

# Curso Corto de hidrogeología

Andrew S. Reeve

## Day 1: Groundwater parameters; Darcy's Law and it's variations; Determining flow directions and rates; Hydrogeologic units.

### Flujos y Embalses Hidrológicos



Figure 1: Different water fluxes that form the water cycle.

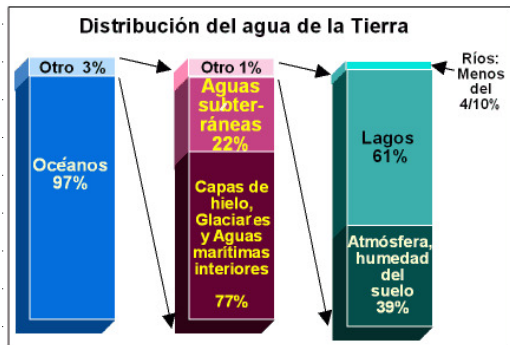


Figure 2: From the USGS (<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclehi.html>)

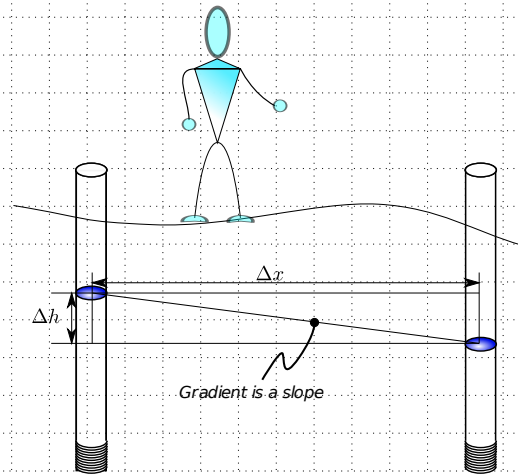
- Es el nivel del agua en un pozo abierto a la atmósfera
- tiene tres partes: presión, elevación, velocidad

\* pero en el agua subterránea, usualmente velocidad es despreciable (es importante en los sistemas kársticos)

- Conductividad Hidráulica : regulador del flujo, opuesta de resistencia

- incluye las propiedades del medio poroso (permeabilidad) y el fluido (densidad, viscosidad)

- mucha variabilidad, más que 8 órdenes de magnitud



### Qué Controla el Flujo del Agua Subterránea

- Gradiente Hidráulico : la fuerza que impulsa el flujo del agua; cambia de nivel del agua sobre una distancia.
- El agua siempre fluye de carga hidráulica alta a baja

- La carga hidráulica es una medida de energía

### El Ley de Darcy

$$Q = -K \cdot A \frac{dh}{dl}$$

### Las limites del Ley de Darcy

- Escala de muestra, volumen representativo
- flujo laminar (velocidad lente)

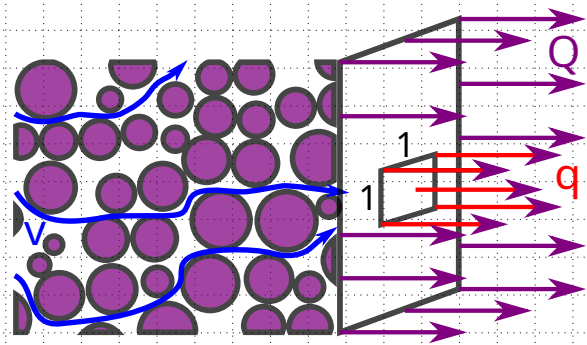
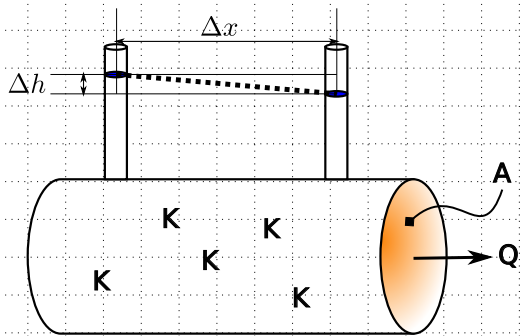
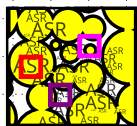
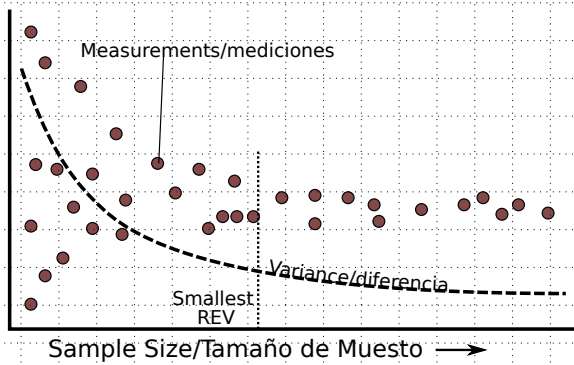


Figure 3: La descarga (Q) del agua por un medio poroso es una función de la conductividad (K), el gradiente hidráulico ( $\frac{dh}{dl}$ ), y la área (A).

