

Cálculo de flujo subterráneo generado por bombeo

Christian N. Pfarher, Juan Pablo Garbarino, Marina Castro
Trabajo práctico final de “Métodos numéricos y simulación”,
II-FICH-UNL.

13 de septiembre de 2010

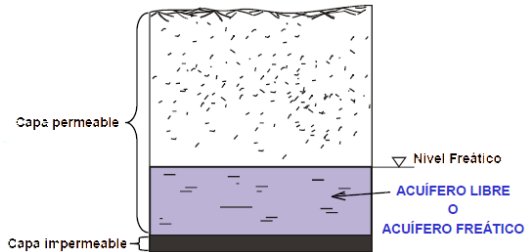
Objetivo	Introducción	Base teórica	Desarrollo del problema	Resultados	Conclusiones	Trabajos futuros	Bibliografía
	○ ○	○○○○ ○○○○	○○ ○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○ ○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○			

Objetivo

Simular el flujo, en un medio poroso (acuífero confinado, homogéneo e isótropo), generado por un par de bombas de extracción de agua en un campo de bombeo y comprobar la existencia o no de algún tipo de interacción entre los pozos de succión de agua.

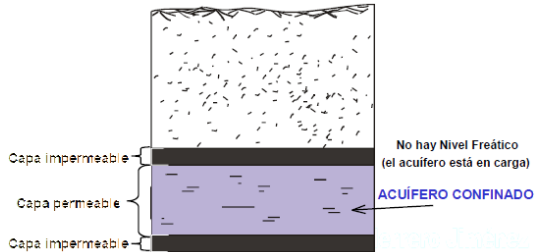


Acuífero Libre o no confinado



Acuífero Confinado

- El caso del problema:



- Homogéneo
- Isótropo

Ecuación de Navier-Stokes

- $T_{dyn} \rightarrow$ basado en la solución numérica de las ecuaciones de *Navier-Stokes* empleando el *FEM*.
- $T_{dyn} \rightarrow$ resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes en tres dimensiones para un fluido incompresible o ligeramente compresible de un dominio Ω dado y un intervalo de tiempo $(0, t)$:

$$\nabla \bullet u = 0 \text{ en } \Omega \times (0, t) \quad (2)$$

- $u = u(x, t)$: denota el vector velocidad,
- $p = p(x, t)$ el campo de presiones,
- ρ la densidad (constante),
- μ la viscosidad dinámica del fluido y
- f la aceleración volumétrica.

- $\Gamma = \partial\Omega$ denota la frontera del dominio Ω , siendo n el vector normal unitario
- g_1, g_2 los vectores tangentes de la frontera $\partial\Omega$,
- u_c es el campo de velocidad sobre Γ_D ,
- p_c la presión sobre Γ_P ,
- σ es el campo de tensiones,
- u_M el valor de la velocidad normal y
- u_0, p_0 los campos de velocidad y presión iniciales
- $\Gamma_D \cup \Gamma_P \cup \Gamma_M = \Gamma$.
 $\Gamma_D \cap \Gamma_P \cap \Gamma_M = \emptyset$. , ya que un punto de la frontera puede ser parte de un único tipo de superficie, a menos que forme parte del borde entre dos de ellas.

Ley de Darcy

Expresa que el flujo de agua en un medio poroso, homogéneo e isotrópico es proporcional a la conductividad del medio poroso o conductividad hidráulica K y a una fuerza conductora o gradiente hidráulico i .

$$Q = K \frac{h_3 - h_4}{L} A = K \cdot i \cdot A \quad (8)$$

donde:



Objetivo	Introducción	Base teórica	Desarrollo del problema	Resultados	Conclusiones	Trabajos futuros	Bibliografía
	○ ○	○○○○ ○○○○	○○ ○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○ ○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○ ○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○			

- 2 geometrías: $G1$ y $G2$
- 2 simulaciones

Geometría G1

- Discretización del área a modelar:
 - **Dominio:** $x = 100 \text{ [m]}, y = 100 \text{ [m]}$
 - Acuífero confinado, homogéneo e isótropo ($K_{xx} = K_{yy} = K_{zz}$)
 - Espesor del acuífero: 20 [m]
- Coordenadas de ubicación de los Pozos de bombeo:
 - Pozo Bombeo 1: $x = 17,5 \text{ [m]}, y = 77,5 \text{ [m]}$
 - Pozo Bombeo 2: $x = 65,0 \text{ [m]}, y = 22,5 \text{ [m]}$
- Caudal de bombeo:
 - Pozo Bombeo 1: $60 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
 - Pozo Bombeo 2: $40 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
- Diámetro del pozo 1 y 2: $0,5[m]$
- Profundidad del pozo 1 y 2: $15[m]$
- Resistencia de la ley de Darcy $k = 0.0000017 \text{ [1/m}^2\text{]}$

Geometría G2

- Discretización del área a modelar:
 - **Dominio:** $x = 200 [m]$, $y = 200 [m]$
 - Acuífero confinado, homogéneo e isótropo ($K_{xx} = K_{yy} = K_{zz}$)
 - Espesor del acuífero: $20 [m]$
- Coordenadas de ubicación de los Pozos de bombeo:
 - Pozo Bombeo 1: $x = 30,0 [m]$, $y = 135,0 [m]$
 - Pozo Bombeo 2: $x = 150,0 [m]$, $y = 50,0 [m]$
- Caudal de bombeo:
 - Pozo Bombeo 1: $60 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
 - Pozo Bombeo 2: $40 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
- Diámetro del pozo 1 y 2: $0,5[m]$
- Profundidad del pozo 1 y 2: $15[m]$
- Resistencia de la ley de Darcy $k = 0.0000017 [1/m^2]$

