



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

INFORME SOBRE EL BOMBEO DE ENSAYO
REALIZADO EN EL SONDEO ARCOS III
DE LA U.H. 05.54, ARCOS-BORNOS-
ESPERA (CÁDIZ)

Δ 20 1997



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

NO EN SID

I N D I C E

- ANTECEDENTES
- PROGRAMACIÓN DE ENSAYO: OBJETIVOS
- PRUEBAS DE BOMBEO
- METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE DATOS DE CAMPO
- CÁLCULO DE LA TRANSMISIVIDAD DEL MANTO ACUÍFERO Y DE SU ALMACENAMIENTO.
- ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE RESULTADOS
- REFLEXIONES SOBRE CAUDALES DE EXPLOTACIÓN
- CONCLUSIONES
- ANEXOS
 - PARTES DE BOMBEO
 - REPRESENTACIONES GRÁFICAS

ANTECEDENTES

A petición de la oficina de proyectos de Sevilla, en virtud del acuerdo establecido entre la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y el Instituto Tecnológico Geominero de España, se ha llevado a cabo por parte del Servicio de Sondeos y Aforos, la dirección técnica del ensayo de bombeo del sondeo denominado Arcos III (N° 1344-2-0048), ubicado en el área del Canal Bornos-Arcos.

En Noviembre de 1995, sobre cinco de los sondeos perforados en la U.H. 05.54, Arcos-Bornos-Espera, para el abastecimiento de núcleos urbanos de la Bahía de Cádiz, se realizaron los respectivos ensayos de bombeo con el fin de aproximar los caudales de explotación de los sondeos referenciados en el informe técnico emitido por la oficina de Proyectos del I.T.G.E. (Sevilla).

Resulta obligado tener en cuenta el informe de Noviembre de 1995, por lo mucho que aporta al conocimiento hidrodinámico del acuífero estudiado en relación con las características de los sondeos ejecutados. Sólo de este modo podrán valorarse adecuadamente los datos obtenidos durante la realización del ensayo del bombeo de larga duración, utilizando como pozo de bombeo el denominado Arcos III, y sirviendo como puntos de observación un buen número de sondeos existentes en la zona.

Las diferentes profundidades alcanzadas por los sondeos, la no coincidencia total de los tramos filtrantes enrejillados y los distintos niveles permeables encontrados, son algunos de los aspectos mas importantes en los que se centran las complejidades para el análisis que pretende este informe.

PROGRAMACIÓN DEL ENSAYO: OBJETIVOS.

La programación de todo ensayo de bombeo debe estar orientada a la consecución de unos objetivos previamente fijados. En este caso se han recogido las sugerencias hechas por los técnicos de la oficina de proyectos del ITGE de Sevilla, y que en síntesis son:

. Determinación de los parámetros hidráulicos del acuífero captado por el sondeo Arcos III.

. Geometría del cono de bombeo así como el radio de influencia y posibles cambios de permeabilidad a ciertas distancias del punto de bombeo.

Como piezómetros mas representativos en cuanto a la observación de su evolución dinámica durante el bombeo a caudal constante realizado en el Arcos III son, en principio, los mas próximos al punto de bombeo y aquéllos cuya profundidad y zonas filtrantes son mas semejantes. En realidad se han observado las variaciones de niveles a lo largo del tiempo de bombeo en ocho pozos, que serán objeto de análisis y valoración de sus resultados en los epígrafes correspondientes. De dichos análisis pueden obtenerse otras valoraciones además de las fijadas como objetivos.

PRUEBAS DE BOMBEO

El día 14.10.97 comenzó el ensayo de bombeo en la captación Arcos III, estando el nivel estático a 17,74 m.

Con el fin de conseguir los objetivos previstos en este ensayo se midieron inicialmente los niveles estáticos en 14 pozos situados en el entorno del pozo de bombeo, para ser utilizados, en principio, como puntos de observación o piezómetros.

De estos 14 pozos de observación, iniciado ya el bombeo, se desestimaron 5 puntos: 2 al ponerse a bombear por estar programados mediante sistemas automatizados; otros 2 por verse directamente afectados por el bombeo de captaciones próximas a ellos, y, un último sondeo se dejó de controlar por resultar muy imprecisa su medida debido a una capa de aceite situada encima del agua, de aproximadamente 1 m de espesor.

En resumen, han quedado disponibles para su control 9 piezómetros, de los cuales uno es surgente, pero de perder ó disminuir de forma inequívoca la surgencia se constataría su conexión hidráulica con el pozo del bombeo.

Con este planteamiento, el ensayo propiamente dicho ha consistido en una prueba de descensos en la que se ha bombeado el sondeo Arcos III con un caudal constante de 103 l/s, si bien en los minutos iniciales el caudal fue algo superior ante la imposibilidad de su regulación. En la fase de recuperación, se midieron los niveles dinámicos o descensos residuales durante el tiempo reseñado en los partes de campo correspondientes.

La prueba en descenso tuvo una duración de 4260 minutos, siendo la depresión total producida de 137,49 m.

En la prueba en ascensos se tomaron medidas de forma continuada durante 650 minutos, situándose el nivel a este tiempo en el metro 30,40. Posteriormente se registró una última medida en el minuto 1370, encontrándose el nivel a 24,60 m.

Las medidas de niveles en los piezómetros se han efectuado de forma coincidente con los tiempos y mediciones tomados en la prueba de descensos realizada en el pozo de bombeo. No se controló la evolución de los niveles en recuperación de los piezómetros, debido a que la notable

distancia al pozo de bombeo limitaba la fiabilidad de los datos que pudieran obtenerse.

Se recogen en el siguiente cuadro los niveles estáticos y dinámicos finales de todos los sondeos controlados durante la prueba de descensos incluidos los del propio pozo de bombeo (Arcos III). Asimismo se indican los niveles estáticos del resto de los puntos no controlados durante el ensayo.

SONDEO	NIVEL ESTÁTICO	NIVEL DINÁMICO	TIEMPO (min.)
Arcos III	17,74	155,23	4.260
Arcos I	12,30	18,71	4.135
Arcos II	13,90	23,89	4.140
Arcos IV	22,13	30,20	4.335
Arcos V	24,99	26,22	4.160
N° 10023	13,21	13,41	4.130
N° 20019	80,43	81,15	4.245
N° 20015	63,64	63,74	4.230
N° 20025	Surgente	Surgente	4.260
N° 60022	99,53	99,61	4.282

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE DATOS DE CAMPO.

Por tratarse de sondeos que captan un acuífero mas o menos homogéneo y habiéndose efectuado un ensayo con numerosos pozos de observación, parece lo mas adecuado, como así se ha hecho, la realización de un bombeo de considerable duración, con un caudal constante durante toda la prueba de 103 l/s (370 m³/h), donde se han controlado las evoluciones de los niveles dinámicos para tiempos con cadencias semejantes en una representación gráfica con escala logarítmica.

Se ha planteado, pues, analizar la información de campo mediante el método simplificado de Jacob o, en su caso, el de Theis, para aquellos piezómetros cuyas distancias al punto

de bombeo son considerables y requieren tiempos excesivos para entrar en el período de validez de Jacob.

Conviene adelantar que por tratarse de un acuífero multicapa con numerosos tramos acondicionados, no existirá una correspondencia total entre los horizontes acuíferos productivos del pozo de bombeo y los pozos utilizados como piezómetros de control. Por este motivo no es difícil comprender que el caudal constante extraído en el pozo ensayado se corresponde con el total aportado por la suma de los acuíferos en producción; es decir, los que están acondicionados con los filtros correspondientes. Solo existirá influencia directa del bombeo en los puntos de observación en la medida que existan acuíferos comunes, dentro del conjunto multicapa. Por tal motivo no es lógico ni acertado imputar el total del caudal extraído en el pozo de bombeo al resto de los piezómetros de observación para el cálculo de los parámetros hidrogeológicos del acuífero; sólo deberá imputarse el porcentaje del caudal que se extrae de acuíferos comunes, de tal modo que solo sería aplicable el 100% en el supuesto teórico de una correspondencia total y absoluta, incluso en igualdad de potencias de acuíferos acondicionados, entre el pozo de bombeo y cada uno de los pozos observados.

Se hacen estas consideraciones previas para sentar la base de que los valores obtenidos de la transmisividad serán siempre mayores en los piezómetros que en el pozo de bombeo, y tanto más cuanto menor sea el número de metros existentes de acuíferos comunes acondicionados entre el pozo de bombeo y cada uno de los piezómetros de observación.

Los ajustes de las rectas de Jacob o de las curvas de Theis, serán mas fiables y de mas fácil interpretación en la medida en que las condiciones de contorno del medio físico mas se ajusten al modelo teórico en el que se asienta la formulación matemática.

