

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.

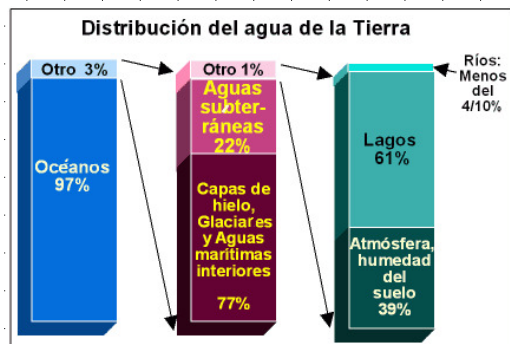


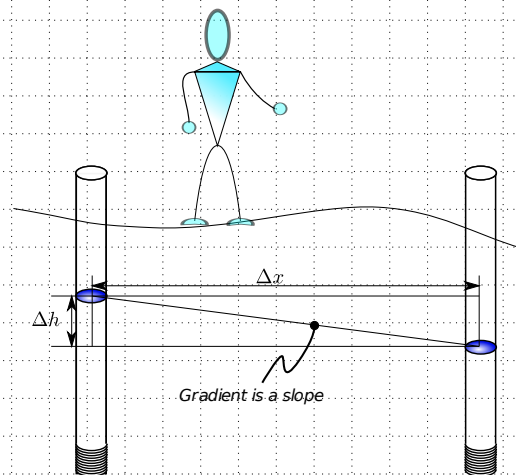
Figure 2: From the USGS (<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclehi.html>)

- 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)

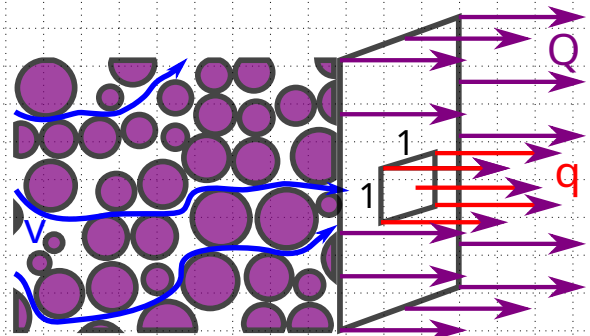
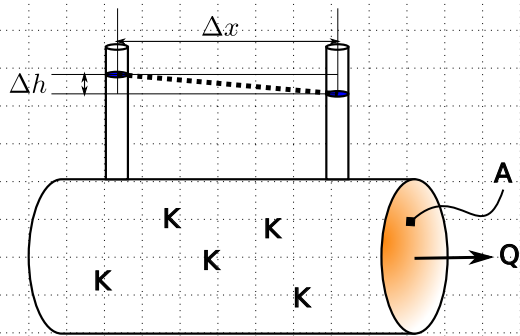
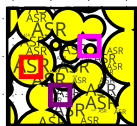
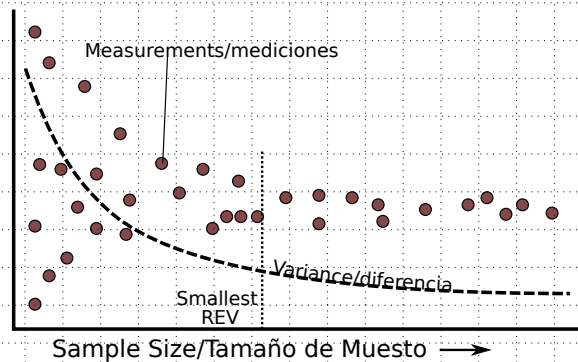


Figure 3: La descarga (Q) del agua por un medio poroso es una función de la conductividad (K), el gradiente hidráulico ($\frac{dh}{dl}$), y la área (A).

