

## 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.

D:\7.-Curso de Modelacion\tutorial 1\tut1.vmf

☐ Create model using base Map

Map File  Browse

Model Domain

Columns(i) 40 Rows(j) 20

Xmin 0 [m] Ymin 0 [m]

Xmax 2000 [m] Ymax 1000 [m]

Layers(k) 1

Zmin 0 [m]

Zmax 50 [m]

☐ Setup Transport Model

Units

Length meters

Time days

Conductivity m/second

Pumping Rate m³/day

Recharge mm/year

Mass kg

Concentration mg/L

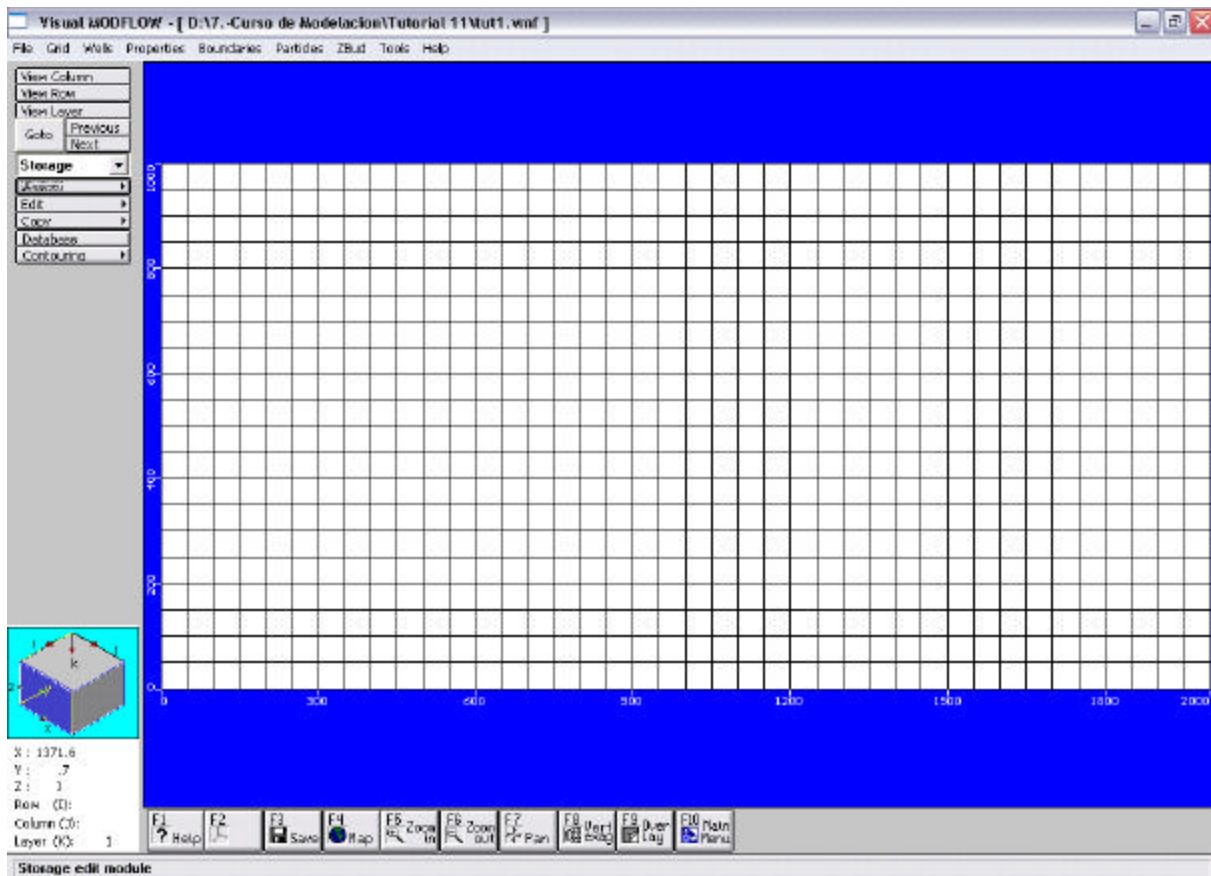
