

## TUTORIAL 1 Visual MODFLOW CONSTRUCCIÓN DE UN PROBLEMA DE FLUJO

### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los objetivos que se pretende que alcance el alumno al final de este tutorial son los siguientes:

- Demostrar mediante ejemplos lo fácil que resulta la creación de nuevos modelos de flujo.
- Estudiar diferentes configuraciones de un modelo de flujo, de manera de poder utilizar variadas condiciones de borde, y visualizar los resultados obtenidos, tales como equipotenciales, velocidades y direcciones de flujo.

Para la realización del presente tutorial, se recomienda seguir los pasos siguientes.

### MODELO 1: CONDICIONES DE BORDE DE NIVEL CONSTANTE

**Paso 1:** Abrir programa MODFLOW 2.8.1.

**Paso 2:** File → New.

En la Pantalla aparecerá el siguiente cuadro, donde se proporcionan las principales características geométricas y de unidades a utilizar durante el desarrollo del trabajo.

The screenshot shows the 'New Model' dialog box in Visual MODFLOW 2.8.1. The window title is 'D:\7.-Curso de Modelacion\tutorial 1\tut1.vmf'. The dialog is divided into several sections:

- Create model using base Map:** A checkbox that is currently unchecked.
- Map File:** A text field with a 'Browse' button next to it.
- Model Domain:** A section with input fields for the model's dimensions:
  - Columns(i): 40
  - Rows(j): 20
  - Xmin: 0 [m]
  - Xmax: 2000 [m]
  - Ymin: 0 [m]
  - Ymax: 1000 [m]
  - Layers(k): 1
  - Zmin: 0 [m]
  - Zmax: 50 [m]
- Units:** A section with dropdown menus for various units:
  - Length: meters
  - Time: days
  - Conductivity: m/second
  - Pumping Rate: m³/day
  - Recharge: mm/year
  - Mass: kg
  - Concentration: mg/L
- Setup Transport Model:** A checkbox that is currently unchecked.

A 3D cube diagram is shown in the center, representing the model domain. The axes are labeled x, y, and z. The top face of the cube is labeled with i, j, and k. The bottom face is labeled with x, y, and z. The cube is colored light blue.

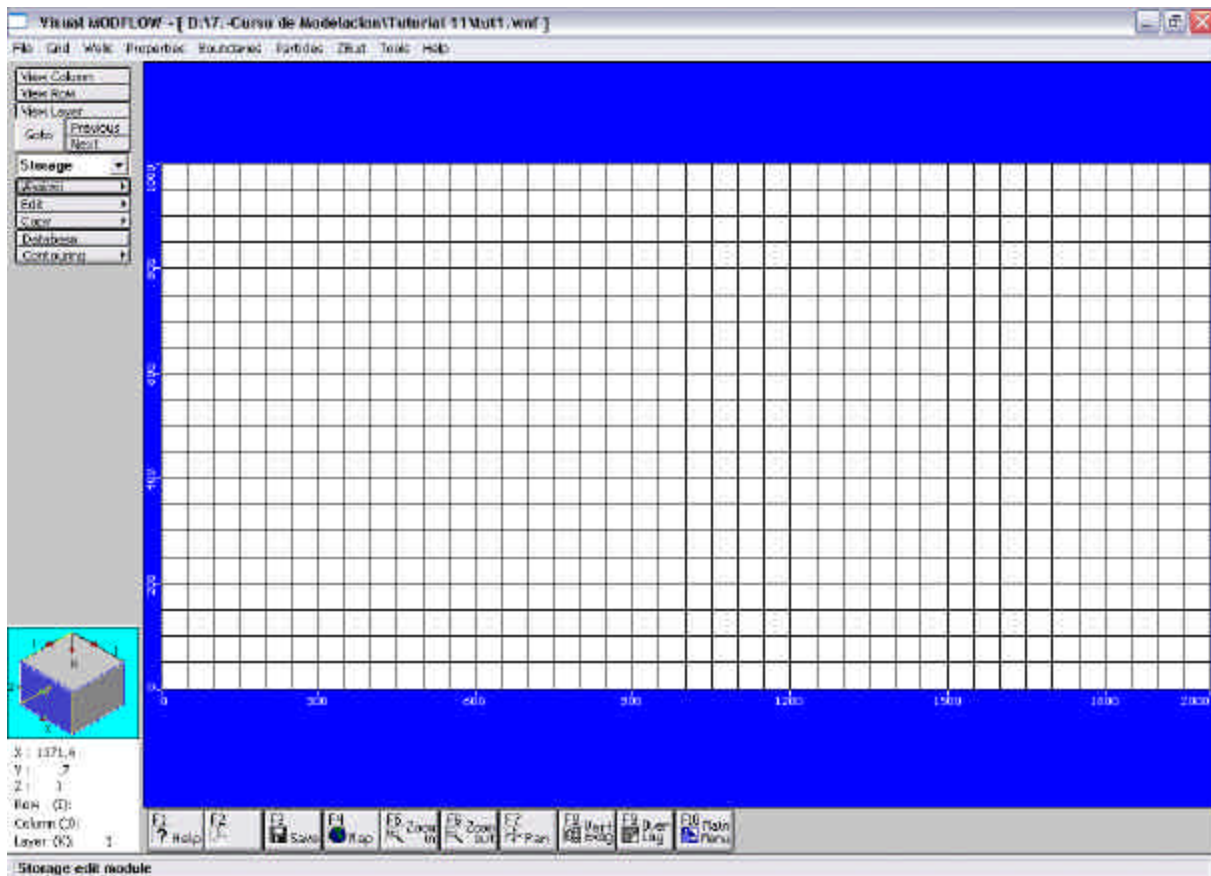
At the bottom of the dialog, there are two buttons: 'Create' and 'Cancel'.

Las principales características del modelo a desarrollar son las siguientes:

Largo	:	2000 metros
Ancho	:	1000 metros
Profundidad	:	50 metros
Nº de Columnas	:	40
Nº de Filas	:	20
Dimensión Celdas	:	50 x 50 metros

Se mantendrán las unidades propuestas por MODFLOW.

Una vez ingresado todos los datos, hacer click en CREATE. La malla de discretización obtenida se presenta en la siguiente figura.



**Paso 3:** Properties → Conductivity → OK → SAVE

En el siguiente cuadro se presentan las características hidrogeológicas a utilizar por defecto, para todo el dominio de modelación. También existe la posibilidad de definir zonas con diferentes características hidrogeológicas.