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

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

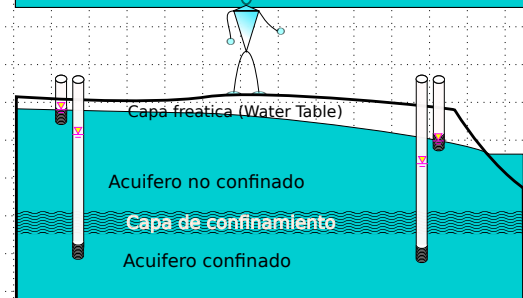
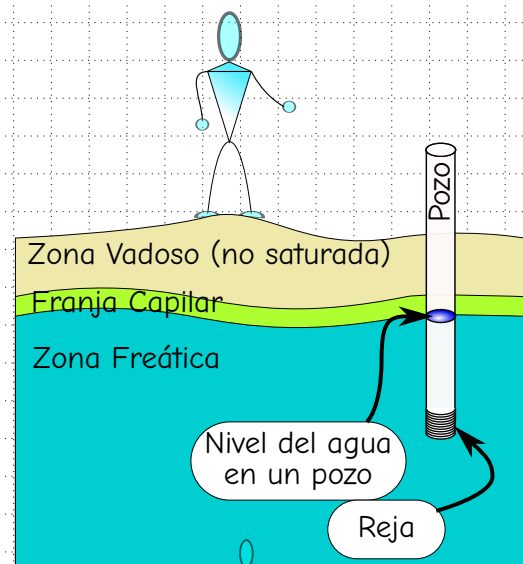


No represente



Represente

Unidades Hidrogeológicas



Expresiones alternativas al Ley de Darcy

- Discharge

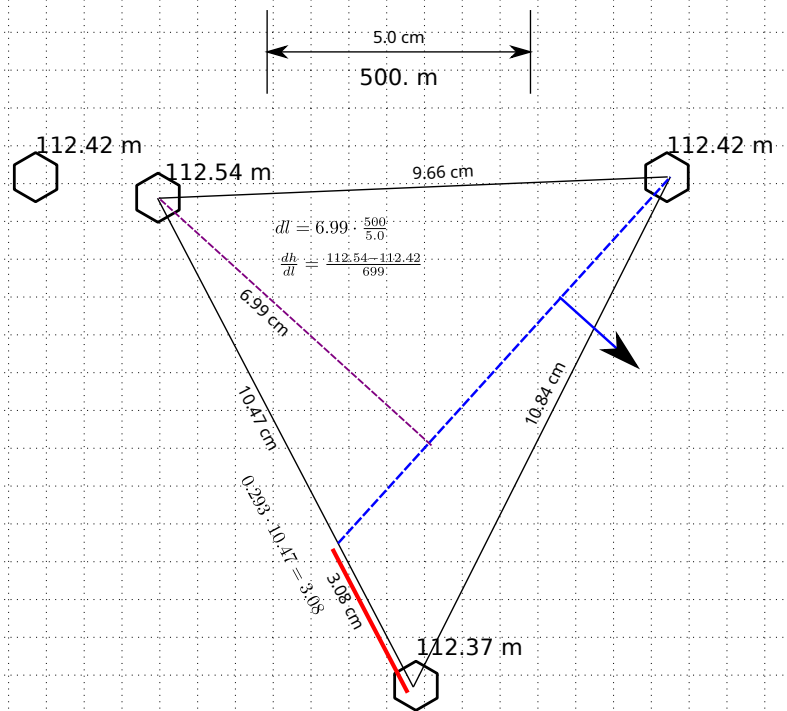
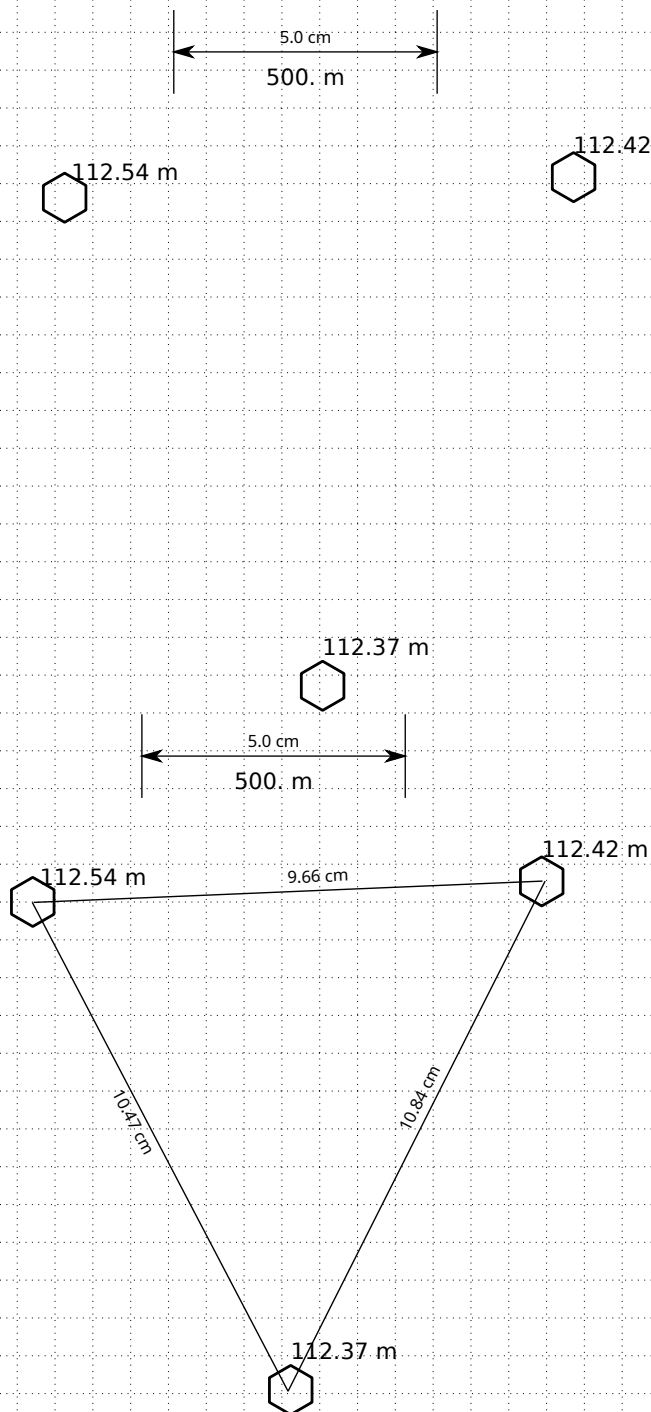
$$Q = K \cdot A \frac{dh}{dl}$$