CÁLCULO DE LA TRANSMISIVIDAD DEL MANTO ACUÍFERO Y DE SU ALMACENAMIENTO

Para el cálculo de los parámetros hidrogeológicos del acuífero, el ensayo de bombeo se ha realizado en régimen variable y caudal constante.

Como se ha dicho en el epígrafe anterior, representando los datos de campo, con escala aritmética las variaciones de nivel, y logarítmica los tiempos de bombeo, se obtendrán representaciones gráficas que configuran o dan lugar a alineaciones de puntos que definen las rectas de Jacob. Cuando las variaciones de niveles y los tiempos de bombeo se representan con escalas logarítmicas se obtendrán curvas de campo de Theis, que serán analizadas por el método de coincidencia con la curva patrón.

En el siguiente cuadro se resumen los resultados de los parámetros, transmisividad y almacenamiento, obtenidos por los métodos mencionados, a la vez que se indican las distancias de los piezómetros al pozo de bombeo.

Las medidas tomadas en el pozo de bombeo Arcos III, sólo se representan por JACOB, al ser válida la aplicación del método prácticamente desde el inicio del bombeo.

N° de sondeo	T (Jacob) m ² /día	T (Theis) m ² /día	S %	Distancias (m)
Arcos III (Pozo de bombeo)	100 (descenso) 78 (recup.)		--	0
Arcos I	187	118	10 ⁻⁴	1460
Arcos II	207	141	10 ⁻⁴	1060
Arcos IV	208	172	10 ⁻⁴	1210
Arcos V	678	354	4x10 ⁻⁴	2160
N-10023	3.095	-	2x10 ⁻³	2500
N-20019	1.098	745	3x10 ⁻³	1110
N-20015	10.268	-	9x10 ⁻³	1850
N-60022	12.054	-	4x10 ⁻³	2500

ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE RESULTADOS.

Es evidente que los resultados obtenidos en el cuadro de transmisividades son acordes con las previsiones expuestas en cuanto a las correspondencias de metros enrejillados comunes entre el pozo de bombeo y cada uno de los pozos de observación. Por ello se concluye que los verdaderos valores de transmisividades son los obtenidos en la representación de los datos del pozo de bombeo.

Para cuantificar las transmisividades reales en los pozos de observación sería necesario aplicar un factor de corrección que vendría dado por:

$$F_c = \frac{\text{n}^\circ \text{ de metros comunes de acuíferos acondicionados}}{\text{n}^\circ \text{ de metros totales acondicionados en el pozo de bombeo}}$$

Es fácil deducir (véase el esquema constructivo del pozo de bombeo Arcos III) el número de metros productivos de este sondeo que se ha utilizado como punto bombeo. Sin embargo es más difícil averiguar cual es el n° de metros de acuífero productivo de cada uno de los pozos observados respecto del pozo de bombeo, ya que no puede establecerse una correspondencia de niveles por no disponer de su mismo plano de comparación por nivelaciones previas de las cotas de cada uno de los pozos de observación y el propio de bombeo.

Con estas premisas, es evidente que la verdadera transmisividad de comportamiento y real del acuífero ensayado se obtiene de la representación gráfica de los datos obtenidos en la fase de descenso y recuperación en el pozo de bombeo Arcos III.

Los valores de transmisividad calculados a partir de las representaciones de los datos observados durante el ensayo a caudal constante en los demás sondeos, no son reales. Para que así fuera habría que imputarles el verdadero caudal de

influencia en cada uno de ellos. Es decir habría que multiplicar los resultados obtenidos por el factor de corrección ya definido.

A nuestro modesto entender el acuífero objeto de estudio y valoración, está definido por los parámetros siguientes:

$$T = 100 \text{ m}^2/\text{día.}$$

$$S = 10^{-4}$$

$$R = 2500 \text{ m (para } t = 4260')$$

Si se calcula con estos parámetros el período de validez de Jacob para el piezómetro mas cercano, que está situado a 1060 m del pozo de bombeo, se concluye en que la recta de Jacob, será ajustable a los puntos registrados una vez transcurridos 4000' desde el comienzo. Teniendo en cuenta que el tiempo total de bombeo ha sido de 4260 minutos, se deduce que los datos obtenidos prácticamente en todos los sondeos de observación, dadas las mayores distancias existentes al pozo de bombeo, están fuera del período de validez de Jacob; por tal motivo no son representativos de la realidad física del acuífero, y sólo deberán tenerse en cuenta las representaciones y valores obtenidos mediante el método de superposición de Theis. Todo ello con independencia de las limitaciones establecidas en cuanto al factor de corrección que debería aplicarse a cada sondeo en particular.

A título de ejemplo, valoraciones, calibraciones y ajustes entre los valores calculados y los descensos observados para un caudal constante de bombeo pueden establecerse los siguientes:

Descensos, teórico y real, en el pozo de bombeo ($t=4.260'$)

- . descenso teórico calculado: = 130 m
- . descenso real observado = 137 m
- . descenso por pérdidas de carga = 7 m

En el caso de los piezómetros de observación mas representativos, aplicando los mismos valores de los parámetros obtenidos en el pozo de bombeo, por las razones antes señaladas, los resultados son:

PIEZÓMETRO	DESCENSO TEÓRICO	DESCENSO REAL MEDIDO
Arcos I	8	6,4
Arcos II	12,5	9,9
Arcos IV	10,7	8-
Arcos V	2,5	1,2

De este cuadro se deduce la congruencia entre los descensos teóricos calculados y los observados en cada uno de los sondeos. Las diferencias existentes entre el cálculo teórico y las medidas reales efectuadas deben considerarse como la falta de correlación de acuíferos comunes, ya expresada y ampliamente comentada.

Considerando de gran valor lo aportado en el análisis del informe técnico emitido por la oficina de proyectos del ITGE de Sevilla, es obligado matizar las valoraciones concernientes a los parámetros que definen el comportamiento hidrodinámico del acuífero (T y S).

En cuanto al valor de la transmisividad hidráulica del manto acuífero debe admitirse un desajuste entre el método aplicado, posiblemente de interpolación automática, y el método de Jacob. Así, con los mismos datos obtenidos en el ensayo realizado en el año 1995, la transmisividad obtenida por Jacob resulta ser de 96 m²/día, frente a los 160 m²/día referidos en el informe citado.

Por otra parte, el coeficiente de almacenamiento calculado a partir de la información suministrada por los

piezómetros, difiere ligeramente del valor estimado en el informe de referencia.

Su aplicación teórico-práctica, conduce a resultados netamente excluyentes:

$$T = 160 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$S = 5 \times 10^{-3}$$

$$R = 460 \text{ m (radio de influencia)}$$

Con estos parámetros, el descenso teórico calculado, en el pozo de bombeo para el tiempo de duración del ensayo (330') es de 44 m, siendo el descenso real medido de 102,74 m, lo que implicaría un descenso por pérdidas de carga de 59 m. Esta desproporcionalidad de los descensos no sería admisible para un sondeo con acondicionamiento y diseño adecuado o con errores dentro de los límites normales.

Por otra parte, el valor del radio de influencia, calculado para el tiempo de bombeo de 4260, y aplicando los valores: $T = 160 \text{ m}^2/\text{día}$ y $S = 5 \times 10^{-3}$, resulta:

$$R = 460 \text{ m}$$

Este resultado difiere enormemente de la realidad comprobada, donde la influencia del bombeo se detectó en piezómetros situados a distancias superiores a los 2000 m del pozo de bombeo. Debiera pues admitirse que los valores de T y S calculados en el ensayo que nos ocupa, son mas acordes con la realidad física que otras valoraciones hechas con anterioridad.

REFLEXIONES SOBRE CAUDALES DE EXPLOTACIÓN

Plantearse el cálculo del caudal de explotación de la sumatoria de todos los sondeos de la zona, teniendo en cuenta el descenso ocasionado en cada uno de ellos como consecuencia

de su propio bombeo además de los descensos repercutidos por el bombeo del resto de los pozos, parece tarea poco menos que imposible. La disparidad en el tipo de construcción, la falta de regularidad en cuanto a las profundidades alcanzadas y la no correspondencia de niveles acuíferos entre pozos, son razones sobradas para desestimar un intento de valoración mediante métodos simples o programas informáticos.

Por tal motivo parece razonable utilizar los resultados obtenidos en el bombeo experimental realizado en el verano como valoraciones mas ajustadas a la realidad.

Con carácter general puede afirmarse que del acuífero estudiado, con los parámetros hidrogeológicos calculados, es posible extraer caudales en torno a los 100 l/s para niveles dinámicos próximos a los 180 metros. La relación del caudal específico que se deduce de los datos anteriores variará en función del número de metros totales de acuífero captados por cada sondeo y del grado de eficacia de la obra de captación.