- acuífero isótropo (homogéneo en todo el suelo)

Propiedades del medio y de los Materiales

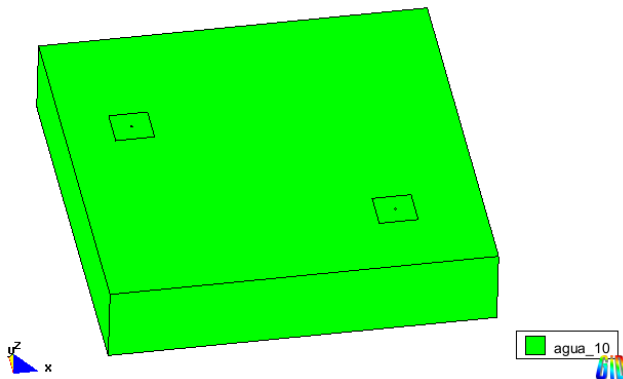


Figura: Material Suelo asignado a la geometría

V fixWall



Figura: Material Wall o Pared asignado a la geometría

Condiciones de Borde

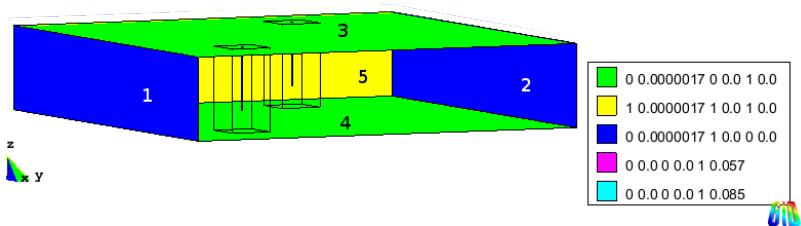
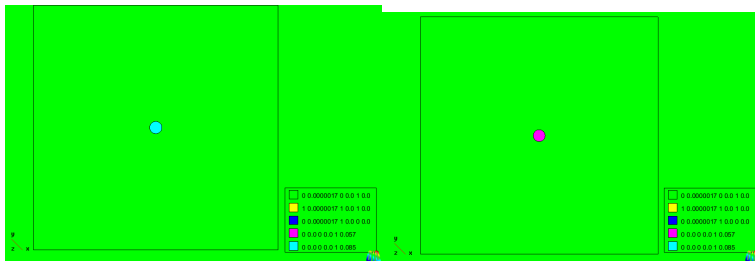


Figura: Velocidades Fijas

Condiciones de Borde



Condiciones de Borde

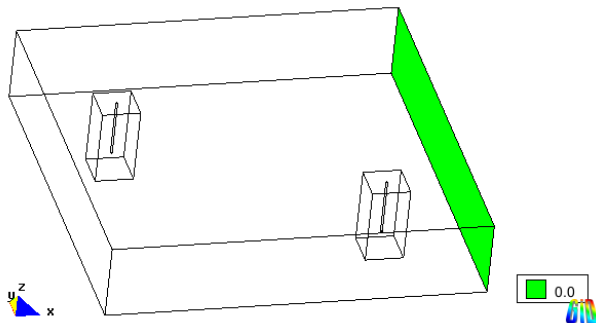


Figura: Condición fija de presión

G1

- Transición de tamaños no estructurados = 0,3.

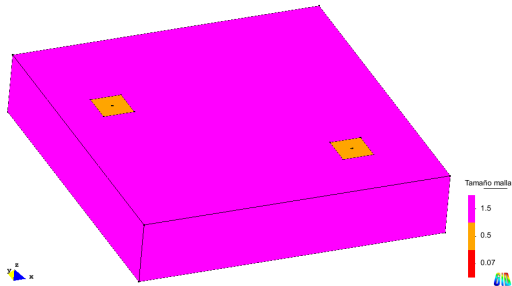


Figura: Tamaños de los elementos de la malla G1- Vista en perspectiva

G1



Figura: Tamaños de los elementos de la malla *G1*- Vista plano XZ

- Transición de tamaños no estructurados = 0,3.

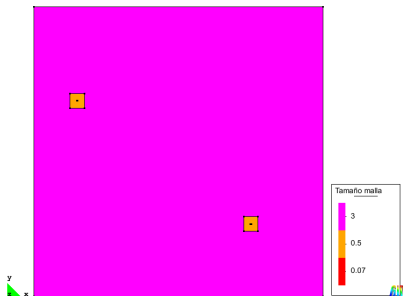


Figura: Tamaños de los elementos de la malla para G2- Vista plano XY

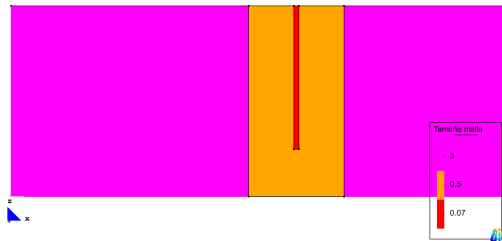


Figura: Tamaños de los elementos de la malla G2- Vista plano XZ

Tipo/Geometría	G1	G2
Número de nodos:	122586	157619
Número de tetraedros:	659027	851671
Número de triángulos:	60952	70582
Número de elementos totales:	719979	922253

Cuadro: Cantidad de nodos, tetraedros, triángulos y elementos totales para *G1* y *G2*