- 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

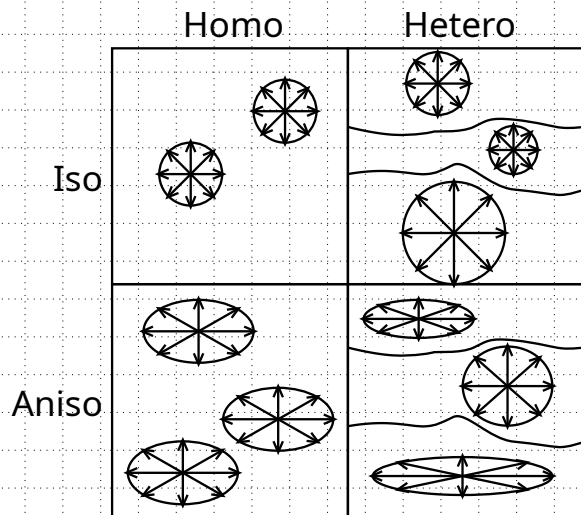
$$v = \frac{K}{n_e} \frac{dh}{dl}$$



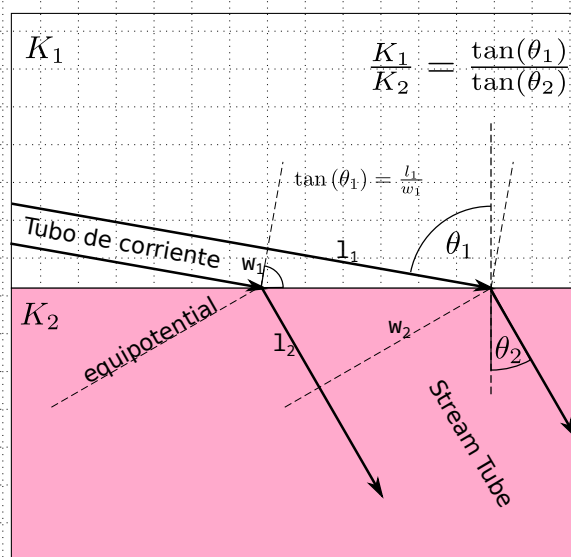
- ¿Qué es la dirección de flujo según los datos en la figura?
- ¿Qué es el carga hidrológica de valor intermedio entre el de lo máximo y mínimo?
- Usando interpolación lineal, calcule la retio de cambios en la carga hidráulica
- dibuja una linea de carga hidrológica igual (equipotential)
- si es un sistema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