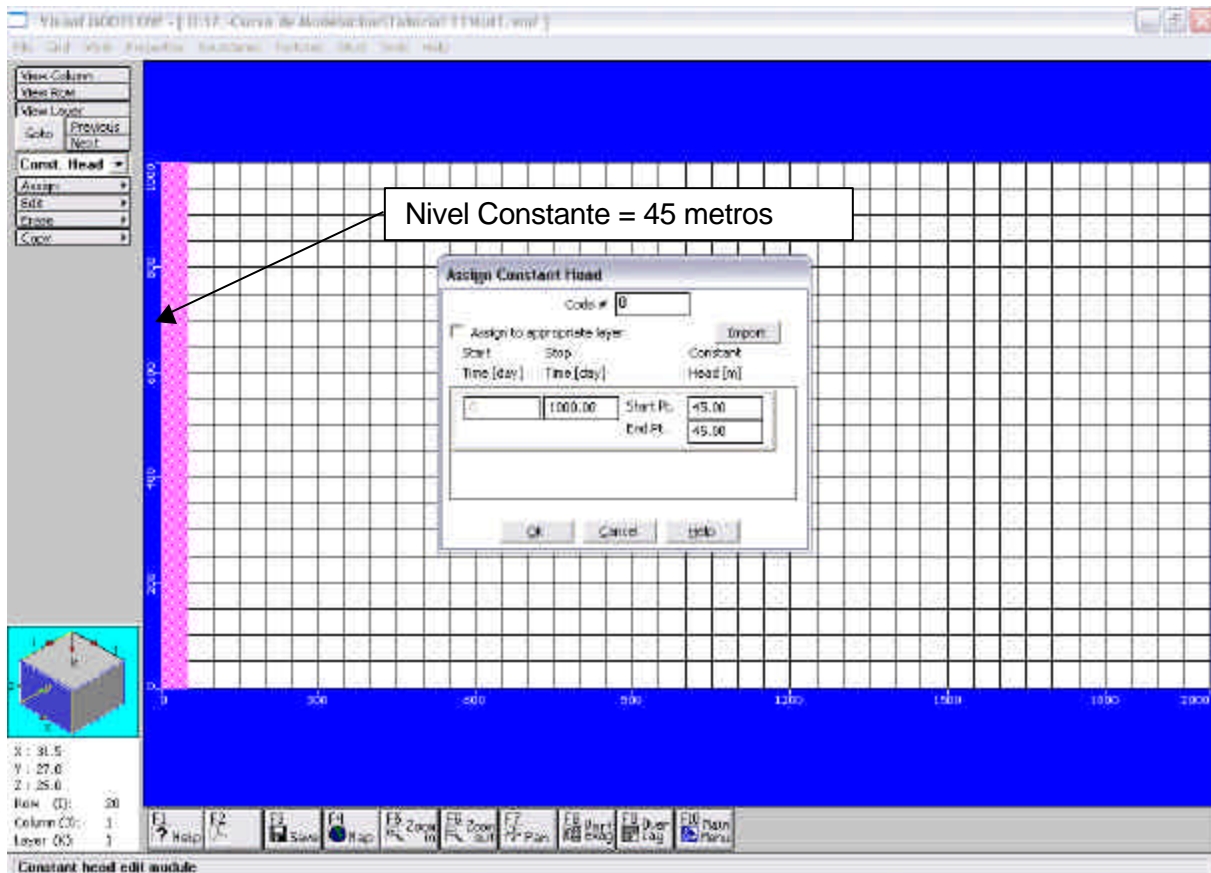
**Default Property Values**

Kx [m/s]:	0.0005
Ky [m/s]:	0.0005
Kz [m/s]:	0.0005
Ss [1/m]:	0.0001
Sy [-]:	0.01
Eff.Por [-]:	0.08
Tot.Por [-]:	0.08

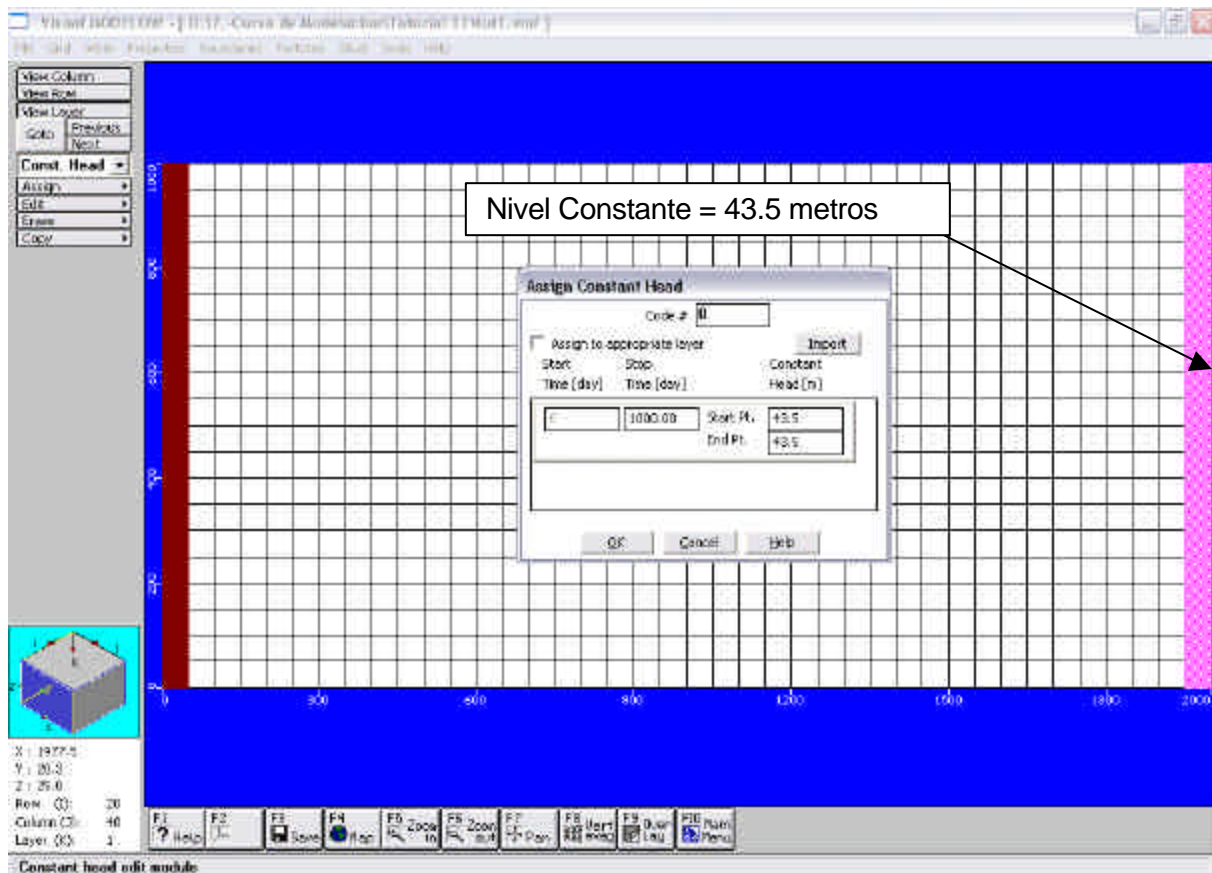
OK Help

**Paso 4:** Boundaries → Constant Head → Assigning → Line.

En este modelo utilizaremos condiciones de borde del tipo Dirichlet, es decir con algún valor de altura o nivel de agua conocido. Supondremos un valor de altura conocido en la zona izquierda de 45 m y utilizaremos un gradiente hidráulico igual a  $i = 0.00075$ , para estimar la condición de borde en el extremo derecho del modelo. El tiempo utilizado para la modelación será de 1000 días.