CONCLUSIONES

El acuífero bombeado mediante el sondeo Arcos III, tiene un comportamiento regular y uniforme para el tiempo de bombeo empleado. En consecuencia, las rectas de Jacob, dentro de su período de validez, se han ajustado con precisión casi absoluta a los puntos representados. Por lo tanto quedan descartados fenómenos de discontinuidad importantes y cambios de permeabilidad en un entorno inferior a los 2,5 Km, que fue la distancia alcanzada por el radio de influencia del bombeo.

El rendimiento específico del pozo de bombeo es del orden de 0,75 l/s/m. Este rendimiento disminuirá en función de los descensos que puedan ocasionar bombeos simultáneos de los pozos más próximos y mas semejantes desde el punto de vista constructivo.

Los parámetros hidráulicos que definen el acuífero multicapa captado por el pozo de bombeo son:

$T = 100 \text{ m}^2/\text{día}$

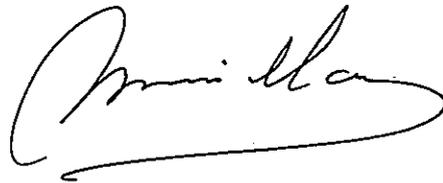
$S = 10^{-4}$

$R = 2580 \text{ m}$ (Radio de influencia para un bombeo de 4.260 min. de duración).

Madrid - Febrero - 1998



Fdo.: C. Riestra Fuertes



Fdo.: M. Villanueva Martínez.

ANEXOS

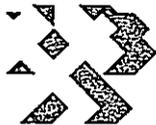
PARTES DE BOMBEO
REPRESENTACIONES GRÁFICAS

POZO DE BOMBEO ARCOS III



TIPO DE ENSAYO: CAUDAL CONSTANTE	N.E.: 17.74 m.
TABLA DE MEDIDAS: DESCENSO	COTA: m.
DISTANCIA AL POZO DE BOMBEO: 0 m.	Q: 103 l/s
EQUIPO DE BOMBEO:	FECHA: 14/10/97

Fecha	Hora	Tie. min.	Prof. Agua (m.)	Desce. d (m.)	Q l/s	$\frac{t+t'}{t'}$	Observaciones
14/10/97	10.10	0	17.74				
		1	60.94		140		
		3	97.65		124		
		5	108.22		117		
		10	115.79		114		
		15	118.94		113		
		20	120.80		112		
		30	123.37		111		
		40	125.31		110		
		50	126.77		109		
		60	127.90		108		
		80	129.75		108		
		100	131.03		107		
		120	132.23		107		
		150	133.64		106		
		200	135.61		105		
		250	136.90		104		
		300	138.04		104		
		400	139.81		103		
		450	140.49		103		
		500	141.20		103		
		600	142.13		103		
		700	143.50		103		
		800	144.45		103		
15/10/97		900	144.96		103		
		1000	145.47		103		
		1200	146.18		103		
		1400	148.37				
		1600	150.11		103		
		2000	151.70		103		



TIPO DE ENSAYO: CAUDAL CONSTANTE	N.E.: 17.74 m.
TABLA DE MEDIDAS: RECUPERACION	COTA: m.
DISTANCIA AL POZO DE BOMBEO: 0 m.	Q: 103 l/s
EQUIPO DE BOMBEO:	FECHA: 17/10/97

Fecha	Hora	Tie. min.	Prof. Agua (m.)	Desce. d (m.)	Q l/s	$\frac{t+t'}{t'}$	Observaciones
17/10/97	9.10	0	155.23				
		1	118.34				
		3	89.76				
		5	77.75				
		10	68.05				
		15	63.95				
		20	61.25				
		30	57.72				
		40	55.29				
		50	53.26				
		60	51.60				
		80	48.84				
		100	46.40				
		120	44.93				
		150	43.01				
		200	40.51				
		250	38.66				
		300	37.09				
		350	35.82				
		400	34.52				
		450	33.51				
		500	32.65				
		600	31.10				
	20.00	650	30.40				
18/10/97	8.00	1370	24.60				



