



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

**SIMULACION DEL EFECTO DE UNA RECARGA ARTIFICIAL
EN LA FORMACION ACUIFERA JIJONA MEDIANTE EL
PROGRAMA DE ORDENADOR "FRAD"**



SECRETARIA GENERAL DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

31997

Este informe ha sido realizado dentro del Convenio de Asistencia Técnica establecido entre el Instituto Tecnológico Geominero de España (I.T.G.E.) y la Excma. Diputación Provincial de Alicante.

Han participado en su realización D. José Manuel Murillo Díaz, como supervisor del mismo, y D. José Antonio de la Orden Gómez como autor.

SIMULACION DE LA RECARGA ARTIFICIAL MEDIANTE EL PROGRAMA DE ORDENADOR "FRAD".

INTRODUCCION

El modelo de simulación FRAD o de flujo radial simula las oscilaciones del nivel piezométrico en puntos de observación alejados del pozo de bombeo, tomando como datos de entrada los correspondientes a un piezómetro real medido en el ensayo de bombeo. A partir de estas medidas y de las condiciones generales del acuífero (T y S medidas en el ensayo de bombeo), el programa elabora sucesivas simulaciones en las cuales se varían los parámetros hidrogeológicos del mismo hasta conseguir un resultado lo más ajustado posible al real (piezómetro) medido en el ensayo. Una vez modelizado el comportamiento del acuífero, pueden simularse descensos (o ascensos) con el modelo calibrado en cualquier punto cuyo comportamiento se desee conocer.

Como complemento a esta introducción, se acompaña en el anexo 1 la formulación matemática en la que se basa este modelo y su desarrollo.

Debe tenerse en cuenta que el modelo FRAD debe aplicarse a flujos de tipo radial, que son los que normalmente tienen lugar en medios detríticos. En el caso del acuífero de Jijona, el medio portador del agua es una calcarenita marina terciaria de tipo detrítico-fisurado, en la cual la circulación del agua tiene lugar fundamentalmente a través de la fisuración. Hecha esta salvedad, se aplicará el modelo FRAD a este caso, teniendo en cuenta sus limitaciones y tomando los resultados que se obtengan con la debida reserva.

AJUSTE DEL MODELO

El primer paso de la modelización es el ajuste, o calibración, del modelo. Para hacer esta calibración, se utilizarán como datos reales los medidos en el ensayo de bombeo realizado el día 16 de marzo de 1.994 en el pozo de recarga, utilizando en el mismo el pozo de abastecimiento de Sereñat como piezómetro de observación. Dichos resultados se muestran en el anexo 2.

Los resultados de los distintos ajustes se observan en los gráficos 1 a 9, ambos inclusive, cuyo resumen se sintetiza en el cuadro nº 1, en el cual se indican los parámetros y tipos de gráficos representados en la calibración. En cada uno de ellos, se señalan los parámetros hidrogeológicos utilizados en la misma. Como se ve con claridad, el mejor ajuste se consigue con los valores de 250 m²/día de transmisividad y un coeficiente de almacenamiento de $1,3 \times 10^{-4}$, que además es el real medido en el ensayo, ya que el modelo es más sensible a las variaciones del coeficiente de almacenamiento que a las de la transmisividad.

GRAFICO	PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS		TIPO DE GRAFICO
	TRANSMISIVIDAD M2/DIA	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	
1	250	$1,3 \times 10^{-4}$	d - logt
2	250	$1,3 \times 10^{-4}$	logd - logt
3	215	$1,3 \times 10^{-4}$	d - logt
4	150	$1,3 \times 10^{-4}$	d - logt
5	150	$1,3 \times 10^{-4}$	logd - logt
6	500	5×10^{-4}	d - logt
7	500	5×10^{-4}	logd - logt
8	100	$1,3 \times 10^{-4}$	d - logt
9	100	$1,3 \times 10^{-4}$	logd - logt

Cuadro 1. Resumen de la simulación realizada con los datos del piezómetro de Sereñat.

Por tanto, y finalmente, se puede decir que el modelo FRAD para el pozo de Sereñat, está calibrado con los valores antes indicados. Estos valores son los que se usarán en adelante para cualquier otra simulación.

En cuanto al pozo de Pineta, se ha realizado la simulación correspondiente, tomando como datos de partida los obtenidos en el ensayo de bombeo (Anexo 2) a partir del minuto 80, ya que hasta ese momento el ensayo estuvo influenciado por el funcionamiento del pozo para abastecimiento, obteniéndose unos valores de descensos negativos totalmente anormales y que el programa no acepta como válidos.

El mejor ajuste, en este caso, se produce con los valores $T = 500 \text{ m}^2/\text{día}$ y $S = 1,3 \times 10^{-4}$.

En los gráficos 10 a 15 inclusive se muestran distintas simulaciones con diferentes valores de T y S. Obsérvese que la mejor es la indicada anteriormente. Dichas simulaciones se resumen en cuadro nº 2.

GRAFICO	PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS		TIPO DE GRAFICO
	TRANSMISIVIDAD M ² /DIA	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	
10	500	$1,3 \times 10^{-4}$	logd - logt
11	500	$1,3 \times 10^{-4}$	d - logt
12	150	$1,3 \times 10^{-4}$	d - logt
13	1000	$1,3 \times 10^{-4}$	d - logt
14	500	8×10^{-4}	d - logt
15	350	$1,3 \times 10^{-4}$	d - logt

Cuadro 2. Resumen de la simulación realizada con los datos del pozo de Pineta.

SIMULACION DE ALTERNATIVAS DE BOMBEO

Una vez obtenidos los parámetros que calibran el modelo para el acuífero en estudio se realizará una simulación de los descensos producidos a diferentes distancias del pozo de bombeo y distintos caudales de bombeo con el modelo calibrado.

Las distancias que se estudian son las siguientes:

10 m., 25 m., 50 m., 100 m., 250 m., 500 m., 900 m., 1500 m. y 2000 m.

La simulación se hace con diferentes caudales de bombeo, abarcando valores de los mismos en un rango lo más amplio posible. Estos caudales son, en l/s: 15, 35, 45 y 55.

SIMULACION DE UNA RECARGA A CAUDAL CONSTANTE.

En este apartado se va a realizar la simulación de una recarga a caudal constante en el acuífero de Jijona, en el pozo de recarga construido a tal efecto. Los parámetros hidrogeológicos a utilizar son los ya expuestos en apartados anteriores, que ha sido obtenidos en la calibración del modelo FRAD con los datos del ensayo de bombeo en el pozo de Sereñat. Estos valores son: $T = 250 \text{ m}^2/\text{día}$ y $S = 1,3 \times 10^{-4}$.

Con objeto de proporcionar una visión lo más amplia posible del proceso, y dado que no se conoce con exactitud cuál será el caudal de inyección, ya que éste depende de la disponibilidad de agua en la zona, la simulación se hará con diferentes caudales de inyección.

A la vista de los escasos recursos hídricos de la zona, los caudales no deben ser elevados, ya que difícilmente éstos podrán estar disponibles.

Por ello, se han seleccionado los siguientes caudales, en l/s:

5, 10, 20, 25 y 30.

Los resultados de estas simulaciones quedan reflejados en las tablas 5 a 9. Como complemento a ellas, y en forma de resumen, se adjunta el cuadro siguiente:

CAUDAL L/S	ASCENSOS EN 1 SEMANA		ASCENSOS EN 2 SEMANAS		ASCENSOS EN 3 SEMANAS		ASCENSOS EN 1 MES	
	R= 100 Metros	R= 900 Metros	R= 100 Metros	R= 900 Metros	R= 100 Metros	R= 900 Metros	R= 100 Metros	R= 900 Metros
5	1,34	0,74	1,92	1,32	2,40	1,80	3,12	2,52
10	2,67	1,48	3,83	2,64	4,82	3,63	6,24	5,05
20	5,34	2,95	7,66	5,28	9,64	7,25	12,48	10,09
25	6,67	3,69	9,58	6,59	12,04	9,06	15,60	12,61
30	8,01	4,43	11,49	7,91	14,45	10,87	18,21	15,14
40	10,68	5,91	15,32	10,55	19,27	14,50	24,95	20,18
50	13,35	7,38	19,15	13,19	24,09	18,12	31,19	25,53

VALORACION DE LOS RESULTADOS

Los ascensos teóricos obtenidos en esta simulación permiten afrontar con optimismo el ensayo de recarga, ya que los niveles piezométricos ascienden de forma importante.

Obsérvese que para un ensayo de recarga de una semana de duración (es decir, 10.080 minutos), los ascensos que da el modelo para un caudal de inyección de 30 l/s son de 4,43 metros a una distancia de 900 metros del pozo de recarga y de 8 metros a una distancia de 100 metros del mismo. Estos valores son relativamente elevados, y, caso de ser comprobados en un ensayo de recarga real, lo suficientemente importantes como para hacer viable la recarga artificial del acuífero. Véase que estos valores son muy optimistas acerca del comportamiento de la recarga.

En el caso más desfavorable de los simulados, con un caudal de inyección de 5 l/s, los ascensos teóricos correspondientes son de 0,74 metros a 900 metros del pozo, 0,61 a 1.500 metros y 1,34 metros a 100 metros del mismo. En este caso, aunque los valores son lógicamente menores debido a la menor disponibilidad de agua, pueden ser igualmente válidos para la recarga, puesto que se puede almacenar una cantidad importante de agua en el acuífero que puede permitir responder ante demandas posteriores sin una pérdida importante de nivel respecto al que tendría si no se hubiese hecho la recarga.

Todos estos ascensos, aunque significativos, deben ser tomados con la reserva propia del método utilizado para su obtención, ya que proceden de una simulación con un modelo matemático, que como su propio nombre indica no es la realidad, sino sólo la simulación de la misma, con lo que ello puede suponer de inconveniente en cuanto a la variación de la realidad del acuífero respecto a este ensayo.

Por último, es necesario indicar que todos estos valores obtenidos en la simulación con el modelo FRAD deben ser comprobados en un ensayo de recarga artificial que permitirá compararlos con los que se obtengan en el mismo y ajustar los parámetros del modelo que se desvíen de los reales, con objeto de calibrar definitivamente el modelo. No obstante, los valores que se han utilizado en la calibración del modelo para esta simulación, proceden de un ensayo de bombeo real, como ya se indicó, con lo cual podrían estar cerca de los valores reales.