Malla para G1

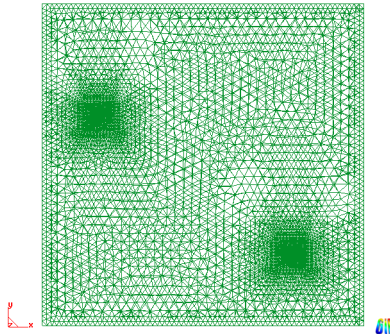


Figura: Mallado generada para G1- Vista plano XY

Malla para G2

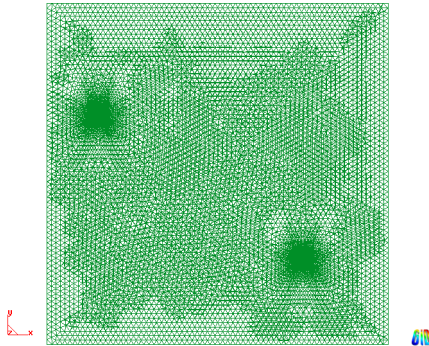


Figura: Mallado generada para G2- Vista plano XY

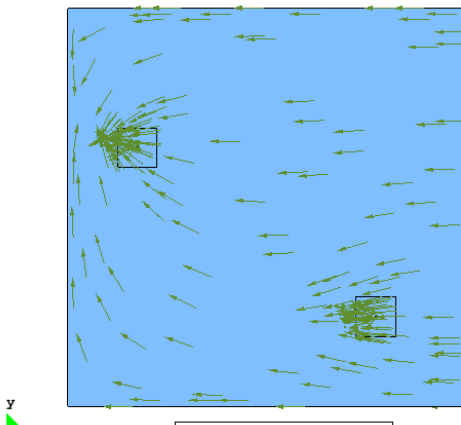
Objetivo	Introducción	Base teórica	Desarrollo del problema	Resultados	Conclusiones	Trabajos futuros	Bibliografía
	○ ○	○○○○ ○○○○	○○ ○ ○○○ ○○○ ○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○ ○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○			
			●				

Ejecución

- 1000 pasos
- $\Delta t = 10 \text{ [s]}$
- 2 h., 46 m., 40 seg.

Resultados para G1

Vectores de velocidad



Resultados para G1

Corte por el centro de los pozos

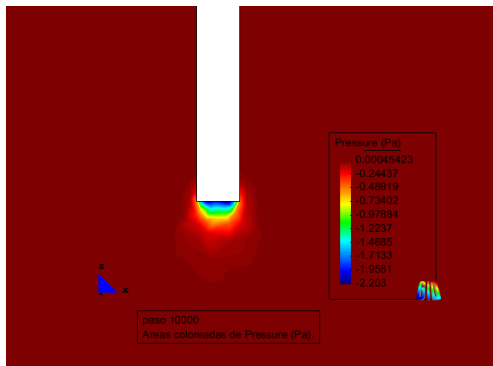


Figura: Presión pozo 1

Resultados para G1

Corte por el centro de los pozos

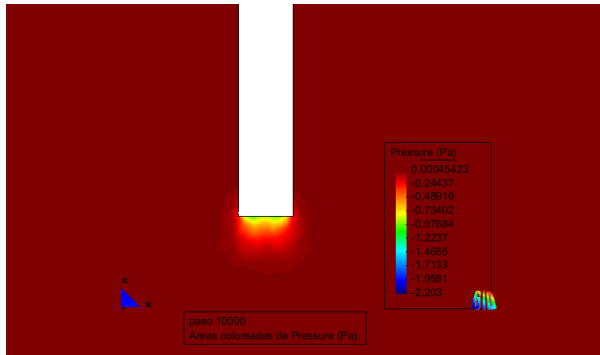


Figura: Presión pozo 2

Resultados para G1

Corte por el centro de los pozos

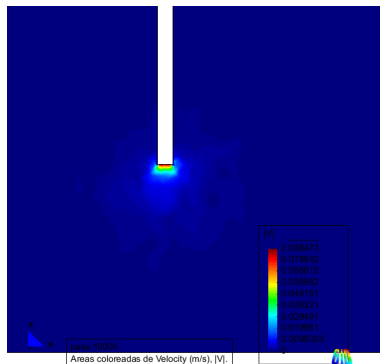


Figura: Módulo de velocidad pozo 1

Resultados para G1

Corte por el centro de los pozos

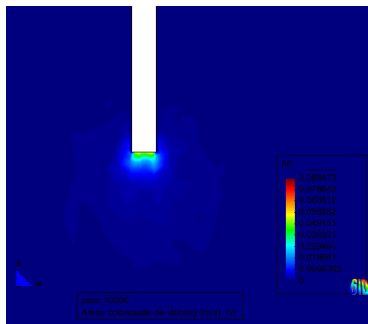


Figura: Módulo de velocidad pozo 2

Resultados para G1

Corte transversal - H

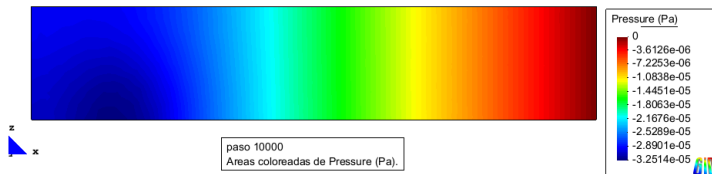


Figura: Corte en $(x_1, y_1, z_1) = (0, 50, 0)$ hasta $(x_2, y_2, z_2) = (100, 50, 0)$ - Vista en el plano XZ - Presión