Create Cancel

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

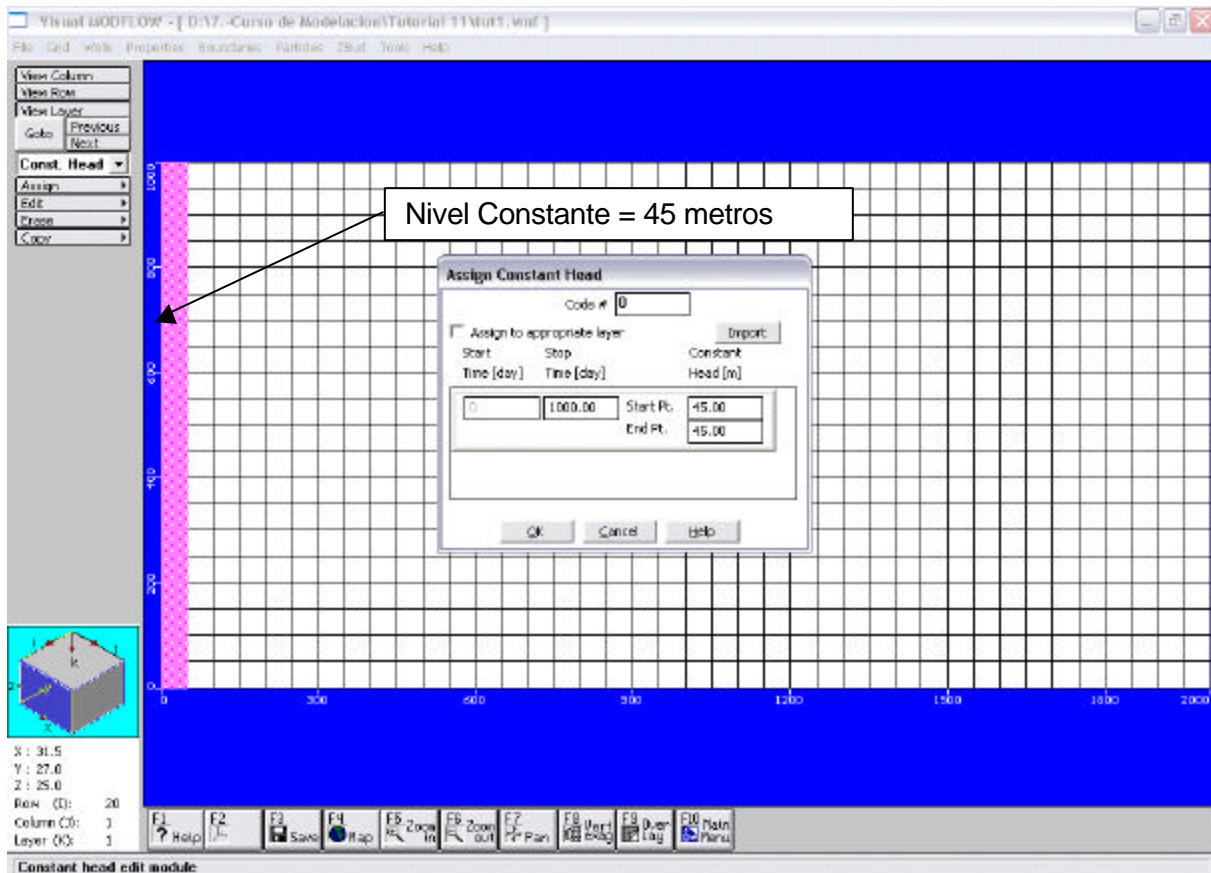
Eff.Por [-]: 0.08

Tot.Por [-]: 0.08

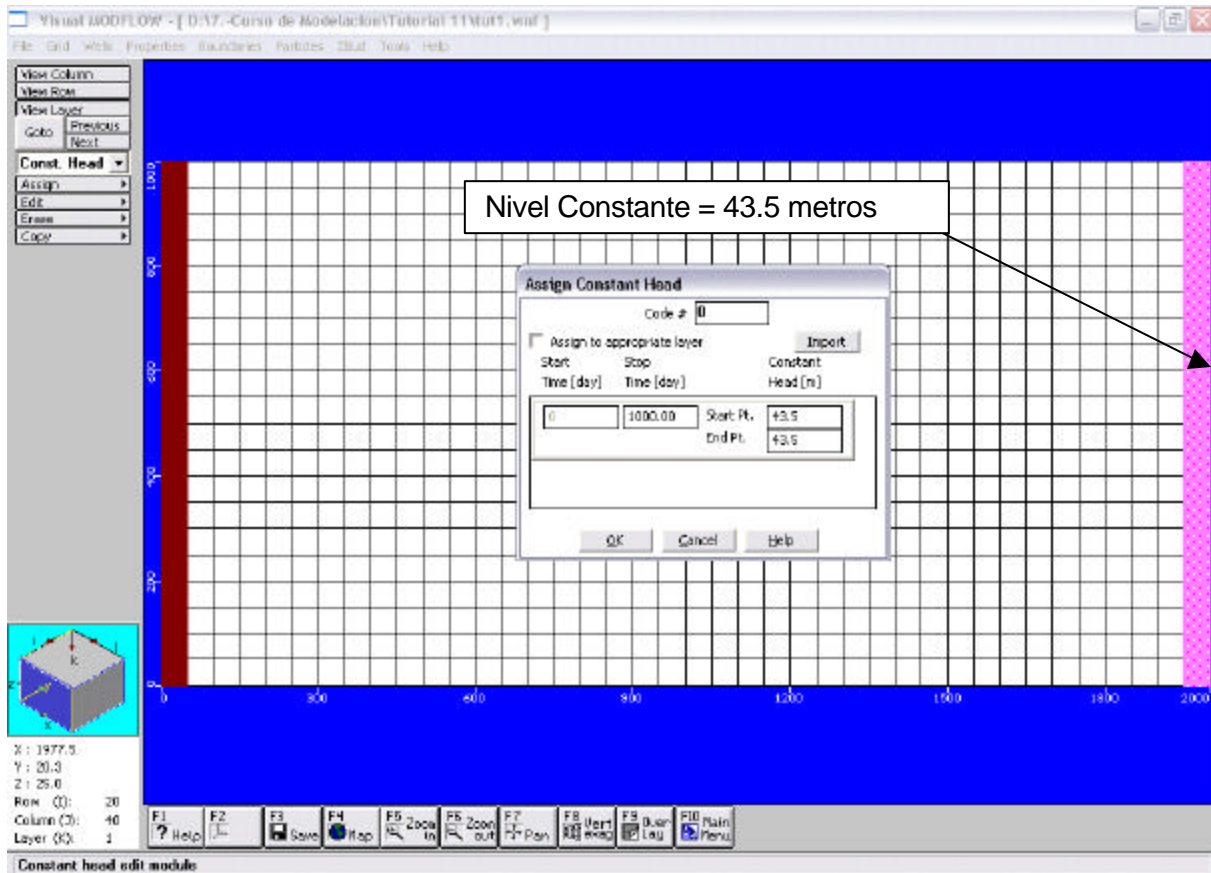
OK Help

**Paso 4:** Boundaries → Constant Head → Assing → 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

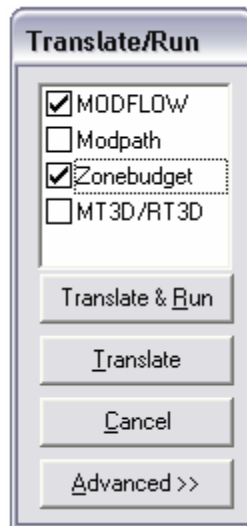
En este paso ejecutaremos el programa para obtener la solución numérica del problema de flujo en régimen permanente.



