

# Calculo de descensos en un campo de bombeo en medios porosos

Christian N. Pfarher, Juan Pablo Garbarino, Marina Castro

*Trabajo práctico final de “Métodos numéricos y simulación”, II-FICH-UNL.*

12 de julio de 2010

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>3. Base Teórica</b>	<b>3</b>
3.1. Modelo matemático o físico.. ver	3
3.2. Modelo numérico	3
<b>4. Desarrollo</b>	<b>3</b>
4.1. Datos del problema	3
4.2. Definición de Geometría	4
4.3. Propiedades del medio y de los materiales	6
4.3.1. Material Suelo	6
4.3.2. Material Wall o Pared	7
4.4. Condiciones de borde	8
4.5. Mallado	9
4.6. Condiciones temporales	10
4.7. Ejecución	10
<b>5. Resultados</b>	<b>10</b>
<b>6. Conclusiones</b>	<b>10</b>

# 1. Introducción

En el presente trabajo, se presentan los resultados de la simulación de un campo de bombeo en medios porosos. El campo consta de 2 pozos de bombeo de agua que funcionan por 15 horas seguidas.

Para la realización del trabajo se utilizó el software de pre y pos proceso GiD <sup>1</sup>. Mediante el mismo, se utilizó el *módulo de pre-proceso* para la carga de los datos del problema, mientras que para la simulación se utilizó Tdyn <sup>2</sup>(*módulo de post-proceso*).

# 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo, consiste en la simulación de líneas de corrientes y equipotenciales en un campo de bombeo (medio poroso) con 2 bombas de extracción de agua en un acuífero libre (no confinado), homogéneo e isótropo.

# 3. Base Teórica

básicamente es la ecuación de poisson con k representado la permeabilidad.

## 3.1. Modelo matemático o físico.. ver

describir mod mate. son las ecuaciones matemáticas, en nuestro caso las ecuaciones de navier stokes

## 3.2. Modelo numérico

describir mod num. tdyn resuelve en el espacio por el método de elementos finitos y temporalmente hay que fijarse que opción está tildada. \*\*\*\*\*ver\*\*\*\*\*

# 4. Desarrollo

## 4.1. Datos del problema

Los datos que se pudieron obtener del problema son:

- Discretización del área a modelar:
  - Dominio:  $x = 1000 \text{ m.}$ ,  $y = 1000 \text{ m.}$
  - Acuífero libre, homogéneo e isótropo ( $K_x = K_y = K_z$ )
  - Espesor del acuífero:  $20 \text{ m.}^*$
- Ubicación de los Pozos de bombeo:
  - Pozo Bombeo 1:  $x = 150 \text{ m.}$ ,  $y = 650 \text{ m.}$
  - Pozo Bombeo 2:  $x = 750 \text{ m.}$ ,  $y = 250 \text{ m.}$
- Caudal de bombeo:
  - Pozo Bombeo 1:  $60 \text{ m}^3/h$
  - Pozo Bombeo 2:  $40 \text{ m}^3/h$
- Filtro: Tramo filtrante de  $15 \text{ m.}$  de longitud\*
- Transmisividad:  $600 \text{ m}^2/d$
- Coeficiente de almacenamiento:  $5 * 10^{-2}$  creo que este no lo usamos... ver

---

<sup>1</sup><http://gid.cimne.upc.es/>

<sup>2</sup>es un entorno tridimensional de análisis fluidodinámico (CFD) y multifísica basado en el método de los elementos finitos estabilizado

- Porosidad efectiva:  $5 * 10^{-2}$

\* Debido a problemas que se explican en el desarrollo del presente trabajo hay que aclarar que tanto el tramo filtrante como el espesor del acuífero se aumentó en un factor de 10, es decir los valores finales fueron de  $150m.$  y  $200m.$  respectivamente.

## 4.2. Definición de Geometría

Para la geometría en tres dimensiones se tiene los siguientes datos: En las figuras 1, 2 y 3 se pueden observar las dimensiones de las geometrías según los datos del problema. Hay que aclarar aquí que el cuadrado de  $300 m. \times 300 m.$  que se visualiza en la figura 2 como el rectángulo de  $400 m. \times 300 m.$  en la misma figura, solo fueron dibujados con el objetivo, de a posteriori, realizar un refinamiento del dominio en la zona que más interese visualizar.