Resultados para G1

Corte transversal - H

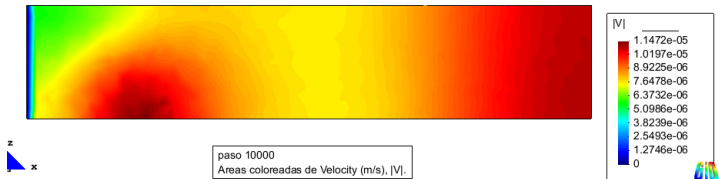


Figura: Corte en $(x_1, y_1, z_1) = (0, 50, 0)$ hasta $(x_2, y_2, z_2) = (100, 50, 0)$ - Vista en el plano XZ - Módulo de Velocidad

Resultados para G1

Corte transversal - V

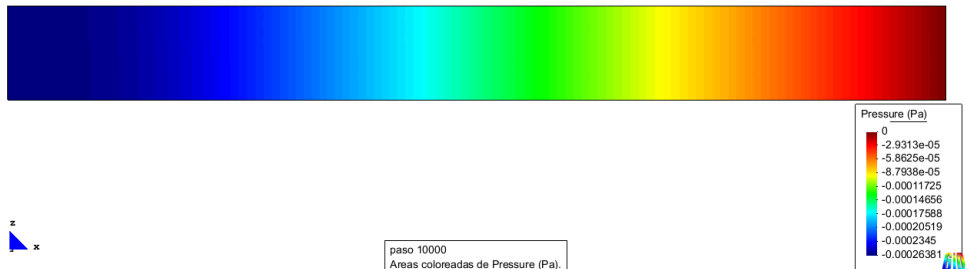


Figura: Corte en $(x_1, y_1, z_1) = (50, 0, 0)$ hasta $(x_2, y_2, z_2) = (50, 100, 0)$ - Vista en el plano XZ - Presión

Resultados para G1

Corte transversal - V

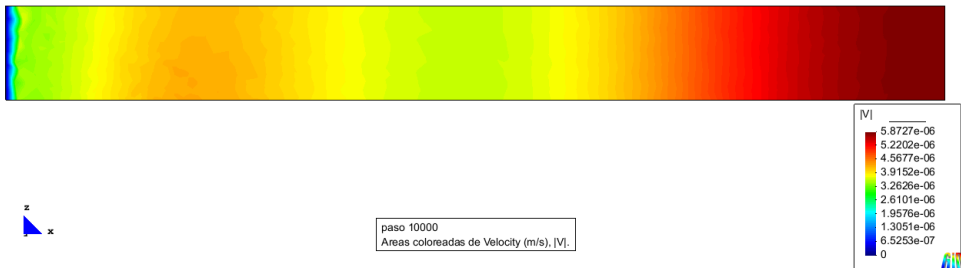
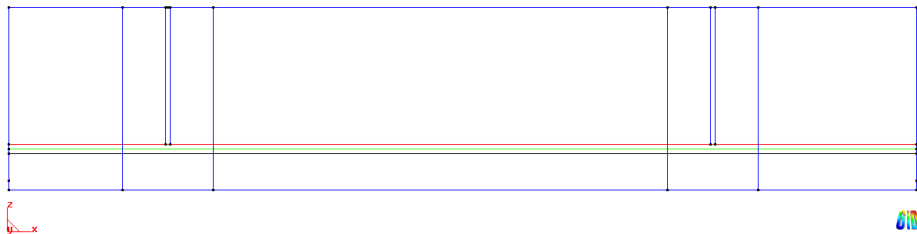


Figura: Corte en $(x_1, y_1, z_1) = (50, 0, 0)$ hasta $(x_2, y_2, z_2) = (50, 100, 0)$ - Vista en el plano XZ - Módulo de velocidad

Resultados para G1

Gráficas de borde



- Línea roja: situada sobre la base de los pozos
- Línea verde: situada a $0,5 [m]$ de la base de los pozos
- Línea negra: situada a $1,0 [m]$ de la base de los pozos

