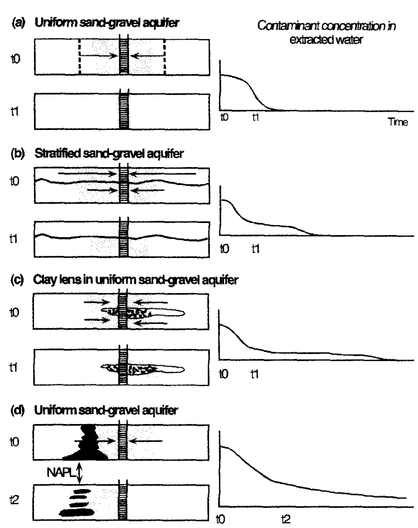
CI61Q

EFECTO DE HETEROGENEIDAD SOBRE OPERACIÓN DE BOMBEO Y TRATAMIENTO



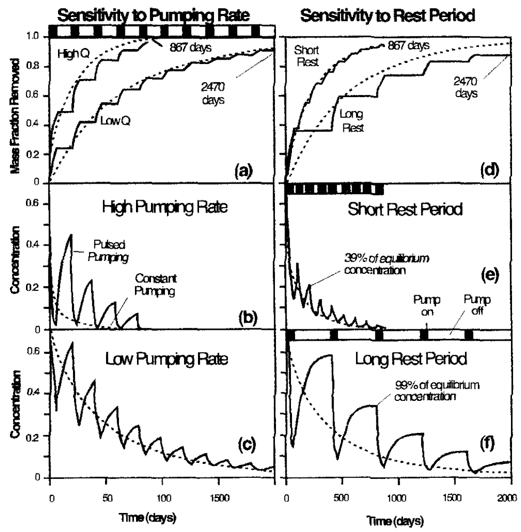
CI61Q

DIFERENCIAS SEGÚN ENTORNO HIDROGEOLOGICO



CI61Q

EFECTO DE LA TASA DE BOMBEO

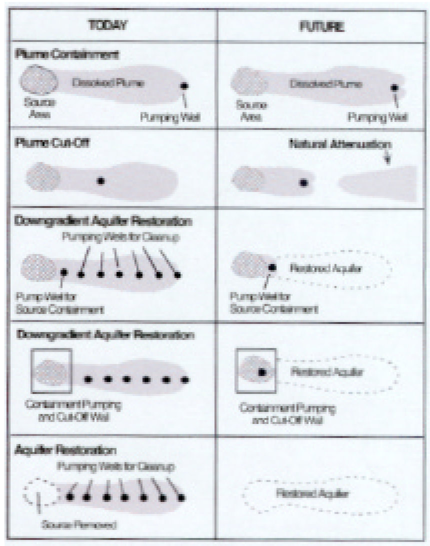


CI61Q

INTRODUCCION
HISTORIA DE SU USO
ESTRATEGIAS
ZONAS DE CAPTURA

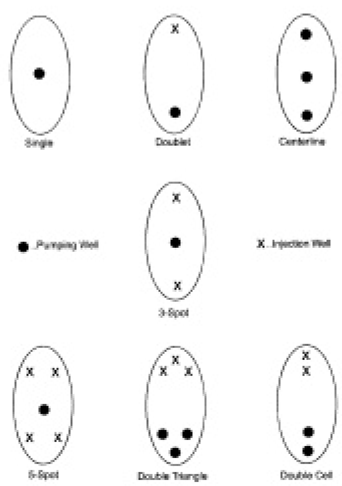
CI61Q

ESTRATEGIAS DE REMEDIACION PARA BOMBEO Y TRATAMIENTO



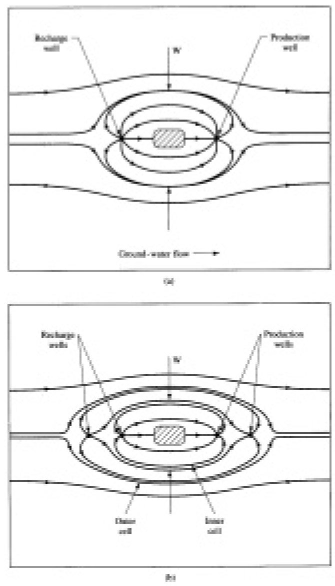
CI61Q

PATRONES PARA BOMBEO Y TRATAMIENTO



CI61Q

PATRONES PARA BOMBEO Y TRATAMIENTO

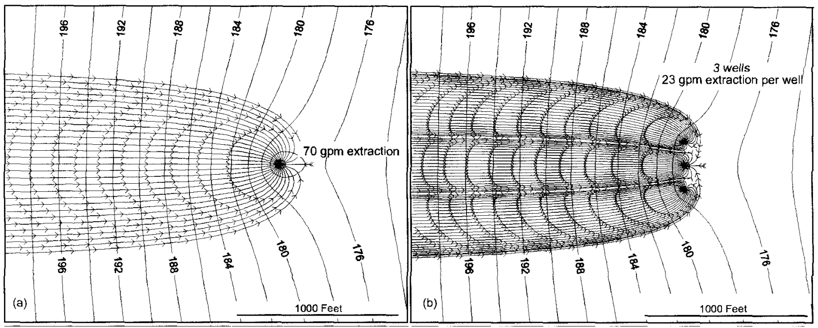


CI61Q

INTRODUCCION
HISTORIA DE SU USO
ESTRATEGIAS
ZONAS DE CAPTURA

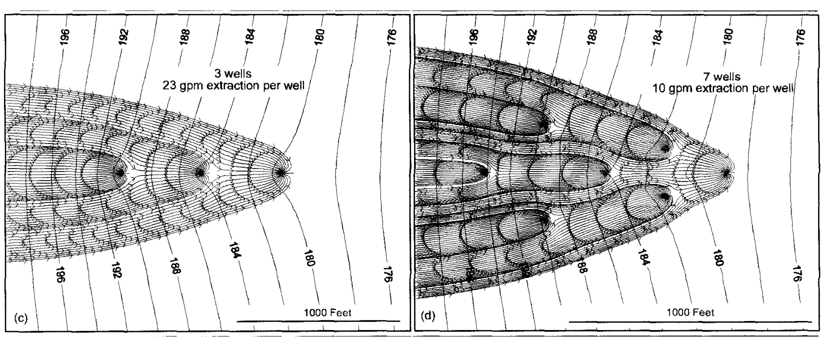
CI61Q

ZONAS DE CAPTURA



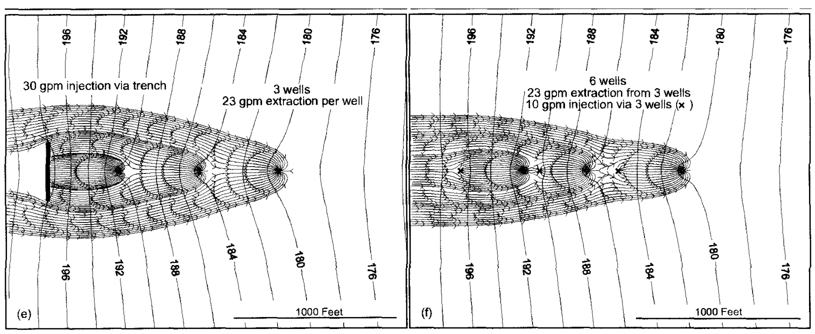
CI61Q

ZONAS DE CAPTURA



CI61Q

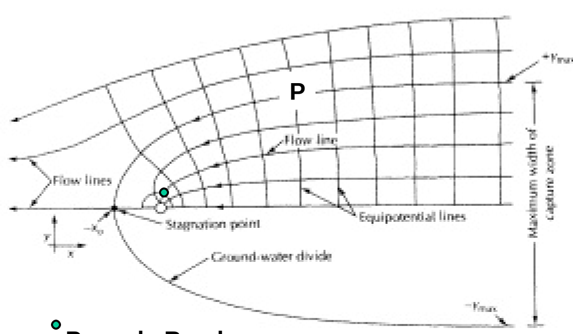
ZONAS DE CAPTURA



CI61Q

INTERACCION ENTRE UN POZO DE BOMBEO Y FLUJO NATURAL DE LA NAPA

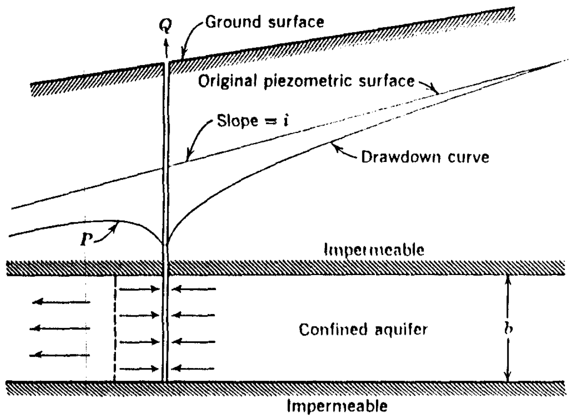