- Número de puntos: 33
- Número de líneas: 52
- Número de superficies: 28
- Número de volúmenes: 3

\*\*\*\*\* aclarara aca lo de los redimensioneamientos y demas... \*\*\*\*\*

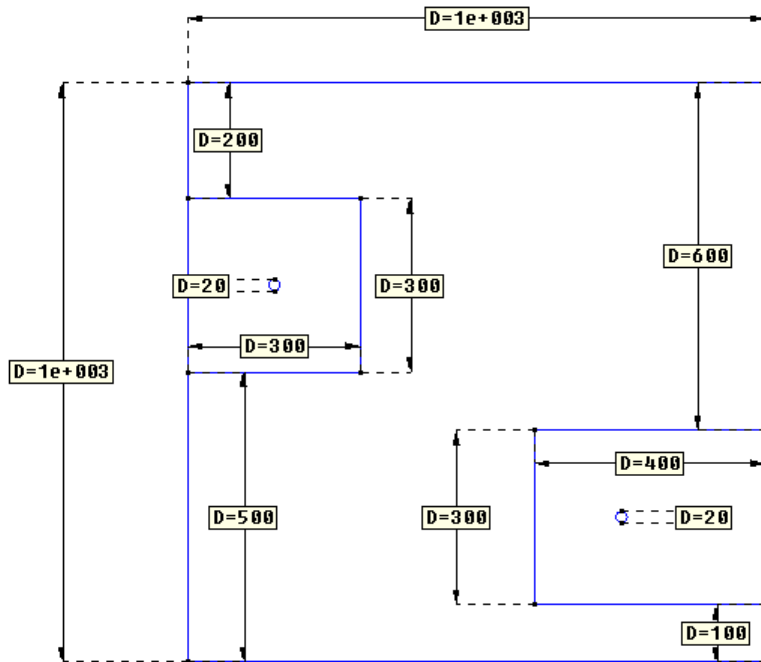


Figura 1: Vista General de las cotas en el Plano XY

En la figura 4 se pueden observar las generaciones de las superficies (color magenta) y volúmenes (color cyan) de la geometría.