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

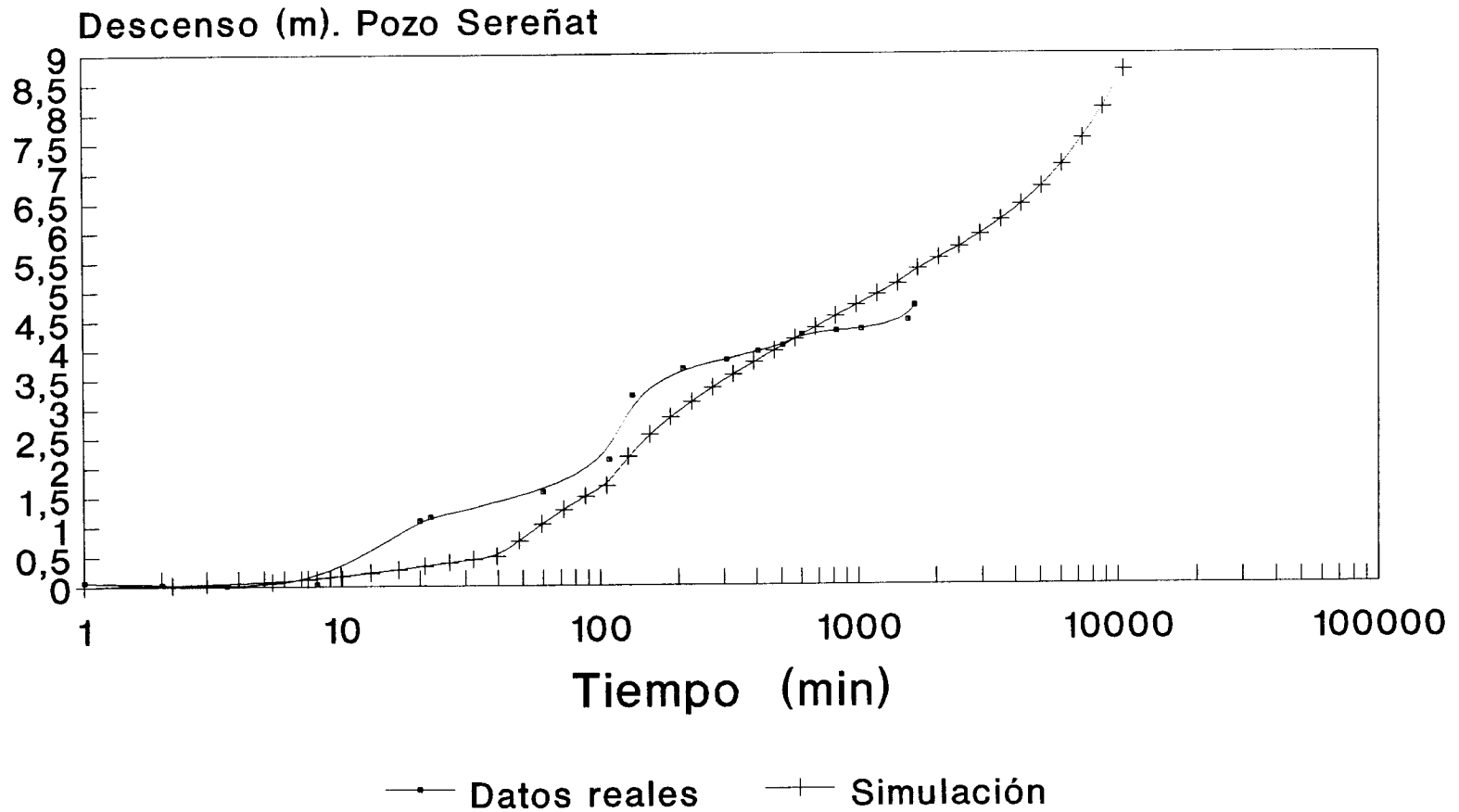


Gráfico nº 1. T=250 y S=0,00013

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

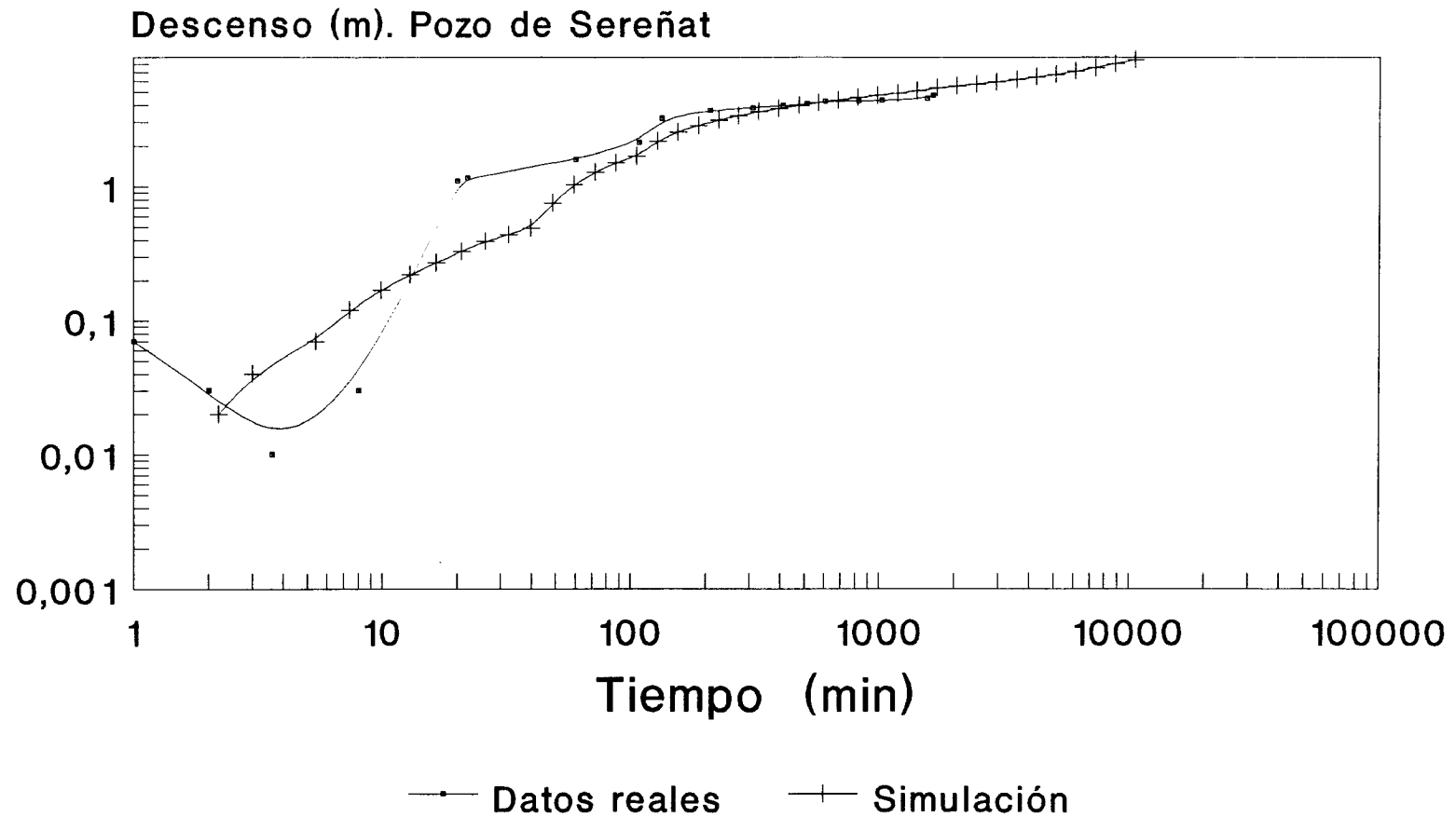


Gráfico nº 2. $T=250$ y $S=0,00013$

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

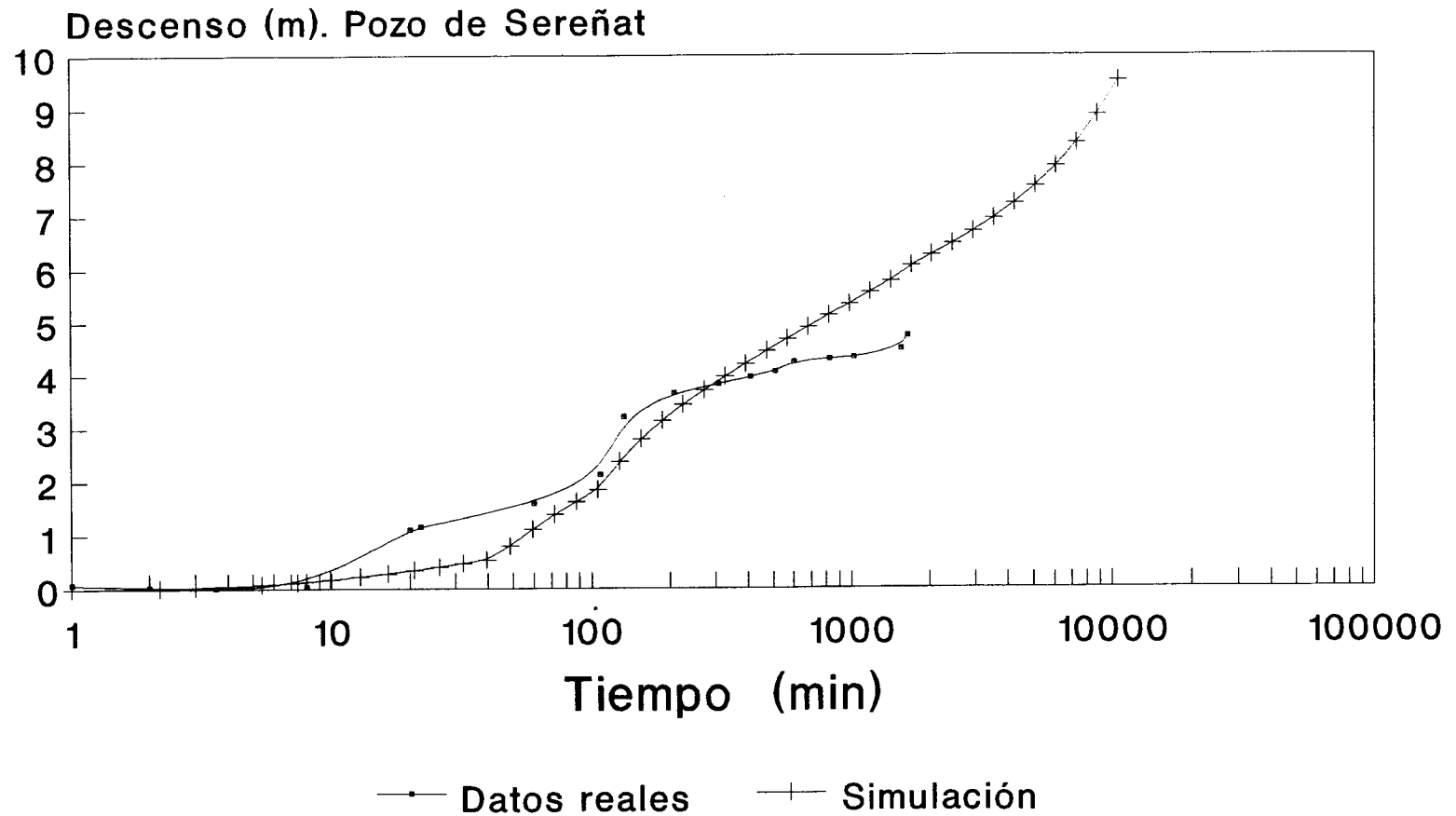


Gráfico nº 3. T=215 y S=0,00013

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

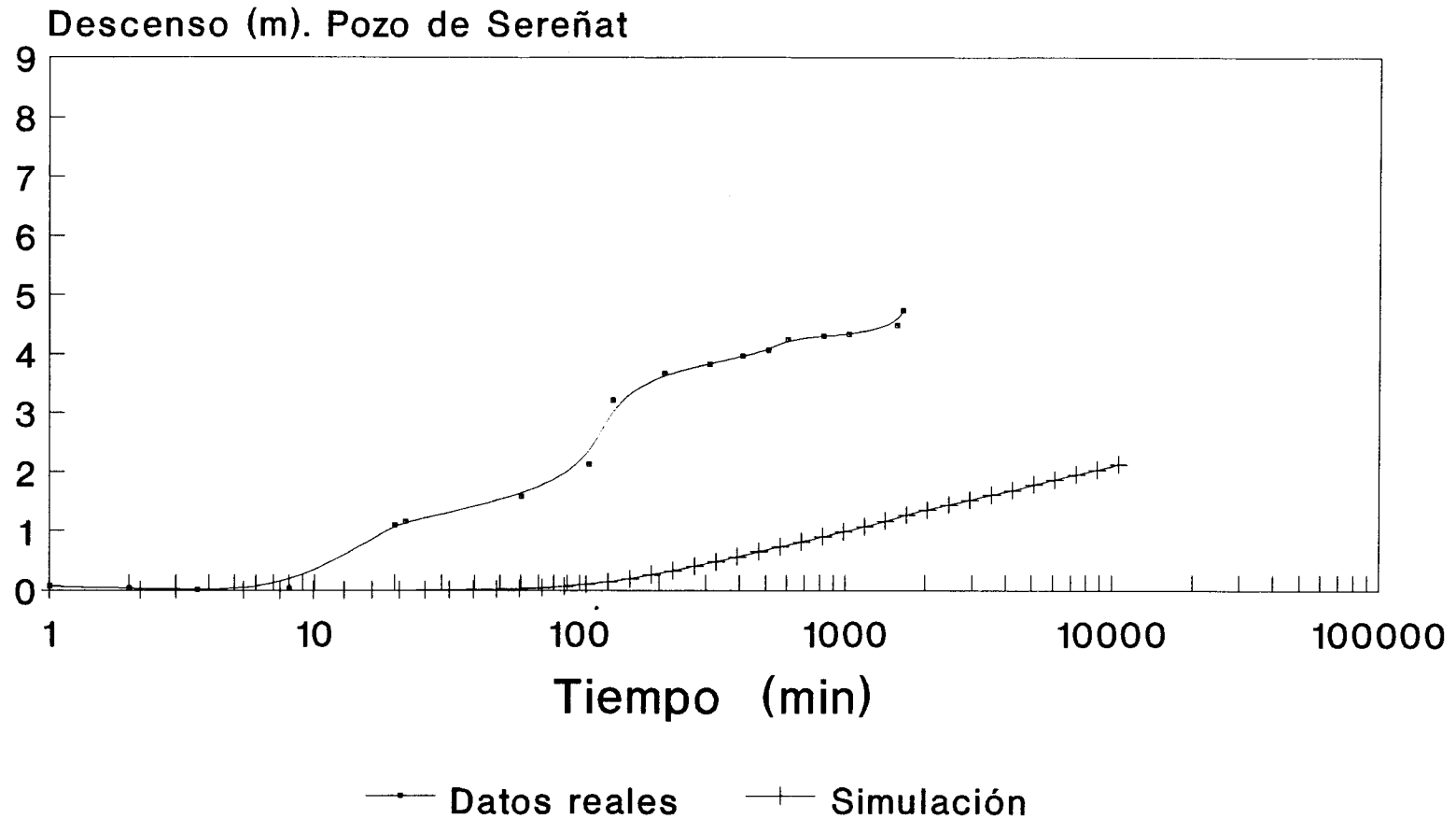


Gráfico nº 6. T=500 y S=0,005

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

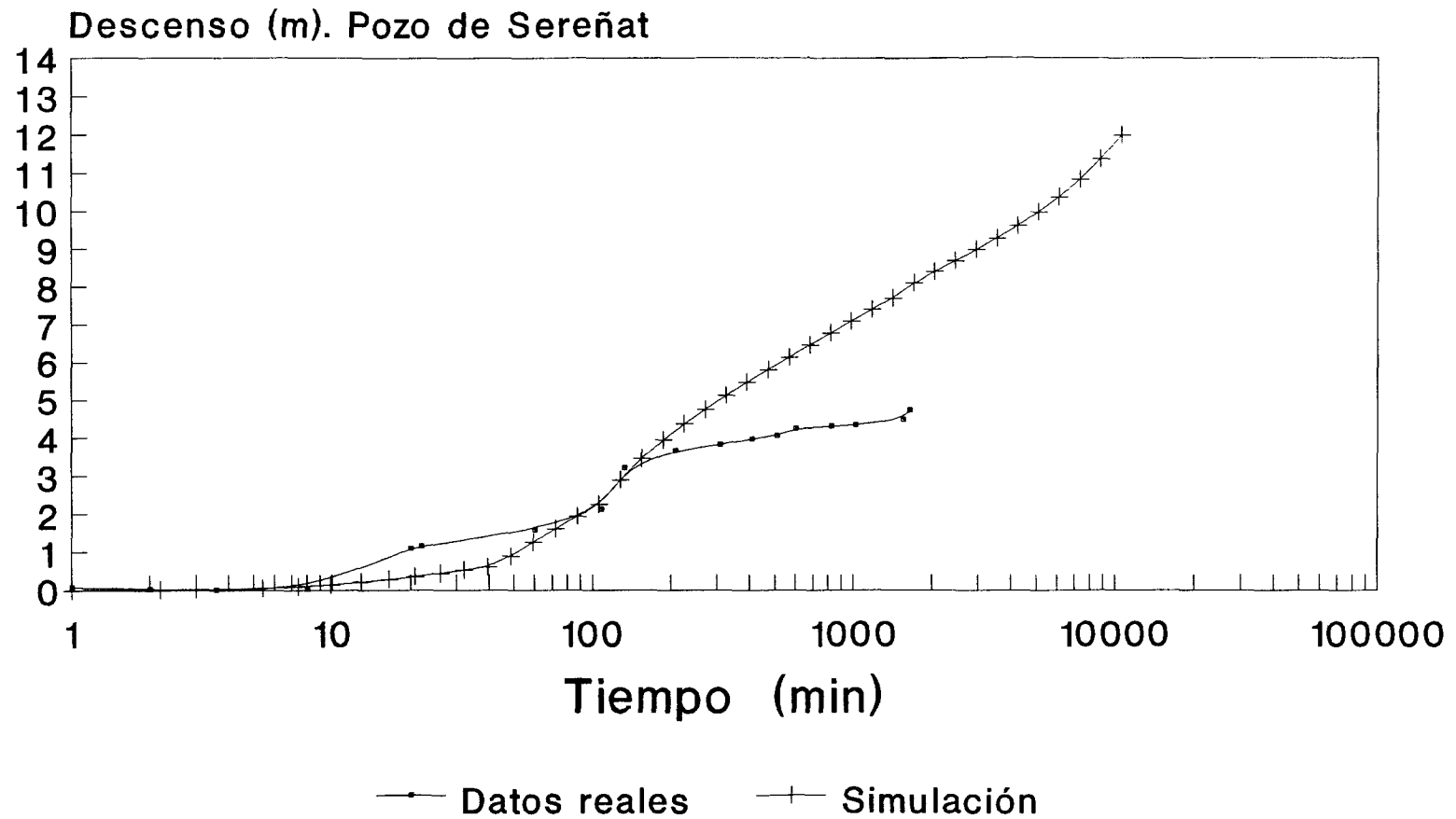


Gráfico nº 4. T=150 y S=0,00013

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

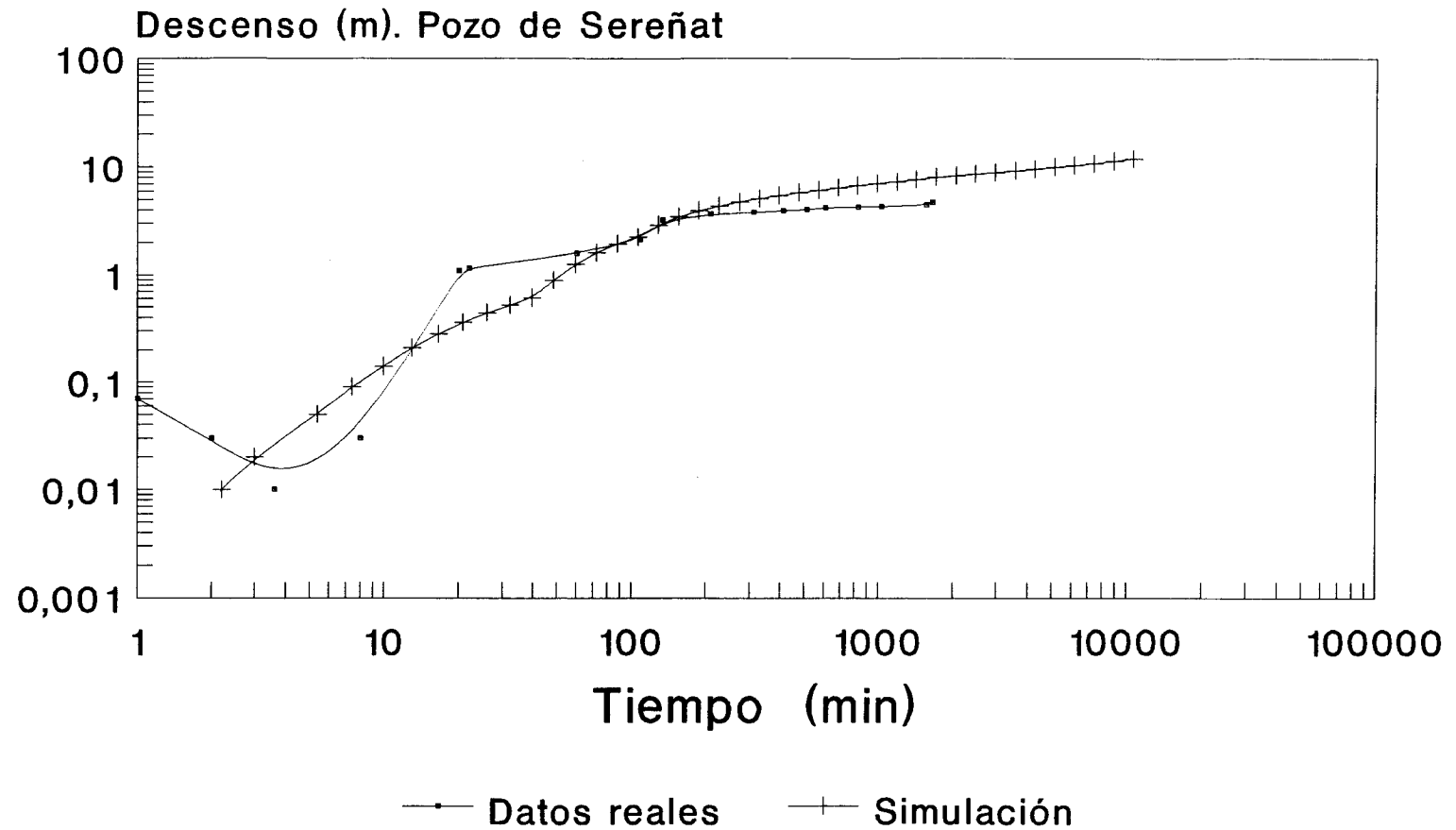


Gráfico nº 5. T=150 y S=0,00013

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

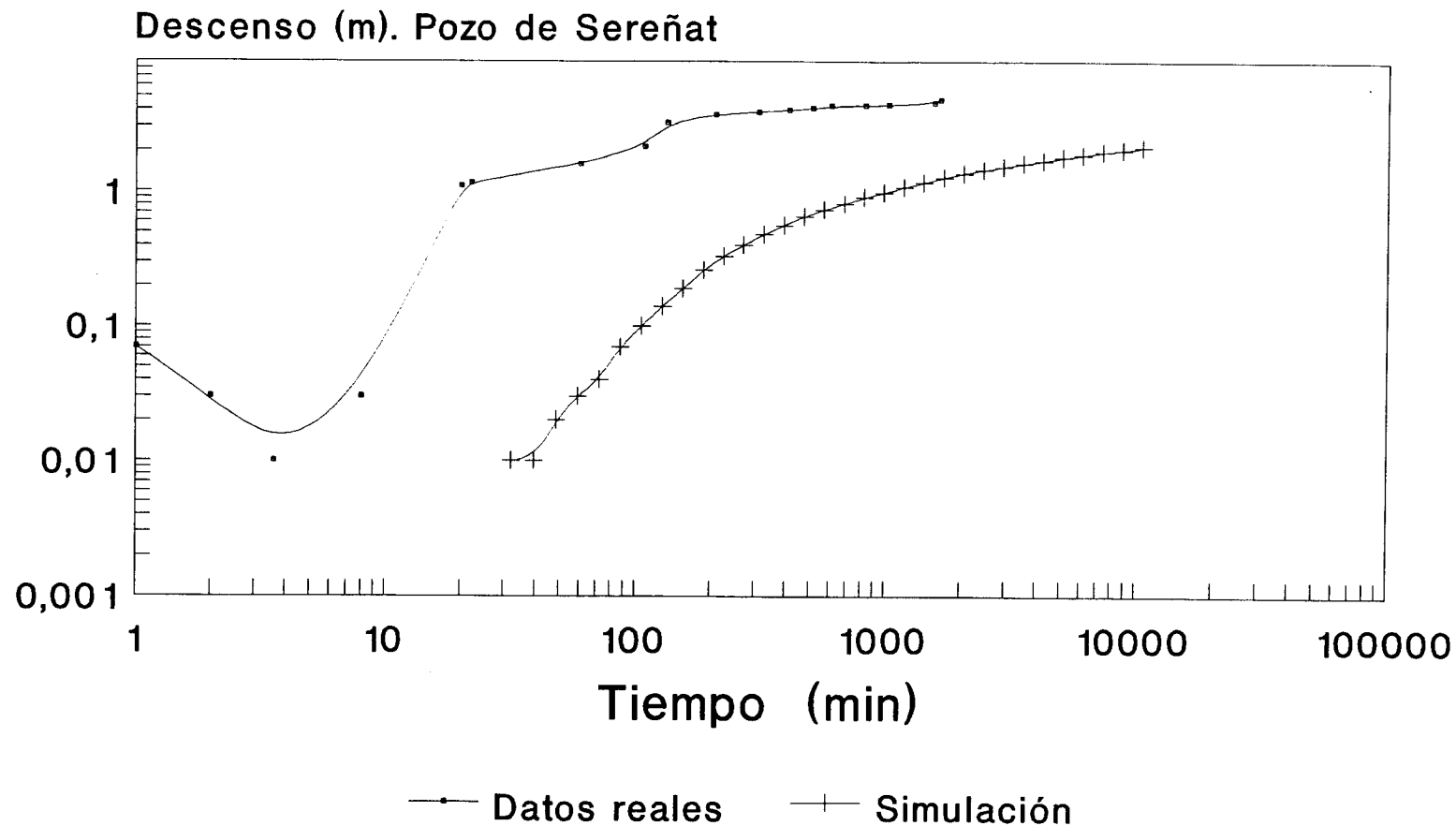


Gráfico nº 7. $T=500$ y $S=0,005$

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

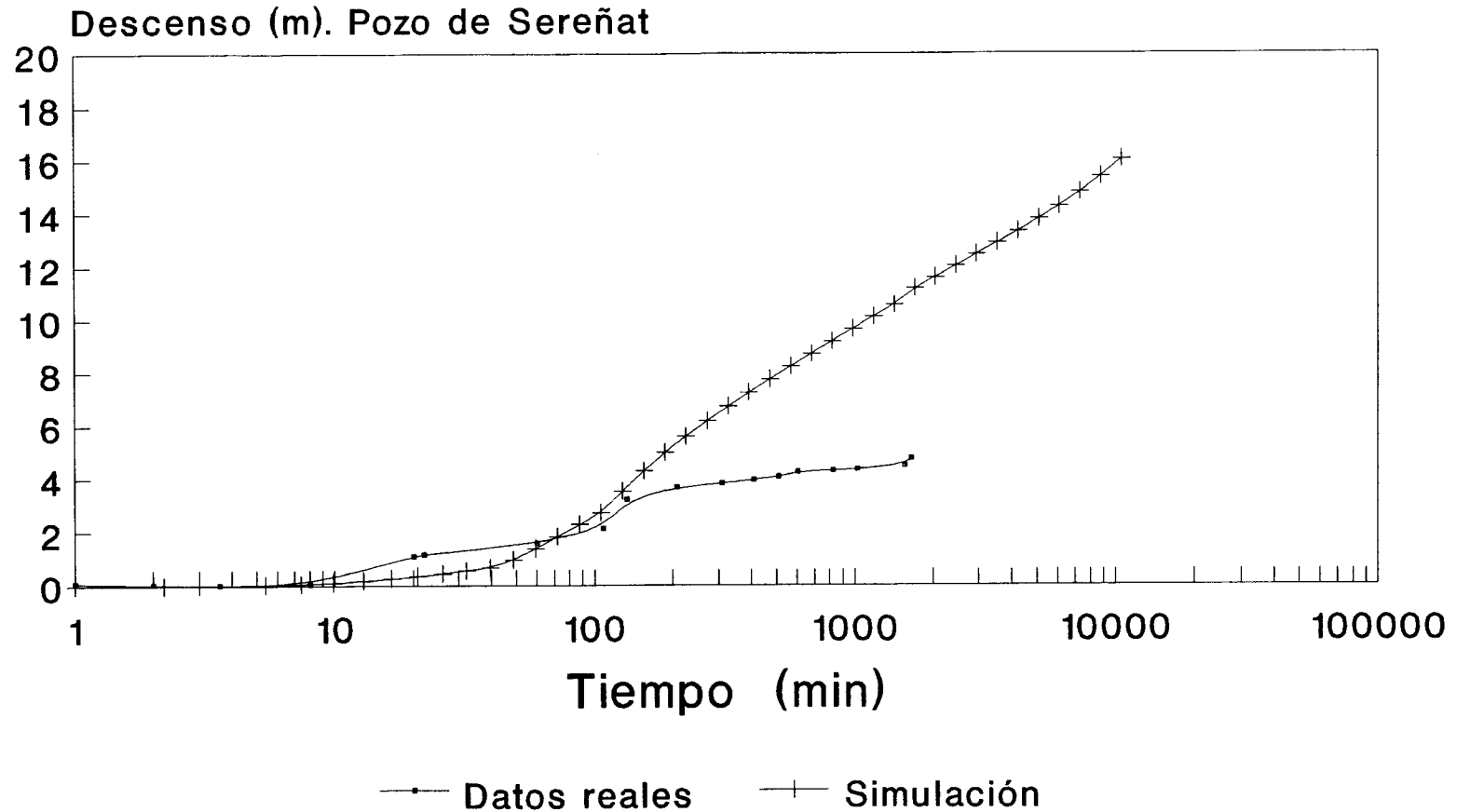


Gráfico nº 8. T=100 y S=0,00013

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

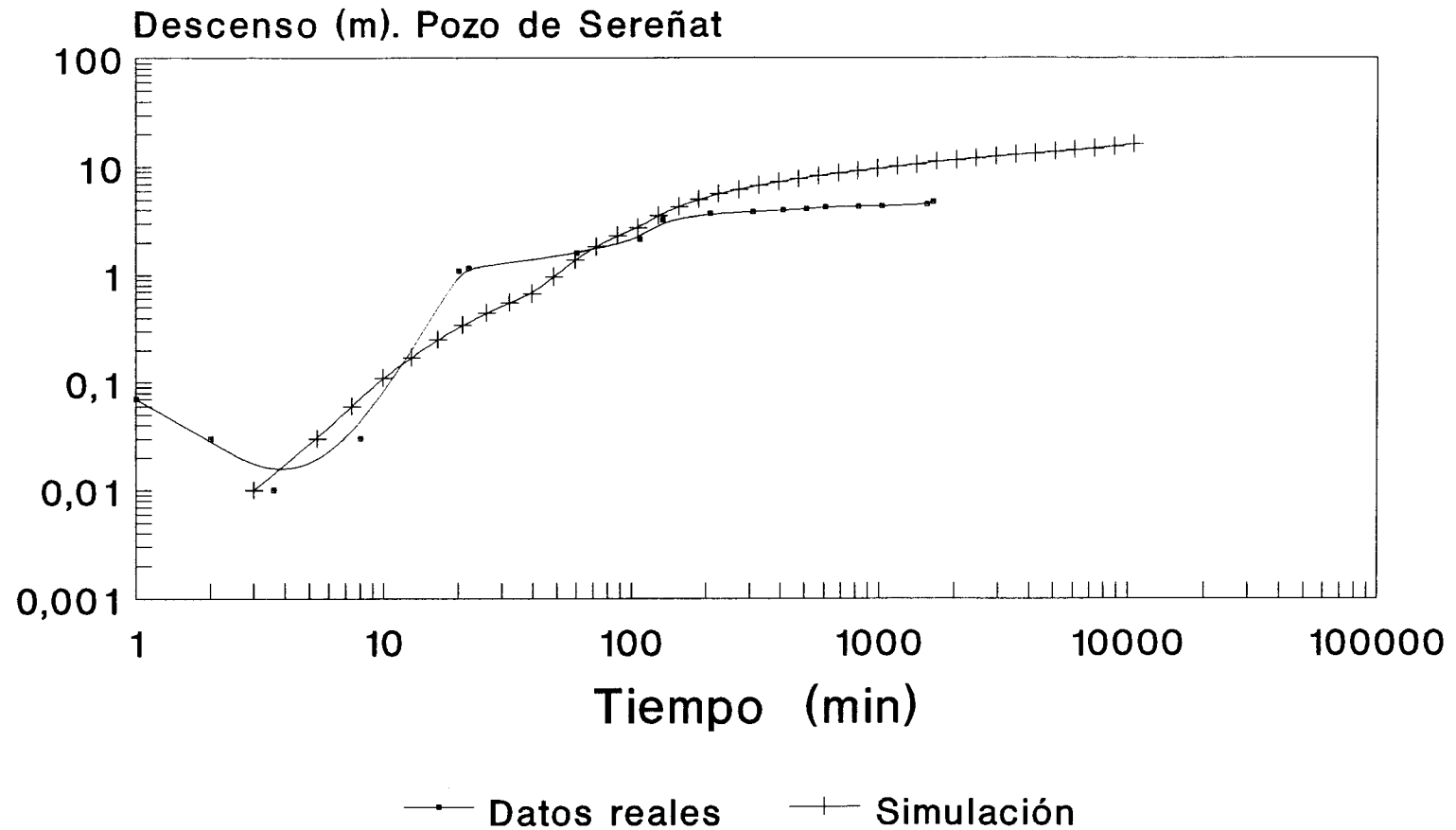


Gráfico nº 9. T=100 y S=0,00013

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

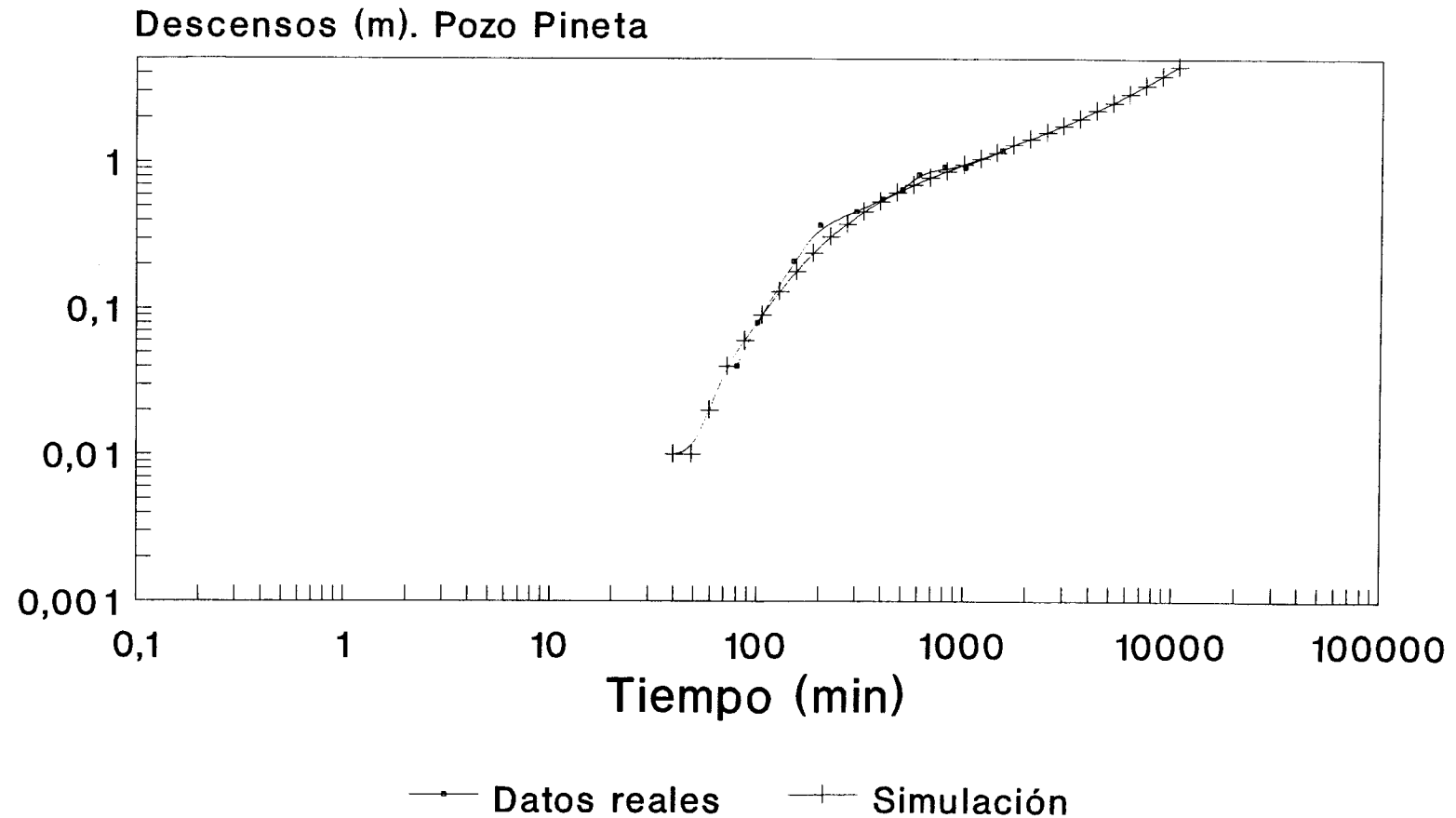


Gráfico nº 10. T=500 y S=0,00013

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

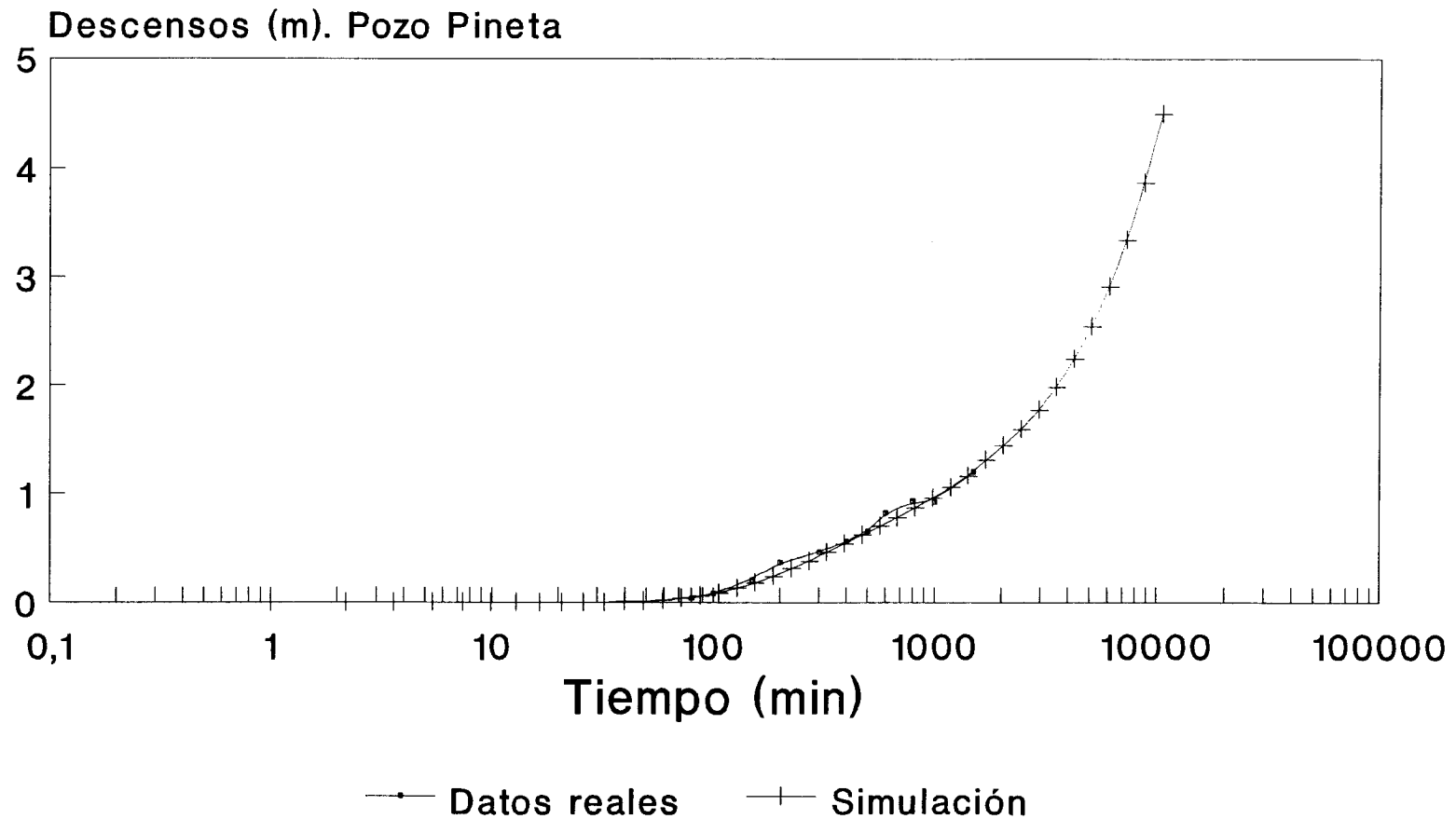


Gráfico nº 11. T=500 y S=0,00013

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

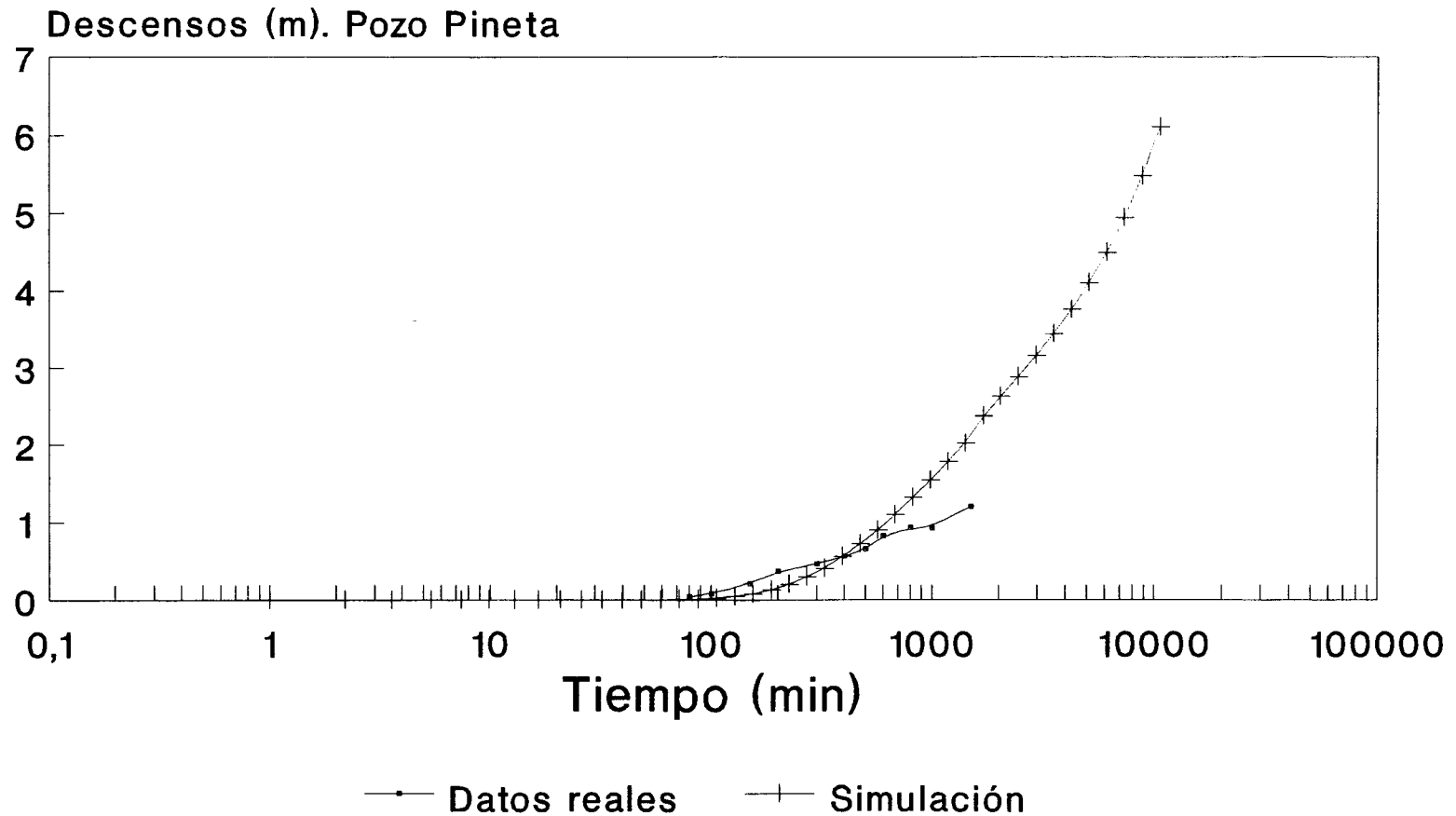


Gráfico nº 12. T=150 y S=0,00013

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

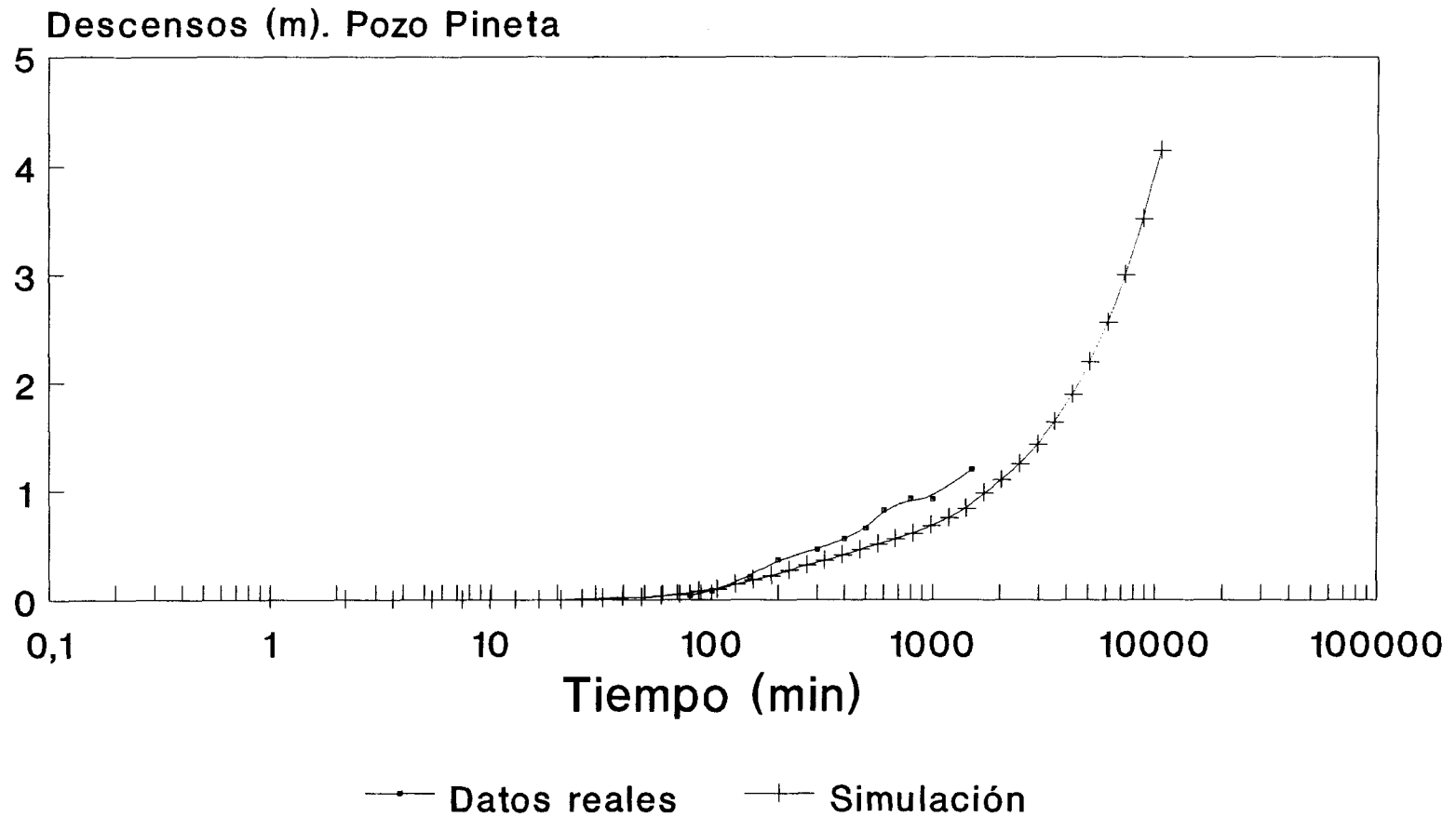


Gráfico nº 13. T=1000 y S=0,00013

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

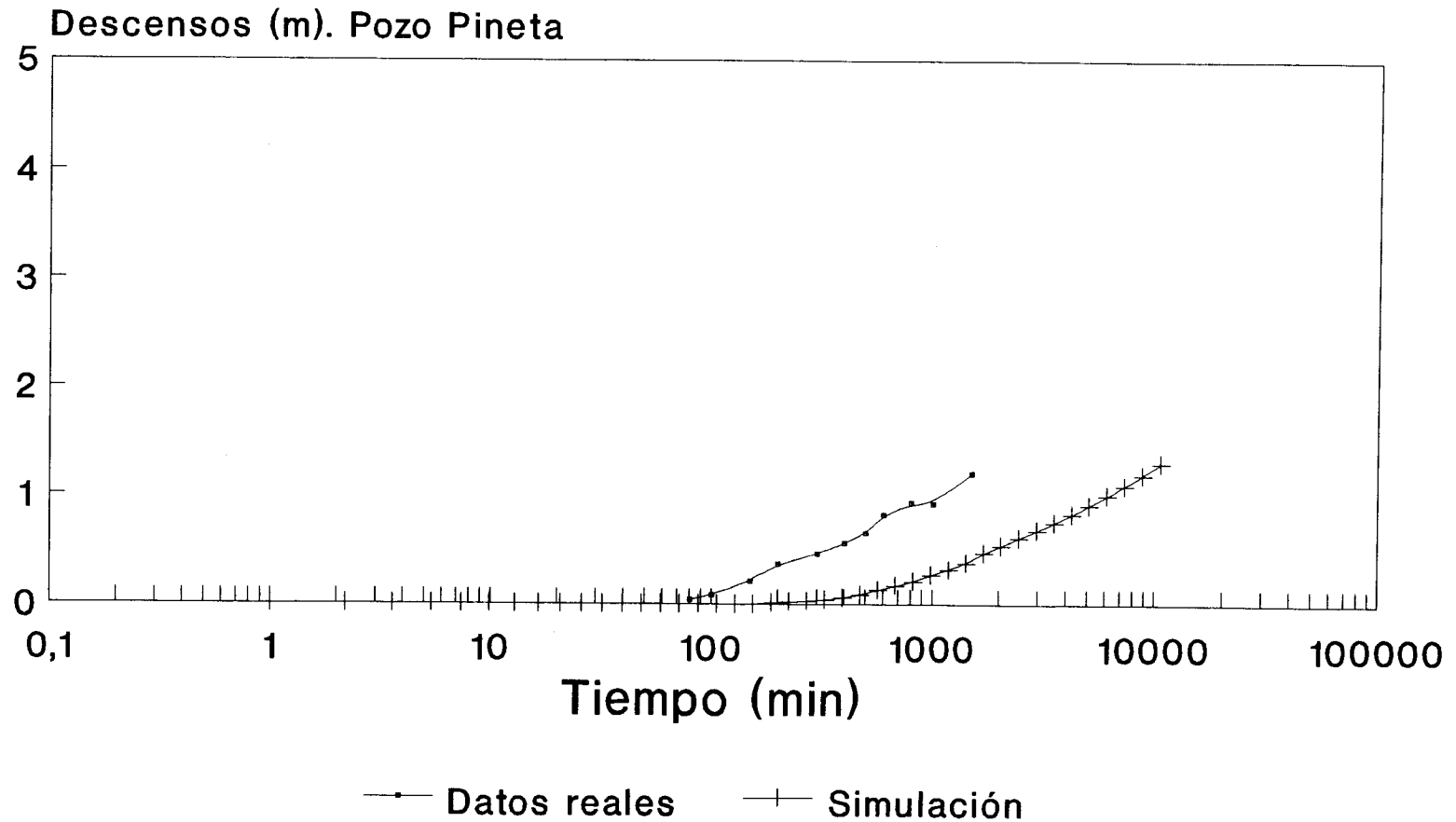


Gráfico nº 14. T=500 y S=0,0008

MODELO FRAD

Acuífero de Jijona

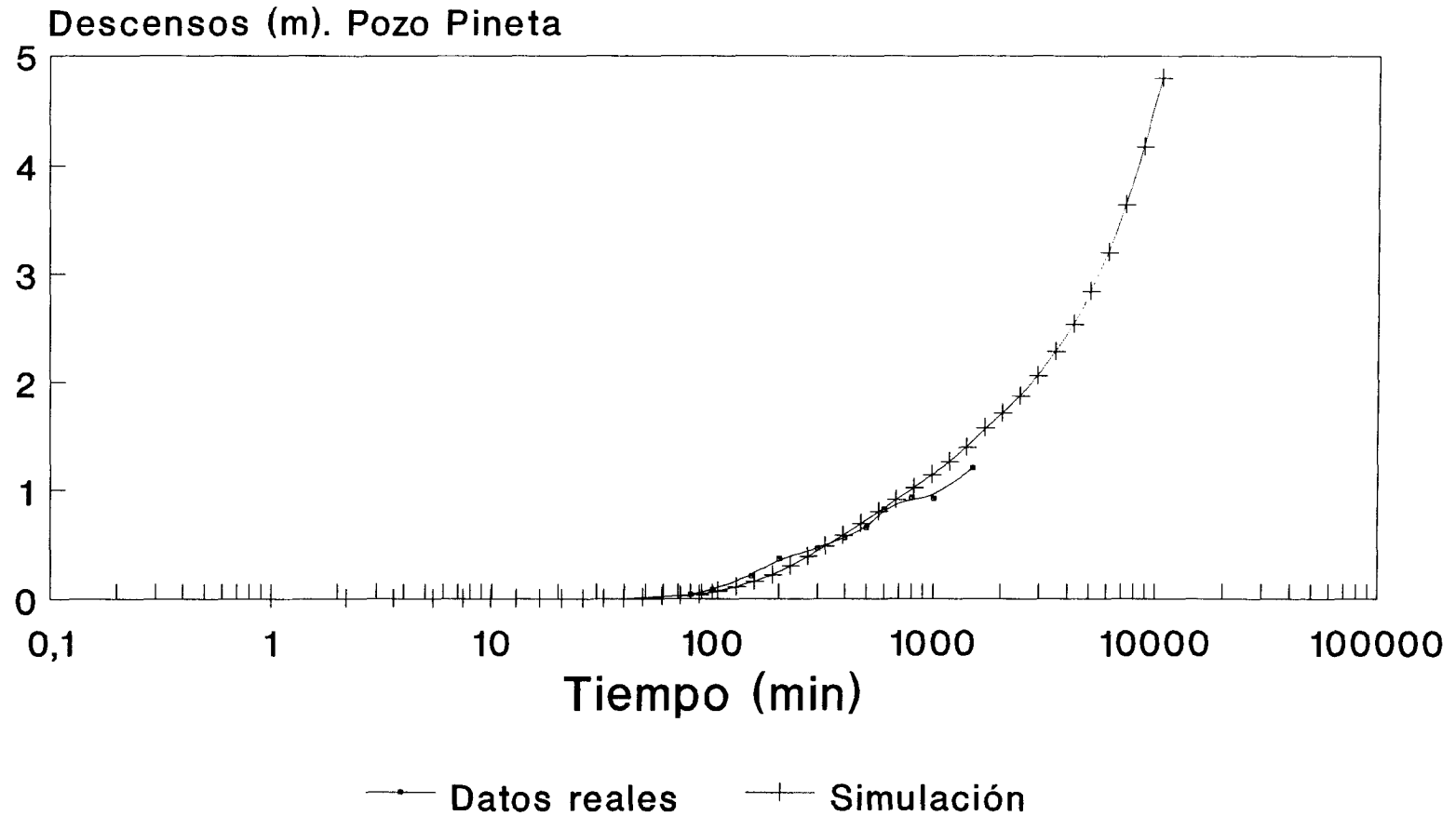


Gráfico nº 15. T=350 y S=0,0008

Dist1	Dist2	Dist3	Dist4	Dist5	Dist6	Dist7	Dist8	Dist9	TIEMPO
10.0	25.0	50.0	100.0	250.0	500.0	900.0	1500.0	2000.0	
0.53	0.25	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
1.03	0.55	0.25	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2
1.42	0.83	0.43	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.6
1.73	1.07	0.60	0.23	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4
1.97	1.27	0.76	0.33	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	7.4
2.16	1.43	0.91	0.43	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	9.9
2.31	1.58	1.03	0.53	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	12.9
2.44	1.70	1.15	0.63	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	16.5
2.56	1.82	1.26	0.73	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00	20.8
2.67	1.92	1.36	0.82	0.23	0.03	0.00	0.00	0.00	26.0
2.77	2.02	1.46	0.91	0.29	0.04	0.00	0.00	0.00	32.2
2.86	2.11	1.55	1.00	0.35	0.06	0.00	0.00	0.00	39.6
2.95	2.20	1.64	1.08	0.42	0.09	0.01	0.00	0.00	48.5
3.04	2.29	1.72	1.16	0.48	0.12	0.01	0.00	0.00	59.2
3.13	2.37	1.81	1.25	0.55	0.16	0.02	0.00	0.00	72.0
3.21	2.46	1.89	1.33	0.62	0.20	0.03	0.00	0.00	87.4
3.29	2.54	1.97	1.41	0.69	0.25	0.05	0.00	0.00	105.9
3.37	2.62	2.05	1.48	0.76	0.30	0.07	0.01	0.00	128.1
3.45	2.70	2.13	1.56	0.84	0.36	0.09	0.01	0.00	154.7
3.53	2.78	2.21	1.64	0.91	0.42	0.12	0.02	0.00	186.7
3.61	2.86	2.29	1.72	0.98	0.48	0.16	0.03	0.01	225.0
3.69	2.93	2.36	1.80	1.06	0.54	0.20	0.04	0.01	271.0
3.77	3.01	2.44	1.87	1.13	0.61	0.24	0.06	0.02	326.2
3.84	3.09	2.52	1.95	1.20	0.67	0.29	0.08	0.03	392.5
3.92	3.17	2.59	2.02	1.28	0.74	0.34	0.11	0.04	472.0
4.00	3.24	2.67	2.10	1.35	0.81	0.40	0.14	0.06	567.4
4.07	3.32	2.75	2.18	1.43	0.88	0.46	0.18	0.08	681.9
4.15	3.39	2.82	2.25	1.50	0.95	0.52	0.22	0.10	819.2
4.23	3.47	2.90	2.33	1.58	1.02	0.58	0.27	0.14	984.1
4.30	3.55	2.97	2.40	1.65	1.09	0.65	0.32	0.17	1181.9