**Paso 7: RUN → Translate & Run**

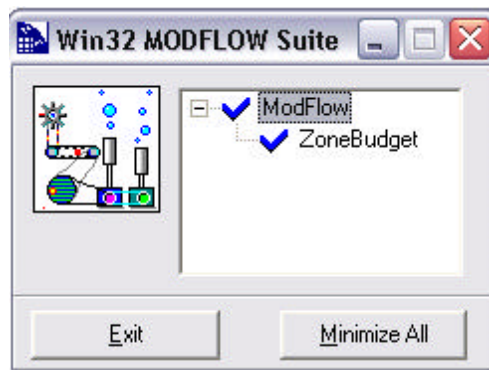
En este paso elegiremos los siguientes módulos:

- 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.

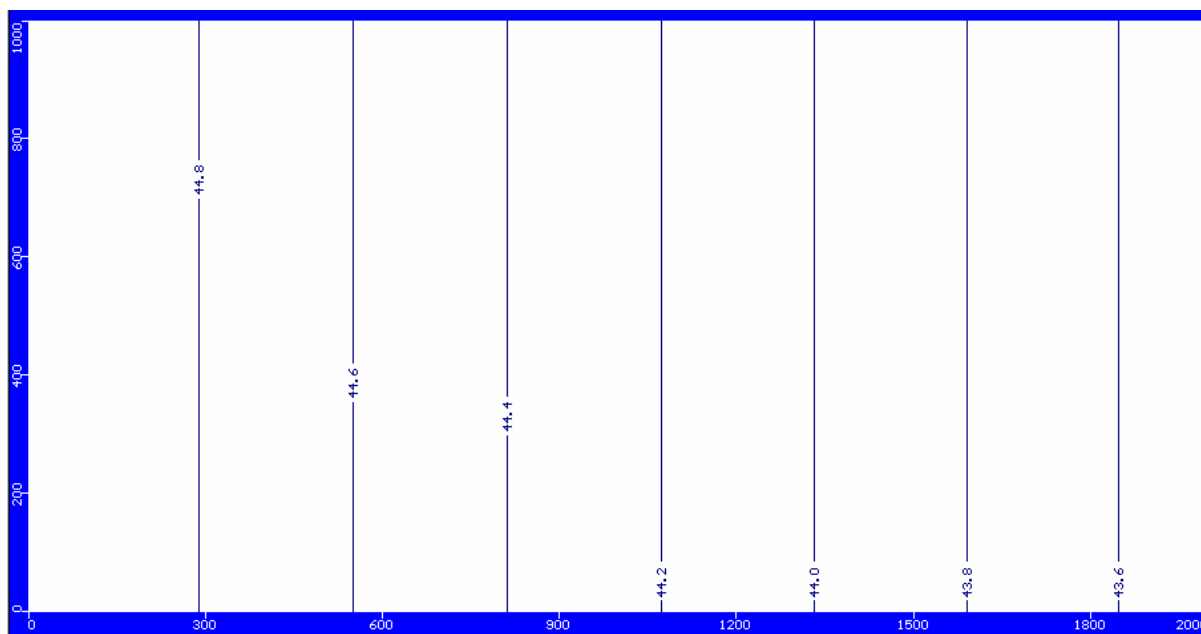


**Paso 9: Click en OUTPUT**

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

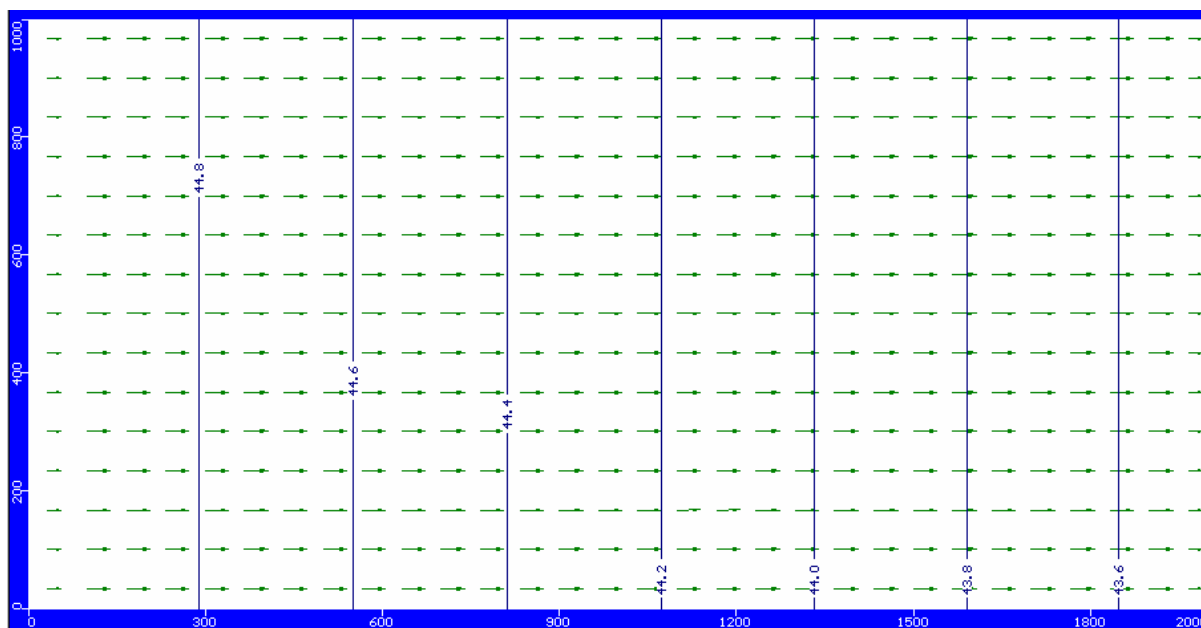
**Paso 10: Contours → Head Equipotencial**