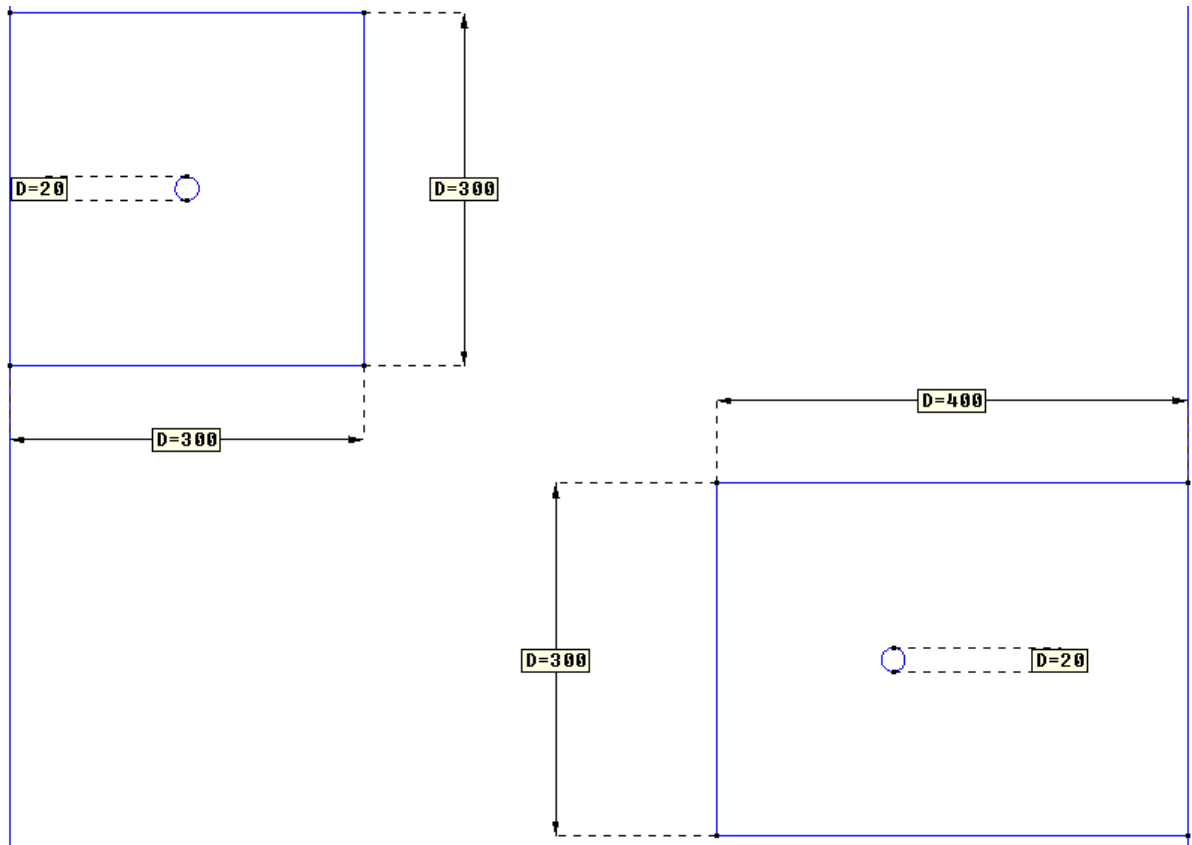


Figura 2: Vista en detalle (pozos) de las cotas en el Plano XY

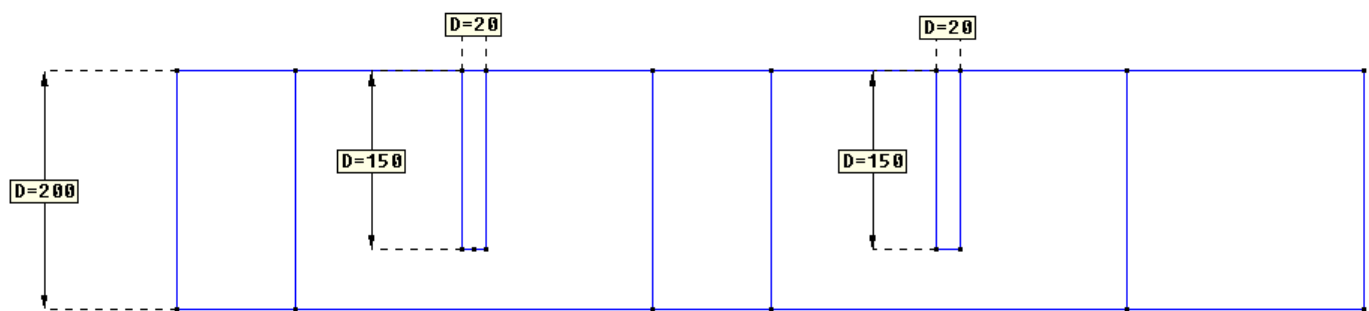


Figura 3: Vista en de las cotas en el plano YZ

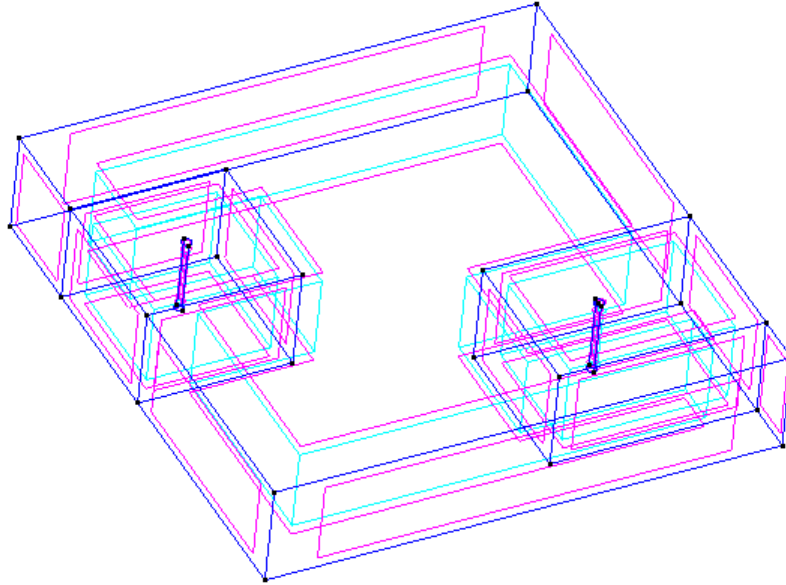


Figura 4: Superficies y Volúmenes de la Geometría

### 4.3. Propiedades del medio y de los materiales

A partir de los datos del problema se tuvieron que realizar conversiones de unidades y el cálculo de diferentes valores para ser ingresados en el programa GID.