De acuerdo a los supuestos realizados, el valor de altura de la condición de borde derecho es de 43.5 m. La pantalla desplegada por MODFLOW se presenta en la siguiente figura.



**Paso 5:** Hacer Click Main Menu → OK. SAVE.



**Paso 6:** RUN → Steady State

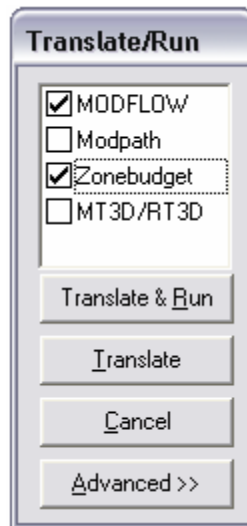
En este paso ejecutaremos el programa para obtener la solución numérica del problema de flujo en régimen permanente.



**Paso 7: RUN → Translate & Run**

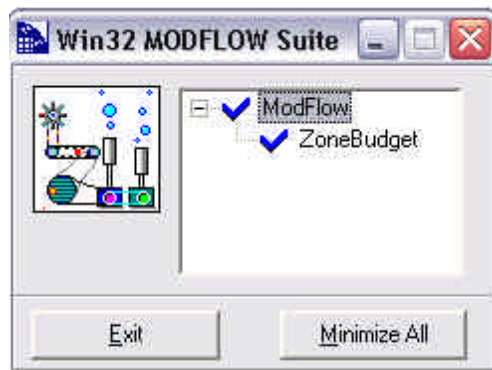
En este paso elegiremos los siguientes módulos:

- MODFLOW: permite resolver numéricamente el problema de flujo.
- Zonebudget: permite realizar balances de agua en diferentes zonas planteadas.



**Paso 8: Exit**

Una vez que el modelo ha finalizado de resolver las tareas propuestas, saldrá la siguiente Figura.

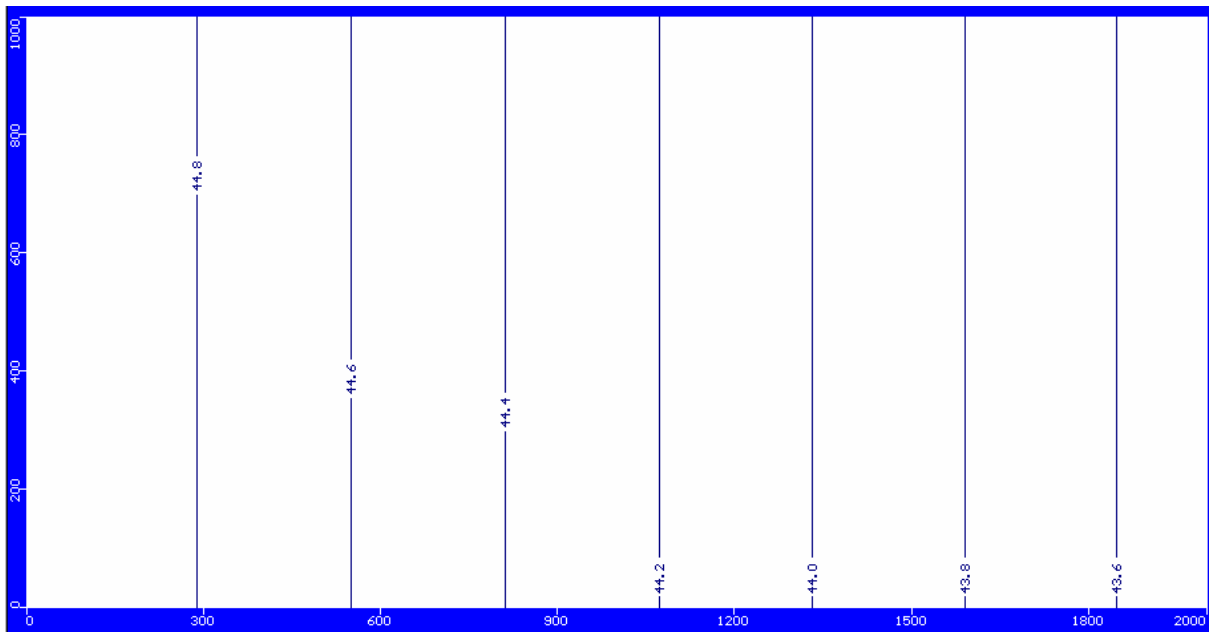


**Paso 9: Click en OUTPUT**

En los siguientes pasos estudiaremos los resultados obtenidos por el modelo.

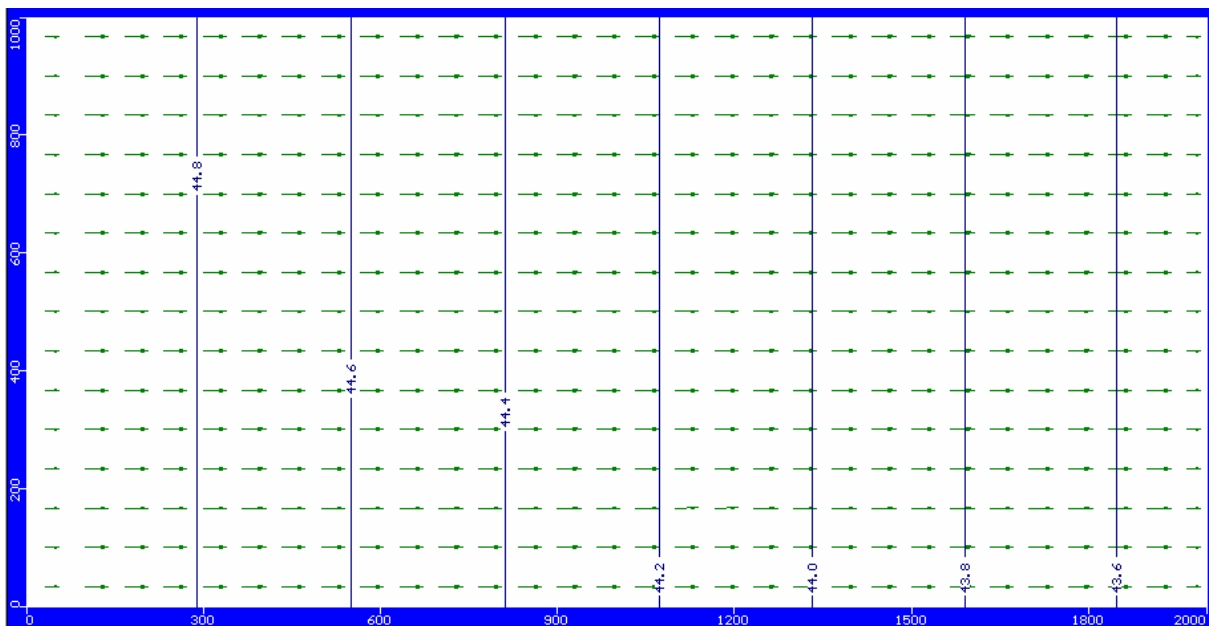
**Paso 10: Contours → Head Equipotencial**

En la siguiente figura se presentan las líneas equipotenciales en el modelo propuesto.