Influencia de Heterogeneidad e Anisotropía

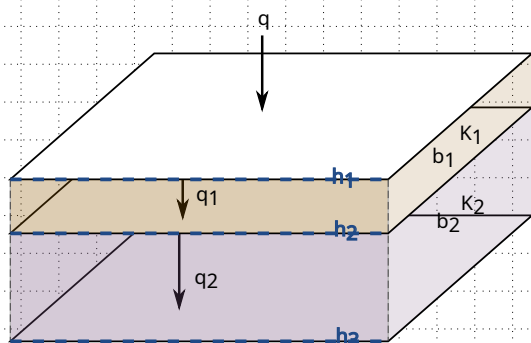
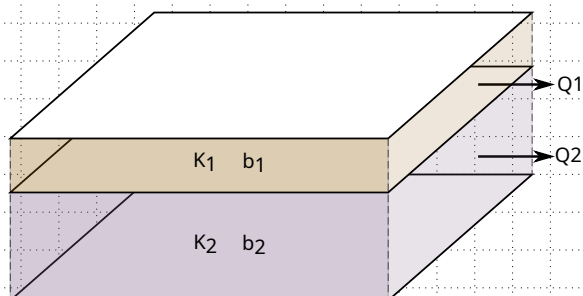
- El agua, como una persona, busca el camino más fácil.
- Pasa más tiempo en materiales de alta permeabilidad, y encuentra el camino más corto en materiales de baja permeabilidad.
- Metidos para calcular flujo en un sistema heterogéneo:
 - Promedio sobre las capas de diferente conductividad
 - Refracción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



Influencia de Heterogeneidad-Ley de Tangente



Influencia de Heterogeneidad-Promedia al Granel



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

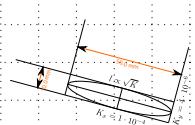
$$K_H = \sum_i \frac{b_i \cdot K_i}{b_{total}}$$

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

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

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

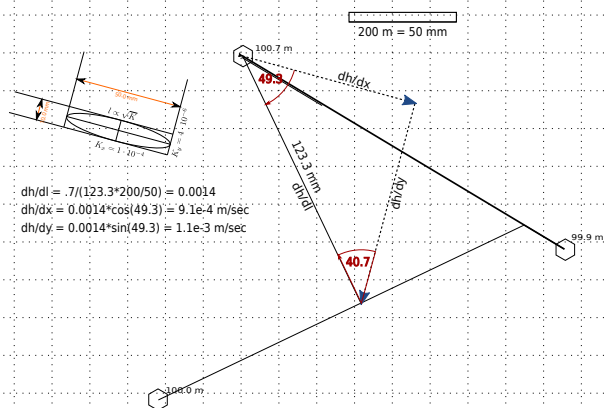
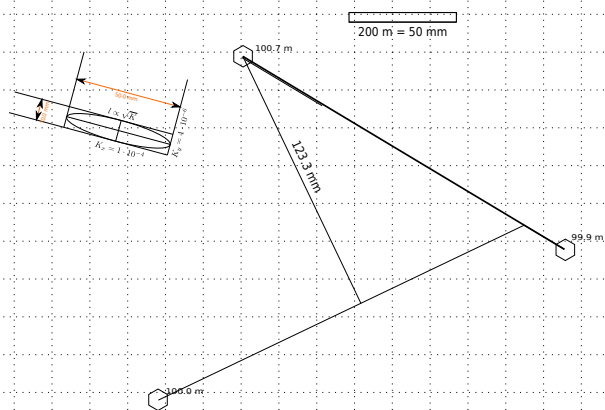
Influencia de anisotropía