4.38	3.62	3.05	2.48	1.73	1.17	0.72	0.37	0.22	1419.3
4.46	3.70	3.13	2.56	1.81	1.24	0.79	0.43	0.27	1704.1
4.53	3.78	3.21	2.64	1.88	1.32	0.86	0.50	0.33	2045.9
4.62	3.86	3.29	2.72	1.97	1.40	0.94	0.57	0.39	2456.1
4.71	3.95	3.38	2.81	2.06	1.49	1.03	0.65	0.47	2948.3
4.81	4.06	3.48	2.91	2.16	1.59	1.13	0.75	0.56	3539.0
4.93	4.17	3.60	3.03	2.27	1.71	1.24	0.86	0.67	4247.8
5.06	4.30	3.73	3.16	2.41	1.84	1.37	0.99	0.81	5098.4
5.22	4.46	3.89	3.32	2.57	2.00	1.53	1.15	0.96	6119.1
5.41	4.65	4.08	3.51	2.75	2.19	1.72	1.34	1.15	7343.9
5.63	4.88	4.31	3.73	2.98	2.41	1.95	1.56	1.38	8813.6
5.90	5.15	4.58	4.00	3.25	2.68	2.22	1.84	1.65	10577.4
6.23	5.47	4.90	4.33	3.58	3.01	2.54	2.16	1.97	12693.9
6.62	5.86	5.29	4.72	3.96	3.40	2.93	2.55	2.36	15233.6
7.08	6.33	5.76	5.19	4.43	3.87	3.40	3.02	2.83	18281.4
7.64	6.89	6.32	5.75	4.99	4.43	3.96	3.58	3.39	21938.6
8.32	7.56	6.99	6.42	5.67	5.10	4.63	4.25	4.06	26327.4
9.12	8.37	7.80	7.23	6.47	5.91	5.44	5.06	4.87	31593.8
10.09	9.34	8.77	8.20	7.44	6.87	6.41	6.03	5.84	37913.6
11.26	10.50	9.93	9.36	8.60	8.04	7.57	7.19	7.00	45497.3
12.65	11.89	11.32	10.75	10.00	9.43	8.96	8.58	8.39	54597.8
14.32	13.57	13.00	12.43	11.67	11.11	10.64	10.26	10.07	65518.3

Tabla I. Resultado de la simulación de un bombeo con un caudal de 15 l/s

Descensos de nivel.

Dist1	Dist2	Dist3	Dist4	Dist5	Dist6	Dist7	Dist8	Dist9	TIEMPO
10.0	25.0	50.0	100.0	250.0	500.0	900.0	1500.0	2000.0	
1.23	0.57	0.22	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
2.39	1.28	0.58	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2
3.32	1.93	0.99	0.32	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.6
4.04	2.49	1.40	0.53	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4
4.60	2.96	1.78	0.77	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	7.4
5.04	3.35	2.11	1.01	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	9.9
5.40	3.66	2.41	1.25	0.21	0.01	0.00	0.00	0.00	12.9
5.71	3.97	2.69	1.48	0.30	0.02	0.00	0.00	0.00	16.5
5.98	4.24	2.94	1.70	0.42	0.04	0.00	0.00	0.00	20.8
6.23	4.48	3.18	1.91	0.54	0.06	0.00	0.00	0.00	26.0
6.46	4.71	3.40	2.12	0.68	0.10	0.00	0.00	0.00	32.2
6.68	4.93	3.61	2.32	0.82	0.15	0.01	0.00	0.00	39.6
6.89	5.14	3.82	2.52	0.97	0.21	0.02	0.00	0.00	48.5
7.10	5.34	4.02	2.72	1.13	0.29	0.03	0.00	0.00	59.2
7.30	5.54	4.22	2.91	1.29	0.38	0.05	0.00	0.00	72.0
7.49	5.73	4.41	3.09	1.45	0.48	0.07	0.00	0.00	87.4
7.68	5.92	4.60	3.28	1.62	0.59	0.11	0.01	0.00	105.9
7.87	6.11	4.78	3.46	1.78	0.71	0.16	0.01	0.00	128.1
8.06	6.30	4.97	3.65	1.95	0.84	0.22	0.02	0.00	154.7
8.24	6.48	5.15	3.83	2.12	0.97	0.29	0.04	0.01	186.7
8.43	6.67	5.34	4.01	2.29	1.11	0.37	0.06	0.01	225.0
8.61	6.85	5.52	4.19	2.47	1.26	0.46	0.09	0.02	271.0
8.79	7.03	5.70	4.37	2.64	1.41	0.57	0.14	0.04	326.2
8.97	7.21	5.88	4.55	2.81	1.57	0.68	0.19	0.06	392.5
9.15	7.39	6.05	4.72	2.98	1.73	0.80	0.25	0.09	472.0
9.33	7.56	6.23	4.90	3.16	1.89	0.93	0.33	0.13	567.4
9.50	7.74	6.41	5.08	3.33	2.05	1.07	0.41	0.18	681.9
9.68	7.92	6.59	5.26	3.51	2.22	1.21	0.51	0.24	819.2
9.86	8.10	6.76	5.43	3.68	2.38	1.36	0.62	0.32	984.1
10.04	8.27	6.94	5.61	3.86	2.55	1.51	0.74	0.41	1181.9
10.22	8.45	7.12	5.79	4.03	2.73	1.67	0.87	0.51	1419.3
10.40	8.63	7.30	5.97	4.21	2.90	1.83	1.01	0.63	1704.1
10.58	8.82	7.49	6.15	4.40	3.08	2.01	1.16	0.76	2045.9
10.78	9.02	7.68	6.35	4.59	3.28	2.19	1.33	0.92	2456.1
10.99	9.23	7.89	6.56	4.80	3.48	2.40	1.53	1.10	2948.3
11.22	9.46	8.13	6.80	5.04	3.72	2.63	1.75	1.32	3539.0
11.49	9.73	8.40	7.06	5.31	3.98	2.89	2.01	1.57	4247.8
11.81	10.04	8.71	7.38	5.62	4.30	3.20	2.32	1.88	5098.4
12.17	10.41	9.08	7.75	5.99	4.67	3.57	2.69	2.25	6119.1
12.61	10.85	9.52	8.19	6.43	5.11	4.01	3.12	2.69	7343.9
13.14	11.38	10.04	8.71	6.95	5.63	4.54	3.65	3.21	8813.6
13.77	12.01	10.68	9.34	7.58	6.26	5.17	4.28	3.84	10577.4
14.53	12.77	11.43	10.10	8.34	7.02	5.93	5.04	4.60	12693.9