- con creciente turbulencia hay pérdida de energía
- el Numero de Reynold

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

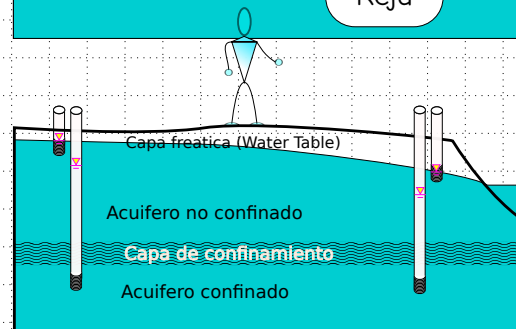
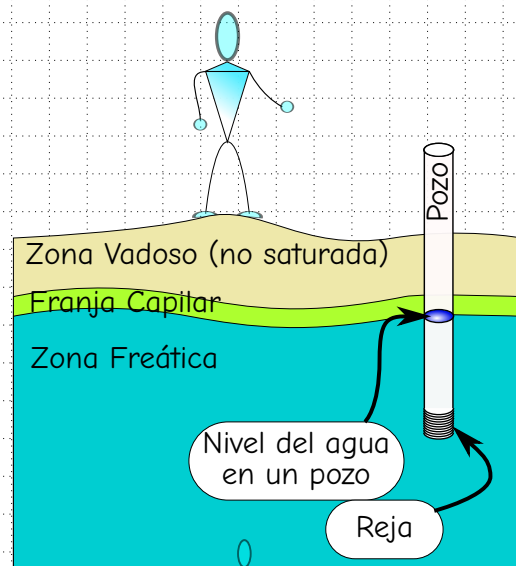


No represente



Represente

### Unidades Hidrogeológicas



### Expresiones alternativas al Ley de Darcy

- Discharge

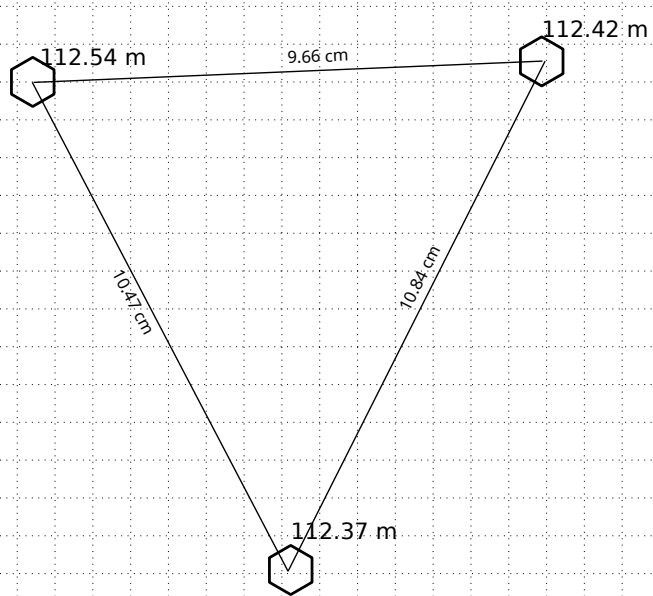
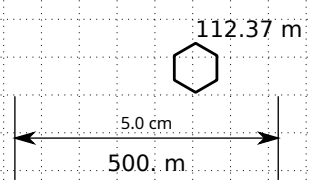
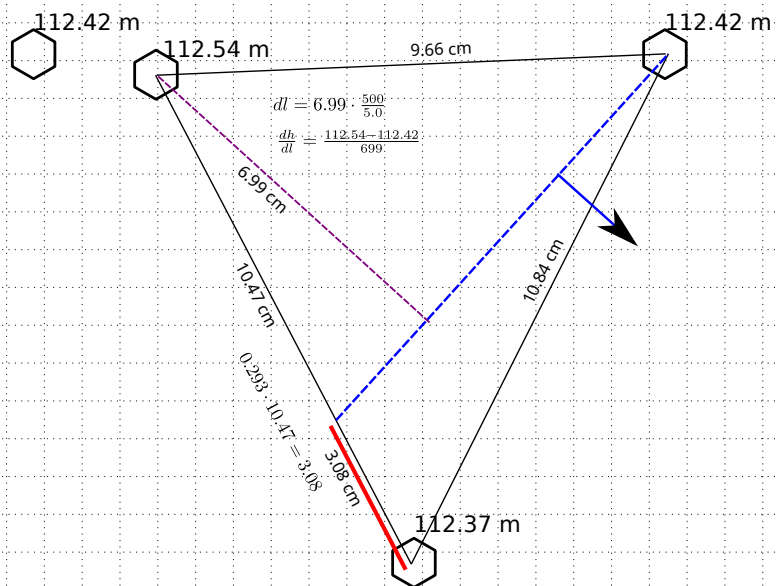
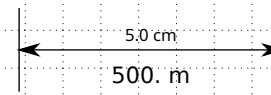
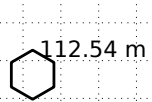
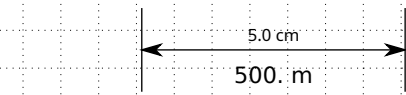
$$Q = K \cdot A \frac{dh}{dl}$$