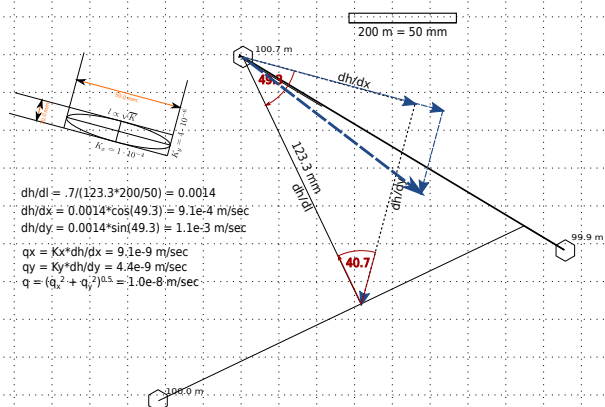
100.7 m

99.9 m

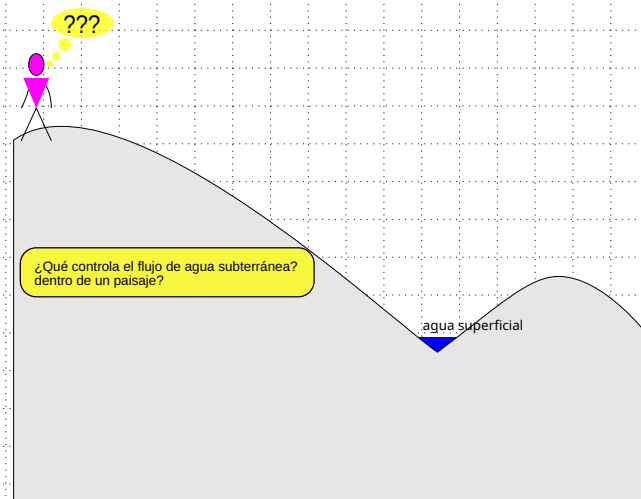
100.0 m



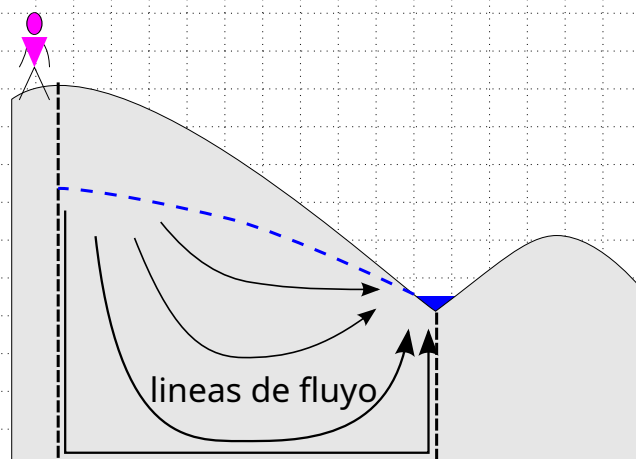
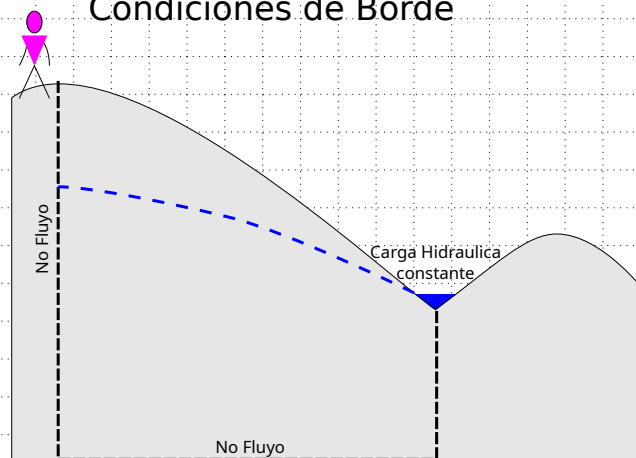
$$\begin{aligned} dh/dl &= 7/(123.3 \cdot 200/50) = 0.0014 \\ dh/dx &= 0.0014 \cdot \cos(49.3) = 9.1 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec} \\ dh/dy &= 0.0014 \cdot \sin(49.3) = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ m/sec} \end{aligned}$$