15.44	13.67	12.34	11.01	9.25	7.93	6.83	5.95	5.51	15233.6
16.53	14.76	13.43	12.10	10.34	9.02	7.92	7.04	6.60	18281.4
17.83	16.07	14.74	13.41	11.65	10.33	9.23	8.34	7.91	21938.6
19.40	17.64	16.31	14.98	13.22	11.90	10.80	9.91	9.48	26327.4
21.29	19.53	18.19	16.86	15.10	13.78	12.69	11.80	11.36	31593.8
23.55	21.79	20.45	19.12	17.36	16.04	14.95	14.06	13.62	37913.6
26.26	24.50	23.17	21.83	20.07	18.75	17.66	16.77	16.33	45497.3
29.52	27.75	26.42	25.09	23.33	22.01	20.91	20.03	19.59	54597.8
33.42	31.66	30.33	28.99	27.23	25.91	24.82	23.93	23.49	65518.3

Tabla II. Resultado de la simulación de un bombeo con un caudal de 35 l/s.
Descensos de nivel.

Dist1	Dist2	Dist3	Dist4	Dist5	Dist6	Dist7	Dist8	Dist9	TIEMPO
10.0	25.0	50.0	100.0	250.0	500.0	900.0	1500.0	2000.0	
1.59	0.74	0.28	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
3.02	1.64	0.75	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2
4.27	2.48	1.29	0.41	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	3.6
5.20	3.20	1.80	0.69	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4
5.91	3.80	2.28	0.99	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	7.4
6.48	4.30	2.72	1.30	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	9.9
6.94	4.73	3.10	1.60	0.27	0.01	0.00	0.00	0.00	12.9
7.34	5.11	3.46	1.90	0.39	0.02	0.00	0.00	0.00	16.5
7.69	5.45	3.78	2.19	0.53	0.05	0.00	0.00	0.00	20.8
8.01	5.76	4.08	2.46	0.70	0.08	0.00	0.00	0.00	26.0
8.31	6.06	4.37	2.73	0.87	0.13	0.00	0.00	0.00	32.2
8.59	6.34	4.64	2.99	1.06	0.19	0.01	0.00	0.00	39.6
8.86	6.61	4.91	3.24	1.25	0.27	0.02	0.00	0.00	48.5
9.13	6.87	5.17	3.49	1.45	0.37	0.04	0.00	0.00	59.2
9.38	7.12	5.42	3.74	1.66	0.49	0.06	0.00	0.00	72.0
9.63	7.37	5.67	3.98	1.87	0.61	0.09	0.00	0.00	87.4
9.88	7.62	5.91	4.22	2.08	0.76	0.14	0.01	0.00	105.9
10.12	7.86	6.15	4.45	2.29	0.91	0.20	0.02	0.00	128.1
10.36	8.10	6.39	4.69	2.51	1.08	0.28	0.03	0.00	154.7
10.60	8.34	6.63	4.92	2.73	1.25	0.37	0.05	0.01	186.7
10.83	8.57	6.86	5.16	2.95	1.43	0.47	0.08	0.02	225.0
11.07	8.80	7.09	5.39	3.17	1.62	0.59	0.12	0.03	271.0
11.30	9.04	7.32	5.62	3.39	1.82	0.73	0.17	0.05	326.2
11.53	9.27	7.55	5.85	3.61	2.02	0.87	0.24	0.08	392.5
11.76	9.50	7.78	6.07	3.84	2.22	1.03	0.32	0.11	472.0
11.99	9.72	8.01	6.30	4.06	2.43	1.20	0.42	0.17	567.4
12.22	9.95	8.24	6.53	4.28	2.64	1.37	0.53	0.23	681.9
12.45	10.18	8.47	6.76	4.51	2.85	1.56	0.66	0.31	819.2
12.68	10.41	8.70	6.99	4.73	3.07	1.75	0.80	0.41	984.1
12.90	10.64	8.92	7.21	4.96	3.28	1.94	0.95	0.52	1181.9
13.13	10.87	9.15	7.44	5.19	3.50	2.15	1.11	0.65	1419.3
13.37	11.10	9.39	7.68	5.42	3.73	2.36	1.29	0.80	1704.1
13.60	11.34	9.63	7.91	5.65	3.96	2.58	1.49	0.98	2045.9
13.86	11.59	9.88	8.17	5.91	4.21	2.82	1.71	1.18	2456.1
14.13	11.86	10.15	8.44	6.18	4.48	3.08	1.96	1.42	2948.3
14.43	12.16	10.45	8.74	6.48	4.78	3.38	2.25	1.69	3539.0
14.78	12.51	10.80	9.08	6.82	5.12	3.72	2.58	2.02	4247.8
15.18	12.91	11.20	9.48	7.22	5.52	4.12	2.98	2.42	5098.4
15.65	13.39	11.67	9.96	7.70	6.00	4.59	3.45	2.89	6119.1
16.22	13.95	12.24	10.52	8.26	6.56	5.16	4.02	3.45	7343.9
16.89	14.63	12.91	11.20	8.94	7.24	5.83	4.69	4.13	8813.6
17.71	15.44	13.73	12.01	9.75	8.05	6.65	5.50	4.94	10577.4
18.68	16.41	14.70	12.99	10.72	9.03	7.62	6.48	5.91	12693.9
19.85	17.58	15.87	14.15	11.89	10.19	8.79	7.65	7.08	15233.6
21.25	18.98	17.27	15.55	13.29	11.59	10.19	9.05	8.48	18281.4
22.93	20.66	18.95	17.24	14.97	13.28	11.87	10.73	10.16	21938.6
24.95	22.68	20.97	19.26	16.99	15.29	13.89	12.75	12.18	26327.4
27.37	25.10	23.39	21.68	19.41	17.72	16.31	15.17	14.60	31593.8
30.28	28.01	26.30	24.58	22.32	20.62	19.22	18.07	17.51	37913.6
33.76	31.50	29.78	28.07	25.81	24.11	22.70	21.56	21.00	45497.3
37.95	35.68	33.97	32.25	29.99	28.29	26.89	25.75	25.18	54597.8
42.97	40.70	38.99	37.28	35.01	33.32	31.91	30.77	30.20	65518.3

Tabla III. Resultado de la simulación de un bombeo con un caudal de 45 l/s
Descensos de nivel.