### Paso 11: Velocities

En este menú se presentan tres posibilidades de despliegue gráfico para las velocidades: la proyección, magnitud y la magnitud de la velocidad. En la siguiente figura, se puede observar la dirección de la velocidad.



## Paso 12: Budget → Zbud Output

Este paso nos permitirá obtener un balance hídrico de todas las aguas que entran y salen del modelo y de la fuente que es proporcionada. En nuestro caso el agua de entrada y de salida es entregada íntegramente por la condición de borde de Nivel Constante y tiene un valor de 1470.4 m<sup>3</sup>/d (17 l/s).

Zone: 1	Output Time: 1	Stress Period: 1
<b>Input</b> Storage = 0.000000 m <sup>3</sup> /day Constant Head = 1470.400000 m <sup>3</sup> /day Wells = 0.000000 m <sup>3</sup> /day Drains = 0.000000 m <sup>3</sup> /day Recharge = 0.000000 m <sup>3</sup> /day Et = 0.000000 m <sup>3</sup> /day River Leakage = 0.000000 m <sup>3</sup> /day		
<b>Output</b> Storage = 0.000000 m <sup>3</sup> /day Constant Head = 1470.400000 m <sup>3</sup> /day Wells = 0.000000 m <sup>3</sup> /day Drains = 0.000000 m <sup>3</sup> /day Recharge = 0.000000 m <sup>3</sup> /day Et = 0.000000 m <sup>3</sup> /day River Leakage = 0.000000 m <sup>3</sup> /day		
<b>Difference</b> IN - OUT = -0.001175 m <sup>3</sup> /day Percent Discrepancy = 0.000000%		

## MODELO 2: CONDICION DE BORDE DE NIVEL CONSTANTE Y CAUDAL PASANTE

### Paso 13: Main Menu → Input → Boundaries → Constant Head → Erase → Single

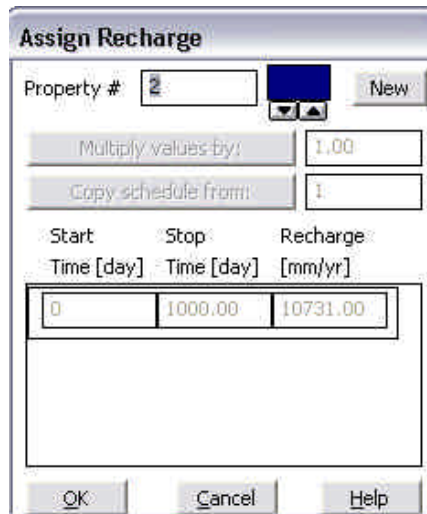
Se eliminará la condición de borde izquierda, de modo de poder utilizar una condición de borde del tipo Neuman o de flujo conocido, igual a la condición de caudal pasante en modelo anterior, es decir un caudal de 1470.4 m<sup>3</sup>/d (17 l/s).

### Paso 14: Boundaries → Recharge → Assign → New

Se deberá ingresar el día de inicio y fin de la recarga y la tasa anual en milímetros.

Para calcular la recarga debemos repartir los 1470 m<sup>3</sup>/d en un área igual a 1000 m x 50 m (Ancho modelo \* ancho de la celda). Luego, como la recarga esta en mm/año, el ejercicio a realizar para igualar el flujo es el siguiente:

$$Re\ c\ a\ r\ g\ a = \frac{1470}{1000 \cdot 50} \cdot \frac{[m^3 / d]}{[m \cdot m]} \cdot 1000[mm] \cdot 365 = 10731[mm / year]$$



**Assign Recharge**

Property #

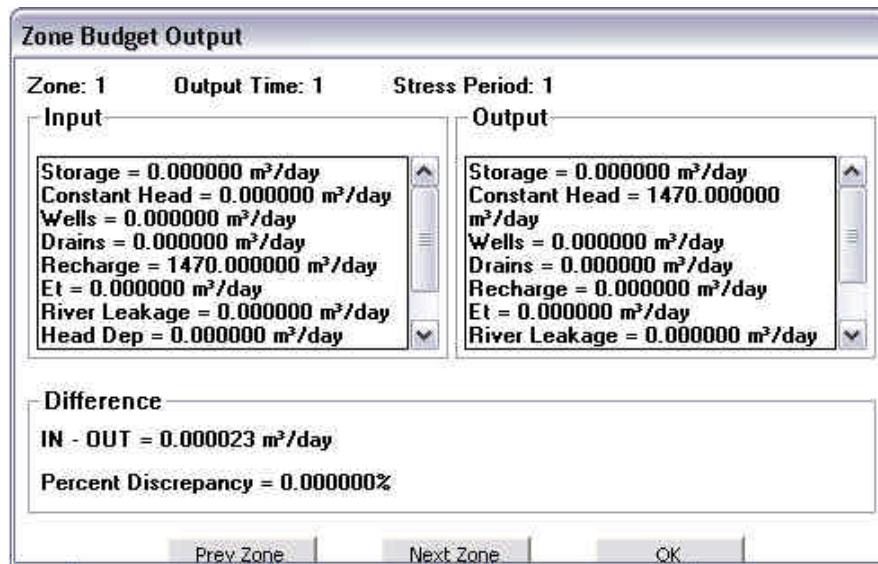
Multiply values by:

Copy schedule from:

Start Time [day]	Stop Time [day]	Recharge [mm/yr]
0	1000.00	10731.00

**Paso 15:** Repetir los pasos 5 al 12.

Se puede apreciar, que si bien las condiciones de borde entre los Modelos 1 y 2 son diferentes, ambos presentan las mismas alturas de agua y velocidades en todos los puntos del dominio simulado, lo que se traduce en un balance de las aguas entrantes y salientes iguales entre los modelos presentados.