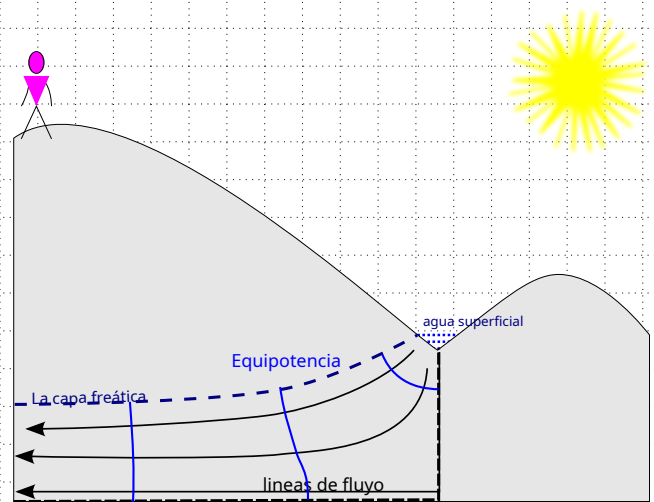
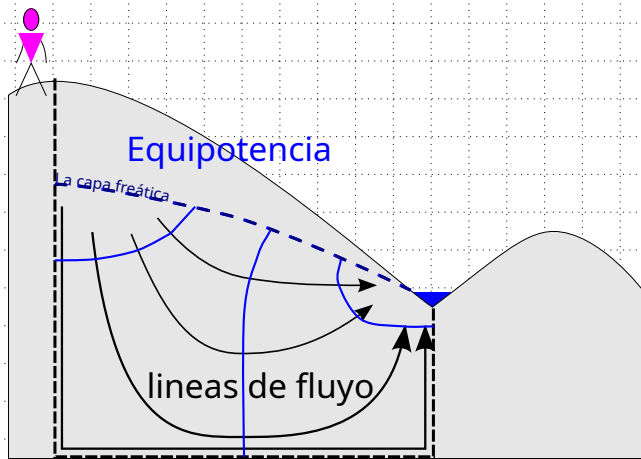
$$\begin{aligned} dh/dl &= 7/(123.3 \cdot 200/50) = 0.0014 \\ dh/dx &= 0.0014 \cdot \cos(49.3) = 9.1 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec} \\ dh/dy &= 0.0014 \cdot \sin(49.3) = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ m/sec} \\ q_x &= K_x \cdot dh/dx = 9.1 \cdot 10^{-9} \text{ m/sec} \\ q_y &= K_y \cdot dh/dy = 4.4 \cdot 10^{-9} \text{ m/sec} \\ q &= (q_x^2 + q_y^2)^{0.5} = 1.0 \cdot 10^{-8} \text{ m/sec} \end{aligned}$$



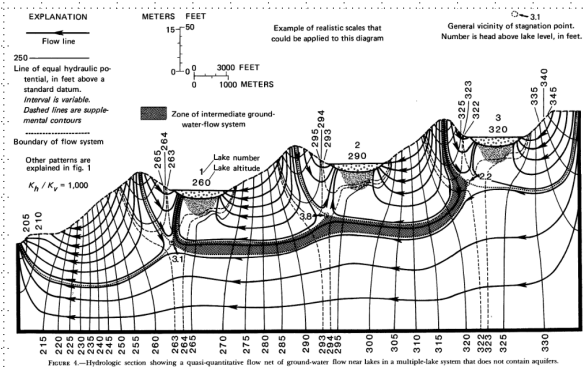
Condiciones de Borde



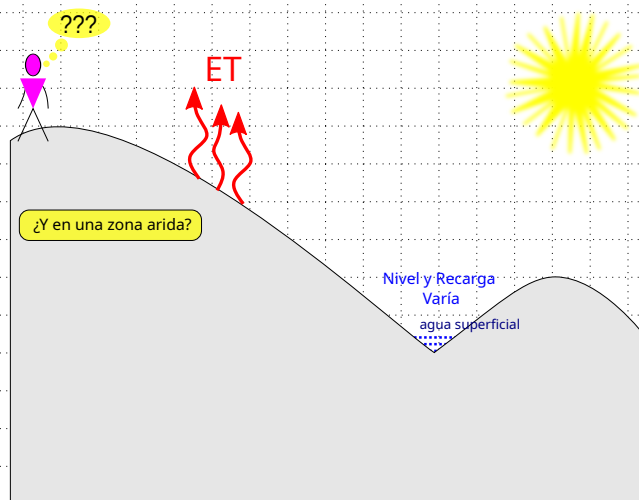
- La anisotropía aumenta el flujo en dirección de máxima K
- Dobla la dirección de flujo
- ¿En que situación la anisotropía no cambia la dirección de flujo?