- Specific Discharge/Darcy Velocity: flujo sobre una area de uno por uno

$$q = K \frac{dh}{dl}$$

- Seepage Velocity/Average Linear Velocity, velocidad en un poro

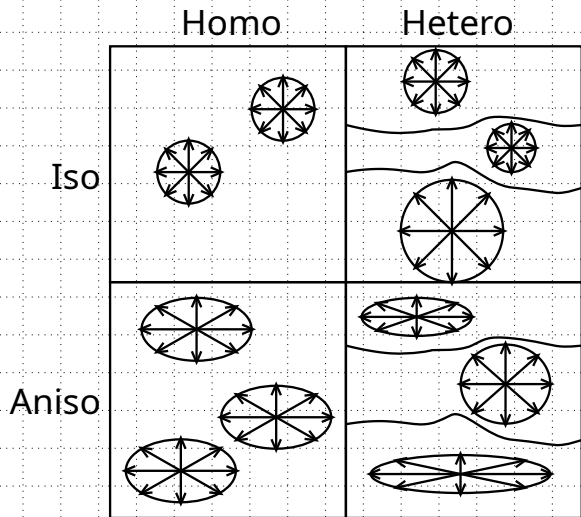
$$v = \frac{K}{n_e} \frac{dh}{dl}$$



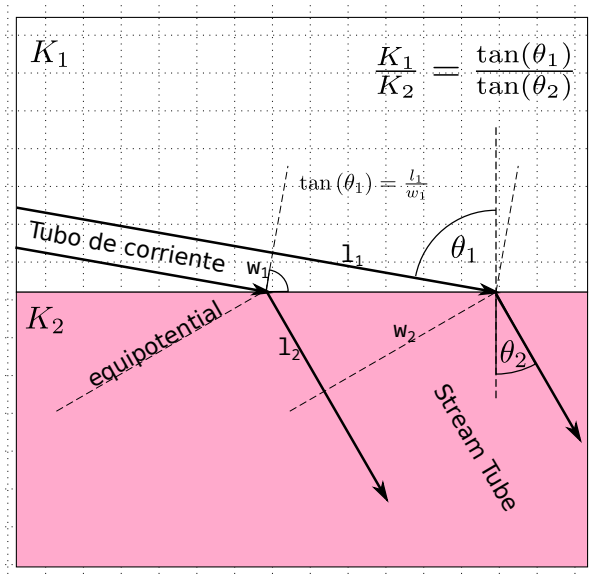
- ¿Qué es la dirección de flujo según los datos en la figura?
- ¿Qué es el carga hidrológica de valor intermedio entre el de lo máximo y mínimo?
- Usando interpolación lineal, calcule la retio de cambios en la carga hidráulica
- dibuja una línea de carga hidrológica igual (equipotential)
- si es un sistema *homogénea e isotrópica*, el flujo será perpendicular y 'cuesta abajo'