#### 4.3.1. Material Suelo

En la pestaña ransol de la ventana de materiales de fluidos para el material suelo de se introdujeron los siguientes valores:

- Modelo de Fluido: Incompressible
- Densidad:  $999,7 \text{ Kg/m}^3$  (agua a  $10^\circ\text{C}$ )<sup>3</sup>
- Viscosidad:  $0,001307 \text{ Pa.s}$  (agua a  $10^\circ\text{C}$ )<sup>4</sup>
- Resistencia de la Ley de Darcy: quizás explicar que corno y como se haya este coeficiente de 0.0000017 y que representa la ley de darcy.. porosidad del suelo...  
silvina: Ley de resistencia de darcy: es la ley que habla de la velocidad que tiene el agua para moverse dentro del medio poroso. Hay 6 valores porque este coef puede ser homoganeo en todo el suelo, esto se llama suelo isotropico, es el que tiene el mismo coef de trasmisividad en todos los sentidos: x,y,z. Cuando el suelo tiene distinto coef se usa toda la matriz que es lo real y lo normal. A los fines del cálculo lo usamos como isotropico, entonces solo completamos la diag principal y con el mismo valor (hay que ver el tema de la unidad, porque esta distinta a los datos).

$$\begin{pmatrix} 0,0000017 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0000017 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0000017 \end{pmatrix} 1/m^2 \quad (1)$$

<sup>3</sup>según datos obtenidos de Tabla-libro ...

<sup>4</sup>según datos obtenidos de Tabla-libro ...

Debido a que se está en presencia de un acuífero isótropo, en (1) se puede observar que sólo la diagonal principal de la matriz tiene valores diferentes de cero.

En la figura 5 se puede observar la asignación del material definido a la parte del dominio correspondiente.

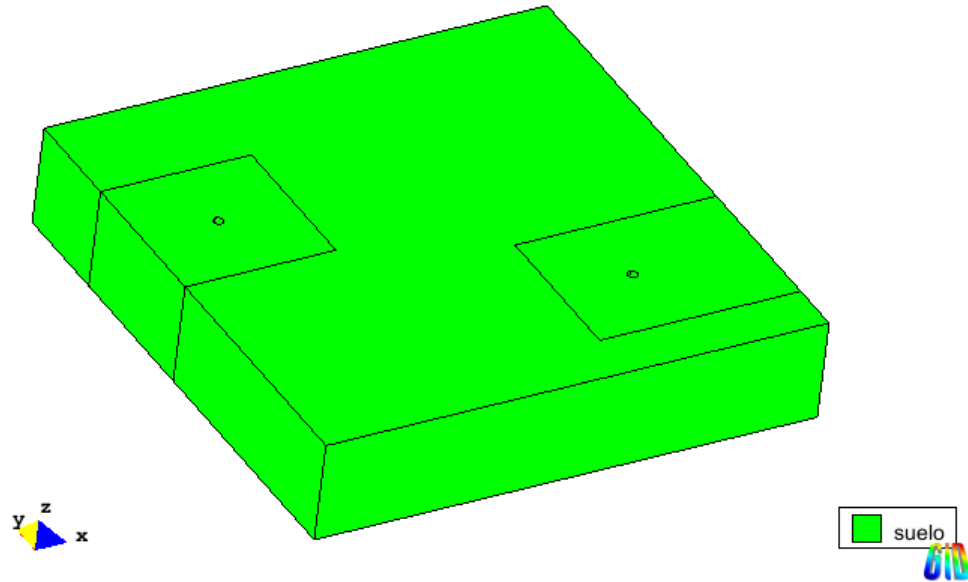


Figura 5: Material Suelo asignado a la geometría

Características de Fluido: Flujo laminar, se comporta como viscoso por la velocidad lenta. que onda esto????

#### 4.3.2. Material Wall o Pared

En la ventana de contornos fluidos se asigno a las paredes de ambos pozos el contorno definido por defecto Wall. El tipo de contorno seleccionado fue el *fixWall* con el ángulo por defecto de  $60^\circ$ . De esta manera se creo la condición para hacer notar que no había penetración de agua en dicha superficie. En la figura 6 se puede observar el material asignado a ambos pozos.

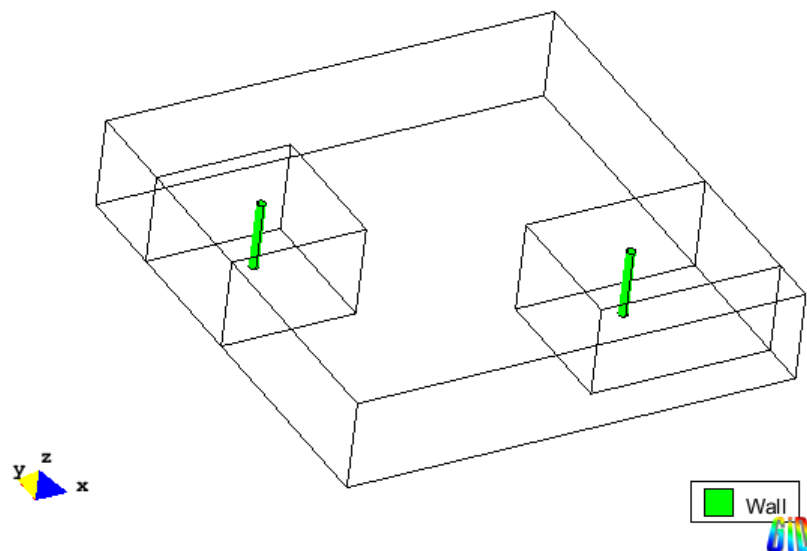


Figura 6: Material Wall o Pared asignado a la geometría

#### 4.4. Condiciones de borde

Condiciones de contorno: sacarlas del proyecto, enumerarlas y decir que representa cada condición en nuestro problema. Recordar que tenemos una condición que es la que calcula la función.