En esta situación se tiene un pozo de bombeo que está funcionando en un sistema acuífero que presenta además un flujo o escurrimiento natural. Para resolver este problema se utiliza superposición de las líneas de corriente o flujo generadas por el pozo y por el flujo natural.



Pozo de Bombeo

CI61Q

INTERACCION ENTRE UN POZO DE BOMBEO Y FLUJO NATURAL DE LA NAPA

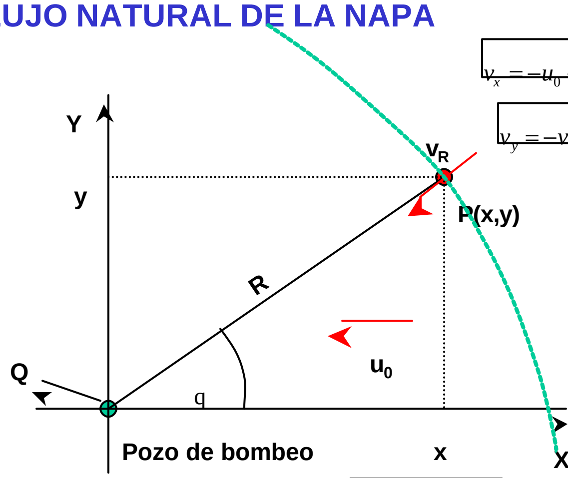


CI61Q

INTERACCION ENTRE UN POZO DE BOMBEO Y FLUJO NATURAL DE LA NAPA

$$v_x = -u_0 - v_R \cdot \cos(q)$$

$$v_y = -v_R \cdot \mathrm{sen}(q)$$



$$\mathrm{sen}(q) = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$v_R = \frac{Q}{2 \cdot p \cdot R \cdot b}$$

CI61Q

INTERACCION ENTRE UN POZO DE BOMBEO Y FLUJO NATURAL DE LA NAPA

Para comenzar el análisis definamos u_0 como la velocidad de Darcy del flujo natural, K es la conductividad hidráulica del sistema acuífero confinado y b es su espesor. Definamos un sistema de coordenadas (x,y) cuyo origen está situado en la ubicación del pozo de bombeo.

La velocidad en un punto P cualquiera, en las direcciones x e y, tiene las siguientes expresiones:

$$v_x = -u_0 - v_R \cdot \cos(\theta) = \frac{dx}{dt} \qquad v_y = -v_R \cdot \mathrm{sen}(\theta) = \frac{dy}{dt}$$

donde v_R es la velocidad inducida por la presencia del pozo de bombeo en el punto P de coordenadas (x,y), la cual se puede escribir como:

$$v_R = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot b} \qquad R = \sqrt{x^2 + y^2}$$

CI61Q

INTERACCION ENTRE UN POZO DE BOMBEO Y FLUJO NATURAL DE LA NAPA

Dividiendo las expresiones para la velocidad en las direcciones x e y:

$$\frac{v_x}{v_y} = \frac{\frac{dx}{dt}}{\frac{dy}{dt}} = \frac{dx}{dy} = \frac{u_0}{v_R \cdot \mathrm{sen}(\theta)} + \frac{\cos(\theta)}{\mathrm{sen}(\theta)}$$

Debido a la definición de nuestro sistema de coordenadas podemos escribir para el seno y coseno del ángulo θ las siguientes expresiones:

$$\mathrm{sen}(\theta) = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \qquad \cos(\theta) = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

Al substituir las ecuaciones anteriores en la primera ecuación:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{2 \cdot \pi \cdot b \cdot u_0}{Q} \cdot \frac{x^2 + y^2}{y} + \frac{x}{y}$$