GRAFICO DE DESCENSOS

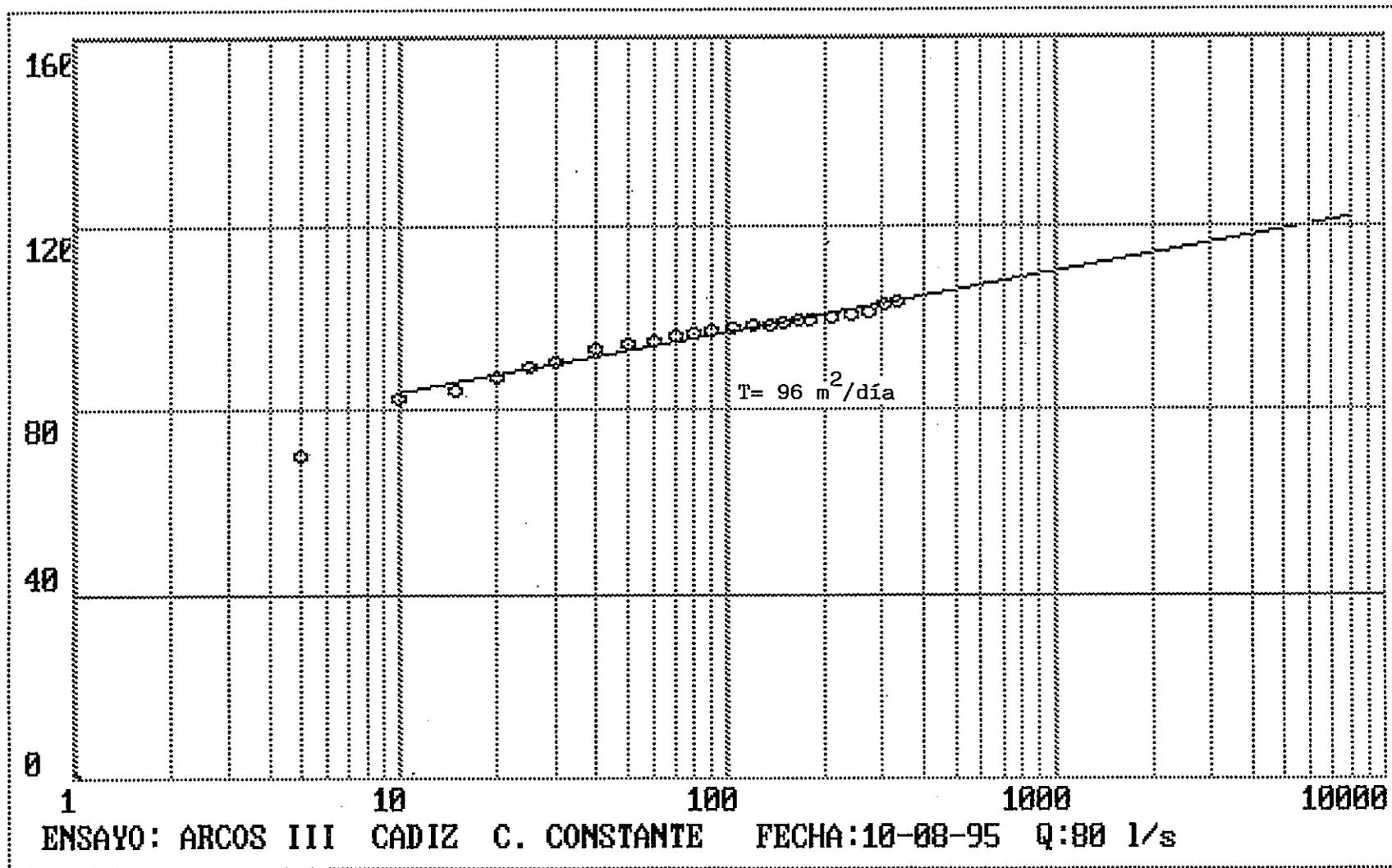


GRAFICO DE RECUPERACIÓN

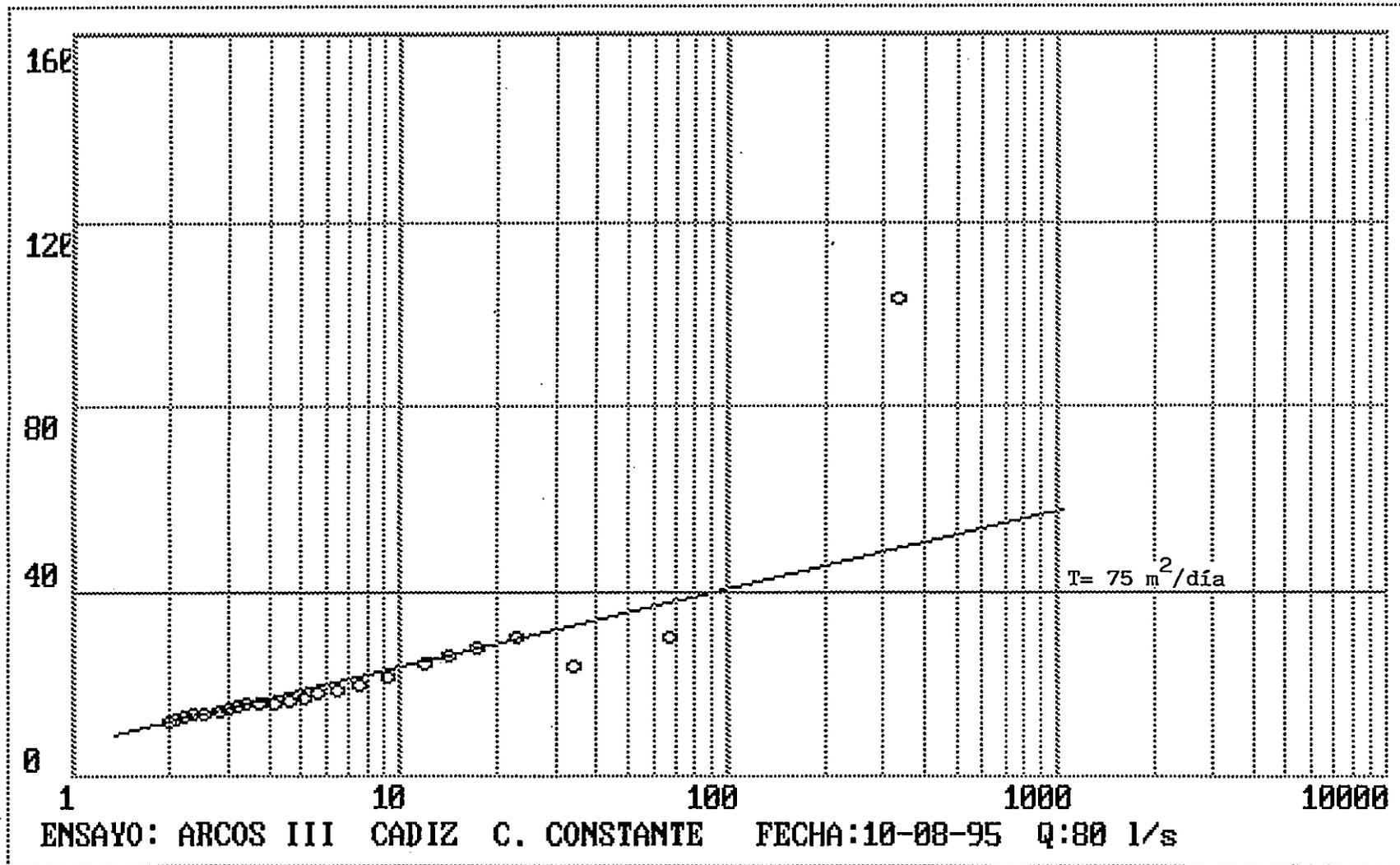


GRAFICO DE DESCENSOS

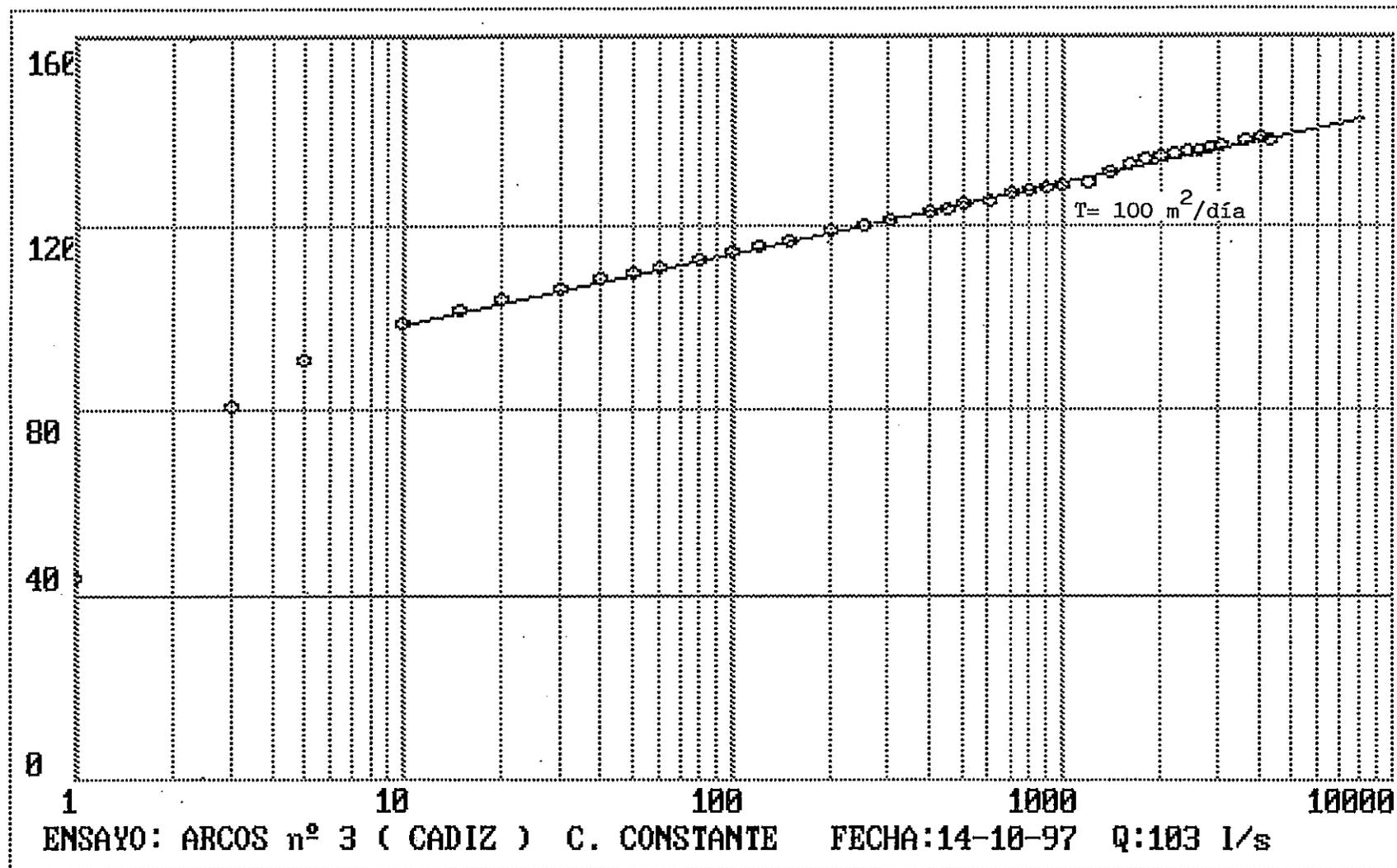
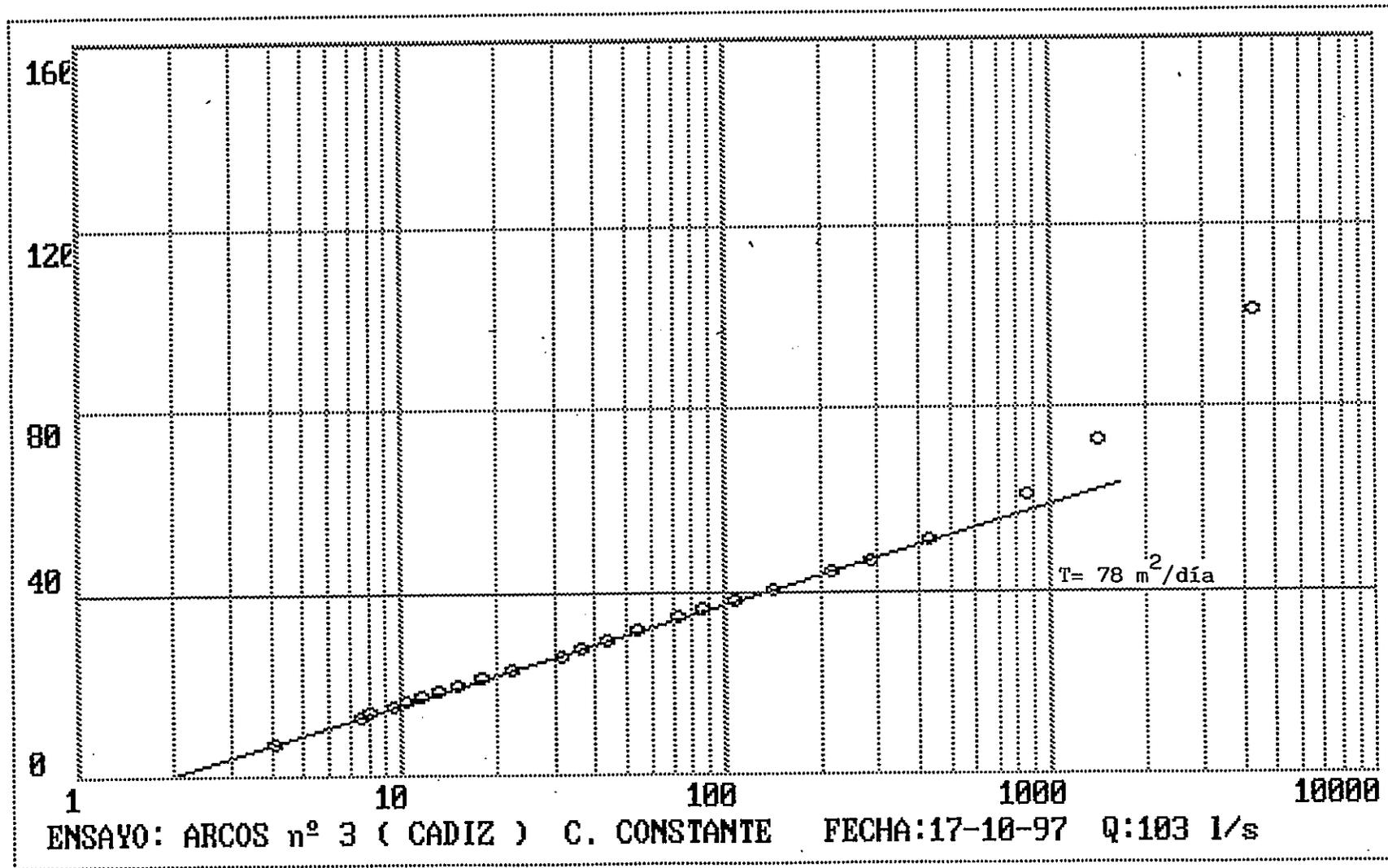