**Zone Budget Output**

Zone: 1      Output Time: 1      Stress Period: 1

Input	Output
Storage = 0.000000 m <sup>3</sup> /day	Storage = 0.000000 m <sup>3</sup> /day
Constant Head = 0.000000 m <sup>3</sup> /day	Constant Head = 1470.000000 m <sup>3</sup> /day
Wells = 0.000000 m <sup>3</sup> /day	Wells = 0.000000 m <sup>3</sup> /day
Drains = 0.000000 m <sup>3</sup> /day	Drains = 0.000000 m <sup>3</sup> /day
Recharge = 1470.000000 m <sup>3</sup> /day	Recharge = 0.000000 m <sup>3</sup> /day
Et = 0.000000 m <sup>3</sup> /day	Et = 0.000000 m <sup>3</sup> /day
River Leakage = 0.000000 m <sup>3</sup> /day	River Leakage = 0.000000 m <sup>3</sup> /day
Head Dep = 0.000000 m <sup>3</sup> /day	

**Difference**

IN - OUT = 0.000023 m<sup>3</sup>/day

Percent Discrepancy = 0.000000%

Pero, si al modelo le insertamos un pozo de bombeo, los flujos pasantes no se comportarán de la misma forma. ¿Porque?



### **MODELO 3: CONDICIONES DE BORDE DE NIVEL CONSTANTE + POZO DE BOMBEO**

**PASO 16:** Main Menu → Input → Boundaries → Recharge → Assign → Single

Aquí se retomaremos el Modelo 1 (condiciones de nivel constante).

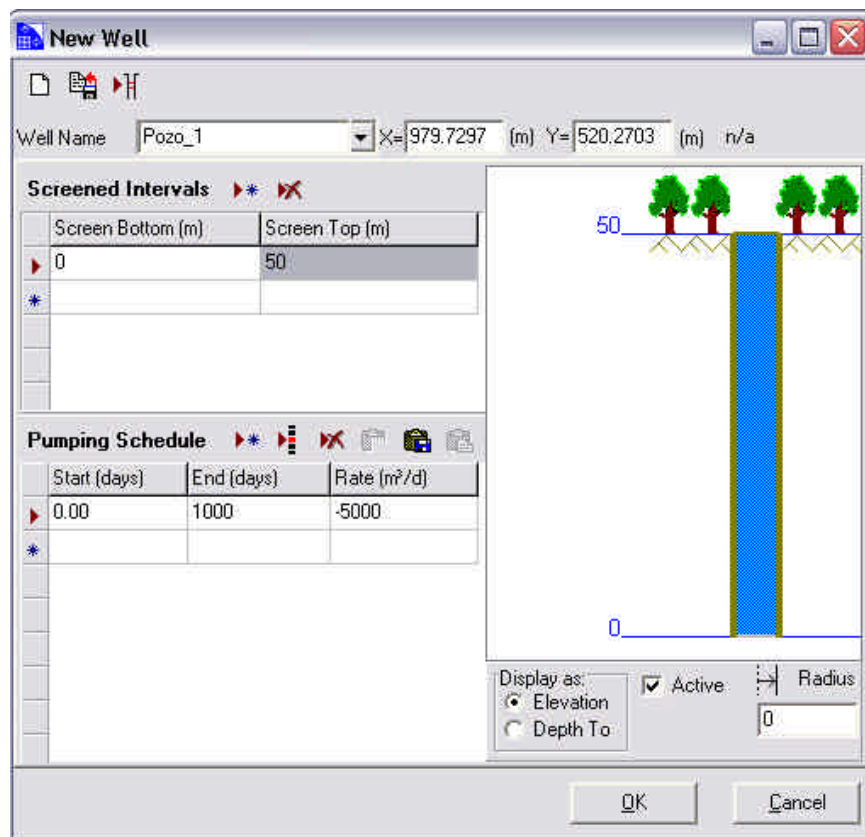
**PASO 17:** Repita Paso 4

**PASO 18:** Wells → Pumping Wells → Add

Para ingresar un pozo se debe llenar los siguientes campos:

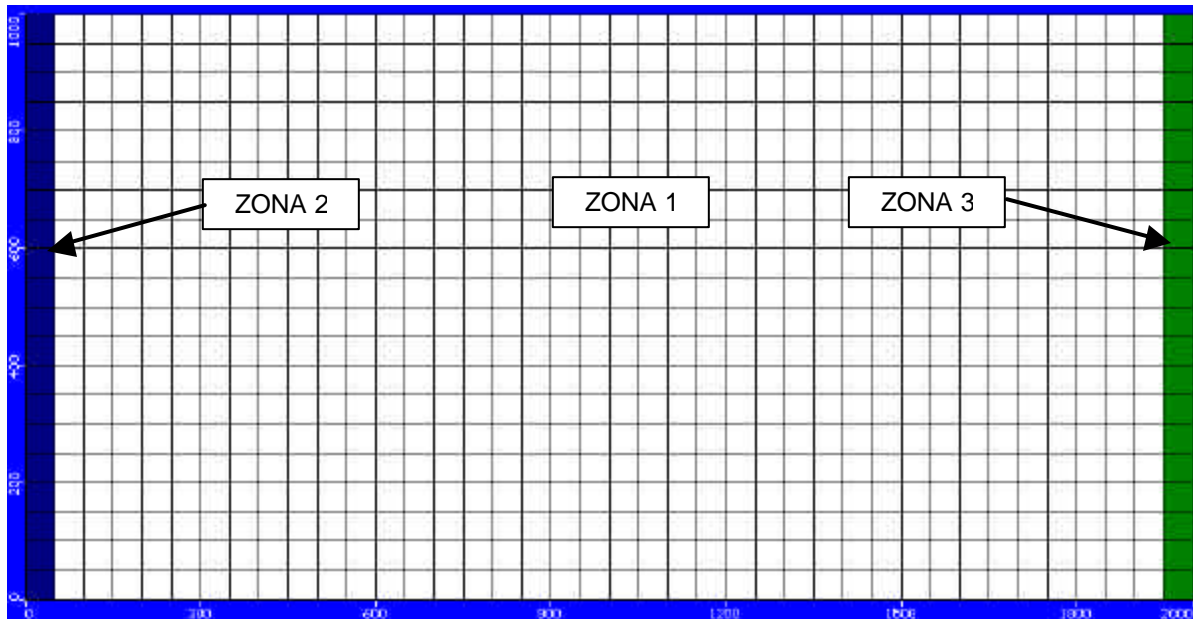
Nombre Pozo	:	Pozo_1
Inicio tramo de Cribas	:	0 m
Fin tramo de Cribas	:	50 m
Día comienzo bombeo	:	Día 0
Día fin bombeo	:	Día 1000
Caudal de bombeo	:	- 5000 m <sup>3</sup> /día
		- 58 l/s

La convención utilizada en MODFLOW para pozos de bombeo es un caudal negativo y en el caso de pozos de inyección es un caudal positivo.



### PASO 19: Zbud

Crearemos nuevas zonas donde realizar balances, de modo de saber exactamente los balances en los puntos en cuestión.