Dist1	Dist2	Dist3	Dist4	Dist5	Dist6	Dist7	Dist8	Dist9	TIEMPO
10.0	25.0	50.0	100.0	250.0	500.0	900.0	1500.0	2000.0	
1.94	0.90	0.34	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
3.76	2.01	0.91	0.23	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2
5.22	3.03	1.56	0.50	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	3.6
6.35	3.91	2.20	0.84	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4
7.22	4.65	2.79	1.21	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	7.4
7.91	5.26	3.32	1.59	0.20	0.01	0.00	0.00	0.00	9.9
8.48	5.79	3.79	1.96	0.33	0.01	0.00	0.00	0.00	12.9
8.97	6.25	4.22	2.32	0.48	0.03	0.00	0.00	0.00	16.5
9.40	6.66	4.62	2.67	0.65	0.06	0.00	0.00	0.00	20.8
9.79	7.04	4.99	3.01	0.85	0.10	0.00	0.00	0.00	26.0
10.15	7.40	5.34	3.34	1.06	0.16	0.01	0.00	0.00	32.2
10.50	7.75	5.68	3.65	1.29	0.24	0.01	0.00	0.00	39.6
10.83	8.08	6.00	3.96	1.53	0.33	0.02	0.00	0.00	48.5
11.16	8.40	6.32	4.27	1.77	0.45	0.04	0.00	0.00	59.2
11.47	8.71	6.62	4.57	2.02	0.59	0.07	0.00	0.00	72.0
11.77	9.01	6.93	4.86	2.28	0.75	0.11	0.01	0.00	87.4
12.08	9.31	7.23	5.16	2.54	0.92	0.17	0.01	0.00	105.9
12.37	9.61	7.52	5.45	2.80	1.11	0.25	0.02	0.00	128.1
12.66	9.90	7.81	5.73	3.07	1.31	0.34	0.04	0.00	154.7
12.95	10.19	8.10	6.02	3.34	1.53	0.45	0.06	0.01	186.7
13.24	10.47	8.38	6.30	3.60	1.75	0.58	0.10	0.02	225.0
13.53	10.76	8.67	6.58	3.87	1.98	0.73	0.15	0.03	271.0
13.81	11.04	8.95	6.86	4.14	2.22	0.89	0.21	0.06	326.2
14.09	11.32	9.23	7.15	4.42	2.46	1.07	0.30	0.09	392.5
14.37	11.61	9.51	7.42	4.69	2.71	1.26	0.40	0.14	472.0
14.65	11.89	9.79	7.70	4.96	2.97	1.46	0.52	0.20	567.4
14.93	12.17	10.07	7.98	5.24	3.22	1.68	0.65	0.28	681.9
15.21	12.44	10.35	8.26	5.51	3.48	1.90	0.80	0.38	819.2
15.49	12.72	10.63	8.54	5.78	3.75	2.13	0.97	0.50	984.1
15.77	13.00	10.91	8.82	6.06	4.01	2.38	1.16	0.64	1181.9
16.05	13.28	11.19	9.10	6.34	4.28	2.62	1.36	0.80	1419.3
16.34	13.57	11.47	9.38	6.62	4.56	2.88	1.58	0.98	1704.1
16.63	13.86	11.77	9.67	6.91	4.85	3.15	1.82	1.20	2045.9
16.94	14.17	12.07	9.98	7.22	5.15	3.45	2.09	1.44	2456.1
17.27	14.50	12.40	10.31	7.55	5.48	3.77	2.40	1.73	2948.3
17.64	14.87	12.77	10.68	7.92	5.84	4.13	2.75	2.07	3539.0
18.06	15.29	13.19	11.10	8.34	6.26	4.55	3.16	2.47	4247.8
18.55	15.78	13.69	11.59	8.83	6.75	5.03	3.64	2.96	5098.4
19.13	16.36	14.27	12.17	9.41	7.33	5.61	4.22	3.53	6119.1
19.82	17.05	14.96	12.86	10.10	8.02	6.30	4.91	4.22	7343.9
20.65	17.88	15.78	13.69	10.93	8.85	7.13	5.74	5.05	8813.6
21.64	18.87	16.78	14.68	11.92	9.84	8.12	6.73	6.04	10577.4
22.83	20.06	17.97	15.87	13.11	11.03	9.31	7.92	7.23	12693.9
24.26	21.49	19.39	17.30	14.53	12.46	10.74	9.34	8.65	15233.6
25.97	23.20	21.11	19.01	16.25	14.17	12.45	11.06	10.37	18281.4
28.02	25.25	23.16	21.07	18.30	16.23	14.51	13.11	12.42	21938.6
30.49	27.72	25.63	23.53	20.77	18.69	16.97	15.58	14.89	26327.4
33.45	30.68	28.59	26.49	23.73	21.65	19.93	18.54	17.85	31593.8
37.00	34.23	32.14	30.05	27.28	25.20	23.49	22.09	21.40	37913.6
41.27	38.50	36.40	34.31	31.54	29.47	27.75	26.35	25.66	45497.3
46.38	43.61	41.52	39.42	36.66	34.58	32.86	31.47	30.78	54597.8
52.52	49.75	47.65	45.56	42.79	40.72	39.00	37.61	36.91	65518.3

Tabla IV. Resultado de la simulación de un bombeo con un caudal de 55 l/s

Descensos de nivel.

Dist1	Dist2	Dist3	Dist4	Dist5	Dist6	Dist7	Dist8	Dist9	TIEMPO
10.0	25.0	50.0	100.0	250.0	500.0	900.0	1500.0	2000.0	
0.18	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
0.34	0.18	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2
0.47	0.28	0.14	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.6
0.58	0.36	0.20	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4
0.66	0.42	0.25	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	7.4
0.72	0.48	0.30	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	9.9
0.77	0.53	0.35	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	12.9
0.81	0.57	0.38	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	16.5
0.85	0.61	0.42	0.24	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	20.8
0.89	0.64	0.45	0.27	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	26.0
0.92	0.67	0.49	0.30	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	32.2
0.95	0.70	0.52	0.33	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	39.6
0.99	0.73	0.55	0.36	0.14	0.03	0.00	0.00	0.00	48.5
1.01	0.76	0.57	0.39	0.16	0.04	0.00	0.00	0.00	59.2
1.04	0.79	0.60	0.42	0.18	0.05	0.01	0.00	0.00	72.0
1.07	0.82	0.63	0.44	0.21	0.07	0.01	0.00	0.00	87.4
1.10	0.85	0.66	0.47	0.23	0.08	0.02	0.00	0.00	105.9
1.12	0.87	0.68	0.49	0.25	0.10	0.02	0.00	0.00	128.1
1.15	0.90	0.71	0.52	0.28	0.12	0.03	0.00	0.00	154.7
1.18	0.93	0.74	0.55	0.30	0.14	0.04	0.01	0.00	186.7
1.20	0.95	0.76	0.57	0.33	0.16	0.05	0.01	0.00	225.0
1.23	0.98	0.79	0.60	0.35	0.18	0.07	0.01	0.00	271.0
1.26	1.00	0.81	0.62	0.38	0.20	0.08	0.02	0.01	326.2
1.28	1.03	0.84	0.65	0.40	0.22	0.10	0.03	0.01	392.5
1.31	1.06	0.86	0.67	0.43	0.25	0.11	0.04	0.01	472.0
1.33	1.08	0.89	0.70	0.45	0.27	0.13	0.05	0.02	567.4
1.36	1.11	0.92	0.73	0.48	0.29	0.15	0.06	0.03	681.9
1.38	1.13	0.94	0.75	0.50	0.32	0.17	0.07	0.03	819.2
1.41	1.16	0.97	0.78	0.53	0.34	0.19	0.09	0.05	984.1
1.43	1.18	0.99	0.80	0.55	0.36	0.22	0.11	0.06	1181.9
1.46	1.21	1.02	0.83	0.58	0.39	0.24	0.12	0.07	1419.3
1.49	1.23	1.04	0.85	0.60	0.41	0.26	0.14	0.09	1704.1
1.51	1.26	1.07	0.88	0.63	0.44	0.29	0.17	0.11	2045.9
1.54	1.29	1.10	0.91	0.66	0.47	0.31	0.19	0.13	2456.1
1.57	1.32	1.13	0.94	0.69	0.50	0.34	0.22	0.16	2948.3
1.60	1.35	1.16	0.97	0.72	0.53	0.38	0.25	0.19	3539.0
1.64	1.39	1.20	1.01	0.76	0.57	0.41	0.29	0.23	4247.8
1.69	1.44	1.25	1.05	0.80	0.61	0.46	0.33	0.27	5098.4
1.74	1.49	1.30	1.11	0.86	0.67	0.51	0.38	0.32	6119.1
1.80	1.55	1.36	1.17	0.92	0.73	0.57	0.45	0.38	7343.9
1.88	1.63	1.44	1.25	0.99	0.80	0.65	0.52	0.46	8813.6
1.97	1.72	1.53	1.34	1.08	0.90	0.74	0.61	0.55	10577.4
2.08	1.82	1.63	1.44	1.19	1.00	0.85	0.72	0.66	12693.9
2.21	1.95	1.76	1.57	1.32	1.13	0.98	0.85	0.79	15233.6
2.36	2.11	1.92	1.73	1.48	1.29	1.13	1.01	0.94	18281.4
2.55	2.30	2.11	1.92	1.66	1.48	1.32	1.19	1.13	21938.6
2.77	2.52	2.33	2.14	1.89	1.70	1.54	1.42	1.35	26327.4
3.04	2.79	2.60	2.41	2.16	1.97	1.81	1.69	1.62	31593.8
3.37	3.11	2.92	2.73	2.48	2.29	2.14	2.01	1.95	37913.6
3.75	3.50	3.31	3.12	2.87	2.68	2.52	2.40	2.33	45497.3
4.22	3.97	3.78	3.59	3.33	3.14	2.99	2.86	2.80	54597.8
4.78	4.52	4.33	4.14	3.89	3.70	3.55	3.42	3.36	65518.3

Tabla V. Resultado de la simulación de una recarga con un caudal de inyección de 5 l/s. Ascensos de nivel.

Dist1	Dist2	Dist3	Dist4	Dist5	Dist6	Dist7	Dist8	Dist9	TIEMPO
10.0	25.0	50.0	100.0	250.0	500.0	900.0	1500.0	2000.0	
0.35	0.16	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
0.68	0.36	0.17	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2
0.95	0.55	0.28	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.6
1.15	0.71	0.40	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4
1.31	0.84	0.51	0.22	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	7.4
1.44	0.96	0.60	0.29	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	9.9
1.54	1.05	0.69	0.36	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	12.9
1.63	1.14	0.77	0.42	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	16.5
1.71	1.21	0.84	0.49	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	20.8
1.78	1.28	0.91	0.55	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	26.0
1.85	1.35	0.97	0.61	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	32.2
1.91	1.41	1.03	0.66	0.23	0.04	0.00	0.00	0.00	39.6
1.97	1.47	1.09	0.72	0.28	0.06	0.00	0.00	0.00	48.5
2.03	1.53	1.15	0.78	0.32	0.08	0.01	0.00	0.00	59.2
2.08	1.58	1.20	0.83	0.37	0.11	0.01	0.00	0.00	72.0
2.14	1.64	1.26	0.88	0.41	0.14	0.02	0.00	0.00	87.4
2.20	1.69	1.31	0.94	0.46	0.17	0.03	0.00	0.00	105.9
2.25	1.75	1.37	0.99	0.51	0.20	0.04	0.00	0.00	128.1
2.30	1.80	1.42	1.04	0.56	0.24	0.06	0.01	0.00	154.7
2.36	1.85	1.47	1.09	0.61	0.28	0.08	0.01	0.00	186.7
2.41	1.90	1.52	1.15	0.66	0.32	0.11	0.02	0.00	225.0
2.46	1.96	1.58	1.20	0.70	0.36	0.13	0.03	0.01	271.0
2.51	2.01	1.63	1.25	0.75	0.40	0.16	0.04	0.01	326.2
2.56	2.06	1.68	1.30	0.80	0.45	0.19	0.05	0.02	392.5
2.61	2.11	1.73	1.35	0.85	0.49	0.23	0.07	0.03	472.0
2.66	2.16	1.78	1.40	0.90	0.54	0.27	0.09	0.04	567.4
2.71	2.21	1.83	1.45	0.95	0.59	0.31	0.12	0.05	681.9
2.77	2.26	1.88	1.50	1.00	0.63	0.35	0.15	0.07	819.2
2.82	2.31	1.93	1.55	1.05	0.68	0.39	0.18	0.09	984.1
2.87	2.36	1.98	1.60	1.10	0.73	0.43	0.21	0.12	1181.9
2.92	2.41	2.03	1.65	1.15	0.78	0.48	0.25	0.15	1419.3
2.97	2.47	2.09	1.71	1.20	0.83	0.52	0.29	0.18	1704.1
3.02	2.52	2.14	1.76	1.26	0.88	0.57	0.33	0.22	2045.9
3.08	2.58	2.20	1.81	1.31	0.94	0.63	0.38	0.26	2456.1
3.14	2.64	2.26	1.87	1.37	1.00	0.69	0.44	0.31	2948.3
3.21	2.70	2.32	1.94	1.44	1.06	0.75	0.50	0.38	3539.0
3.28	2.78	2.40	2.02	1.52	1.14	0.83	0.57	0.45	4247.8
3.37	2.87	2.49	2.11	1.61	1.23	0.92	0.66	0.54	5098.4
3.48	2.98	2.59	2.21	1.71	1.33	1.02	0.77	0.64	6119.1
3.61	3.10	2.72	2.34	1.84	1.46	1.15	0.89	0.77	7343.9
3.75	3.25	2.87	2.49	1.99	1.61	1.30	1.04	0.92	8813.6
3.94	3.43	3.05	2.67	2.17	1.79	1.48	1.22	1.10	10577.4
4.15	3.65	3.27	2.89	2.38	2.01	1.69	1.44	1.31	12693.9
4.41	3.91	3.53	3.15	2.64	2.27	1.95	1.70	1.57	15233.6
4.72	4.22	3.84	3.46	2.95	2.58	2.26	2.01	1.89	18281.4
5.10	4.59	4.21	3.83	3.33	2.95	2.64	2.38	2.26	21938.6
5.55	5.04	4.66	4.28	3.78	3.40	3.09	2.83	2.71	26327.4
6.08	5.58	5.20	4.82	4.32	3.94	3.63	3.37	3.25	31593.8
6.73	6.23	5.84	5.46	4.96	4.58	4.27	4.02	3.89	37913.6
7.50	7.00	6.62	6.24	5.74	5.36	5.05	4.79	4.67	45497.3
8.43	7.93	7.55	7.17	6.67	6.29	5.98	5.72	5.60	54597.8
9.55	9.05	8.67	8.28	7.78	7.40	7.09	6.84	6.71	65518.3

Tabla VI. Resultado de la simulación de una recarga con un caudal de inyección de 10 l/s.

Ascensos de nivel.

Dist1	Dist2	Dist3	Dist4	Dist5	Dist6	Dist7	Dist8	Dist9	TIEMPO
10.0	25.0	50.0	100.0	250.0	500.0	900.0	1500.0	2000.0	
0.71	0.33	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
1.37	0.73	0.33	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2
1.90	1.10	0.57	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.6
2.31	1.42	0.80	0.30	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4
2.63	1.69	1.01	0.44	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	7.4
2.88	1.91	1.21	0.58	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	9.9
3.08	2.10	1.38	0.71	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	12.9
3.26	2.27	1.54	0.84	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	16.5
3.42	2.42	1.68	0.97	0.24	0.02	0.00	0.00	0.00	20.8
3.56	2.56	1.81	1.09	0.31	0.04	0.00	0.00	0.00	26.0
3.69	2.69	1.94	1.21	0.39	0.06	0.00	0.00	0.00	32.2
3.82	2.82	2.06	1.33	0.47	0.09	0.00	0.00	0.00	39.6
3.94	2.94	2.18	1.44	0.56	0.12	0.01	0.00	0.00	48.5
4.06	3.05	2.30	1.55	0.64	0.17	0.02	0.00	0.00	59.2
4.17	3.17	2.41	1.66	0.74	0.22	0.03	0.00	0.00	72.0
4.28	3.28	2.52	1.77	0.83	0.27	0.04	0.00	0.00	87.4
4.39	3.39	2.63	1.87	0.92	0.34	0.06	0.00	0.00	105.9
4.50	3.49	2.73	1.98	1.02	0.40	0.09	0.01	0.00	128.1
4.61	3.60	2.84	2.08	1.12	0.48	0.12	0.01	0.00	154.7
4.71	3.70	2.94	2.19	1.21	0.56	0.16	0.02	0.00	186.7
4.82	3.81	3.05	2.29	1.31	0.64	0.21	0.04	0.01	225.0
4.92	3.91	3.15	2.39	1.41	0.72	0.26	0.05	0.01	271.0
5.02	4.02	3.26	2.50	1.51	0.81	0.32	0.08	0.02	326.2
5.12	4.12	3.36	2.60	1.61	0.90	0.39	0.11	0.03	392.5
5.23	4.22	3.46	2.70	1.71	0.99	0.46	0.14	0.05	472.0
5.33	4.32	3.56	2.80	1.80	1.08	0.53	0.19	0.07	567.4
5.43	4.42	3.66	2.90	1.90	1.17	0.61	0.24	0.10	681.9
5.53	4.53	3.76	3.00	2.00	1.27	0.69	0.29	0.14	819.2
5.63	4.63	3.87	3.10	2.10	1.36	0.78	0.35	0.18	984.1
5.73	4.73	3.97	3.21	2.20	1.46	0.86	0.42	0.23	1181.9
5.84	4.83	4.07	3.31	2.30	1.56	0.95	0.50	0.29	1419.3
5.94	4.93	4.17	3.41	2.41	1.66	1.05	0.58	0.36	1704.1
6.05	5.04	4.28	3.52	2.51	1.76	1.15	0.66	0.43	2045.9
6.16	5.15	4.39	3.63	2.62	1.87	1.25	0.76	0.52	2456.1
6.28	5.27	4.51	3.75	2.74	1.99	1.37	0.87	0.63	2948.3
6.41	5.41	4.65	3.88	2.88	2.12	1.50	1.00	0.75	3539.0
6.57	5.56	4.80	4.04	3.03	2.28	1.65	1.15	0.90	4247.8
6.75	5.74	4.98	4.22	3.21	2.46	1.83	1.32	1.07	5098.4
6.96	5.95	5.19	4.43	3.42	2.67	2.04	1.53	1.28	6119.1
7.21	6.20	5.44	4.68	3.67	2.92	2.29	1.79	1.53	7343.9
7.51	6.50	5.74	4.98	3.97	3.22	2.59	2.09	1.84	8813.6
7.87	6.86	6.10	5.34	4.33	3.58	2.95	2.45	2.20	10577.4
8.30	7.29	6.53	5.77	4.77	4.01	3.39	2.88	2.63	12693.9
8.82	7.81	7.05	6.29	5.29	4.53	3.91	3.40	3.15	15233.6
9.44	8.44	7.68	6.91	5.91	5.15	4.53	4.02	3.77	18281.4
10.19	9.18	8.42	7.66	6.66	5.90	5.28	4.77	4.52	21938.6
11.09	10.06	9.32	8.56	7.55	6.80	6.17	5.67	5.41	26327.4
12.17	11.16	10.40	9.64	8.63	7.87	7.25	6.74	6.49	31593.8
13.46	12.45	11.69	10.93	9.92	9.17	8.54	8.03	7.78	37913.6
15.01	14.00	13.24	12.48	11.47	10.72	10.09	9.58	9.33	45497.3
16.87	15.86	15.10	14.34	13.33	12.58	11.95	11.44	11.19	54597.6
19.10	18.09	17.33	16.57	15.56	14.81	14.18	13.68	13.42	65518.3

Tabla VII. Resultado de la simulación de una recarga con un caudal de inyección de 20 l/s.