(velocidad de campo) Libre x, libre y, (lo muestra al revés). Porque incorporo componentes los valores están incorporados en data. que deslice en x y y. (fijamos z). el flujo puede ir volver avanzar y retroceder pero no puede subir y bajar. El value field está en 0 porque lo calcula el código.. al no fijarlo el código lo calcula el movimiento va a ser adentro del dominio. se lo asigno a la superficie de arriba está desvirtuado por el tema de la lluvia porque la magnitud está en otro sentido....

En los softwares específicos de hidrogeología, fijate que acá tenes el esquema de cálculo que es una malla muy gruesa en dos dimensiones, que te va a dar isocurvas de niveles. Se va a ver como esto va bombeando y ese nivel de agua cerca de la bomba va ir deprimiéndose formando el cono de descenso. Eso, así de esa forma acá no lo vamos a poder hacer, porque para poder hacer eso en 3D (en 2D si se puede) tenes que tener un soft que distinga entre suelo no saturado y suelo saturado. En el suelo saturado las ecs de gobierno son distintas a las del no saturado. El soft que tenemos solamente tiene las ecs de gob del suelo saturado, el no saturado tiene un modelo mucho más complejo, en realidad estos modelos son bidimensionales porque no calculan el flujo en suelo saturado, lo que calculan sería la curva, la interfaz, sería la sup que los separa, nada más, sería la ubicación de esa sup que distingue zona saturada de la no saturada. que tiene ecuaciones simples, pero no calcula detalles del flujo, este modelo calcula el flujo en suelo saturado.

Se coincidiera que se está en presencia de un estrato de suelo saturado (esto es saturado de agua). Vamos a tener líneas equipotenciales (unión de líneas de igual potencial hidráulico) las cuales son perpendiculares a las líneas del flujo y serían valores de presión que ejerce el agua sobre el suelo. Esas líneas equipotenciales van a ser equivalentes en interpretación a las líneas de superficie que se calculan tradicionalmente en hidrología.

Coef de transmisividad: cuanto más chiquito es más lento se mueve el agua en el suelo.

Tenés las propiedades del suelo, que serían equivalentes a los parámetros del modelo, los parámetros de las ecuaciones de gobierno; Y las condiciones de borde serían los valores de contorno, de arranque (son particulares del problema).

El fluido es incompresible. La densidad y viscosidad del agua se saca en función de la temperatura, que le pongan a 10 grados la viscosidad está bien... 1 y 1 como está por defecto no, es muy viscoso eso... Esto serían las propiedades del material que son los parámetros del modelo, ahora falta poner los caudales de salida, problem data-¿conditions-¿ransol., acá vamos a aplicar este caudal de bombeo, acá ya sabemos que este caudal es variante en el tiempo, pero acá no podemos poner esos datos, las condiciones en este modelo se ingresan como velocidad o como presión, entonces podemos poner una presión negativa para arriba que chupe, o una velocidad de salida, hay que ver, yo sé que para estos casos Gerardo estuvo haciendo cálculos y por ahí alguno es medio conflictivo, podemos empezar probando con velocidad. La velocidad la sacamos con Caudal= velocidad por área. El área es la del pozo. ¡Acá está la duda de que diámetro tenían los pozos... creo terminamos poniendo 0,5¿.

[20:55] Adentro del tubo no hay suelo, hay agua, el tubo va a tener un material distinto. Todo el suelo va a tener un valor del coef ¿transmisividad? ¿determinado que lo tenemos que sacar... pero ahí adentro no va a haber suelo, entonces todos estos parámetros van a ser cero. Cuando asignamos esos parámetros al suelo se le asigna al volumen, no a la sup. Ahí ya establece los valores de viscosidad a 0 grados..., 25, pero esto acá no lo pongan así como está, copiándolo porque no andaba muy bien, copien para 25 grados la densidad, la viscosidad en 8,6. A esto copiándolo y crean una capa que se llama fluido y ahí ponen esos valores. ¡Acá le preguntamos si a 25 grados, porque antes había dicho 10 y dijo que sí, porque es más o menos lo mismo, no varía tanto, en realidad sería la temp que está el agua¿. Esta sería la capa fluido, esto se le asigna al volumen del pozo.