Resultados para G1

Gráficas de borde situada sobre la base de los pozos

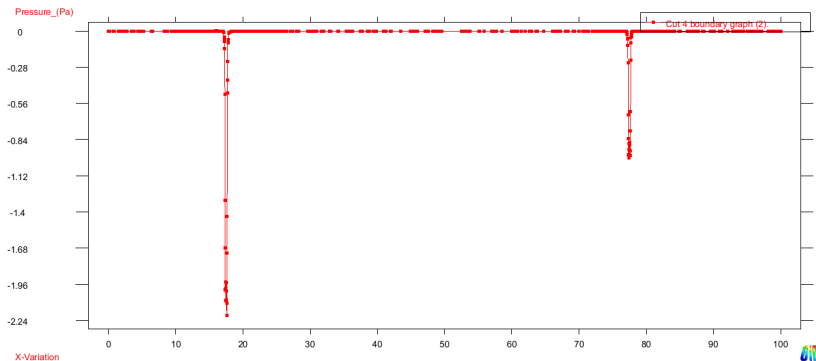


Figura: Presión

Resultados para G1

Gráficas de borde situada sobre la base de los pozos

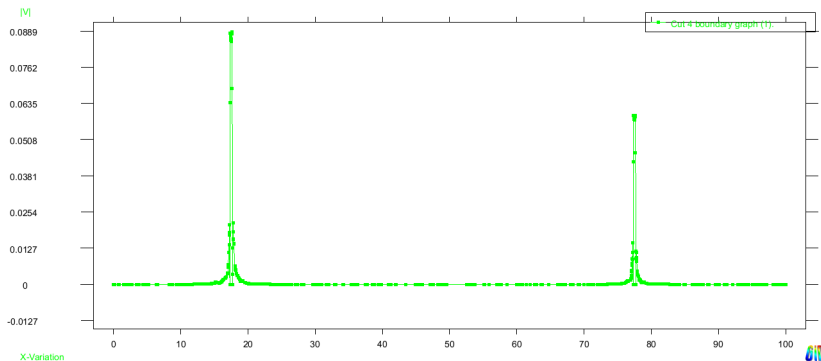


Figura: Velocidad

Resultados para G1

Gráficas de borde situada a $0,5[m]$ de la base de los pozos

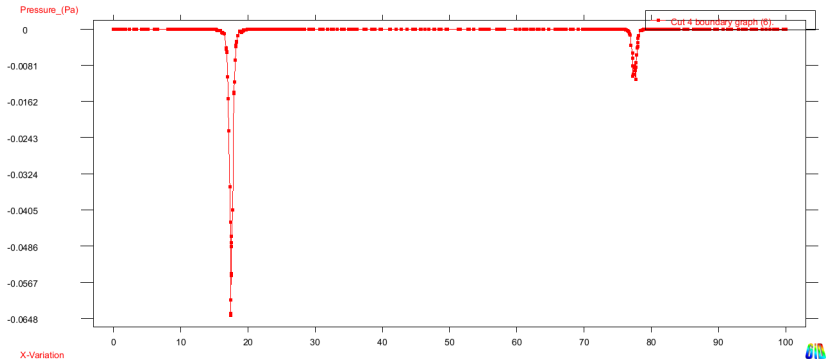


Figura: Presión

Resultados para G1

Gráficas de borde situada a $0,5[m]$ de la base de los pozos

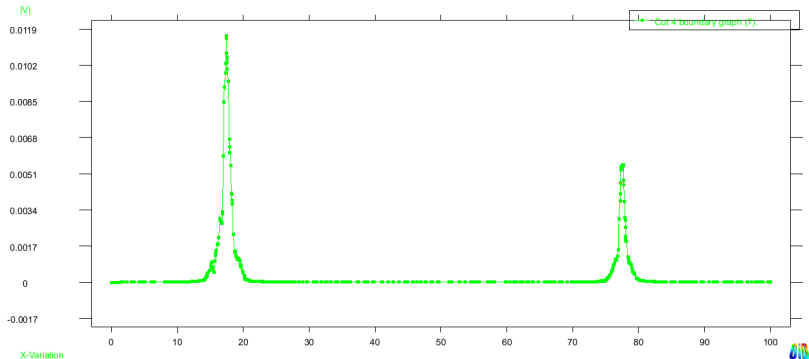


Figura: Velocidad

Resultados para G1

Gráficas de borde situada a 1,0[m] de la base de los pozos

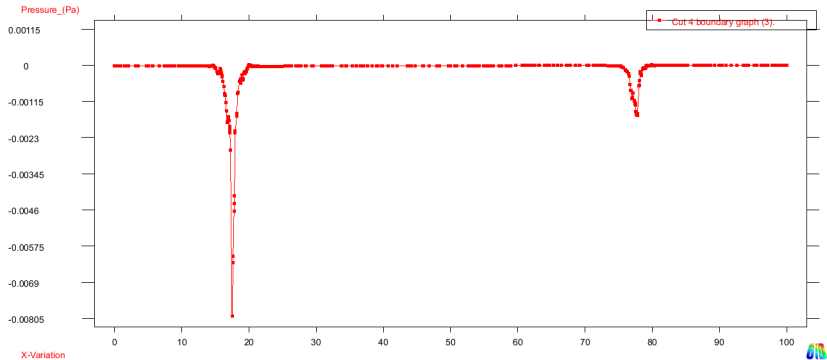


Figura: Presión

Resultados para G1

Gráficas de borde situada a 1,0[m] de la base de los pozos

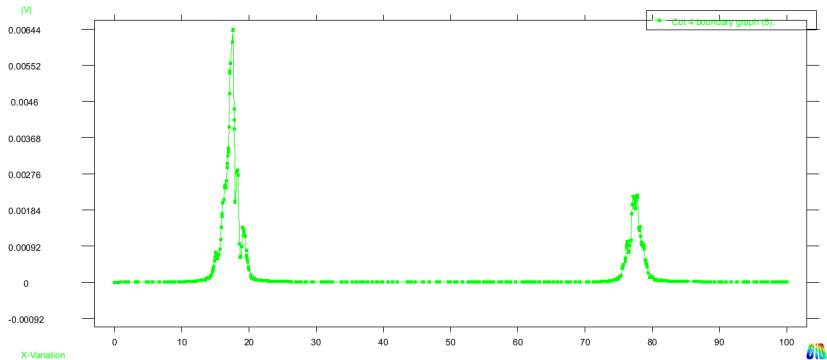
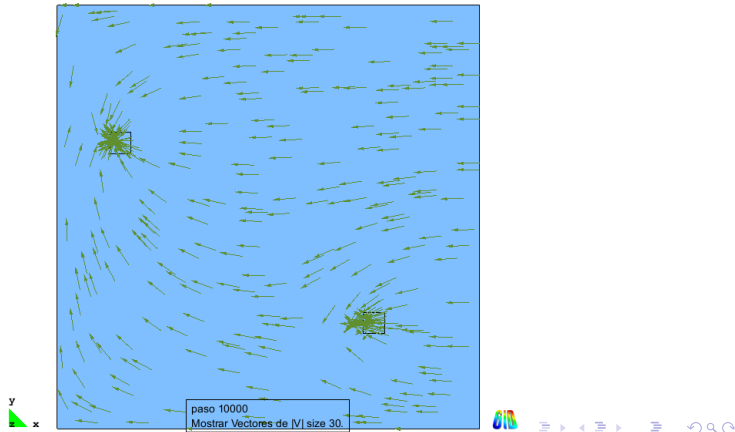