Ascensos de nivel.

Dist1	Dist2	Dist3	Dist4	Dist5	Dist6	Dist7	Dist8	Dist9	TIEMPO
10.0	25.0	50.0	100.0	250.0	500.0	900.0	1500.0	2000.0	
0.88	0.41	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
1.71	0.91	0.41	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2
2.37	1.38	0.71	0.23	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.6
2.89	1.78	1.00	0.38	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4
3.28	2.11	1.27	0.55	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	7.4
3.60	2.39	1.51	0.72	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	9.9
3.86	2.63	1.72	0.89	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	12.9
4.08	2.84	1.92	1.06	0.22	0.01	0.00	0.00	0.00	16.5
4.27	3.03	2.10	1.21	0.30	0.03	0.00	0.00	0.00	20.8
4.45	3.20	2.27	1.37	0.39	0.04	0.00	0.00	0.00	26.0
4.62	3.37	2.43	1.52	0.48	0.07	0.00	0.00	0.00	32.2
4.77	3.52	2.58	1.66	0.59	0.11	0.01	0.00	0.00	39.6
4.92	3.67	2.73	1.80	0.69	0.15	0.01	0.00	0.00	48.5
5.07	3.82	2.87	1.94	0.81	0.21	0.02	0.00	0.00	59.2
5.21	3.96	3.01	2.08	0.92	0.27	0.03	0.00	0.00	72.0
5.35	4.10	3.15	2.21	1.04	0.34	0.05	0.00	0.00	87.4
5.49	4.23	3.28	2.34	1.15	0.42	0.08	0.01	0.00	105.9
5.62	4.37	3.42	2.47	1.27	0.51	0.11	0.01	0.00	128.1
5.76	4.50	3.55	2.61	1.39	0.60	0.15	0.02	0.00	154.7
5.89	4.63	3.68	2.74	1.52	0.69	0.20	0.03	0.00	186.7
6.02	4.76	3.81	2.86	1.64	0.80	0.26	0.04	0.01	225.0
6.15	4.89	3.94	2.99	1.76	0.90	0.33	0.07	0.02	271.0
6.28	5.02	4.07	3.12	1.88	1.01	0.40	0.10	0.03	326.2
6.41	5.15	4.20	3.25	2.01	1.12	0.49	0.13	0.04	392.5
6.53	5.28	4.32	3.37	2.13	1.23	0.57	0.18	0.06	472.0
6.66	5.40	4.45	3.50	2.26	1.35	0.67	0.23	0.09	567.4
6.79	5.53	4.58	3.63	2.38	1.47	0.76	0.30	0.13	681.9
6.92	5.66	4.71	3.75	2.50	1.58	0.86	0.37	0.17	819.2
7.04	5.78	4.83	3.88	2.63	1.70	0.97	0.44	0.23	984.1
7.17	5.91	4.96	4.01	2.75	1.82	1.08	0.53	0.29	1181.9
7.30	6.04	5.09	4.13	2.88	1.95	1.19	0.62	0.36	1419.3
7.43	6.17	5.22	4.26	3.01	2.07	1.31	0.72	0.45	1704.1
7.56	6.30	5.35	4.40	3.14	2.20	1.43	0.83	0.54	2045.9
7.70	6.44	5.49	4.54	3.28	2.34	1.57	0.95	0.66	2456.1
7.85	6.59	5.64	4.69	3.43	2.49	1.71	1.09	0.79	2948.3
8.02	6.76	5.81	4.85	3.60	2.66	1.88	1.25	0.94	3539.0
8.21	6.95	6.00	5.05	3.79	2.85	2.07	1.44	1.12	4247.8
8.43	7.17	6.22	5.27	4.01	3.07	2.29	1.66	1.34	5098.4
8.70	7.44	6.48	5.53	4.28	3.33	2.55	1.92	1.60	6119.1
9.01	7.75	6.80	5.85	4.59	3.65	2.87	2.23	1.92	7343.9
9.39	8.13	7.17	6.22	4.97	4.02	3.24	2.61	2.29	8813.6
9.84	8.58	7.63	6.67	5.42	4.47	3.69	3.06	2.74	10577.4
10.38	9.12	8.17	7.21	5.96	5.01	4.23	3.60	3.29	12693.9
11.03	9.77	8.82	7.86	6.61	5.66	4.88	4.25	3.93	15233.6
11.80	10.55	9.59	8.64	7.39	6.44	5.66	5.03	4.71	18281.4
12.74	11.48	10.53	9.58	8.32	7.38	6.59	5.96	5.65	21938.6
13.86	12.60	11.65	10.70	9.44	8.50	7.72	7.08	6.77	26327.4
15.21	13.95	13.00	12.04	10.79	9.84	9.06	8.43	8.11	31593.8
16.82	15.56	14.61	13.66	12.40	11.46	10.68	10.04	9.73	37913.6
18.76	17.50	16.55	15.60	14.34	13.39	12.61	11.98	11.67	45497.3
21.08	19.82	18.87	17.92	16.66	15.72	14.94	14.30	13.99	54597.8
23.87	22.61	21.66	20.71	19.45	18.51	17.73	17.09	16.78	65518.3

Tabla VIII. Resultado de la simulación de una recarga con un caudal de inyección de 25 l/s.
Ascensos de nivel.

Dist1	Dist2	Dist3	Dist4	Dist5	Dist6	Dist7	Dist8	Dist9	TIEMPO
10.0	25.0	50.0	100.0	250.0	500.0	900.0	1500.0	2000.0	
1.06	0.49	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
2.05	1.09	0.50	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2
2.85	1.65	0.85	0.27	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.6
3.46	2.13	1.20	0.46	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4
3.94	2.53	1.52	0.66	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	7.4
4.32	2.87	1.81	0.87	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	9.9
4.63	3.16	2.07	1.07	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	12.9
4.89	3.41	2.30	1.27	0.26	0.02	0.00	0.00	0.00	16.5
5.12	3.63	2.52	1.46	0.36	0.03	0.00	0.00	0.00	20.8
5.34	3.84	2.72	1.64	0.46	0.05	0.00	0.00	0.00	26.0
5.54	4.04	2.91	1.82	0.58	0.09	0.00	0.00	0.00	32.2
5.73	4.23	3.10	1.99	0.70	0.13	0.01	0.00	0.00	39.6
5.91	4.41	3.27	2.16	0.83	0.18	0.01	0.00	0.00	48.5
6.08	4.58	3.45	2.33	0.97	0.25	0.02	0.00	0.00	59.2
6.25	4.75	3.61	2.49	1.10	0.32	0.04	0.00	0.00	72.0
6.41	4.91	3.78	2.65	1.24	0.41	0.06	0.00	0.00	87.4
6.56	5.06	3.94	2.81	1.39	0.50	0.09	0.01	0.00	105.9
6.75	5.24	4.10	2.97	1.55	0.61	0.12	0.01	0.00	128.1
6.91	5.40	4.26	3.13	1.67	0.72	0.18	0.02	0.00	154.7
7.07	5.56	4.42	3.28	1.82	0.83	0.25	0.03	0.01	186.7
7.22	5.71	4.57	3.44	1.97	0.95	0.32	0.05	0.01	225.0
7.38	5.87	4.73	3.59	2.11	1.08	0.40	0.08	0.02	271.0
7.53	6.02	4.88	3.74	2.26	1.21	0.49	0.12	0.03	326.2
7.69	6.18	5.04	3.90	2.41	1.34	0.58	0.16	0.05	392.5
7.84	6.33	5.19	4.05	2.56	1.48	0.69	0.22	0.08	472.0
7.99	6.48	5.34	4.20	2.71	1.62	0.80	0.28	0.11	567.4
8.15	6.64	5.49	4.35	2.86	1.76	0.92	0.36	0.15	681.9
8.30	6.79	5.65	4.51	3.01	1.90	1.04	0.44	0.21	819.2
8.45	6.94	5.80	4.66	3.16	2.04	1.16	0.53	0.27	984.1
8.60	7.09	5.95	4.81	3.31	2.19	1.30	0.63	0.35	1181.9
8.76	7.25	6.10	4.96	3.46	2.34	1.43	0.74	0.44	1419.3
8.91	7.40	6.26	5.12	3.61	2.49	1.57	0.86	0.54	1704.1
9.07	7.56	6.42	5.28	3.77	2.64	1.72	0.99	0.65	2045.9
9.24	7.73	6.59	5.44	3.94	2.81	1.88	1.14	0.79	2456.1
9.42	7.91	6.77	5.62	4.12	2.99	2.06	1.31	0.94	2948.3
9.62	8.11	6.97	5.83	4.32	3.19	2.25	1.50	1.13	3539.0
9.85	8.34	7.20	6.06	4.55	3.42	2.48	1.72	1.35	4247.8
10.12	8.61	7.47	6.32	4.82	3.68	2.75	1.99	1.61	5098.4
10.43	8.92	7.78	6.64	5.13	4.00	3.06	2.30	1.93	6119.1
10.81	9.30	8.16	7.02	5.51	4.38	3.44	2.68	2.30	7343.9
11.26	9.75	8.61	7.47	5.96	4.83	3.89	3.13	2.75	8813.6
11.80	10.29	9.15	8.01	6.50	5.37	4.43	3.67	3.29	10577.4
12.45	10.94	9.80	8.66	7.15	6.02	5.08	4.32	3.94	12693.9
13.23	11.72	10.58	9.44	7.93	6.80	5.86	5.10	4.72	15233.6
14.17	12.65	11.51	10.37	8.86	7.73	6.79	6.03	5.65	18281.4
15.29	13.78	12.63	11.49	9.98	8.85	7.91	7.15	6.78	21938.6
16.63	15.12	13.98	12.84	11.33	10.20	9.26	8.50	8.12	26327.4
18.25	16.74	15.59	14.45	12.94	11.81	10.87	10.11	9.74	31593.8
20.18	18.67	17.53	16.39	14.88	13.75	12.81	12.05	11.67	37913.6
22.51	21.00	19.86	18.71	17.21	16.07	15.14	14.37	14.00	45497.3
25.30	23.79	22.65	21.50	20.00	18.86	17.93	17.16	16.79	54597.8
28.65	27.14	25.99	24.85	23.34	22.21	21.27	20.51	20.14	65518.3

Tabla IX. Resultado de la simulación de una recarga con un caudal de inyección de 30 l/s.
Ascensos de nivel.

Dist1	Dist2	Dist3	Dist4	Dist5	Dist6	Dist7	Dist8	Dist9	TIEMPO
10.0	25.0	50.0	100.0	250.0	500.0	900.0	1500.0	2000.0	
1.41	0.66	0.25	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
2.73	1.46	0.66	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2
3.80	2.21	1.14	0.36	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	3.6
4.62	2.85	1.60	0.61	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4
5.25	3.38	2.03	0.88	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	7.4
5.76	3.83	2.41	1.15	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	9.9
6.17	4.21	2.76	1.43	0.24	0.01	0.00	0.00	0.00	12.9
6.52	4.54	3.07	1.69	0.35	0.02	0.00	0.00	0.00	16.5
6.83	4.84	3.36	1.94	0.48	0.04	0.00	0.00	0.00	20.8
7.12	5.12	3.63	2.19	0.62	0.07	0.00	0.00	0.00	26.0
7.38	5.38	3.88	2.43	0.77	0.11	0.00	0.00	0.00	32.2
7.64	5.63	4.13	2.66	0.94	0.17	0.01	0.00	0.00	39.6
7.88	5.87	4.36	2.88	1.11	0.24	0.02	0.00	0.00	48.5
8.11	6.11	4.59	3.10	1.29	0.33	0.03	0.00	0.00	59.2
8.34	6.33	4.82	3.32	1.47	0.43	0.05	0.00	0.00	72.0
8.56	6.55	5.04	3.54	1.66	0.55	0.06	0.00	0.00	87.4
8.78	6.77	5.25	3.75	1.85	0.67	0.13	0.01	0.00	105.9
9.00	6.99	5.47	3.96	2.04	0.81	0.18	0.02	0.00	128.1
9.21	7.20	5.68	4.17	2.23	0.96	0.25	0.03	0.00	154.7
9.42	7.41	5.89	4.38	2.43	1.11	0.33	0.05	0.01	186.7
9.63	7.62	6.10	4.58	2.62	1.27	0.42	0.07	0.01	225.0
9.84	7.83	6.30	4.79	2.82	1.44	0.53	0.11	0.02	271.0
10.04	8.03	6.51	4.99	3.01	1.61	0.65	0.16	0.04	326.2
10.25	8.24	6.71	5.20	3.21	1.79	0.78	0.22	0.07	392.5
10.45	8.44	6.92	5.40	3.41	1.97	0.92	0.29	0.10	472.0
10.66	8.64	7.12	5.60	3.61	2.16	1.06	0.37	0.15	567.4
10.86	8.85	7.33	5.80	3.81	2.34	1.22	0.47	0.21	681.9
11.06	9.05	7.53	6.01	4.01	2.53	1.38	0.59	0.28	819.2
11.27	9.25	7.73	6.21	4.21	2.72	1.55	0.71	0.36	984.1
11.47	9.46	7.93	6.41	4.41	2.92	1.73	0.84	0.46	1181.9
11.67	9.66	8.14	6.62	4.61	3.11	1.91	0.99	0.58	1419.3
11.88	9.87	8.34	6.82	4.81	3.32	2.10	1.15	0.71	1704.1
12.09	10.08	8.56	7.03	5.03	3.52	2.29	1.33	0.87	2045.9
12.32	10.30	8.78	7.26	5.25	3.74	2.51	1.52	1.05	2456.1
12.56	10.54	9.02	7.50	5.49	3.98	2.74	1.74	1.26	2948.3
12.83	10.81	9.29	7.77	5.76	4.25	3.00	2.00	1.51	3539.0
13.13	11.12	9.60	8.07	6.06	4.55	3.31	2.30	1.80	4247.8
13.49	11.48	9.95	8.43	6.42	4.91	3.66	2.65	2.15	5098.4
13.91	11.90	10.37	8.85	6.84	5.33	4.08	3.07	2.57	6119.1
14.42	12.40	10.88	9.36	7.34	5.83	4.58	3.57	3.07	7343.9
15.02	13.00	11.48	9.96	7.95	6.44	5.19	4.17	3.67	8813.6
15.74	13.72	12.20	10.68	8.67	7.16	5.91	4.89	4.39	10577.4
16.60	14.59	13.07	11.54	9.53	8.02	6.77	5.76	5.26	12693.9
17.64	15.63	14.10	12.58	10.57	9.06	7.81	6.80	6.29	15233.6
18.89	16.87	15.35	13.83	11.82	10.31	9.06	8.04	7.54	18281.4
20.38	18.37	16.84	15.32	13.31	11.80	10.55	9.54	9.03	21938.6
22.18	20.16	18.64	17.12	15.11	13.60	12.34	11.33	10.83	26327.4
24.33	22.31	20.79	19.27	17.26	15.75	14.50	13.48	12.98	31593.8
26.91	24.90	23.37	21.85	19.84	18.33	17.08	16.07	15.56	37913.6
30.01	28.00	26.47	24.95	22.94	21.43	20.18	19.17	18.66	45497.3
33.73	31.72	30.19	28.67	26.66	25.15	23.90	22.89	22.38	54597.8
38.19	36.18	34.66	33.13	31.12	29.61	28.36	27.35	26.85	65518.3

Tabla X. Resultado de la simulación de una recarga con un caudal de inyección de 40 l/s.
Ascensos de nivel.

Dist1	Dist2	Dist3	Dist4	Dist5	Dist6	Dist7	Dist8	Dist9	TIEMPO
10.0	25.0	50.0	100.0	250.0	500.0	900.0	1500.0	2000.0	
1.76	0.82	0.31	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
3.42	1.82	0.83	0.21	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.2
4.75	2.76	1.42	0.46	0.02	0.00	0.00	0.00	0.30	3.6
5.77	3.56	2.00	0.76	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	5.4
6.57	4.22	2.54	1.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	7.4
7.20	4.78	3.02	1.44	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	9.9
7.71	5.26	3.45	1.78	0.30	0.01	0.00	0.00	0.00	12.9
8.15	5.68	3.84	2.11	0.43	0.03	0.00	0.00	0.00	16.5
8.54	6.06	4.20	2.43	0.59	0.05	0.00	0.00	0.00	20.8
8.90	6.40	4.54	2.74	0.77	0.09	0.00	0.00	0.00	26.0
9.23	6.73	4.86	3.03	0.97	0.14	0.01	0.00	0.00	32.2
9.55	7.04	5.16	3.32	1.17	0.21	0.01	0.00	0.00	39.6
9.85	7.34	5.46	3.60	1.39	0.30	0.02	0.00	0.00	48.5
10.14	7.63	5.74	3.88	1.61	0.41	0.04	0.00	0.00	59.2
10.43	7.91	6.02	4.15	1.84	0.54	0.07	0.00	0.00	72.0
10.70	8.19	6.30	4.42	2.07	0.68	0.10	0.00	0.00	87.4
10.98	8.46	6.57	4.69	2.31	0.84	0.16	0.01	0.00	105.9
11.25	8.73	6.84	4.95	2.55	1.01	0.22	0.02	0.00	128.1
11.51	9.00	7.10	5.21	2.79	1.19	0.31	0.03	0.00	154.7
11.78	9.26	7.36	5.47	3.03	1.39	0.41	0.06	0.01	186.7
12.04	9.52	7.62	5.73	3.28	1.59	0.53	0.09	0.02	225.0
12.30	9.78	7.88	5.99	3.52	1.80	0.66	0.13	0.03	271.0
12.56	10.04	8.14	6.24	3.77	2.02	0.81	0.19	0.05	326.2
12.81	10.30	8.39	6.50	4.02	2.24	0.97	0.27	0.08	392.5
13.07	10.55	8.65	6.75	4.26	2.47	1.15	0.36	0.13	472.0
13.32	10.81	8.90	7.00	4.51	2.70	1.33	0.47	0.18	567.4
13.58	11.06	9.16	7.26	4.76	2.93	1.53	0.59	0.26	681.9
13.83	11.31	9.41	7.51	5.01	3.17	1.73	0.73	0.35	819.2
14.08	11.57	9.66	7.76	5.26	3.41	1.94	0.89	0.45	984.1
14.34	11.82	9.92	8.01	5.51	3.65	2.16	1.05	0.58	1181.9
14.59	12.08	10.17	8.27	5.76	3.89	2.39	1.24	0.73	1419.3
14.85	12.33	10.43	8.53	6.02	4.14	2.62	1.44	0.89	1704.1
15.12	12.60	10.70	8.79	6.28	4.40	2.87	1.66	1.09	2045.9
15.40	12.88	10.98	9.07	6.56	4.68	3.13	1.90	1.31	2456.1
15.70	13.18	11.28	9.37	6.86	4.98	3.43	2.18	1.57	2948.3
16.03	13.52	11.61	9.71	7.20	5.31	3.75	2.50	1.88	3539.0
16.42	13.90	12.00	10.09	7.58	5.69	4.13	2.87	2.25	4247.8
16.86	14.35	12.44	10.54	8.03	6.14	4.58	3.31	2.69	5098.4
17.39	14.87	12.97	11.06	8.55	6.66	5.10	3.84	3.21	6119.1
18.02	15.50	13.60	11.69	9.18	7.29	5.73	4.46	3.84	7343.9
18.77	16.25	14.35	12.45	9.93	8.05	6.48	5.21	4.59	8813.6
19.67	17.15	15.25	13.35	10.83	8.95	7.38	6.12	5.49	10577.4
20.75	18.24	16.33	14.43	11.92	10.03	8.47	7.20	6.57	12693.9
22.05	19.53	17.63	15.73	13.21	11.33	9.76	8.50	7.87	15233.6
23.61	21.09	19.19	17.28	14.77	12.88	11.32	10.05	9.42	18281.4
25.48	22.96	21.06	19.15	16.64	14.75	13.19	11.92	11.29	21938.6
27.72	25.20	23.30	21.39	18.88	16.99	15.43	14.16	13.54	26327.4
30.41	27.89	25.99	24.09	21.57	19.68	18.12	16.85	16.23	31593.8
33.64	31.12	29.22	27.31	24.80	22.91	21.35	20.08	19.46	37913.6
37.51	35.00	33.09	31.19	28.68	26.79	25.23	23.96	23.33	45497.3
42.16	39.65	37.74	35.84	33.32	31.44	29.87	28.61	27.98	54597.8
47.74	45.22	43.32	41.42	38.90	37.02	35.45	34.19	33.56	65518.3

Tabla XI. Resultado de la simulación de una recarga con un caudal de inyección de 50 l/s.