¡Acá había un problema con el volumen del pozo¿

vamos a material-¿fluid y ahí lo asignas con las propiedades del agua, en este caso la matriz te queda en cero porque es agua, lo único que variaría es la viscosidad según la temp. Después crean uno nuevo "suelo" lo hacemos para el campo y ponen los valores, hay que ver que valor transmisividad le ponemos, esto va al volumen de todo el campo, los cubos de los pozos también.

Al valor de velocidad se lo ponemos en la superficie de arriba. Entonces a esta superficie le van a poner un valor de velocidad que va para arriba.

[39:00] Esto hay que aplicarlo con condition-¿ransol porque usamos fluido. Entonces donde ponen las condiciones para ransol le muestra todas opciones. Como condición podemos poner la vel o la presión, la vel se puede reemplazar en este caso por una presión negativa (hay valores equivalentes). Elegimos superficie para fijar la velocidad, no fijamos la velocidad en el volumen porque dejamos que el programa lo calcule. En una simulación, el lugar donde vos querés observar que pasa, ese lugar no tiene que tener condiciones, las cond tienen que estar lo suficientemente alejadas para que esa condición que es fija y que termina siendo no tan real, que esa parte



no tan real de tus condiciones no influya en lo que vos quieres ver... Aca seleccionas superficie, fijar velocidad y fijamos en las 3 dimensiones, en z sería el valor ese. Sería positivo porque es hacia arriba.

La pared del cilindro va a ser una barrera física porque afuera del cilindro está el suelo, y el agua quieta cuando la bomba empiece a funcionar va entrar a moverse hacia adentro del tubo, este agua va a querer bajar y este cilindro va a ser un obstáculo. Este cilindro va a ser una pared sólida que va a estar entre el material líquido y el suelo, el flujo la va a tener que pasar, no a través de ella sino esquivando. La velocidad del agua en contacto con la pared es cero. Hay que darle al modelo el dato de que esta es una pared, y se lo damos dándole un valor de velocidad 0. Le fijamos la velocidad con la que chupa la bomba. y para la pared del pozo usamos en boundary un contorno de un fluido, este boundary lo llama wall. Bueno acá hay distintas opciones, estas opciones son las famosas leyes de pared. Las leyes de pared son modelitos matemáticos que se aplican en este sector. El código calcula en la malla de elementos finitos hasta cierto sector, como entre este espesor y la pared el gradiente de velocidad es tan importante, para poder simularlo bien con la malla de EF, habría que hacer una malla muy fina y aumentaría el costo computacional, entonces se meten parches al modelo que hacen un cálculo en esa zona, calculan esa zona sin la necesidad de una malla tan refinada, esos parches se llaman leyes de pared. v fix wall es una lineal y esa es la que vamos a usar, porque para los otros necesitas más parámetros, el ángulo es para casos más complicado, lo dejamos así. Aca seleccionamos las dos sup.

Le pedí que me muestre todos los contornos y tenemos pared en azul y velocidad del fluido en verde.

[58:00] Falta agregar la recarga, la recarga viene de la superficie y se puede aplicar distribuida. Le pueden aplicar 2 o 3 impulsos, eso serían las lluvias. ustedes lo tienen en mm por año. jaca hace los cálculos de la lluvia. Hay que traducirlo a velocidad para introducirlo en el modelo. En un año 4 centímetros, es lo que subiría la napa.

¡Acá habla de la función de extracción, porque eran 15 horas por día, que eso no creo que lo hagamos! Deberíamos cambiar fix velocity por velocity field para lo de la función...

¡hasta la hora 20 seguimos hablando de cómo poner la función de lluvia y de bombeo!

Esta es una simulación variante en el tiempo se debería ver que el flujo sube y se estanca, se sube y se estanca... Todo depende del delta del tiempo de simulación porque la simulación cuando el delta t es más chico converge más fácilmente, acá se necesitan delta t grandes para simular todos esos días.. si no da deberemos disminuir el delta t de cálculo y achicar el tiempo de cálculo (en vez de 40 días menos..). primero hacer cálculo con caudal fijo constante.. Velocidad de la lluvia: fix velocity (en z negativa)

Resumen condiciones:

\* Son los dos pozos condición de borde (velocidad del pozo en la superficie s1 y s2. \* Velocidad de lluvia = -0.05 m/s....

Pared (Boundary) \* Vfixwall (s4 y s5) costados del pozo..