Figura: Velocidad

- a medida que se aleja de las bases de los pozos, módulo de velocidad disminuye y la presión aumenta
- depresión mayor en el pozo 1 que en la base del pozo 2 \rightarrow velocidades de los pozos
- no hay interacción notable entre los pozos \rightarrow Flujo laminar y tipo de medio poroso.

Resultados para G2

Vectores de velocidad



Resultados para G2

Corte por el centro de los pozos

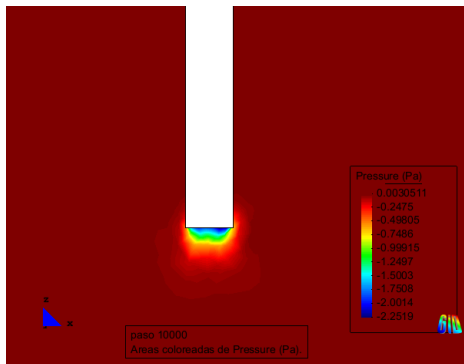


Figura: Presión pozo 1

Corte por el centro de los pozos

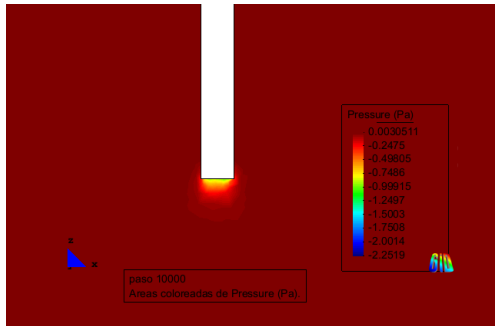


Figura: Presión pozo 2

Resultados para G2

Corte por el centro de los pozos

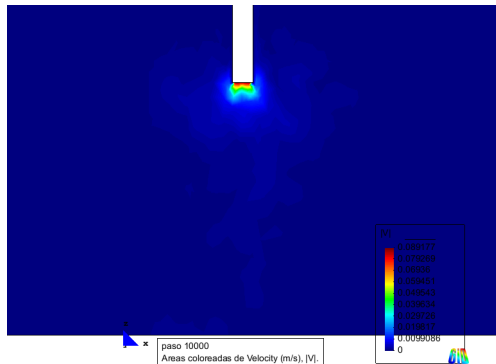


Figura: Módulo de velocidad pozo 1

Resultados para G2

Corte por el centro de los pozos

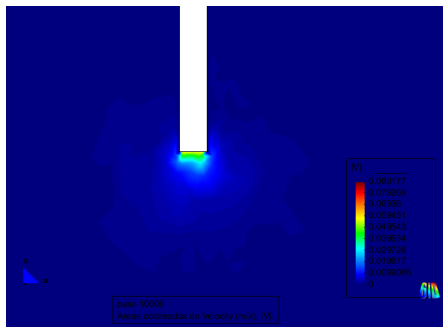


Figura: Módulo de velocidad pozo 2

Resultados para G2

Corte transversal - H

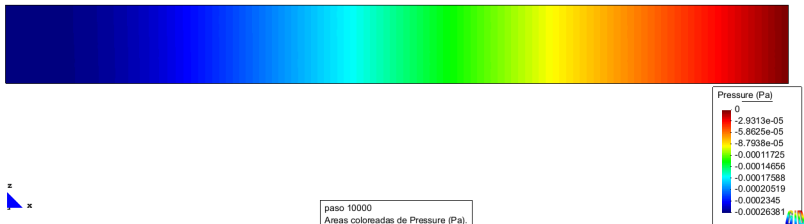


Figura: Corte en $(x_1, y_1, z_1) = (0, 50, 0)$ hasta $(x_2, y_2, z_2) = (100, 50, 0)$ -
Vista en el plano XZ - Presión

Resultados para G2

Corte transversal - H

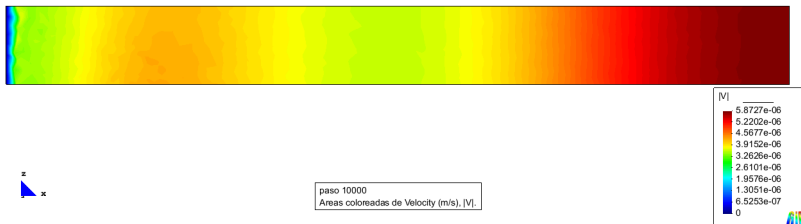


Figura: Corte en $(x_1, y_1, z_1) = (0, 50, 0)$ hasta $(x_2, y_2, z_2) = (100, 50, 0)$ -
Vista en el plano XZ - Módulo de Velocidad