Ascensos de nivel.

ANEXO 1

Desarrollo matemático del modelo de simulación FRAD

Autor: Alfredo Iglesias López (I.T.G.E.)

Diseño del modelo de simulación de flujo radial. Modelo FRAD

El modelo FRAD (flujo radial) se diseña específicamente, para la integración numérica de la ecuación del flujo aplicada a un bombeo puntual en un acuífero, que crea un esquema de flujo radial (A. Iglesias 1989).

En los medios detríticos naturales, el flujo demandado por un bombeo puede ser asumido como perfectamente radial en la mayoría de los casos, tanto en acuíferos confinados, como en libres.

El diseño del modelo FRAD pasa necesariamente por tres fases:

- . Discretización conceptual del medio natural y configuración del sistema.
- . Desarrollo del algoritmo de cálculo.
- . Análisis de resultados y del error admisible.

El medio natural, -el acuífero a modelizar-, puede ser discretizado por un sistema de discos concéntricos similar al descrito en el apartado anterior, pero con notables mejoras para el desarrollo de un modelo desde el ámbito de conceptualización física.

En el caso del modelo FRAD, los discos concéntricos van a tener un ancho creciente, en progresión geométrica, Figura 2.

La primera de las celdas, será el propio pozo de bombeo de radio $r_p = \Delta r_1$ elegido a voluntad. Igualmente se elegirá el ancho de la segunda celda Δr_2 . A partir de aquí, el ancho de las restantes celdas dependerá de la razón de la progresión geométrica, cuyo primer término será, precisamente Δr_2 .

Aunque la razón D , puede ser variable, se elige en el modelo FRAD el valor $D = 1.2$, que permite, una distribución espacial acorde con la variación de niveles en un acuífero, frente a un bombeo puntual.

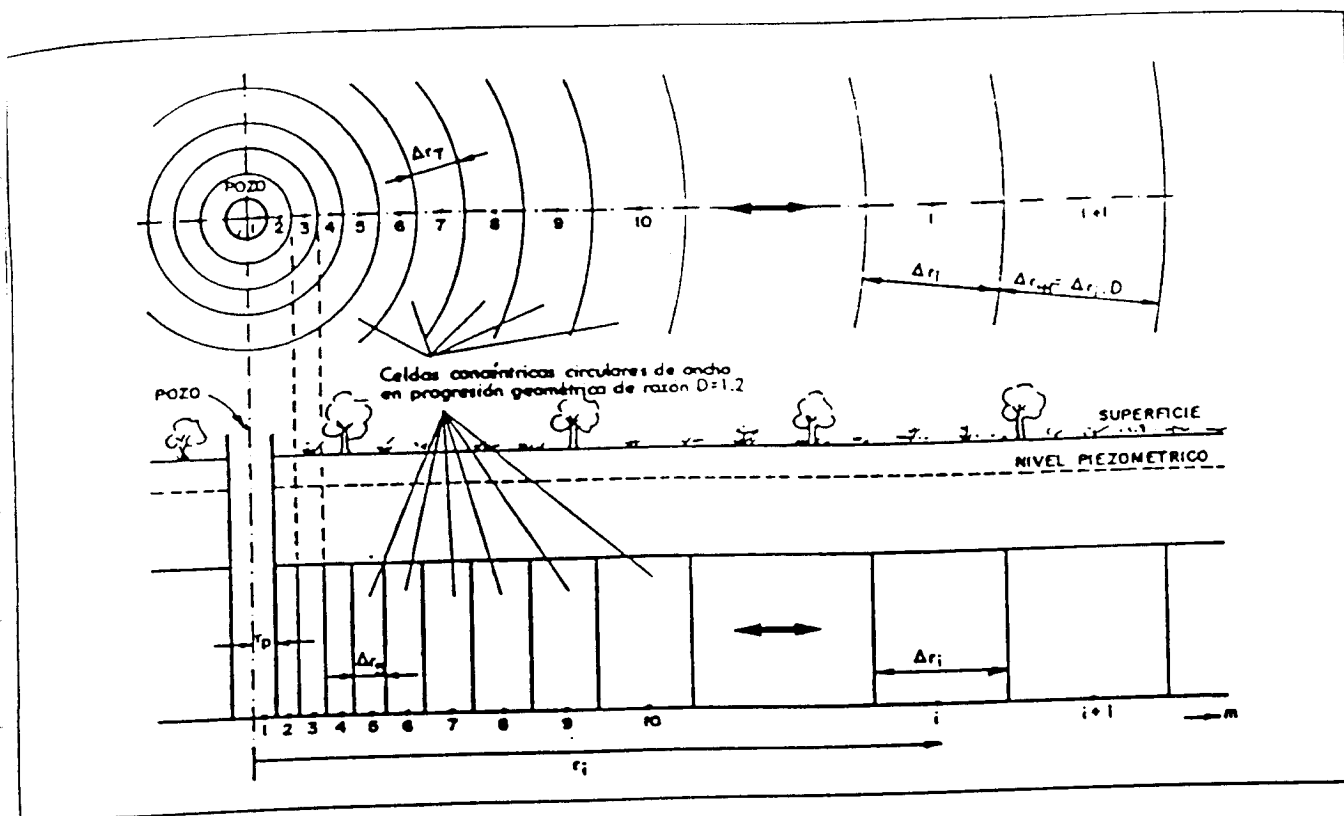


Figura 2. Discretización espacial en el modelo FRAD.

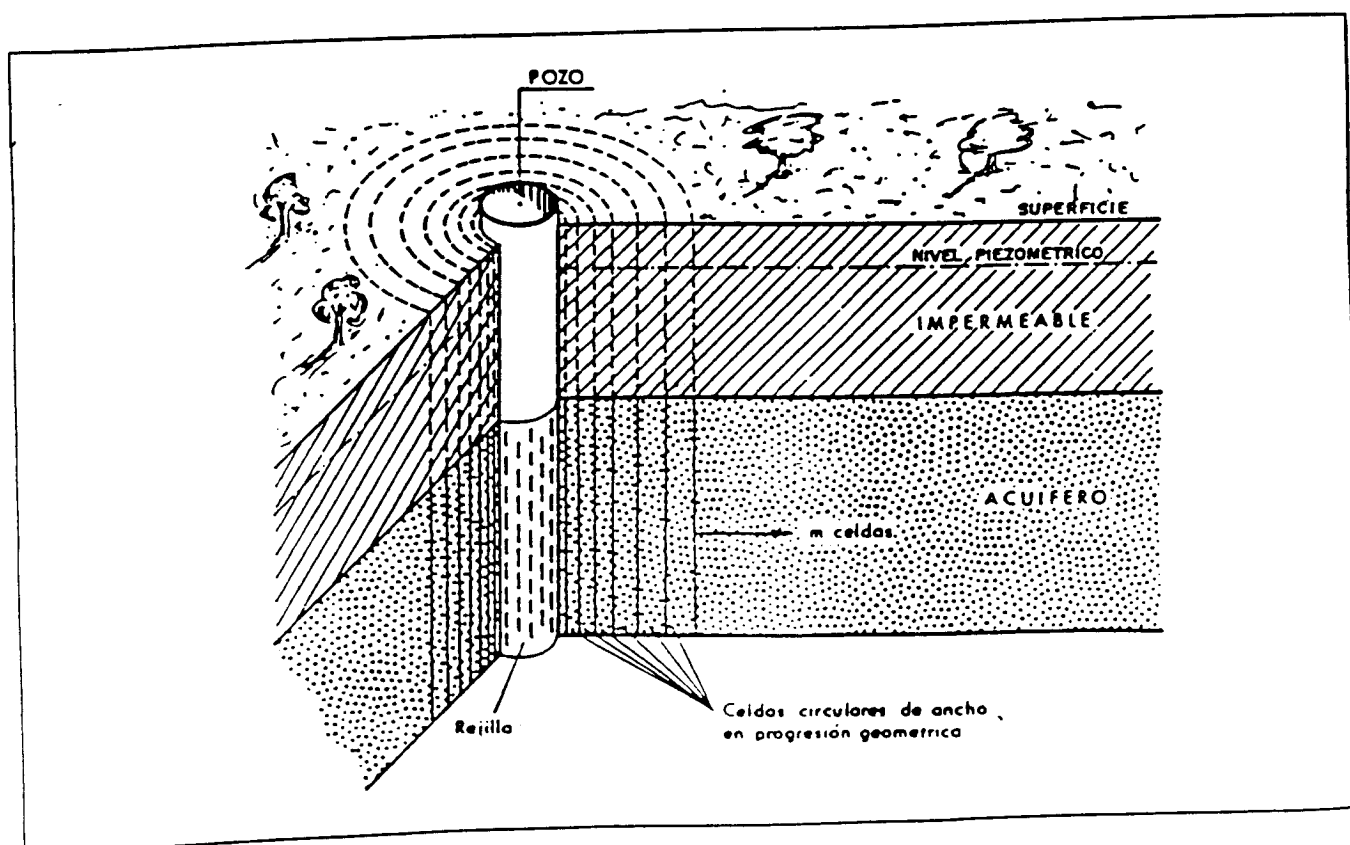


Figura 3. Esquema de celdas en el modelo FRAD.

El tiempo también se discretizará en intervalos Δt , de tal modo que, cada paso de tiempo será igual al anterior multiplicado por 1.2.

Este valor $D = 1.2$ es utilizado como particularmente adecuado en la discretización temporal por muchos autores (PRICKETT 1971, TRESCOTT 1975).

En la Figura 3, se presenta una perspectiva que terminará de aclarar visualmente, el mecanismo de discretización espacial del modelo FRAD.

A cada celda circular discreta i , se le asigna una transmisividad T_i , un coeficiente de almacenamiento S_i y un nivel h_i , representativo de toda la celda.

El desarrollo del algoritmo de cálculo, se basa en la aplicación de las técnicas de diferencias finitas, a la ecuación general del flujo, que en este caso, quedará aplicada conceptualmente al balance de flujo en una celda circular genérica.

En la Figura 4, se establece un balance a una celda i en combinación con las dos laterales, la anterior $i-1$ y la posterior $i+1$. En el esquema de detalle de la figura, puede verse, que entran en juego cuatro caudales para cada celda de disco circular en que ha sido conceptualmente discretizado el medio físico.

El caudal Q_2 , es el de transferencia entre el disco genérico i y el anterior $i-1$. Al ser el flujo radial, se considera positivo el sentido de i a $i-1$.

Análogamente, el caudal Q_1 , será el transferido entre el disco posterior $i+1$ y el disco genérico i considerado, tomándose como positivo el sentido de $i+1$ a i , por las razones ya expuestas.

Otros dos caudales entran en juego: el caudal Q , que debe tomarse como caudal de transferencia vertical en cada disco, representando en consecuencia los posibles bombeos o recargas en cada elemento discreto y el caudal Q' representativo del volumen desalmacenado en la unidad de tiempo.

Debe entenderse que los caudales serán negativos si son entrantes y positivos si son salientes. Así, un bombeo, será un caudal positivo, mientras que una recarga vertical en un disco, será negativa.

El volumen desalmacenado tendrá signo negativo, mientras que si es almacenado, se tomará como positivo.

Estableciendo el balance en el que se impone que la suma de entradas y salidas, sea igual a la variación del volumen almacenado, se tiene:

$$Q_2 + Q - Q_1 - Q' = 0$$

o lo que es lo mismo:

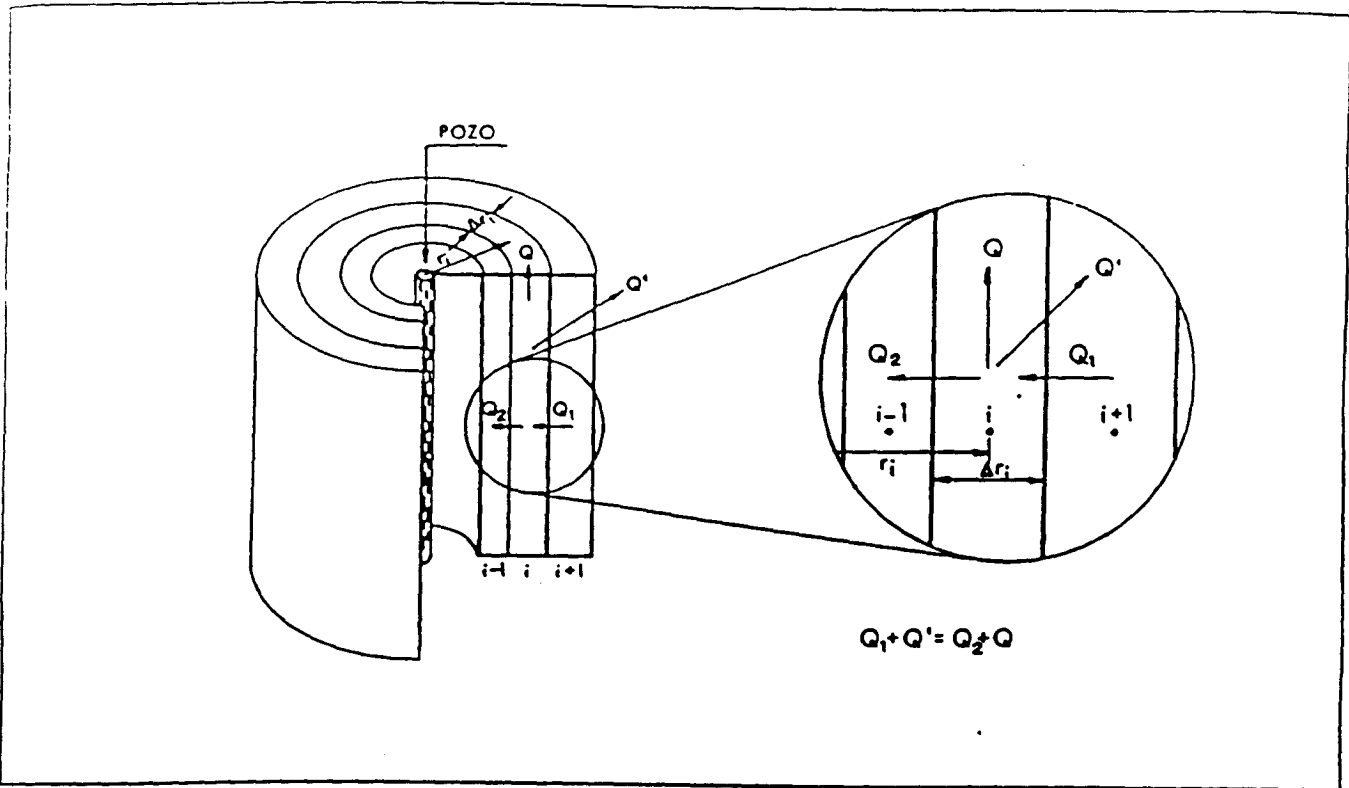


Figura 4. Esquema para el cálculo del balance en el modelo FRAD.

$$Q_1 + Q' = Q_2 + Q$$

Aplicando DARCY en diferencias finitas, puede establecerse:

$$Q_2 = KK_{i-1} \cdot 2 \cdot \pi \left(r_{i-1} + \frac{\Delta r_{i-1}}{2} \right) b \frac{h_i - h_{i-1}}{r_i - r_{i-1}} = 2\pi TT_{i-1} \frac{2r_{i-1} + \Delta r_{i-1}}{2(r_i - r_{i-1})} (h_i - h_{i-1})$$

Sea:

$$AA_{i-1} = \frac{2r_{i-1} + \Delta r_{i-1}}{2(r_i - r_{i-1})}$$

$$Q_2 = 2\pi \cdot TT_{i-1} \cdot AA_{i-1} (h_i - h_{i-1})$$

Luego:

Se ha tomado KK_{i-1} como permeabilidad de paso entre el nudo $i-1$ y el nudo i y consecuentemente $TT_{i-1} = KK_{i-1} \cdot b$, será la transmisividad de paso entre los mismos nodos $i-1$ e i .

Operando:

$$Q' = \frac{\pi}{4} ((2r_i + \Delta r_i)^2 - (2r_{i-1} + \Delta r_{i-1})^2) \frac{S_i}{\Delta t} (h_i' - h_i)$$

Haciendo en este caso:

$$BB_i = (2r_i + \Delta r_i)^2 - (2r_{i-1} + \Delta r_{i-1})^2$$

Se tiene:

$$Q' = \frac{\pi S_i}{4 \Delta t} BB_i (h_i' - h_i)$$

En consecuencia, los cuatro caudales que entran en juego en la ecuación del balance, son los siguientes:

$$Q_2 = 2\pi \cdot TT_{i-1} \cdot AA_{i-1} (h_i - h_{i-1}) = \frac{\pi}{4} A_i (h_i - h_{i-1})$$

$$Q_1 = 2\pi \cdot TT_i \cdot AA_i (h_{i+1} - h_i) = \frac{\pi}{4} C_i (h_{i+1} - h_i)$$

$$Q = Q_i$$

$$Q' = \frac{\pi S_i \cdot BB_i}{4 \Delta t} (h_i' - h_i) = \frac{\pi}{4} F_i (h_i' - h_i)$$

Para lo cual, se han definido los siguientes vectores:

$$A_i = 8 \cdot TT_{i-1} \cdot AA_{i-1}$$

$$C_i = 8 \cdot TT_i \cdot AA_i$$

$$F_i = \frac{S_i \cdot BB_i}{\Delta t}$$

Efectuando la sustitución de los valores calculados de Q_2 , Q_1 , Q y Q' , en la ecuación el balance:

$$Q_1 + Q' = Q_2 + Q$$

Se tiene:

Análogamente, puede definirse el caudal Q_1 :

$$Q_1 = KK_i \cdot 2\pi \left(r_i + \frac{\Delta r_i}{2} \right) b \frac{h_{i+1} - h_i}{r_{i+1} - r_i} = 2\pi \cdot TT_i \frac{2r_i + \Delta r_i}{2(r_{i+1} - r_i)} (h_{i+1} - h_i)$$

Siguiendo con la misma notación que para el caso anterior, se tiene:

$$AA_i = \frac{2r_i + \Delta r_i}{2(r_{i+1} - r_i)}$$

y por tanto:

$$Q_1 = 2\pi \cdot TT_i \cdot AA_i (h_{i+1} - h_i)$$

El caudal Q de transferencia vertical, tendrá el valor Q_i en la celda correspondiente i . Obviamente, el bombeo en una celda circular, sólo tiene sentido físico real si es la primera, es decir, el pozo de bombeo; sin embargo la transferencia definida negativa, es decir, la recarga, si puede tener particular significado si en algún momento se decidieran simular efectos de goteo, drenaje diferido o goteo vertical.