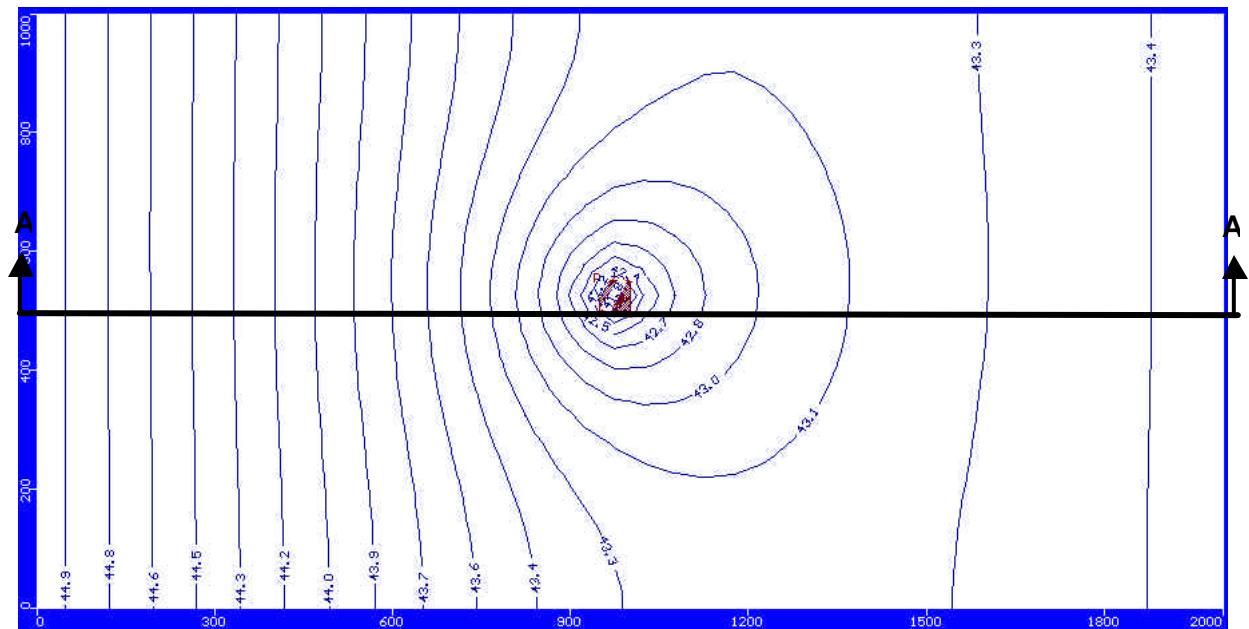


### PASO 20: Apriete Main Menu → OK SAVE

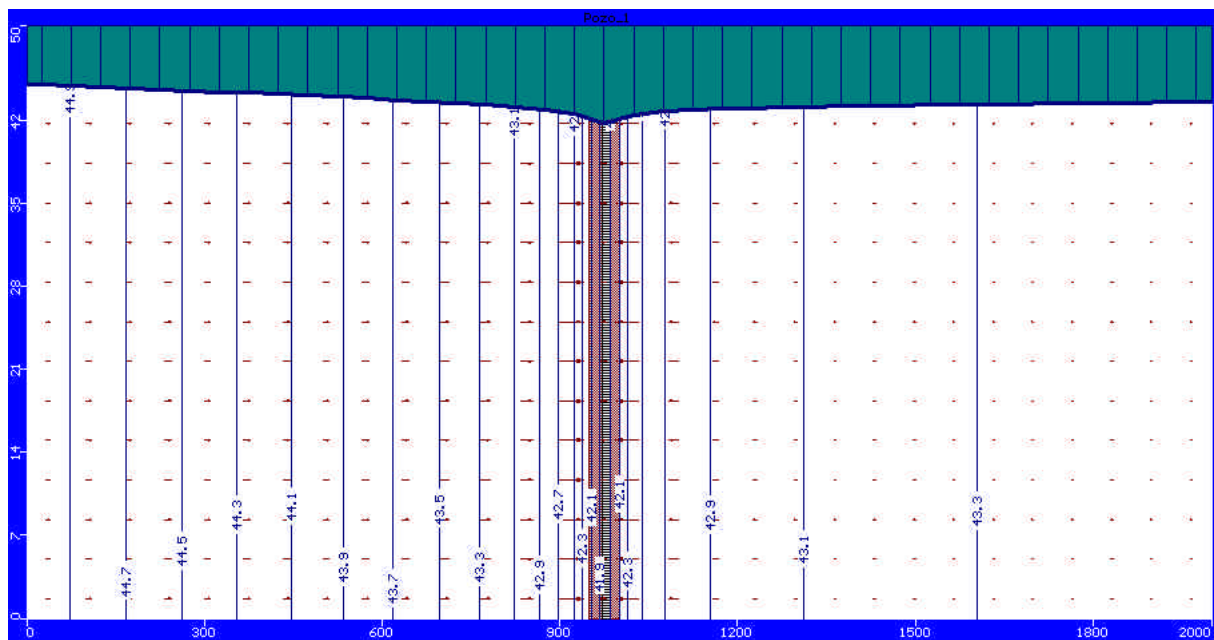


### PASO 21: Repita los pasos 5 al 12.

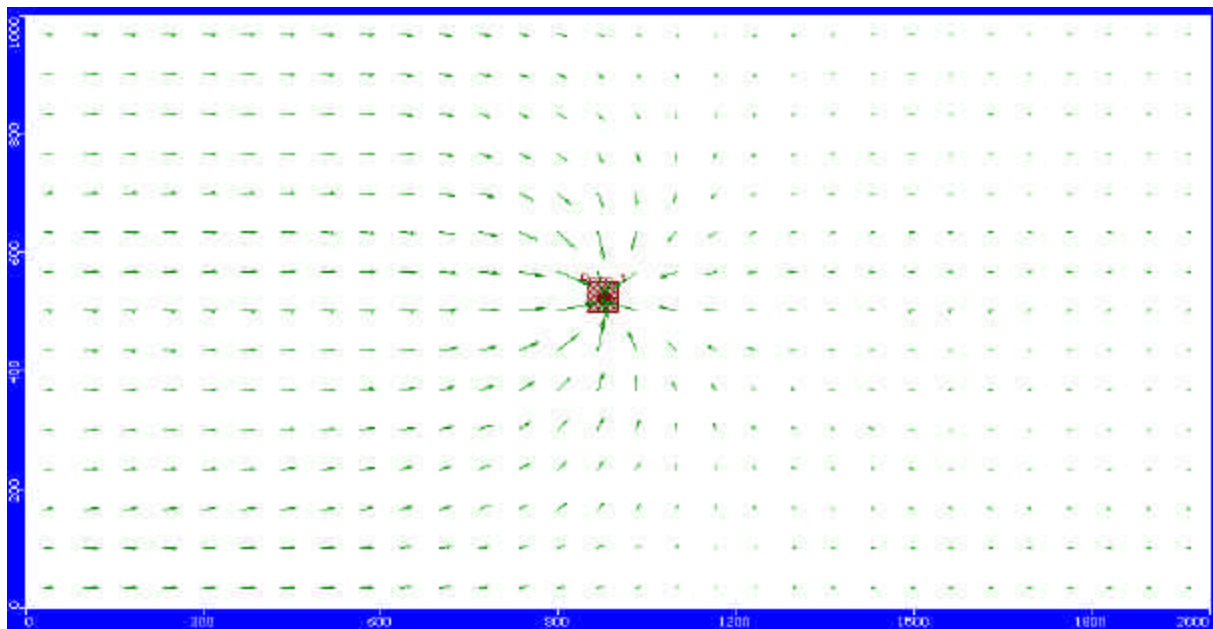
Las equipotenciales se presentan en la siguiente Figura