### Influencia de Heterogeneidad e Anisotropía

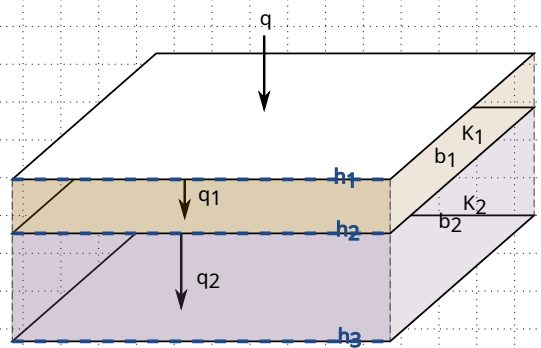
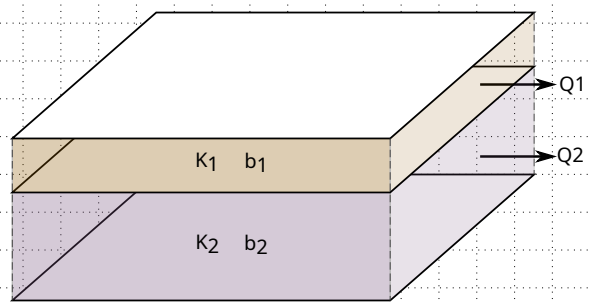
- El agua, como una persona, busca el camino más fácil.
- Pasa más tiempo en materiales de alta permeabilidad, y encuentra el camino más corto en materiales de baja permeabilidad.
- Metidos para calcular flujo en un sistema heterogéneo:
  - Promedio sobre las capas de diferente conductividad
  - Refracción de la línea de corriente



### Influencia de Heterogeneidad-Ley de Tangente



### Influencia de Heterogeneidad-Promedia al Granel



- El ángulo de líneas flujo dobla en (ángulo 'más perpendicular' a las capas) las capas con conductividad hidrológica más pequeño
- Ángulo theta es a una línea perpendicular a las capas
- La regla está basado en un balancea entre la descarga en los tubos de corriente

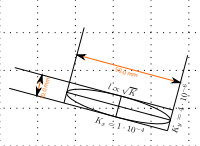
- Conductividad hidrológica (K) 'con el grano'
- Suma de los descargas (Q) en cada capa, promedio ponderado por grosor (b)
- $b_{total} = \sum_i b_i$