CI61Q

INTERACCION ENTRE UN POZO DE BOMBEO Y FLUJO NATURAL DE LA NAPA

La última expresión representa la ecuación de las trayectorias de las líneas de corriente de este escurrimiento bidimensional, la que puede ser reducida a:

$$\boxed{\frac{dx}{dy} = C \cdot \frac{x^2 + y^2}{y} + \frac{x}{y}} \longrightarrow \boxed{C = \frac{2 \cdot p \cdot b \cdot u_0}{Q}}$$

Si reordenamos la expresión anterior obtenemos:

$$\boxed{\frac{1}{y} \cdot \frac{dx}{dy} - \frac{x}{y^2} = C \cdot \frac{x^2 + y^2}{y^2}}$$

donde el lado izquierdo es el diferencial de la siguiente expresión:

$$\boxed{\frac{d(x/y)}{dy} = \frac{1}{y} \cdot \frac{dx}{dy} - \frac{x}{y^2}}$$

CI61Q

INTERACCION ENTRE UN POZO DE BOMBEO Y FLUJO NATURAL DE LA NAPA

Al reemplazar y reordenar se obtiene:

$$\boxed{\frac{1}{C} \cdot \frac{d(x/y)}{dy} = 1 + \left(\frac{x}{y}\right)^2}$$

Esta última ecuación puede ser integrada en forma muy simple con lo cual obtenemos:

$$\boxed{\frac{1}{C} \cdot tan^{-1}(x/y) = y + c_2}$$

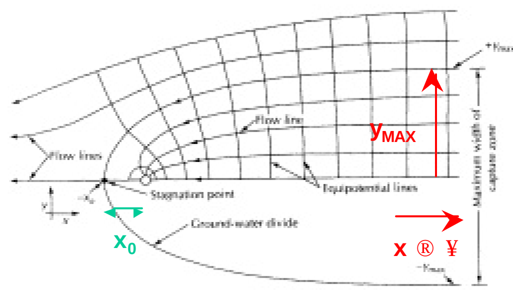
donde c_2 es una constante de integración. Si reordenamos esta expresión obtenemos:

$$\boxed{x = y \cdot tan(C \cdot (y + c_2))}$$

CI61Q

INTERACCION ENTRE UN POZO DE BOMBEO Y FLUJO NATURAL DE LA NAPA

Para evaluar la constante c_2 debemos considerar que existe una zona de captura, a la cual todo el caudal extraído desde el pozo de bombeo es llevado mediante el flujo propio de la napa. Si consideramos sólo el lado positivo del eje y, el ancho total de esta zona de captura es:



$$y_{MAX} = \frac{Q}{2 \cdot b \cdot u_0}$$

CI61Q

INTERACCION ENTRE UN POZO DE BOMBEO Y FLUJO NATURAL DE LA NAPA

El ancho total de esta zona de captura se obtiene cuando nos alejamos del origen del sistema de coordenadas en la dirección x:

$$x \to \infty = y_{MAX} \cdot tan(C \cdot (y_{MAX} + c_2))$$

Pero el ancho de la zona de captura es finito, con lo cual:

$$tan(C \cdot (y_{MAX} + c_2)) \to \infty \qquad C \cdot (y_{MAX} + c_2) = \frac{p}{2}$$

Al susbtituir las expresiones para C y para y_{MAX} en el último resultado se obtiene:

$$c_2 = -\frac{Q}{4 \cdot b \cdot u_0}$$

INTERACCION ENTRE UN POZO DE BOMBEO Y FLUJO NATURAL DE LA NAPA

El resultado anterior nos permite escribir la ecuación que describe la trayectoria de la partícula de fluido más alejada que es capturada por el pozo de bombeo:

$$\boxed{x = y \cdot tan\left(\frac{2 \cdot p \cdot b \cdot u_0}{Q} \cdot \left(y - \frac{Q}{4 \cdot b \cdot u_0}\right)\right)}$$

La distancia desde la ubicación del pozo de bombeo hasta el punto de detención o de velocidad nula puede ser determinada si en la expresión anterior se toma el limite cuando y tiende a cero. A partir de ese análisis se obtiene la siguiente expresión:

$$\boxed{x_0 = -\frac{Q}{2 \cdot p \cdot b \cdot u_0}}$$