Que pasa en las paredes externas? -¿van a tener condiciones libres el agua va a poder moverse libremente. para abajo no va a haber intercambio porque es un estrato impermeable condición de no penetrabilidad en la pared (no puede haber movimiento hacia abajo de la pared) -¿se setea la velocidad en el sentido de z (sobre la pared). condition ransol superficie fijamos la velocidad solamente en z con el valor 0. asignamos a toda la sup de abajo.

paredes de los costados: el flujo se debería poder mover libremente... de las ecuaciones de Navier Stokes (tiene como variable la velocidad (vector) y la presión (escalar)). ————— k = conductividad 1 m<sup>2</sup> o 1 darcy

le decimos que en este sentido no hay pérdida.. la velocidad en este sentido no haya ingreso (va a ser cero la normal) no va a poder penetrar por los costados. para decirle que el flujo va a tener un cierto sentido. ponemos que la velocidad (la normal que es y debe ser 0) poner X=0.0000017 y Y=0 y Z=0 a las de los costados fijo solamente Y=0 y la de salida le ponemos una condición de presión porque el modelo la presión la calcula por incremento. le damos un valor de referencia para que calcule la presión. fix pressure =0.

velocity field -¿te referencia el general)

parámetros de cálculo:

problem data: análisis fijamos el paso de tiempo y delta t

.cnd condiciones

.g geometría

.mat materiales

problem: variables del tiempo

\*\*\*\*\*

## 4.5. Mallado

- Número de nodos: 118551

- Número de tetraedros: 651913. En la Fig. 7 se puede observar la calidad del mallado.
- Número de triángulos: 43082. En la Fig. 8 se puede observar la calidad del mallado.
- Total de elementos: 694995

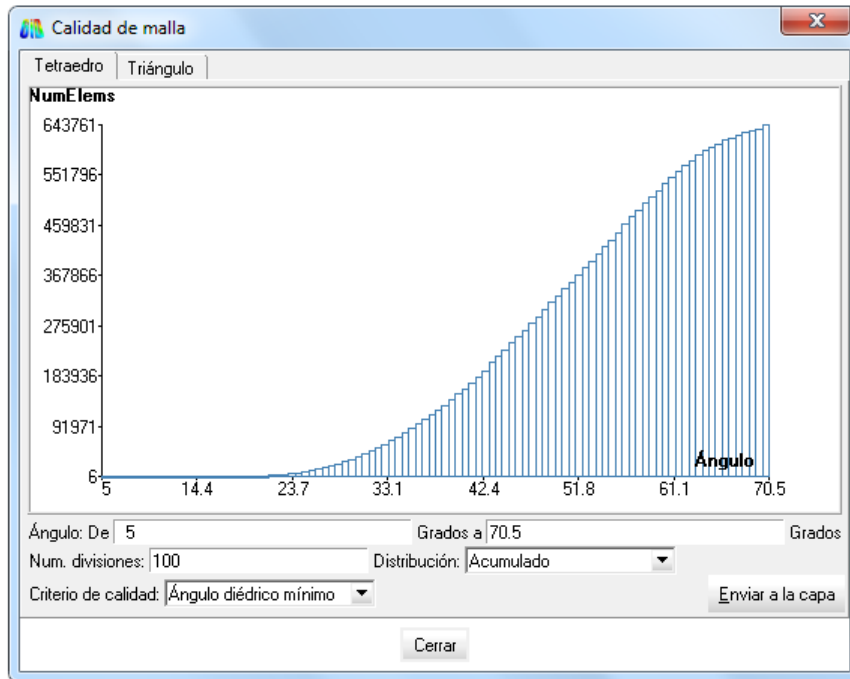


Figura 7: Calidad de la Malla - Tetraedros

#### 4.6. Condiciones temporales

describir como oelegimos en

#### 4.7. Ejecución

cambiar el titulo esto es como se llevo a cabao la corrida

ver graficos en un nodo o punto la evolucion de una variable. -¿point evolution -¿velocity-¿module-¿elijo un nodo

### 5. Resultados

v(veloc) -¿lineas de flujo/vect p-¿equipotenciales realizar cortes

lo que vamos a ver va a ser las equipotenciales (lineas de presion que son perpendiculares al flujo).siempre es contraria a la linea de velocidad

### 6. Conclusiones

si el mod respondio que problemas tuvimos? ahi hacer mencion al pozo grande y tiempo de calculo... pozo real vs pozo simulado