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 Budget Output	
Zone: 1	Output Time: 1      Stress Period: 1
<b>Input</b>	<b>Output</b>
Storage = 0.000000 m <sup>3</sup> /day	Storage = 0.000000 m <sup>3</sup> /day
Constant Head = 1470.400000 m <sup>3</sup> /day	Constant Head = 1470.400000 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 = 0.000000 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
<b>Difference</b>	
IN - OUT = -0.001175 m <sup>3</sup> /day	
Percent Discrepancy = 0.000000%	
<div>Prev Zone      Next Zone      OK</div>	

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

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

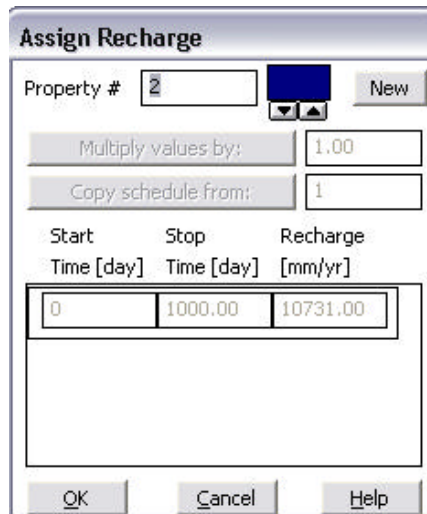
Se eliminará la condición de borde izquierda, de modo de poder utilizar una condición de borde del tipo Neuman o de flujo conocido, igual a la condición de caudal pasante en modelo anterior, es decir un caudal de 1470.4 m<sup>3</sup>/d (17 l/s).

### 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 #

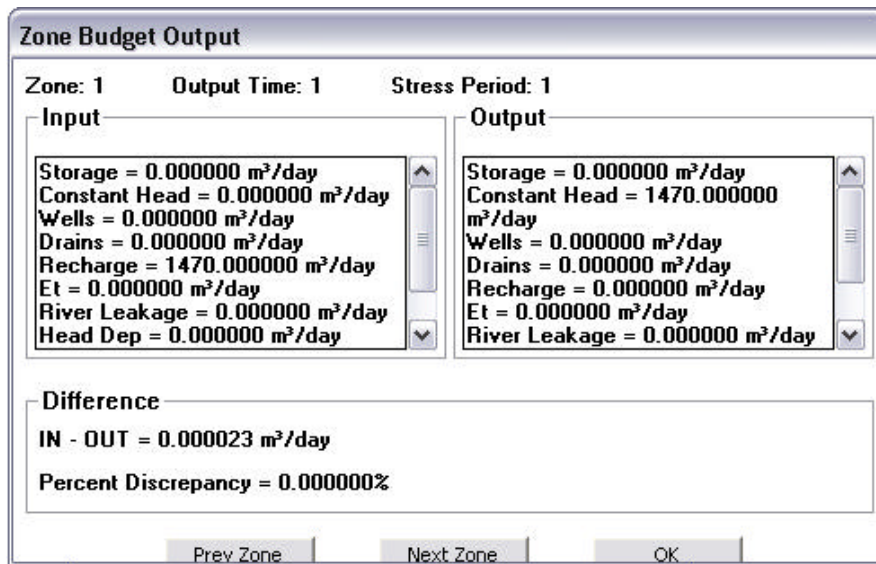
Multiply values by:

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.

**New Well**

Well Name: Pozo\_1 X= 979.7297 (m) Y= 520.2703 (m) n/a

**Screened Intervals**

Screen Bottom (m)	Screen Top (m)
0	50
*	

**Pumping Schedule**

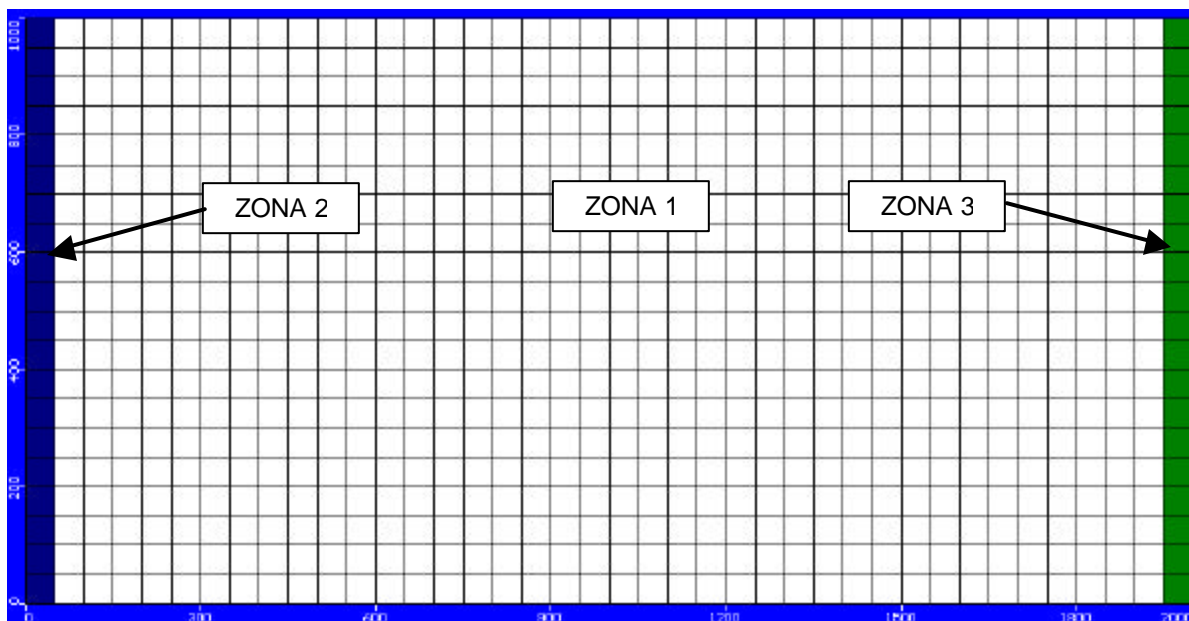
Start (days)	End (days)	Rate (m³/d)
0.00	1000	-5000
*		