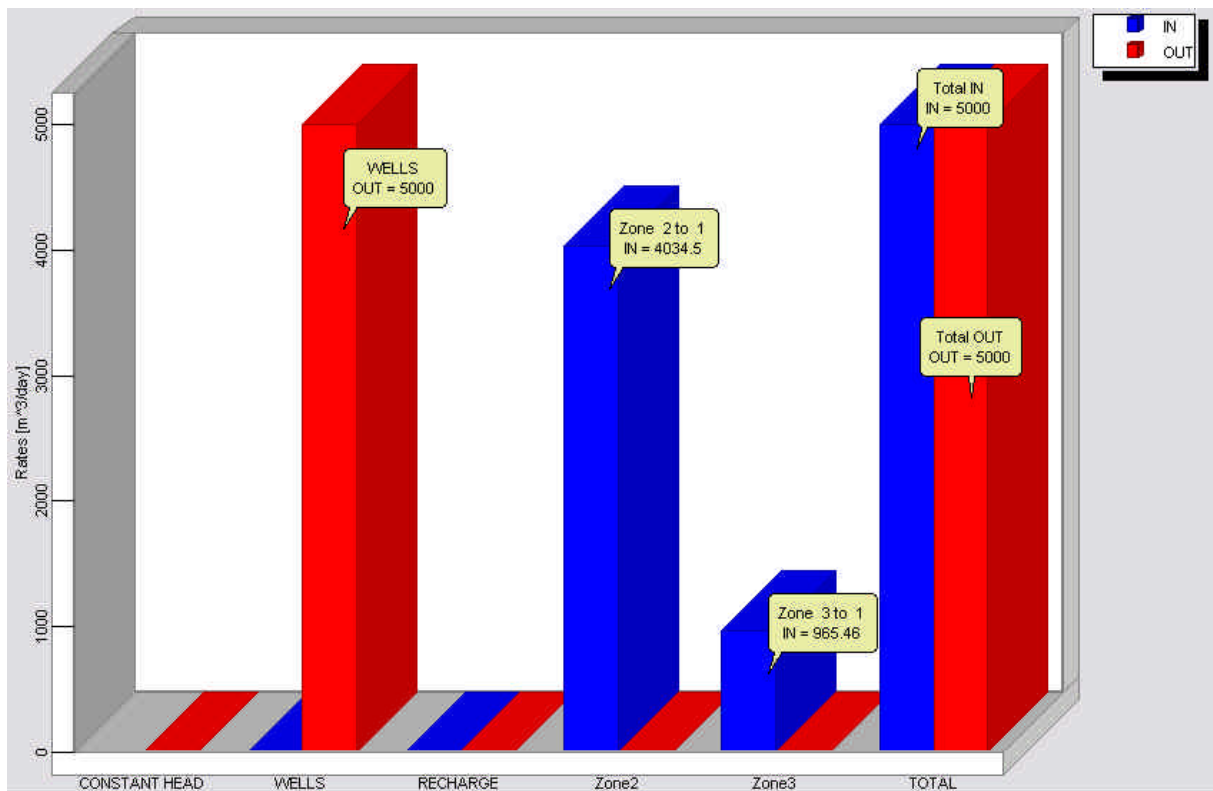
Al realizar un corte en la dirección A-A, tenemos los siguientes resultados:



El campo de velocidades en el sector en estudio se presenta en la siguiente Figura.