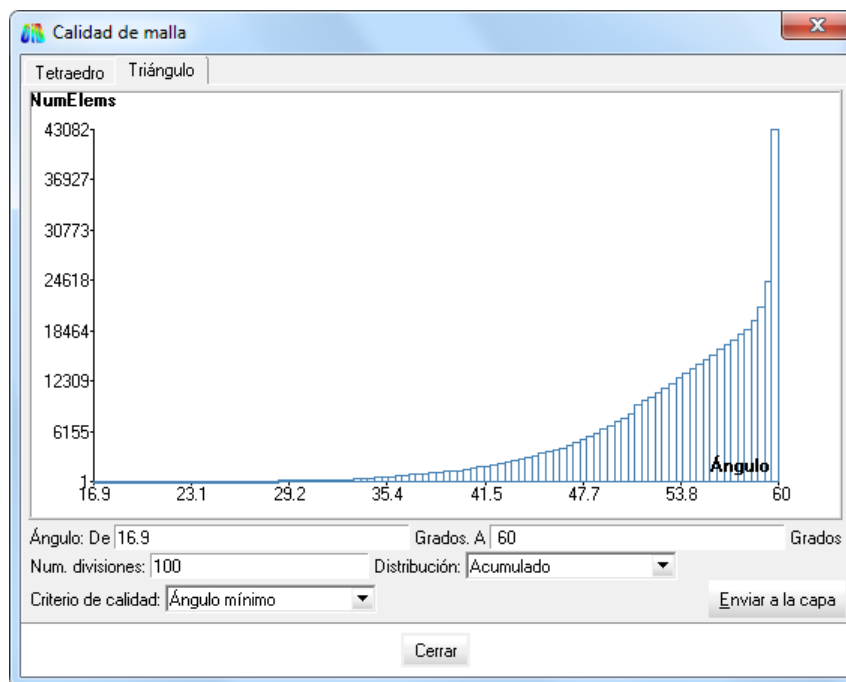


Figura 8: Calida de la Malla - Triángulos

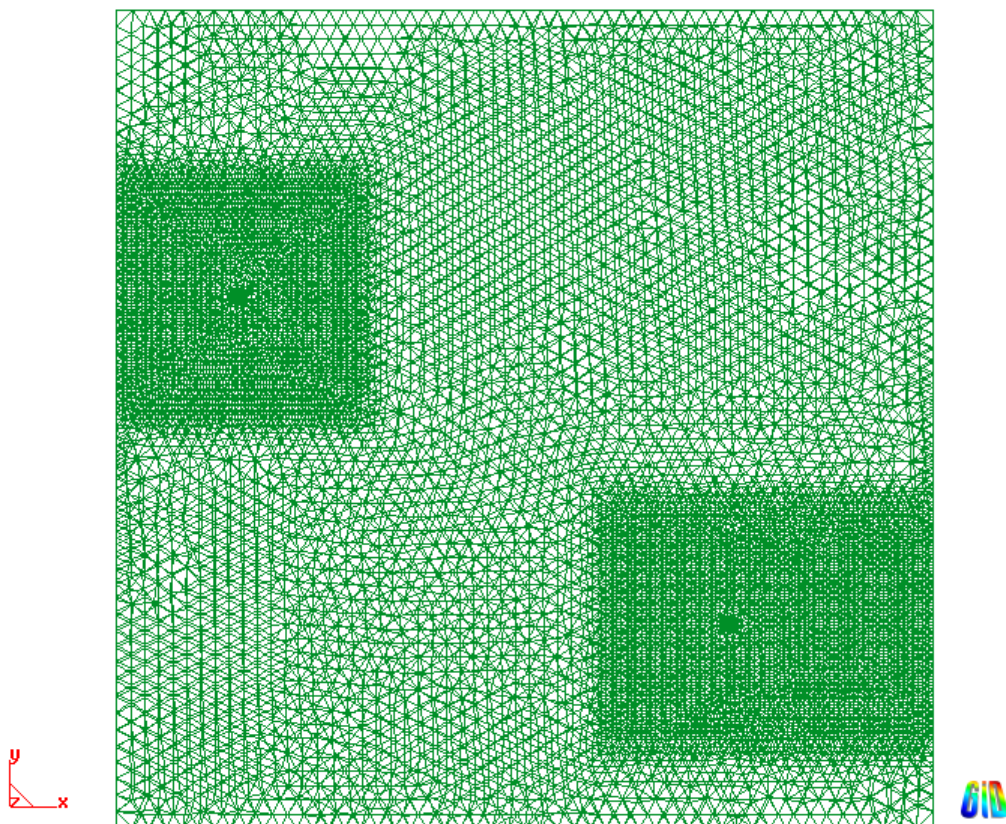


Figura 9: Vista en el plano XY de la malla