Display as: ☒ Elevation ☐ Depth To ☒ Active Radius: 0

OK Cancel

### PASO 19: Zbud

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

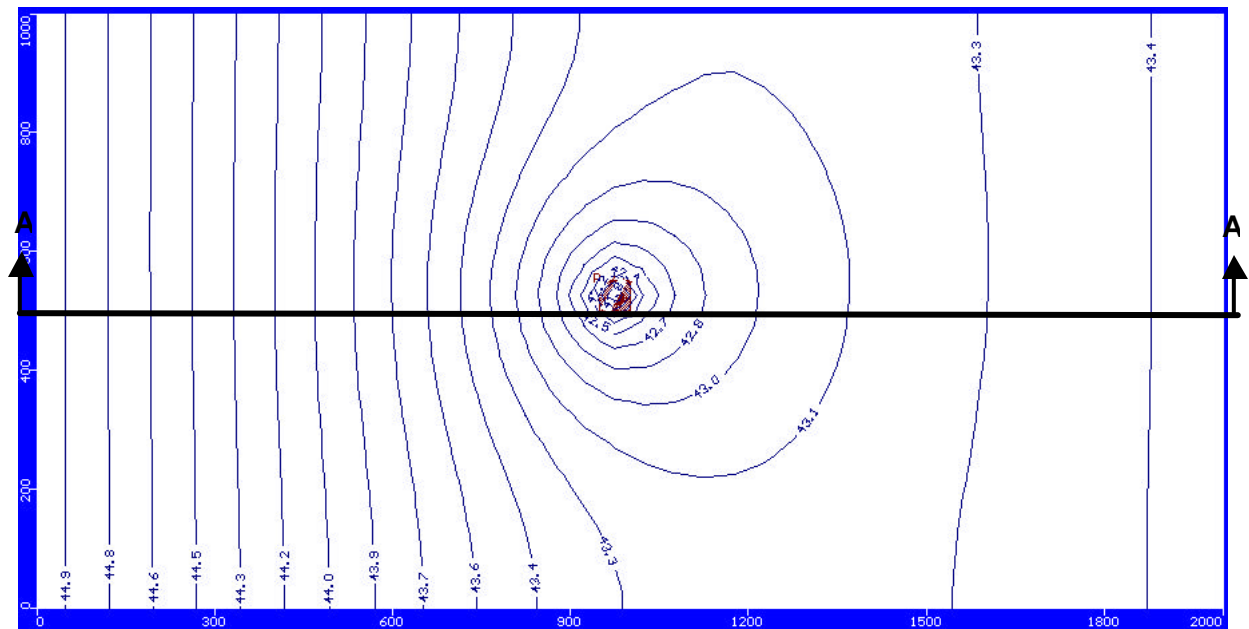


**PASO 20:** Apriete Main Menu → OK SAVE

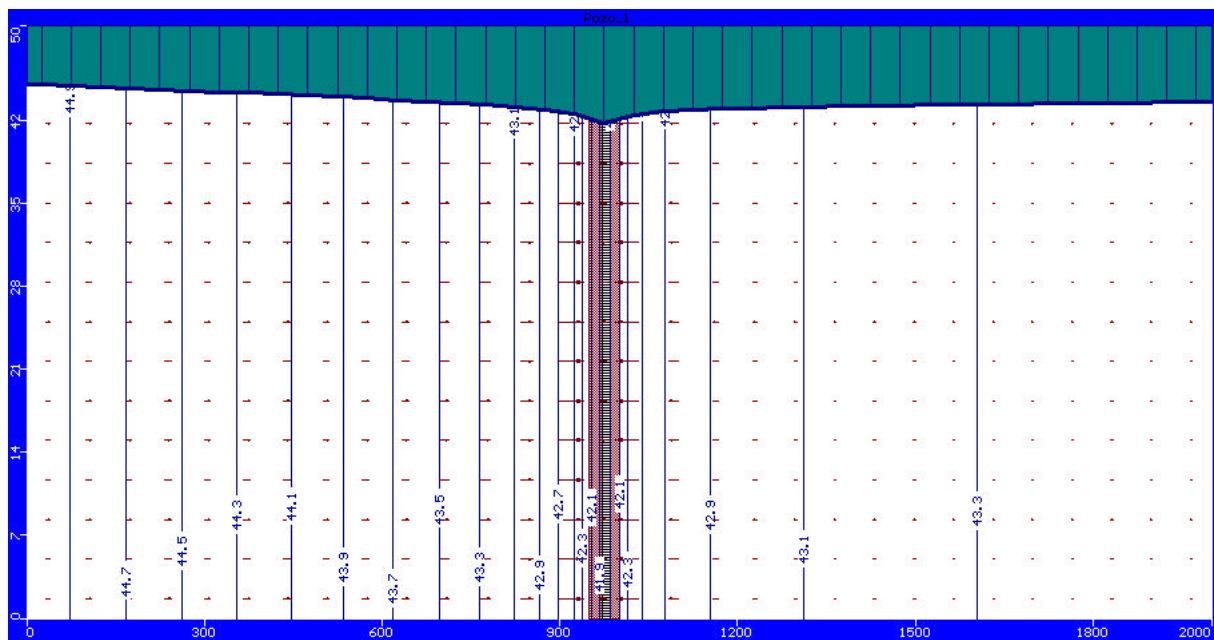