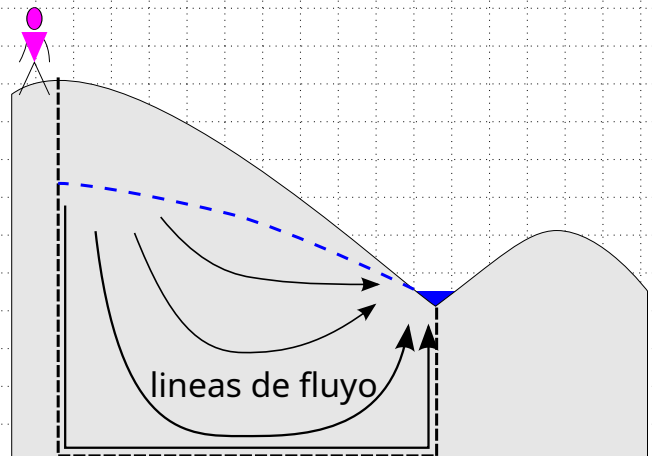
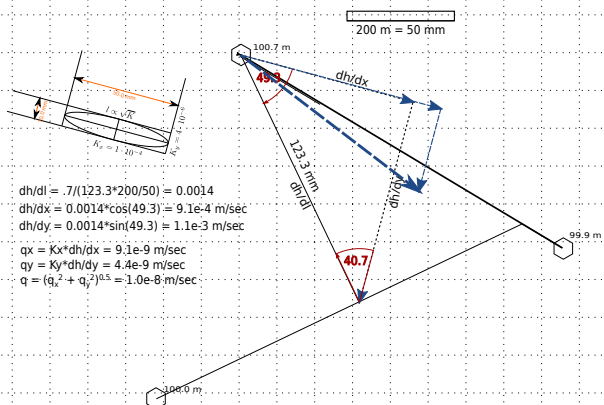
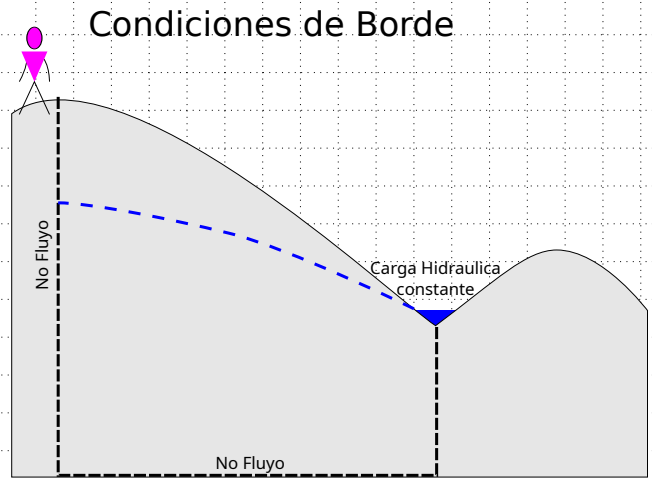
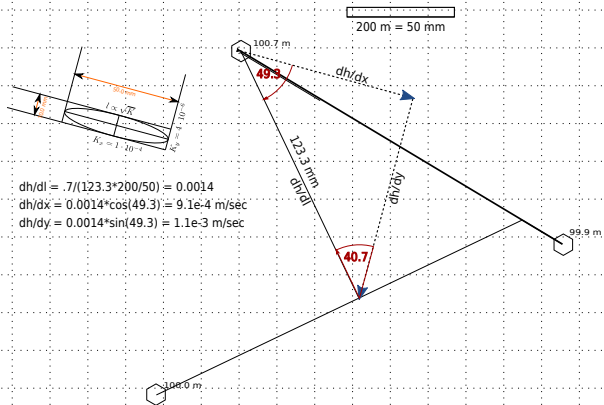
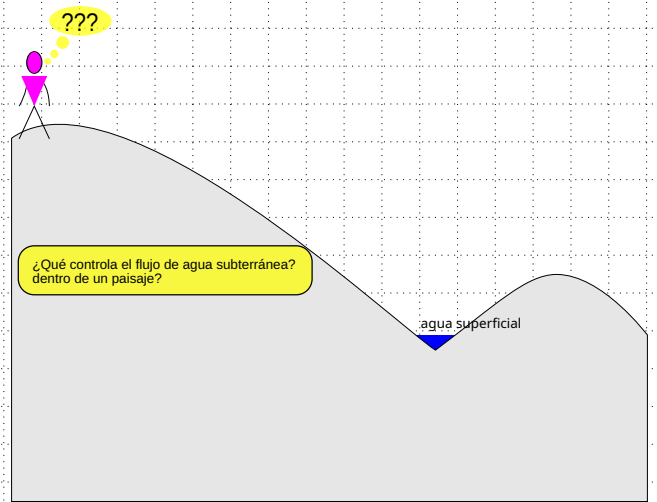
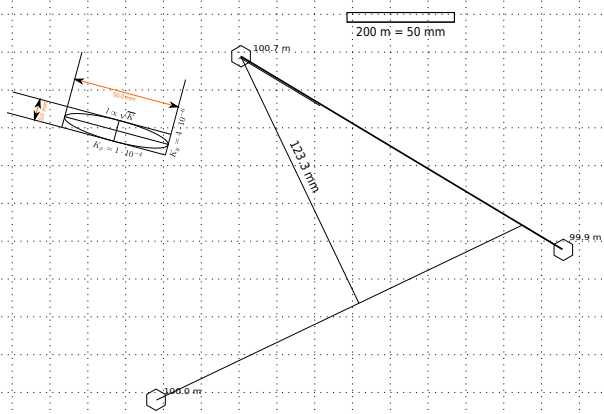
$$K_H = \frac{\sum_i b_i \cdot K_i}{b_{total}}$$