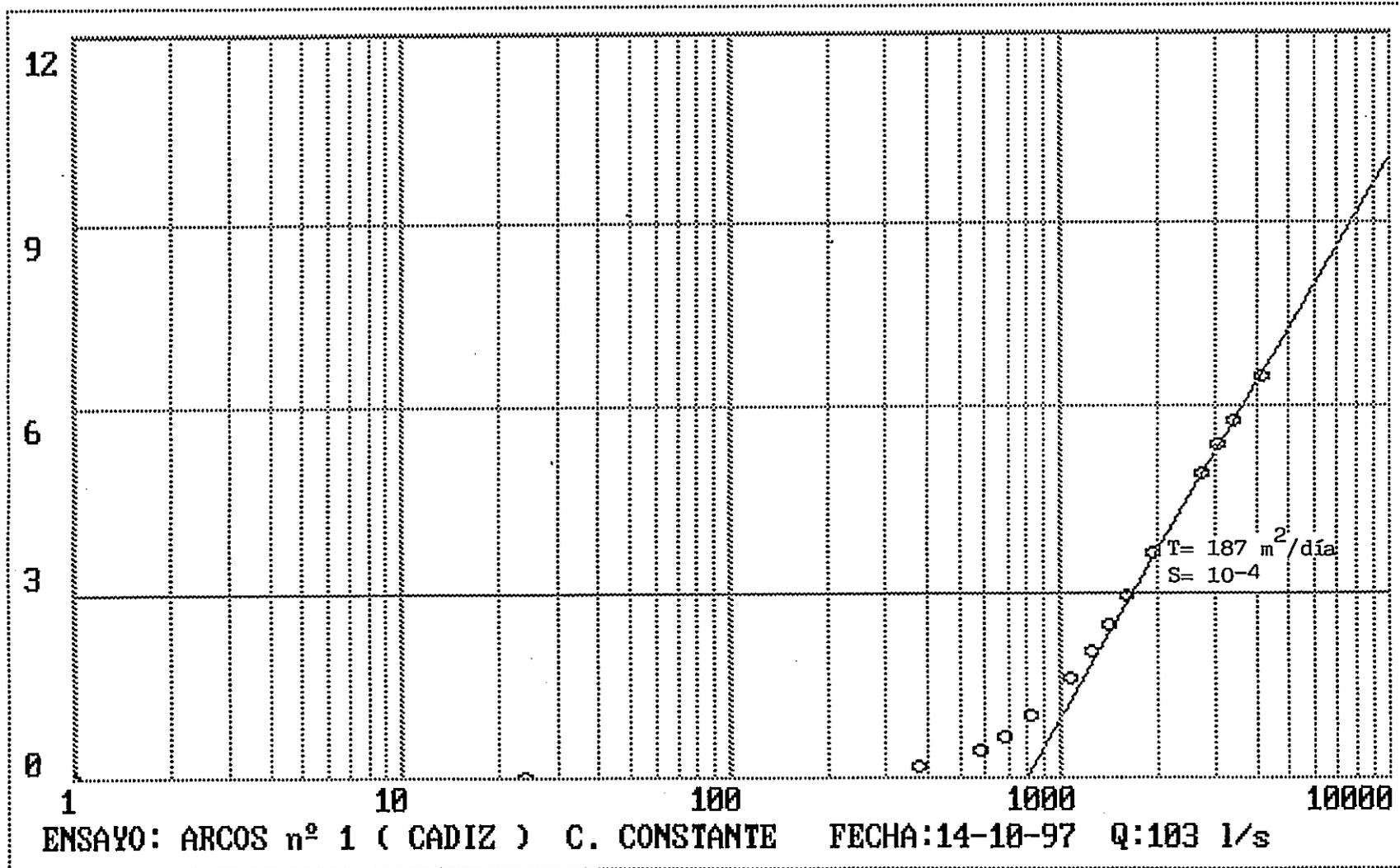


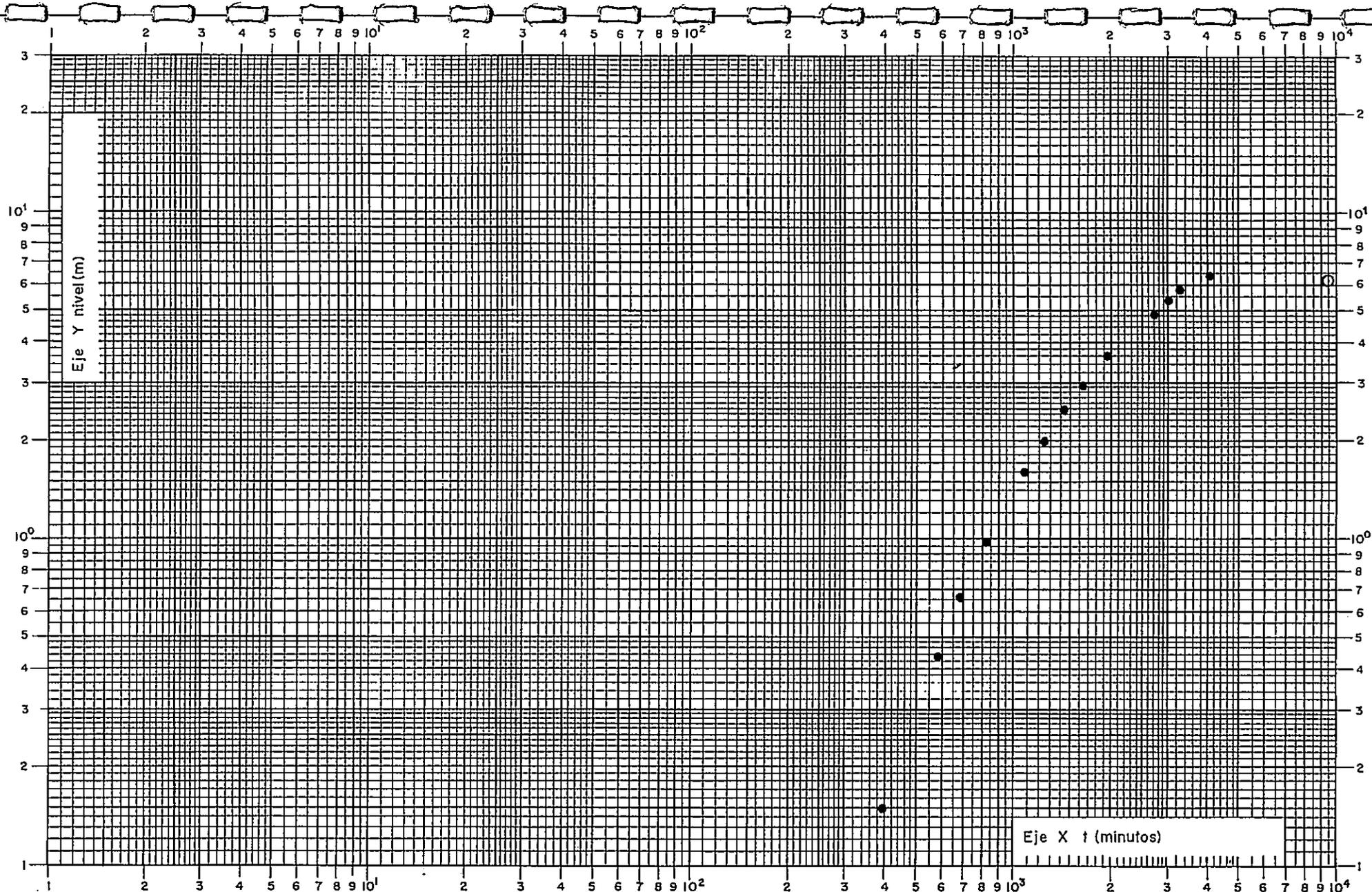
GRAFICO DE RECUPERACIÓN



PIEZÓMETRO ARCOS I

GRAFICO DE DESCENSOS






 Instituto Tecnológico
 GeoMinero de España
 AREA DE LABORATORIOS Y TECNICAS BASICAS