**PASO 21:** Repita los pasos 5 al 12.

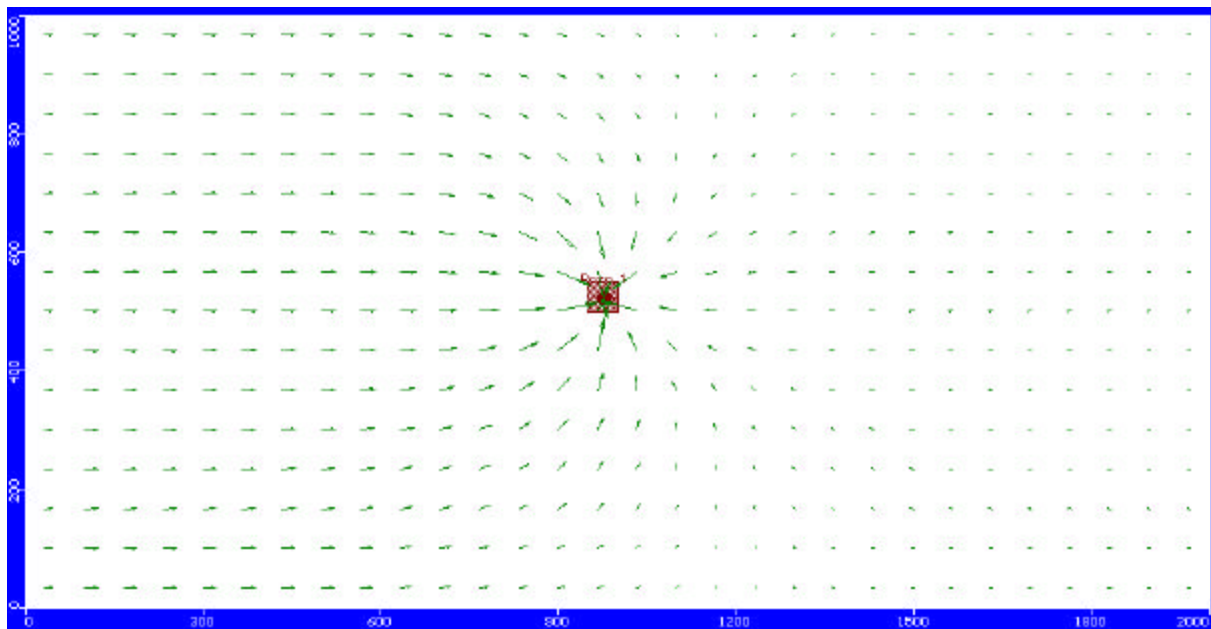
Las equipotenciales se presentan en la siguiente Figura



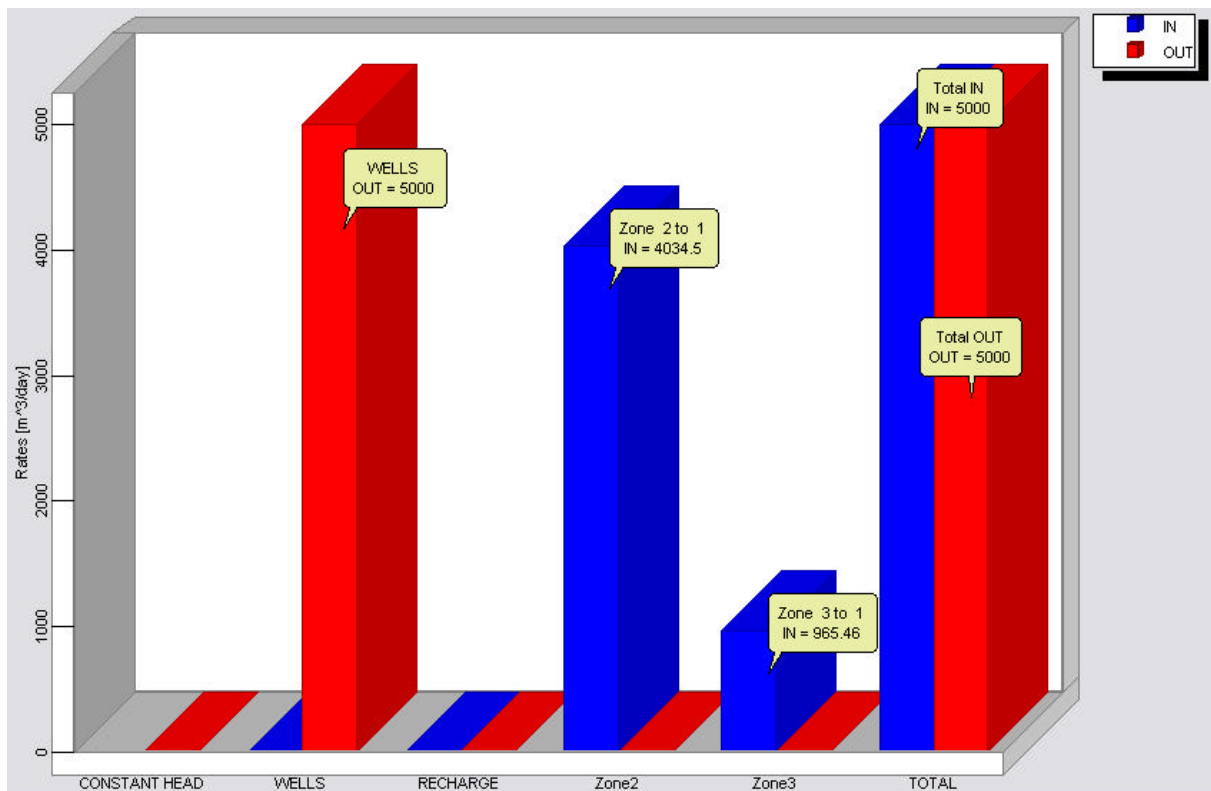
Al realizar un corte en la dirección A-A, tenemos los siguientes resultados:



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



**Paso 22:** Budget → Zbud Output

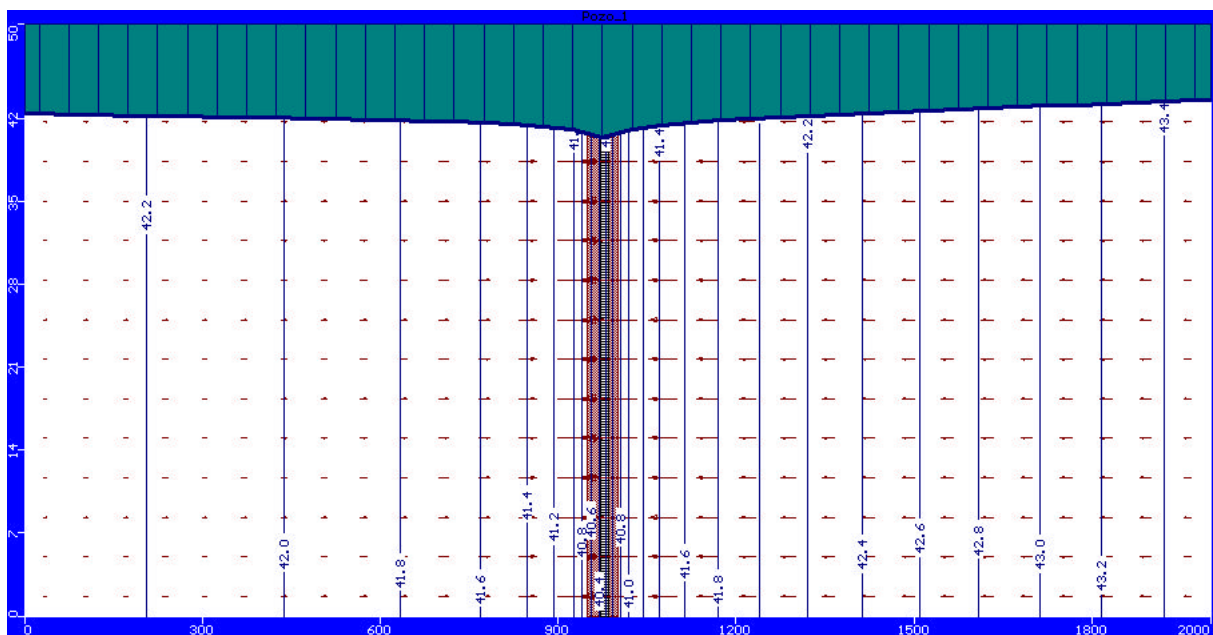
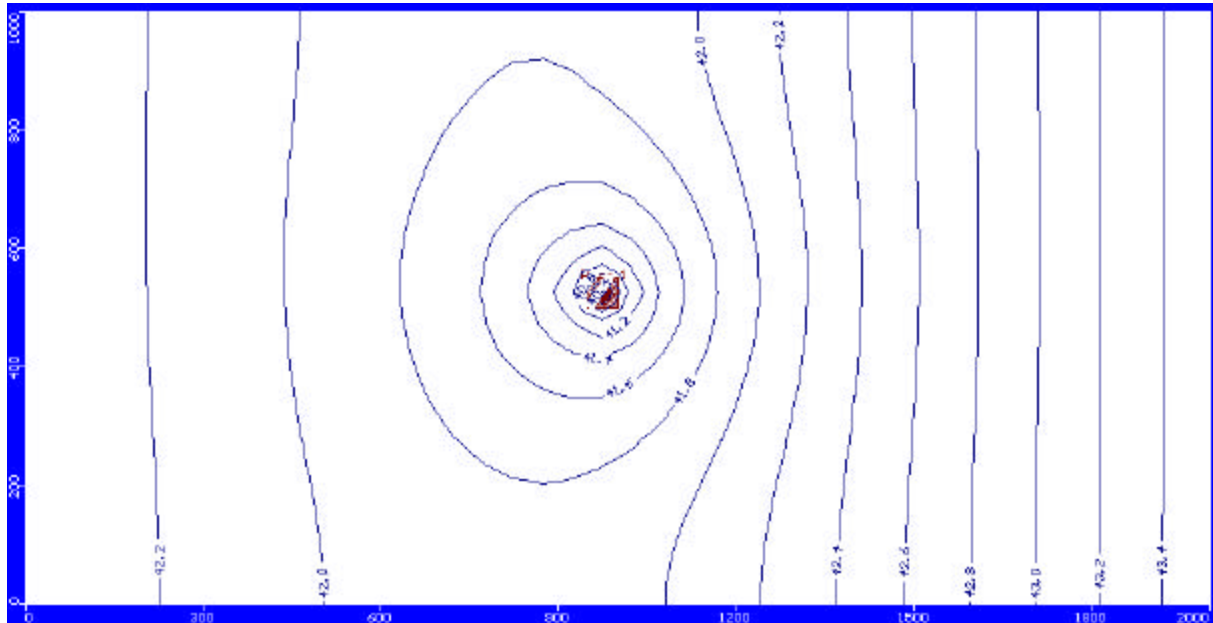