Resultados para G2

Corte transversal - V

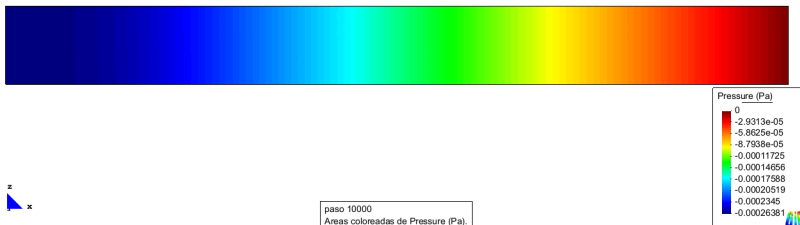


Figura: Corte en $(x_1, y_1, z_1) = (50, 0, 0)$ hasta $(x_2, y_2, z_2) = (50, 100, 0)$ - Vista en el plano XZ - Presión

Resultados para G2

Corte transversal - V

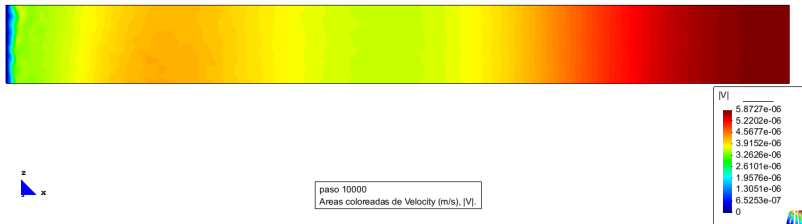
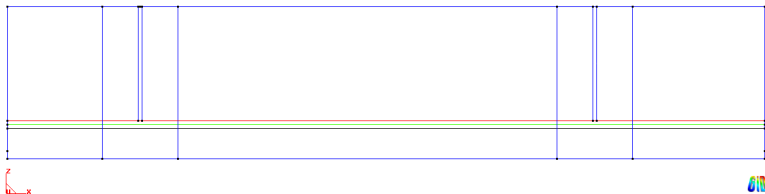


Figura: Corte en $(x_1, y_1, z_1) = (50, 0, 0)$ hasta $(x_2, y_2, z_2) = (50, 100, 0)$ -
Vista en el plano XZ - Módulo de velocidad

Resultados para G2

Gráficas de borde



- **Linea roja:** situada sobre la base de los pozos
- **Linea verde:** situada a $0,5 [m]$ de la base de los pozos
- **Linea negra:** situada a $1,0 [m]$ de la base de los pozos