TOPONIMIA
 ARCOS N° 1 (CADIZ)

GRAFICO DE DESCENSOS (r = 1460 m)

CAUDAL: 103 l/seg FECHA 14-10-97

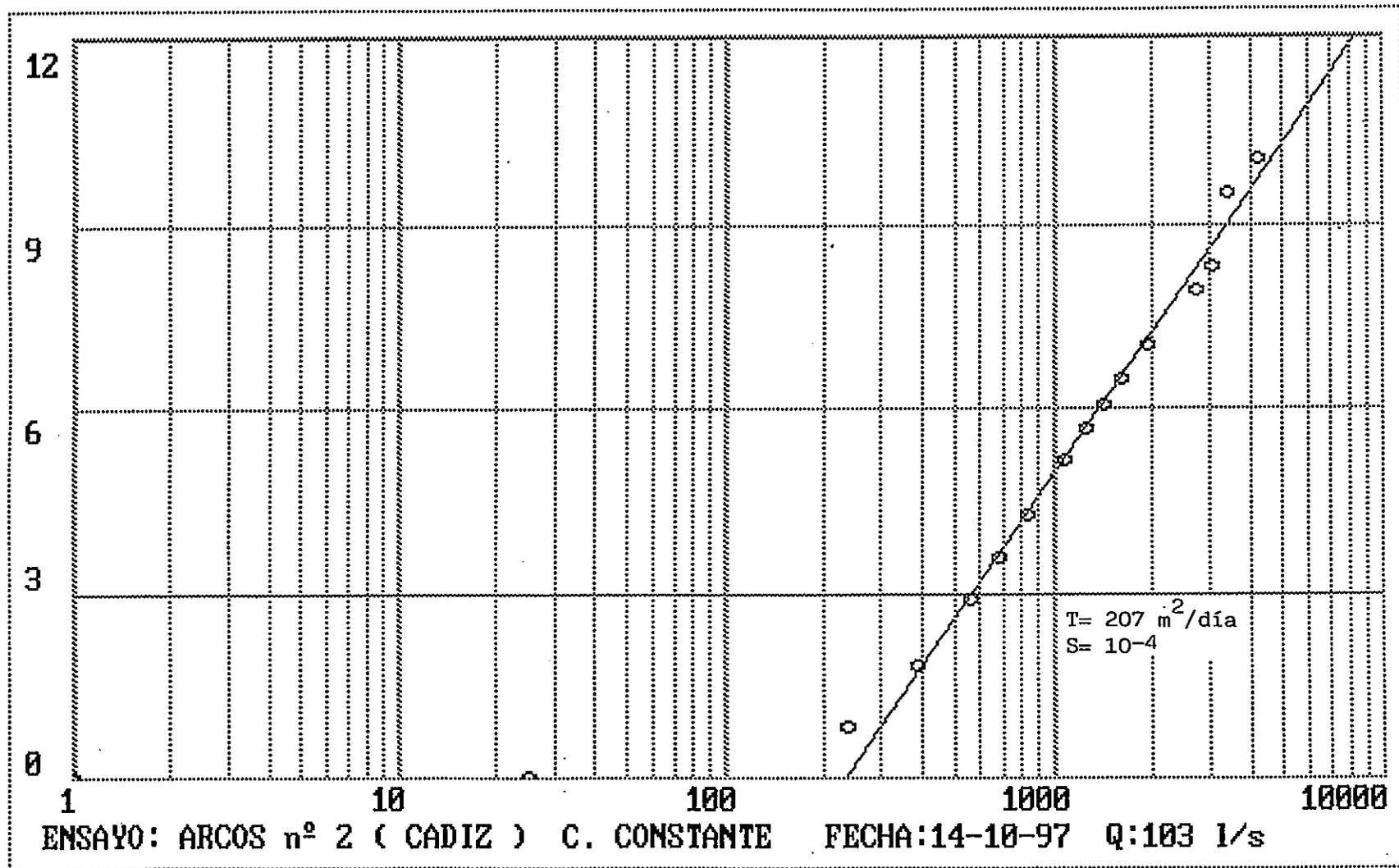
VALORES OBTENIDOS:

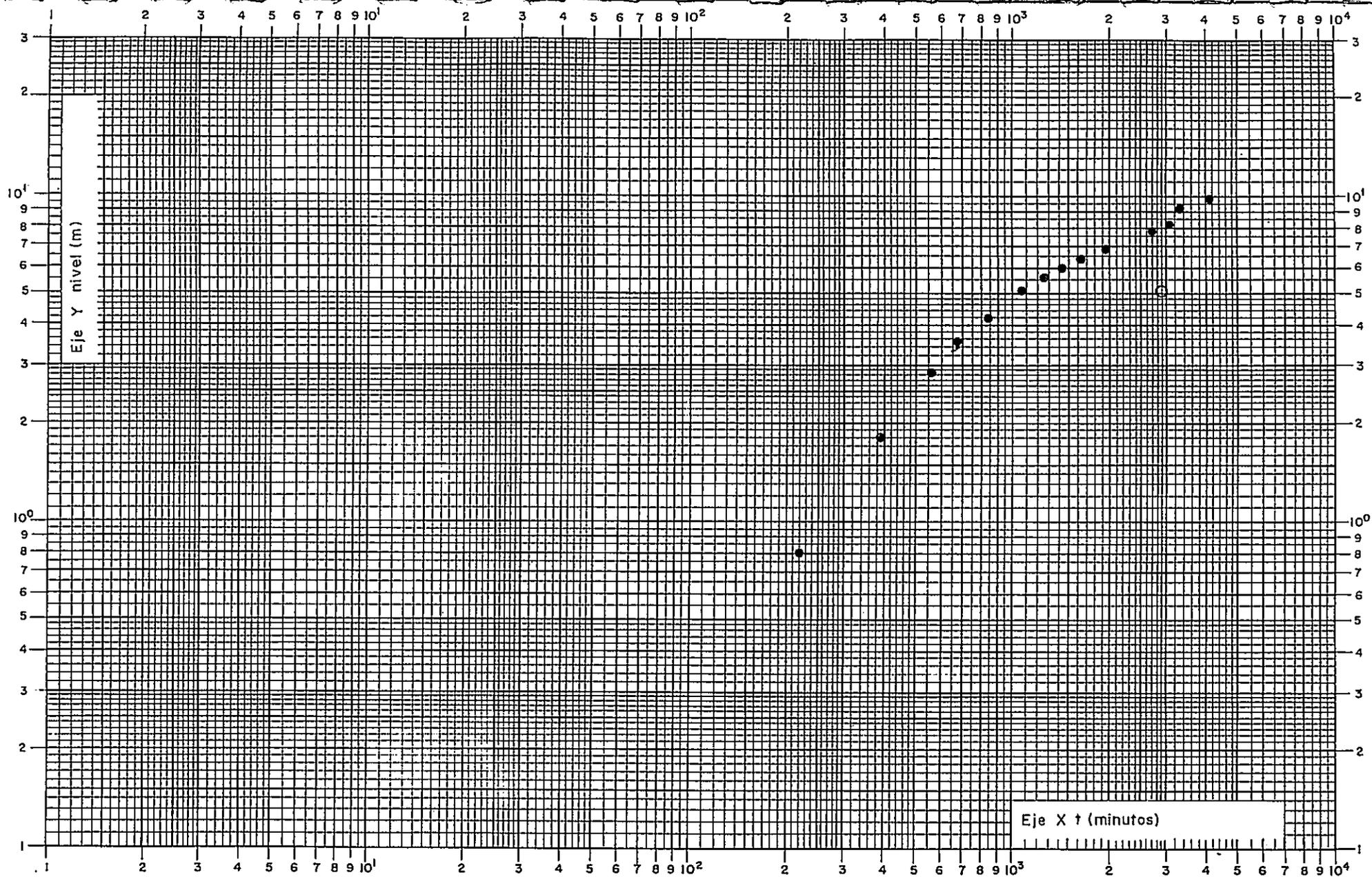
T = 118 m²/dia
 S = 10⁻⁴

GRAFICO N°

PIEZÓMETRO ARCOS II

GRAFICO DE DESCENSOS






 Instituto Tecnológico
 GeoMinero de España
 AREA DE LABORATORIOS Y TECNICAS BASICAS