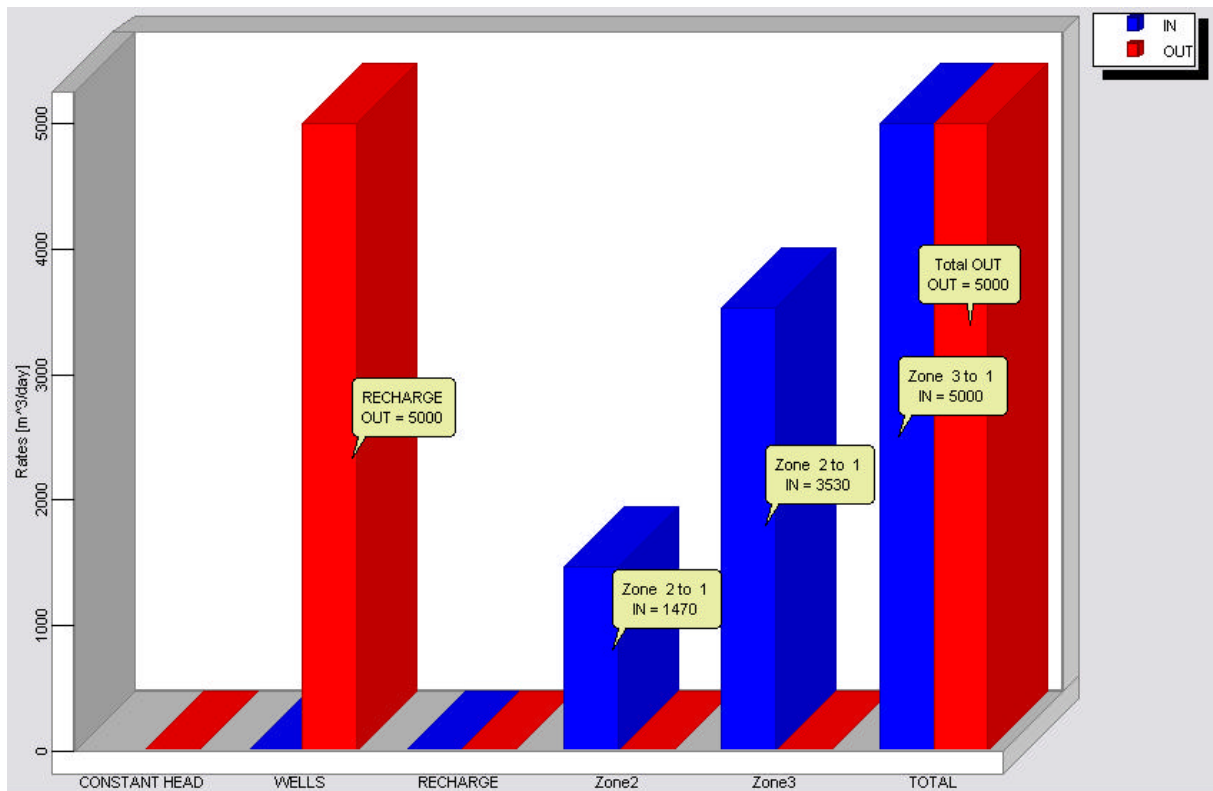
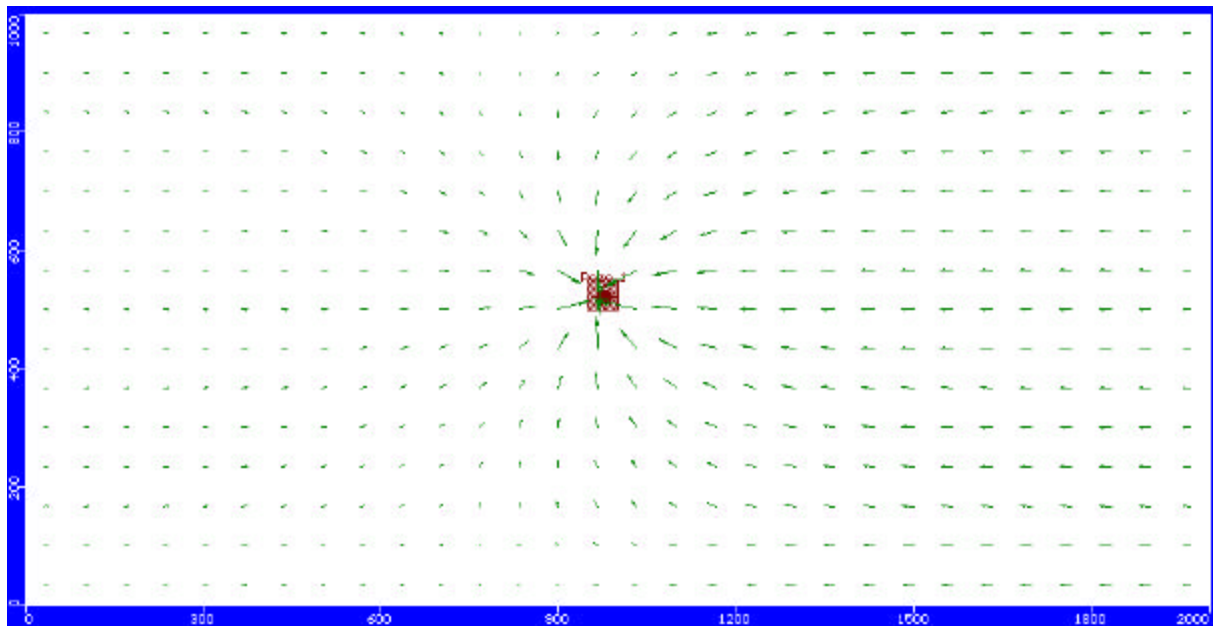
## MODELO 4: CONDICION DE BORDE DE NIVEL CONSTANTE Y CAUDAL PASANTE + POZO DE BOMBEO

**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?