Resultados para G2

Gráficas de borde situada sobre la base de los pozos

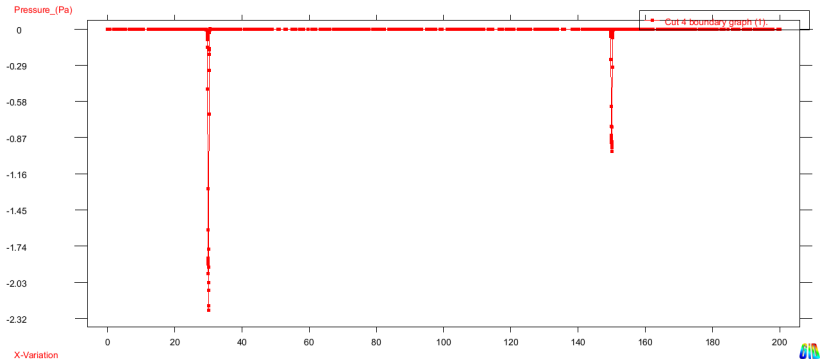


Figura: Presión

Resultados para G2

Gráficas de borde situada sobre la base de los pozos

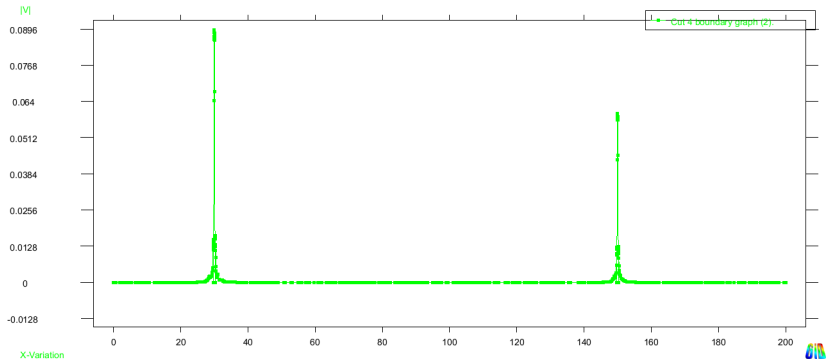


Figura: Velocidad

Resultados para G2

Gráficas de borde situada a $0,5[m]$ de la base de los pozos

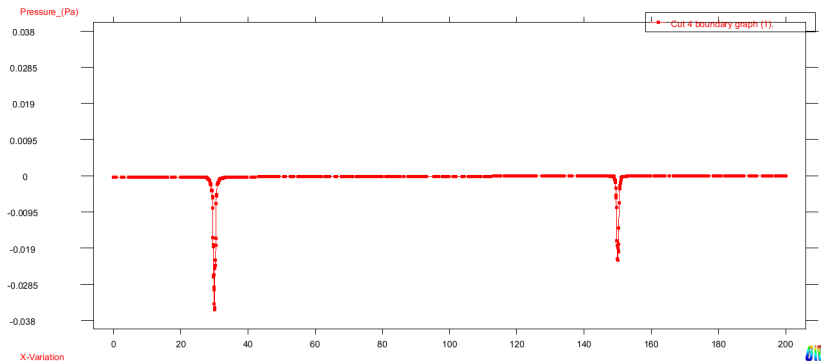


Figura: Presión

Resultados para G2

Gráficas de borde situada a $0,5[m]$ de la base de los pozos

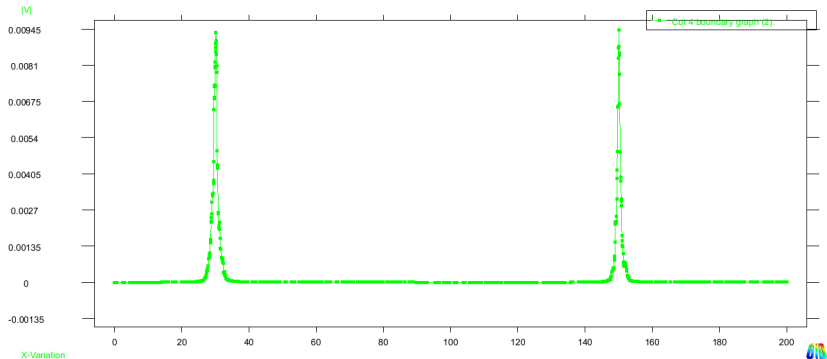


Figura: Velocidad

Resultados para G2

Gráficas de borde situada a 1,0[m] de la base de los pozos

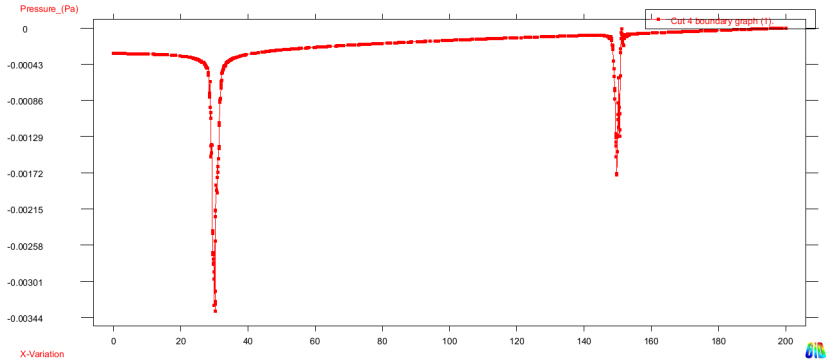


Figura: Presión

Resultados para G2

Gráficas de borde situada a $1,0[m]$ de la base de los pozos

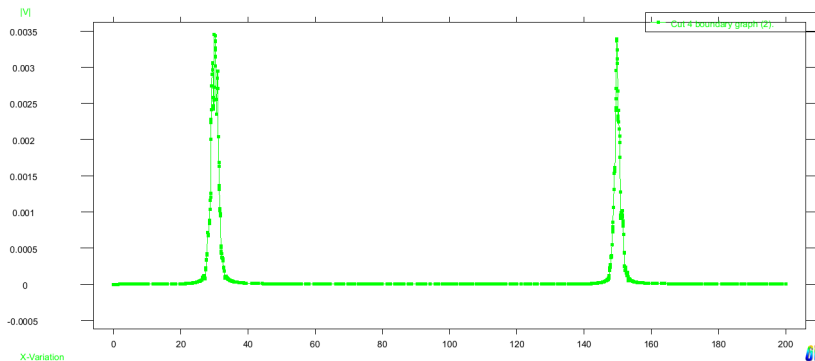


Figura: Velocidad

Objetivo	Introducción	Base teórica	Desarrollo del problema	Resultados	Conclusiones	Trabajos futuros	Bibliografía
	○	○○○○	○○	oooooooooooooooooooo			
	○	○○○	○	oooooooooooooooooooo			
			○○○				
			○○○				
			○○○○○○○				
			○				

Conclusiones

- Se integraron los conocimientos incorporados en la materia *“Métodos numéricos y simulación”*
- Tener dos geometrías de diferentes dimensiones, permitió comparar resultados
- Verificar la interacción (o no) entre las bombas de succión de agua en un acuífero
 - confinado,
 - homogéneo e
 - isótropo
 con un fluido laminar en un medio poroso.
- Se supo identificar los datos y condiciones del problema para aplicarlos al software.
- Se adquirieron conocimientos básicos de Hidrología

Objetivo	Introducción	Base teórica	Desarrollo del problema	Resultados	Conclusiones	Trabajos futuros	Bibliografía
	○	○○○○	○○	oooooooooooooooooooo			
	○	○○○○	○	oooooooooooooooooooo			
			○○○				
			○○○				
			○○○○○○○				
			○				

Trabajos futuros

- Cambiar características del medio poroso - Transmisividad
- Agregado de pozos
- Tamaño del dominio

Objetivo	Introducción	Base teórica	Desarrollo del problema	Resultados	Conclusiones	Trabajos futuros	Bibliografía
	○	○○○○	○○	oooooooooooooooooooo			
	○	○○○	○	oooooooooooooooooooo			
			○○○				
			○○○				
			○○○○○○○				
			○				

Bibliografía

- GID The Personal Pre and Post Processor. Ayuda de **GID 9.04**.
<http://gid.cimne.upc.es/>. 13 de septiembre de 2010, 18:00 hs.
- Compass Ingeniería y Sistemas. Ayuda de **Tdyn3d 5.9.0.11**.
<http://www.compassis.com/compass>. 13 de septiembre de 2010, 18:00 hs.
- Apuntes de la materia “**Métodos numéricos y simulación**”, II-FICH-UNL.
- Zienkiewicz, O.C. y Morgan K. **Finite Elements and Approximation**. John Wiley & Sons Australia, Limited. 1983.
- Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays. **Hidrología aplicada**. McGRAW-HILL. Enero del 2000.