TOPONIMIA
 ARCOS Nº 2 (CADIZ)

GRAFICO DE DESCENSOS (r = 1060 m)

CAUDAL: 103 l/s FECHA 14-10-97

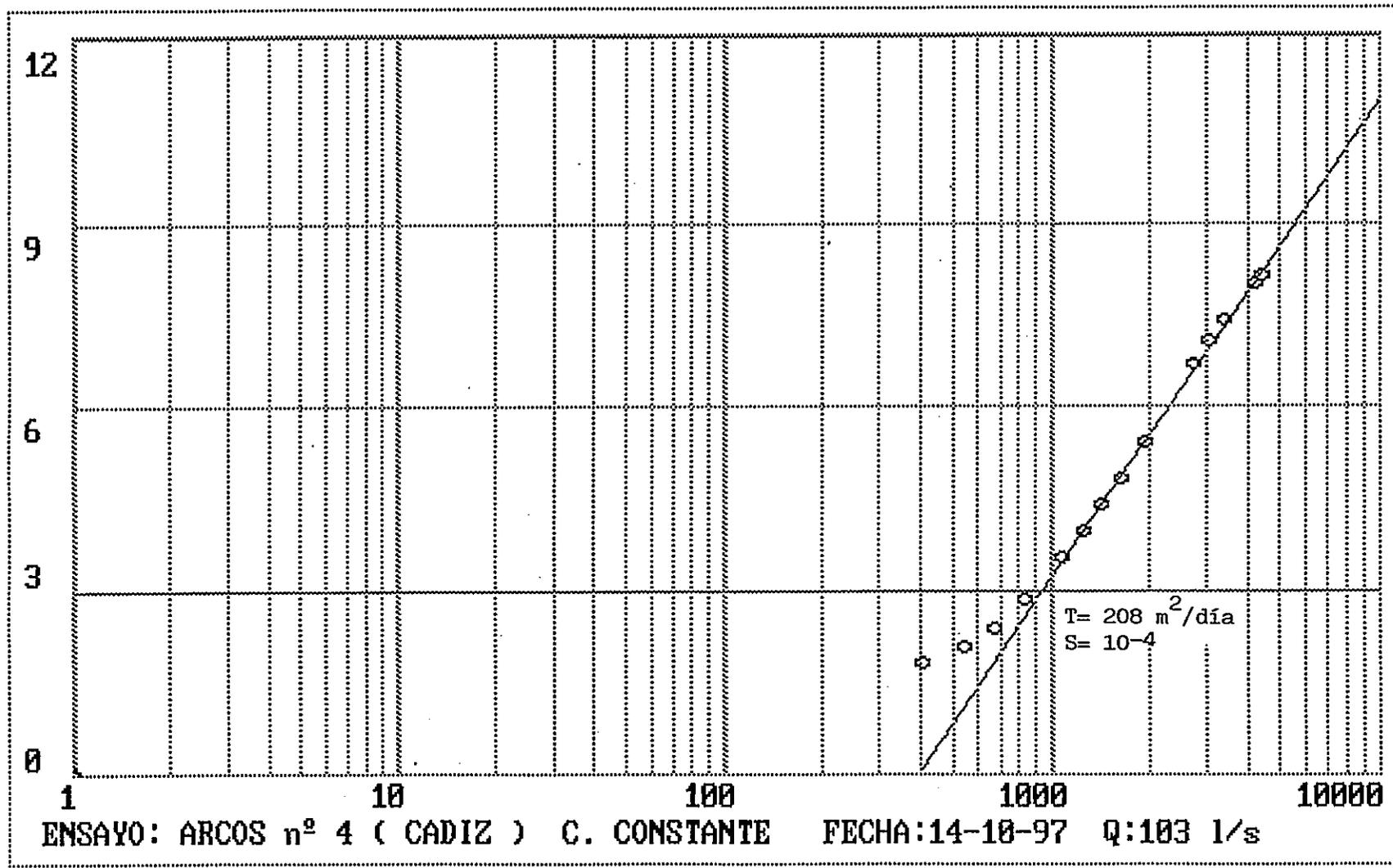
VALORES OBTENIDOS:

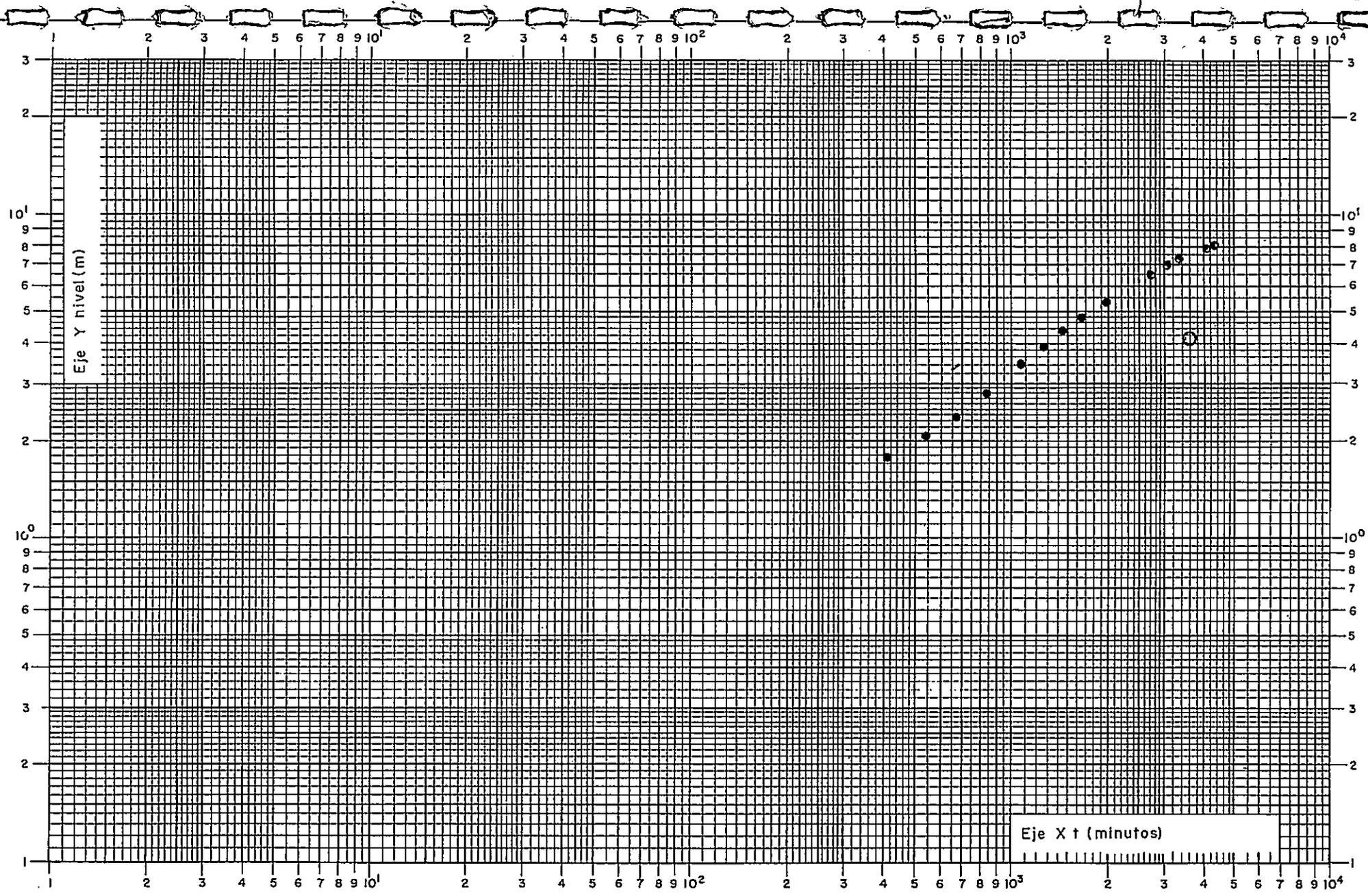
T = 141 m²/dia
 S = 10⁻⁴

GRAFICO Nº

PIEZÓMETRO ARCOS IV

GRAFICO DE DESCENSOS






 Instituto Tecnológico
 GeoMinero de España
 AREA DE LABORATORIOS Y TECNICAS BASICAS