**Paso 22:** Budget → Zbud Output

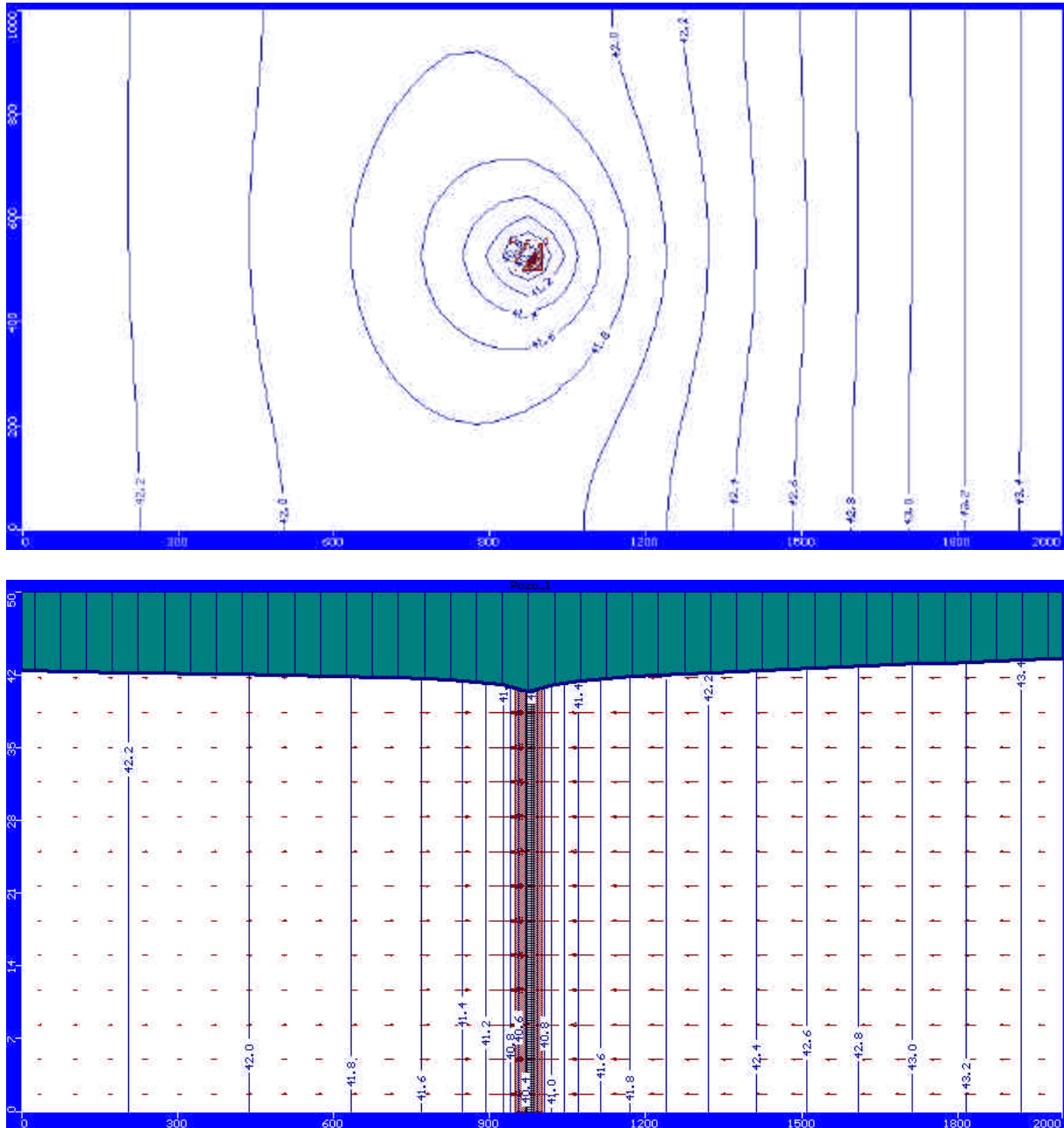


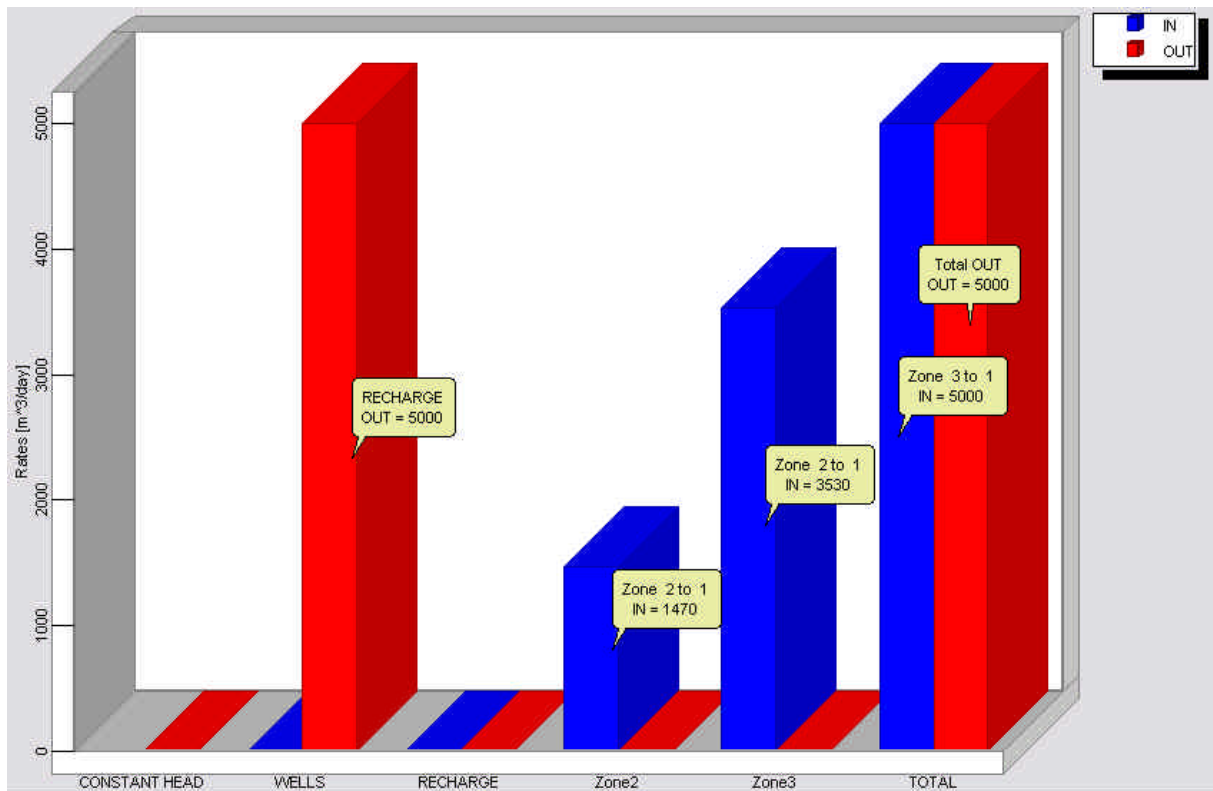
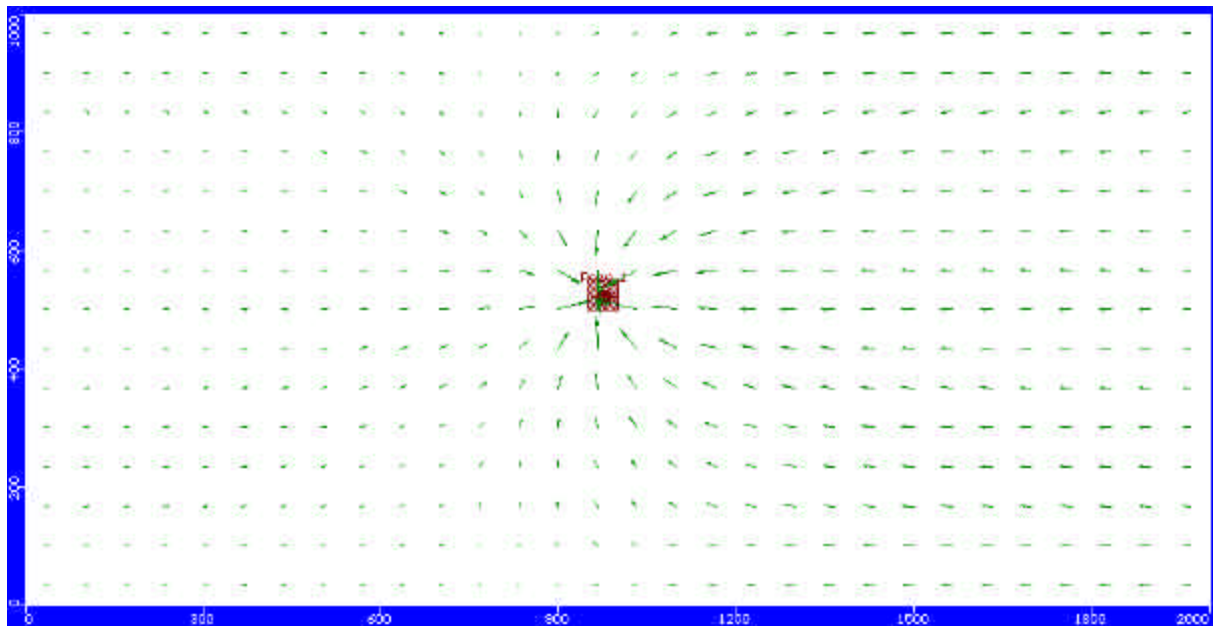
## MODELO 4: CONDICION DE BORDE DE NIVEL CONSTANTE Y CAUDAL PASANTE + POZO DE BOMBEO

**Paso 23:** Realizamos los pasos 13 y 14.

**Paso 24:** Realizamos los pasos 5 al 11.

Las equipotenciales se presentan en la siguiente figura





¿Cual sería la explicación para que daría UD para la diferencia de caudales generados en las diferentes condiciones de borde?