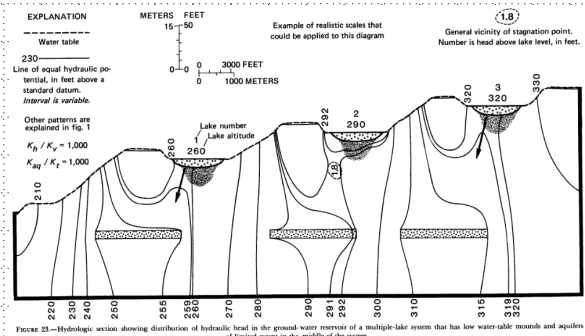
Red de Fluyo (Winter, 1977)



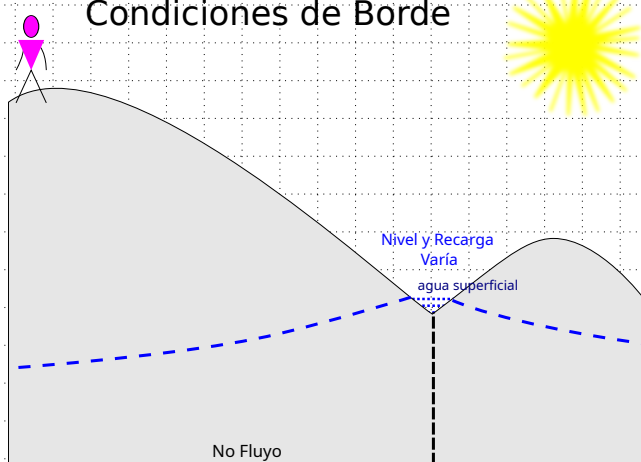
Red de Fluyo: Ambiente Árido



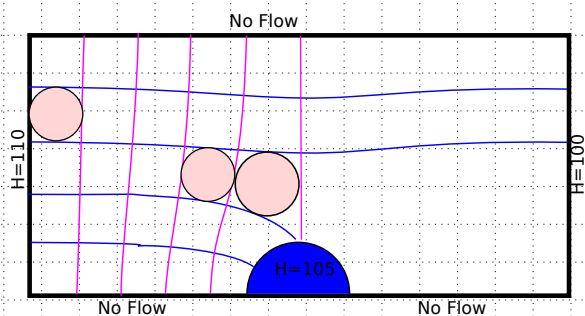
Red de Fluyo (Winter, 1977)



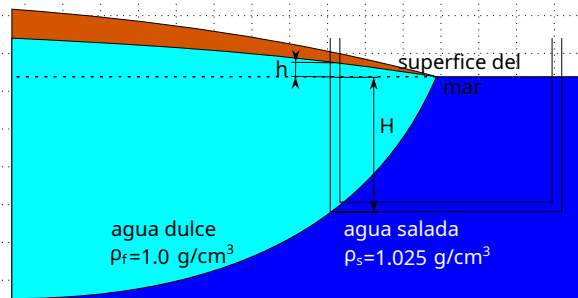
Condiciones de Borde



Construir una Red de Fluyo Gráficamente



Salt Water Intrusion

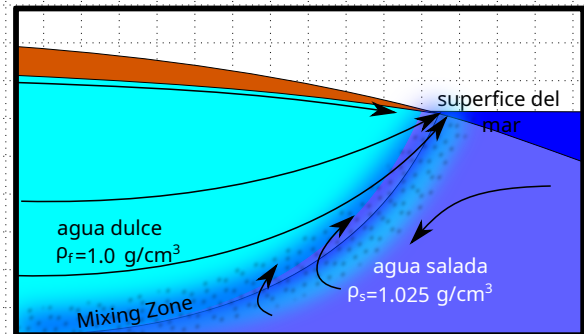


• Suposiciones

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

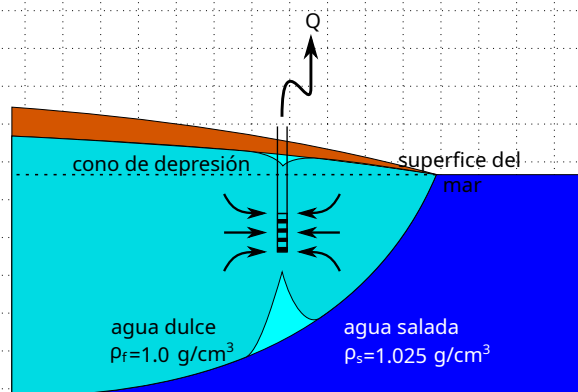
- El modelo de Ghijben-Herzberg es útil pero imposible
- Un modelo un poco más realista tiene 'una ventana' para la descarga del agua al mar

Salt Water Intrusion



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

Salt Water Intrusion



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

Salt Water Intrusion