Por tanto:

$$Q = Q_i$$

Por último, el caudal Q' se refiere al volumen desalmacenado en la unidad de tiempo y se corresponderá al volumen desalmacenado en un intervalo de tiempo dividido por el valor de dicho intervalo.

Dicho volumen, será igual al área de la celda circular, multiplicada por la diferencia de niveles en el nudo al principio y al final del intervalo y por el coeficiente de almacenamiento S_i .

Por tanto:

$$Q' = \pi \left(\left(r_i + \frac{\Delta r_i}{2} \right)^2 - \left(r_{i-1} + \frac{\Delta r_{i-1}}{2} \right)^2 \right) S_i \frac{h_i - h_{i-1}}{\Delta t}$$

h_{i-1} representa el nivel en el nodo i al final del intervalo de tiempo anterior, mientras que h_i es el nivel al final del intervalo en que se está calculando. En consecuencia h_{i-1} es conocido, mientras que h_i es la incógnita a calcular, con lo cual se tiene, un sistema implícito.

$$\frac{\pi}{4}C_i(h_{i+1} - h_i) + \frac{\pi}{4}F_i(h_i - h_i) = \frac{\pi}{4}A_i(h_i - h_{i-1}) + Q_i$$

$$C_i(h_{i+1} - h_i) + F_i(h_i - h_i) - A_i(h_i - h_{i-1}) = \frac{4Q_i}{\pi}$$

Agrupando términos:

$$A_i h_{i-1} - (F_i + C_i + A_i)h_i + C_i h_{i+1} = -F_i h_i + \frac{4Q_i}{\pi}$$

Definiendo otro vector intermedio:

$$B_i = -(F_i + C_i + A_i)$$

Se llega a:

$$A_i h_{i-1} + B_i h_i + C_i h_{i+1} = -F_i h_i + \frac{4Q_i}{4}$$

MODELO FRAD.

ECUACION FUNDAMENTAL EN DIFERENCIAS FINITAS DE PASO VARIABLE.

Esta ecuación es del mismo tipo que la propuesta en el anterior apartado, con la diferencia de que en ésta, los coeficientes son todos variables en atención a una ecuación en diferencias finitas de paso espacial variable progresivo.

El mallado de este modelo, puede ser generado automáticamente, habida cuenta de la progresión geométrica en que se encuentran los anchos de celda circular.

Se calculan los anchos de cada celda y la distancia de cada nodo (centro de cada celda), al eje del pozo.

Cálculo de Δr_i

$$\Delta r_1 = r_p \quad \text{por decisión}$$

$$\Delta r_2 = R_2 \quad \text{por decisión}$$

$$\Delta r_i = R_2 D^{i-2} \quad (i = 2 \text{ a } i = m)$$

GENERADOR DE ANCHOS DE CELDA

Cálculo de r_i

$$r_1 = \frac{r_p}{2}$$

$$r_2 = r_p + \frac{\Delta r_2}{2}$$

$$r_3 = r_p + \Delta r_2 + \frac{\Delta r_3}{2}$$

$$r_4 = r_p + \Delta r_2 + \Delta r_3 + \frac{\Delta r_4}{2}$$

Fórmula general:

$$r_i = r_p + \frac{\Delta r_{i-1} \cdot D - \Delta r_2 + \Delta r_i}{D-1}$$

$$r_i = r_p + \frac{\Delta r_i - \Delta r_2 + \Delta r_i}{D-1}$$

$$r_i = r_p + \frac{R_2 \left(\frac{(1+D)D^{i-2} - 2}{D-1} \right)}$$

$i = 3$ a $i = n$

GENERADOR DE DISTANCIAS DE NODOS AL EJE DEL POZO.

Debe partirse de la base, de que la transmisividad de paso TT_i entre la celda circular i y la $i+1$, depende de los valores de las transmisividades en las respectivas celdas T_i y T_{i+1} y de la forma geométrica del sistema.

TT_i no puede en ningún caso ser la media aritmética de T_i y T_{i+1} . Baste para ello asumir $T_{i+1} = 0$, que llevaría a $TT_i = T_i/2$, obteniéndose la incoherencia de tener un valor positivo de la transmisividad de paso, cuando debería ser nula.

Si las celdas fueran cuadradas, se tendría:

$$TT_i = \frac{2T_i \cdot T_{i+1}}{T_i + T_{i+1}}$$

que implicaría que, para $T_i = T_{i+1}$, $TT_i = T_i$ y para $T_{i+1} = 0$, $TT_i = 0$.

Para el caso de celdas concéntricas circulares, en las que se discretiza el medio, en el modelo FRAD, es preciso un cálculo específico, acorde con la Figura 5.

El caudal que pasa de i a $i-1$, debe ser igual al que pasa de i a P , o de P a $i-1$.

Luego, puede establecerse, según DARCY:

Caudal de paso de i a $i-1$:

$$Q = \frac{TT_{i-1} \cdot LO_i (h_i - h_{i-1})}{\frac{\Delta r_{i-1}}{2} + \frac{\Delta r_i}{2}}$$

Caudal de paso de P a $i-1$:

$$Q = \frac{T_{i-1} \cdot Ll_i (h_p - h_{i-1})}{\frac{\Delta r_{i-1}}{2}}$$

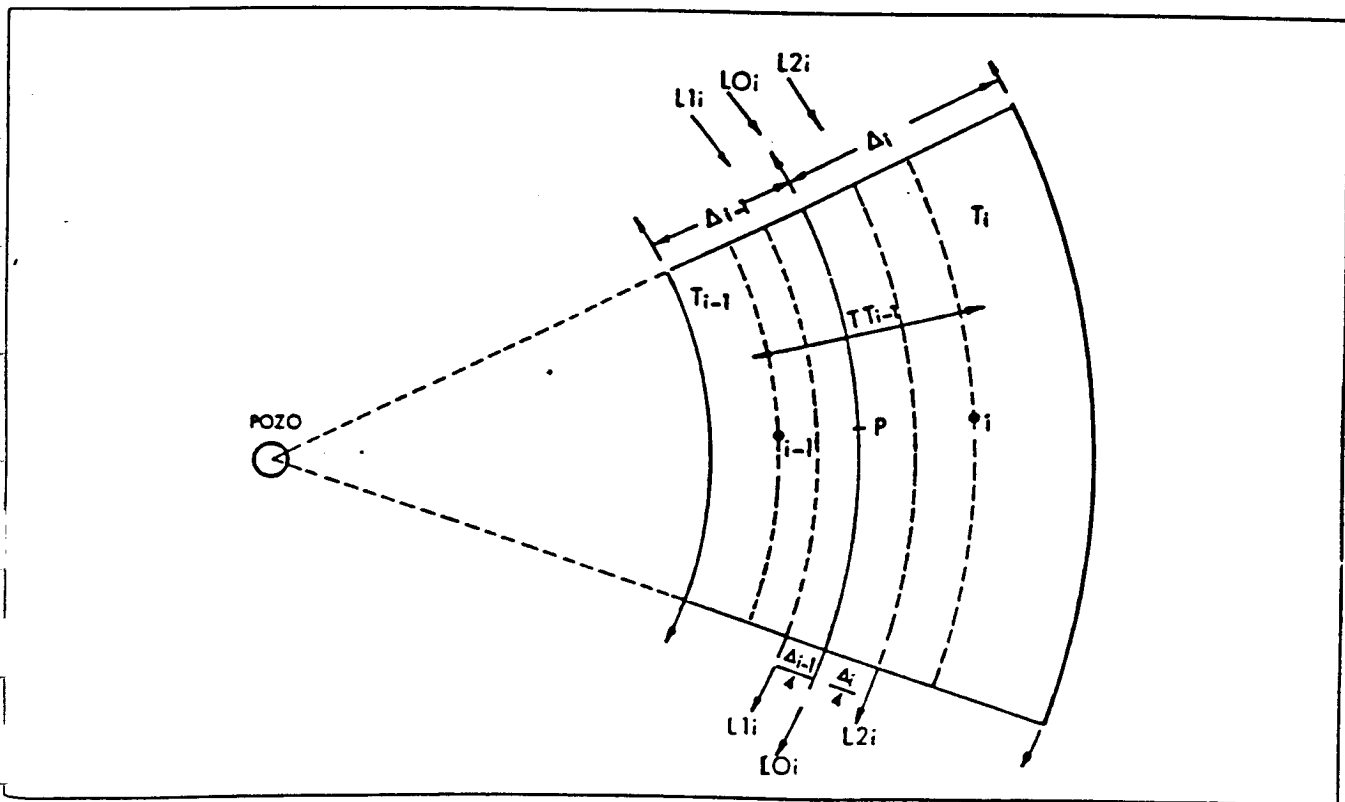


Figura 5. Esquema para el cálculo de la transmisividad de paso.

Caudal de paso de i a P :

$$Q = \frac{T_i \cdot L2_i (h_i - h_p)}{\frac{\Delta r_i}{2}}$$

Siendo h_p el nivel en el punto P, y LO_i , $L1_i$ y $L2_i$, las longitudes de los arcos reseñados en la Figura 5.

Igualando la primera y segunda ecuación, y la primera y tercera, se tiene:

$$\frac{TT_{i-1} \cdot LO_i (h_i - h_{i-1})}{\Delta r_{i-1} + \Delta r_i} = \frac{T_{i-1} L1_i (h_p - h_{i-1})}{\Delta r_{i-1}}$$

y

$$\frac{TT_i \cdot LO_i (h_i - h_{i-1})}{\Delta r_{i-1} + \Delta r_i} = \frac{T_i \cdot L2_i (h_i - h_p)}{\Delta r_i}$$

Despejando h_p en ambas ecuaciones:

$$h_p = \frac{TT_{i-1} \cdot LO_i (h_i - h_{i-1}) \Delta r_{i-1}}{T_{i-1} \cdot L1_i (\Delta r_{i-1} + \Delta r_i)} + h_{i-1}$$

$$h_p = - \frac{TT_i \cdot LO_i (h_i - h_{i-1})}{T_i L2_i (\Delta r_{i-1} + \Delta r_i)} + h_i$$

Restando se tiene:

$$- \frac{TT_{i-1} LO_i (h_i - h_{i-1})}{(\Delta r_{i-1} - \Delta r_i)} \left(\frac{\Delta r_{i-1}}{T_{i-1} L1_i} + \frac{\Delta r_i}{T_i L2_i} \right) + (h_i - h_{i-1}) = 0$$

Despejando:

$$TT_{i-1} = \frac{\Delta r_{i-1} + \Delta r_i}{LO_i \left(\frac{\Delta r_{i-1}}{T_{i-1} L1_i} + \frac{\Delta r_i}{T_i L2_i} \right)} = \frac{\Delta r_{i-1} (1 + D)}{LO_i \Delta r_{i-1} \left(\frac{1}{T_{i-1} L1_i} + \frac{D}{T_i L2_i} \right)}$$

y por tanto:

$$TT_i = \frac{L1_i L2_i T_{i-1} T_i (1 + D)}{LO_i (T_i L2_i + D T_{i-1} L1_i)}$$

TRANSMISIVIDAD DE PASO EN
MODELO FRAD.

Siendo:

$$LO_i = 2\pi \left(r_{i-1} + \frac{\Delta r_{i-1}}{2} \right)$$

$$L1_i = 2\pi \left(r_{i-1} + \frac{\Delta r_{i-1}}{2} - \frac{\Delta r_{i-1}}{4} \right)$$

$$L2_i = 2\pi \left(r_{i-1} + \frac{\Delta r_{i-1}}{2} + \frac{\Delta r_i}{4} \right)$$

Queda en consecuencia diseñado el modelo FRAD, de acuerdo con la hoja de especificaciones que se incluye en la Tabla 1 adjunta.

TABLA 1. Relaciones fundamentales del modelo FRAD.

ECUACION FUNDAMENTAL EN DIFERENCIAS FINITAS DE PASO VARIABLE	
$A_i h_{i-1} + B_i h_i + C_i h_{i-1} = -F_i h_i + \frac{4Q_i}{\pi}$	
Definición de coeficientes	
$A_i = 8.TT_{i-1}.AA_{i-1}$	$AA_{i-1} = \frac{2r_{i-1} + \Delta r_{i-1}}{2(r_i - r_{i-1})}$
$C_i = 8.TT_i.AA_i$	$AA_i = \frac{2r_i + \Delta r_i}{2(r_{i+1} - r_i)}$
$F_i = \frac{S_i.BB_i}{\Delta l}$	$B_i = -(F_i + C_i + A_i)$
Generador de mallado	
$\Delta r_i = R_2 D^{i-2}$	$i = 2 \quad \text{a} \quad i = m$
$r_i = r_p + \frac{R_2}{2} \left(\frac{(1+D)D^{i-2} - 2}{(D-1)} \right)$	$i = 3 \quad \text{a} \quad i = m$
Transmisividad de paso	
$TY_{i-1} = \frac{L1_i.L2_i.T_{i-1}.T_i(1+D)}{LO_i(T_i.L2_i + DT_{i-1}.L1_i)}$	
$LO_i = 2\pi \left(r_{i-1} + \frac{\Delta r_{i-1}}{2} \right)$	
$L1_i = 2\pi \left(r_{i-1} + \frac{\Delta r_{i-1}}{2} - \frac{\Delta r_{i-1}}{4} \right)$	
$L2_i = 2\pi \left(r_{i-1} + \frac{\Delta r_{i-1}}{2} + \frac{\Delta r_i}{4} \right)$	

El cuadro anterior sintetiza las fundamentales características numéricas del modelo FRAD (flujo radial) diseñado, incluyendo la ecuación fundamental, la definición de coeficientes, el generador de mallado automático y el cálculo de la transmisividad de paso.

Programa de ordenador

Se ha generado un conjunto de programas de ordenador, capaces de dar respuesta a los planteamientos teóricos expuestos.

Estos programas, se han denominado:

FRAD1.BAS

FRAD31.BAS

FRAD32.BAS

Cada uno de ellos incluye las oportunas variaciones para el tratamiento de acuífero libre y confinado, usando para el caso de libre dos tipos de cálculo sucesivamente más afinados.

Las partes principales del programa más general, son las siguientes:

PRESENTACION

DEFINICION DE VARIABLES

DIMENSIONADO

LECTURA DE DATOS

PREPARACION DEL PROBLEMA

PROGRAMA PRINCIPAL. SIMULACION

La PREPARACION DEL PROBLEMA, incluye los módulos destinados a:

- . Definición de valores iniciales
- . Generación del mallado
- . Cálculo de la transmisividad de paso
- . Cálculo de coeficientes de la ecuación general
- . Impresión de valores de simulación

En el PROGRAMA PRINCIPAL, se incluyen por último, dos módulos prioritarios:

- . Algoritmo
- . Impresión de resultados

El fichero de datos de entrada al programa, es particularmente sencillo y consta de tres registros:

Primer registro

Paso inicial de tiempo, Número de períodos, Número de celdas, Razón de la progresión de anchos de celda.

Segundo registro

Radio del pozo, Ancho de celda inicial.

Tercer registro

Transmisividad General, Coeficiente de almacenamiento general, Caudal, Nivel inicial.

La salida de resultados, también muy sencilla, se organiza en tres grupos:

- . Valores iniciales de simulación
- . Valores de niveles simulados
- . Valores del mallado generado

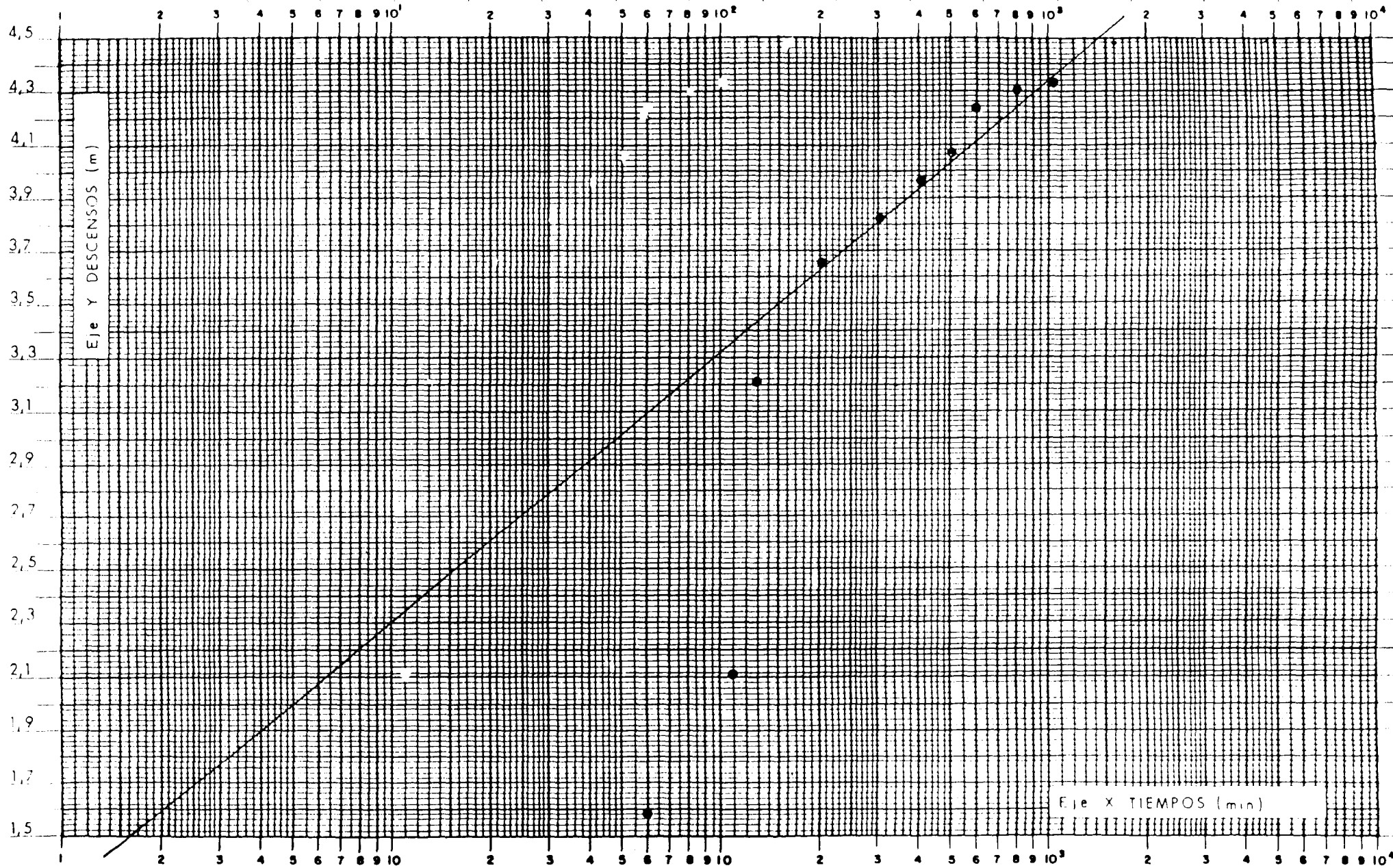
En lo referente a los valores de niveles simulados, el programa imprime el nivel en el pozo y los niveles de cada cinco celdas, hasta la última para cada uno de los pasos de tiempo.

El pozo se simula considerándole un coeficiente de almacenamiento $S = 1$ y una transmisividad $T=10^{32}$ representativos de un volumen lleno de agua libre.

Se tiene así, en las hojas de resultados una visión espacial y temporal de los descensos ocasionados por el bombeo en el pozo. Se adicionan también los valores del mallado generado, el número de celda, su ancho, distancia al eje del pozo y transmisividad de paso.

ANEXO 2

Datos del ensayo de bombeo




 Instituto Tecnológico
 GeoMinero de España
 AREA DE LABORATORIOS Y TECNICAS BASICAS

TOPONIMIA

GRAFICO DE BOMBEO EN
 POZO SEREÑAT

CAUDAL:

FECHA:

VALORES OBTENIDOS:

GRAFICO Nº

3