- Conductividad hidrológica 'a contrapelo'
- Promedio armónico,  $q = q_1 = q_2$

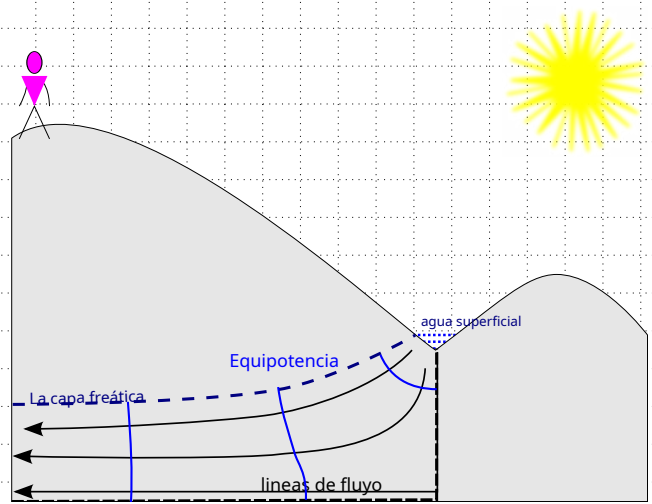
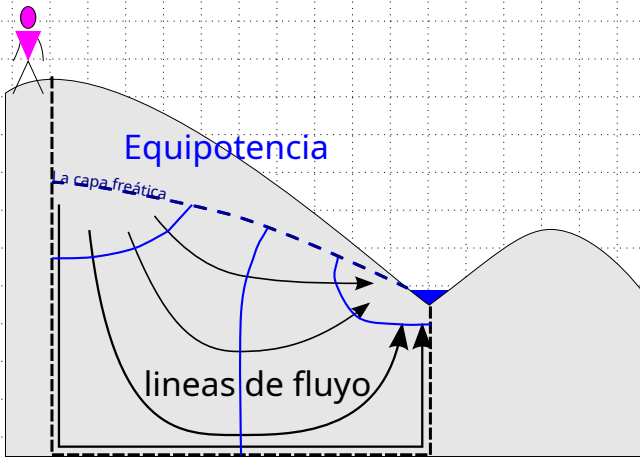
$$K_V = \frac{b_{total}}{\sum_i \frac{b_i}{K_i}}$$

### Influencia de anisotropía

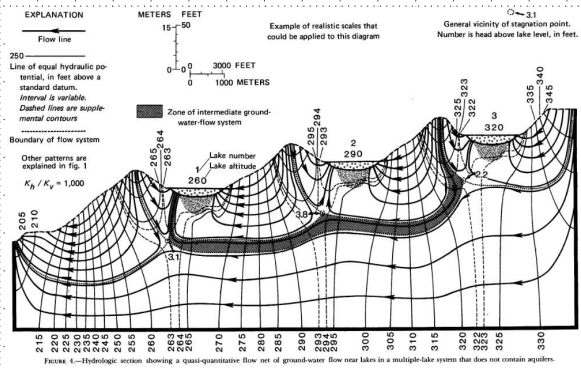




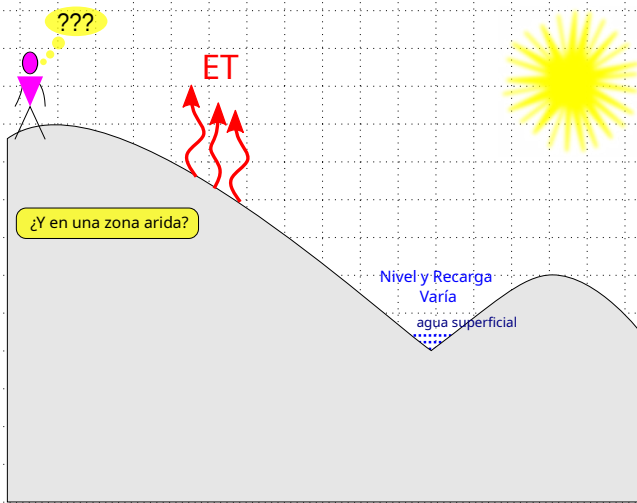
- La anisotropía aumenta el flujo en dirección de máxima K
- Dobla la dirección de flujo
- ¿En que situación la anisotropía no cambia la dirección de flujo?



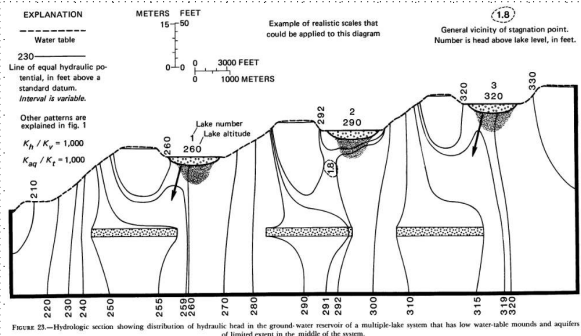
### Red de Fluyo (Winter, 1977)



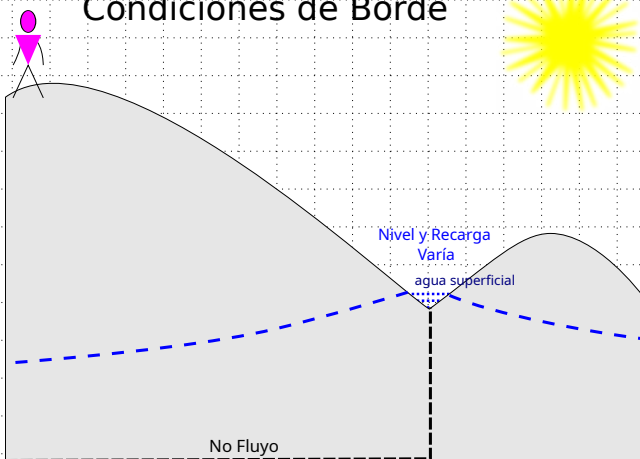
### Red de Fluyo: Ambiente Árido



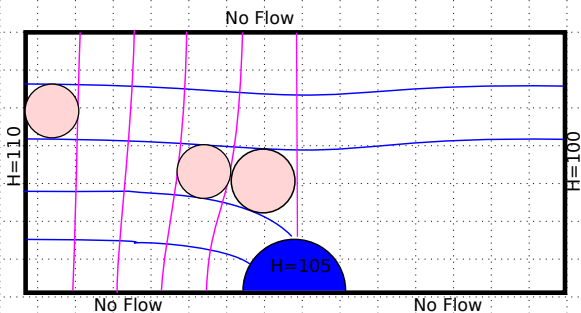
### Red de Fluyo (Winter, 1977)



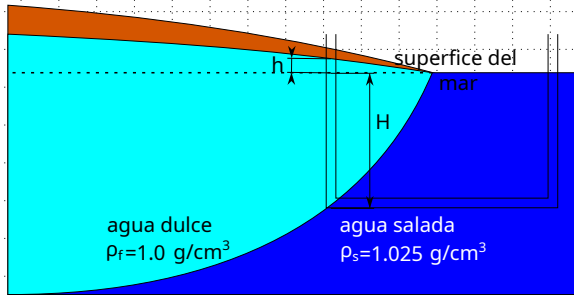
### Condiciones de Borde



### Construir una Red de Fluyo Gráficamente



## Salt Water Intrusion

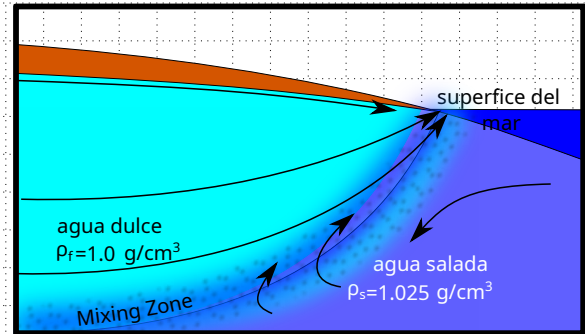


### • Suposiciones

- agua salada es estática
- homogénea y isotropía
- interfaz fino/brusco
- la carga hidrológica no cambia con profundidad
- $H = h \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}$
- $H \approx 40 \cdot h$

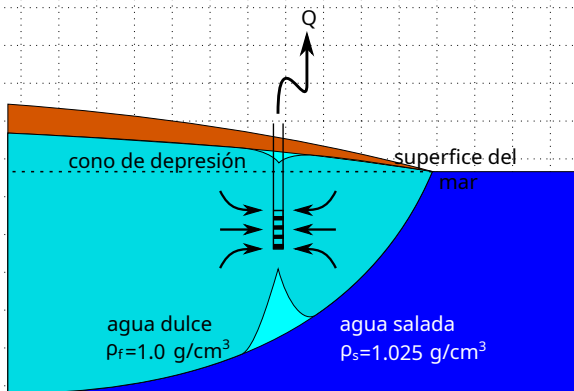
- El modelo de Ghijben-Herzberg es útil pero imposible
- Un modelo un poco más realista tiene 'una ventana' para la descarga del agua al mar

## Salt Water Intrusion



- Un modelo con un interfaz dispersa (Cooper et al. 1964)
- Hay recirculación del agua salada debido a la cambio de densidad.

## Salt Water Intrusion



- Bajar el nivel freático producirá un cambio de 40 veces en la posición de la interfaz

## Salt Water Intrusion