TOPONIMIA
 ARCOS Nº 4 (CADIZ)

GRAFICO DE DESCENSOS (r = 1210 m)

CAUDAL: 103 l/s

FECHA 14-10-97

VALORES OBTENIDOS:

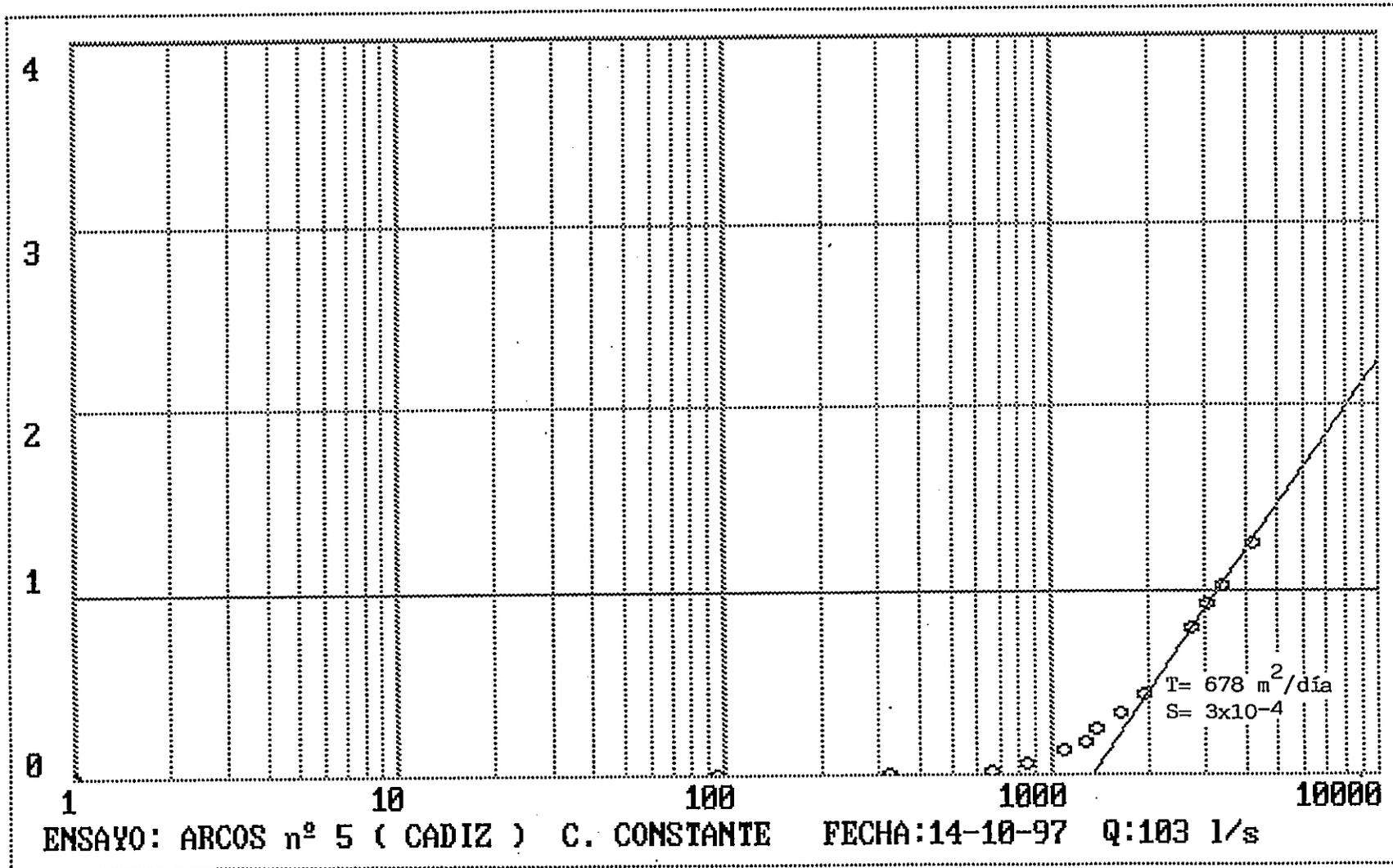
T = 172 m²/dia

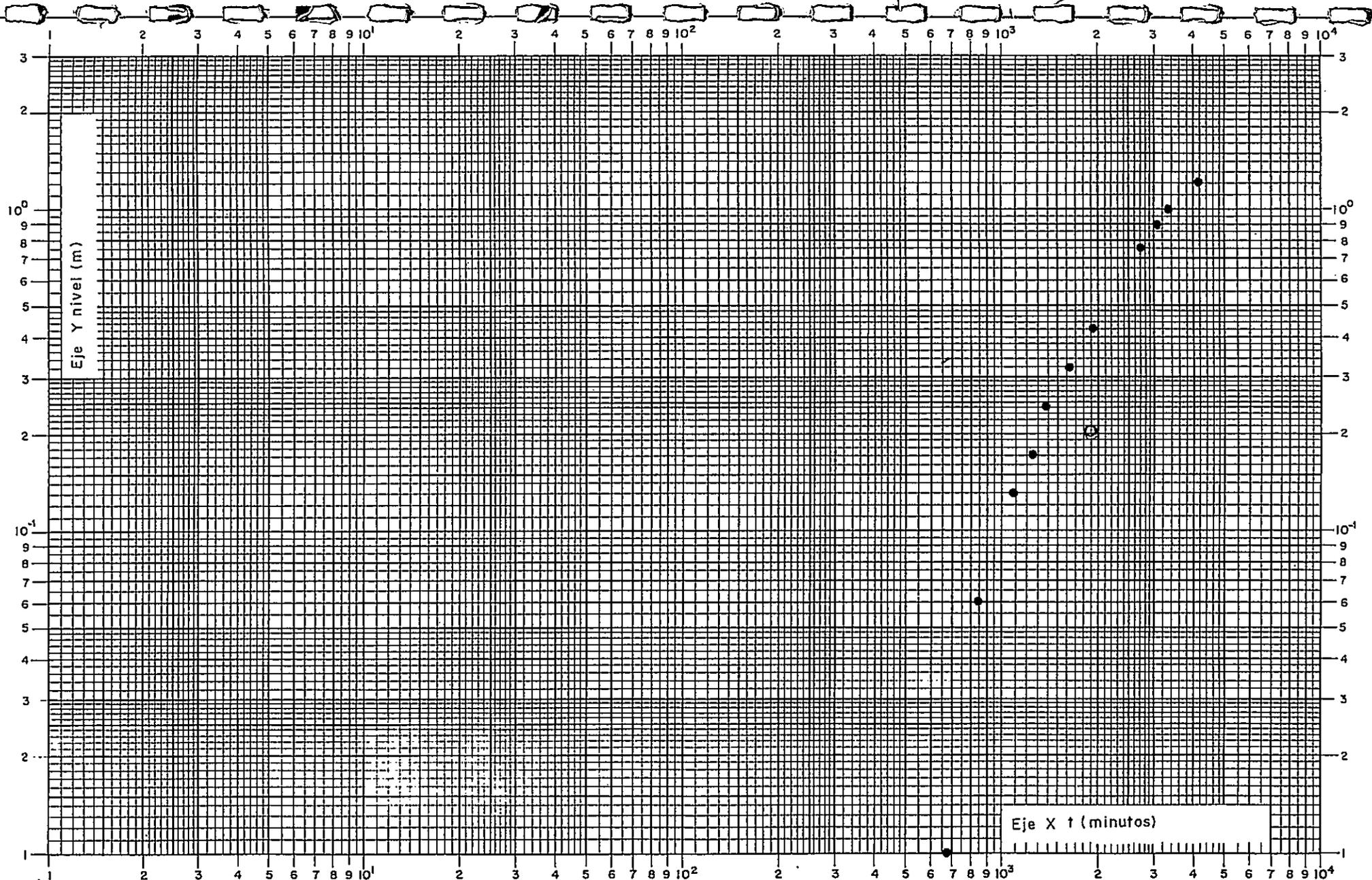
S = 10⁻⁴

GRAFICO Nº

PIEZÓMETRO ARCOS V

GRAFICO DE DESCENSOS






 Instituto Tecnológico
 GeoMinero de España
 AREA DE LABORATORIOS Y TECNICAS BASICAS

TOPONIMIA
 ARCOŞ Nº 5 (CADIZ)

GRAFICO DE DESCENSOS (r = 2160 m)

CAUDAL: 103 l/s FECHA 14-10-97

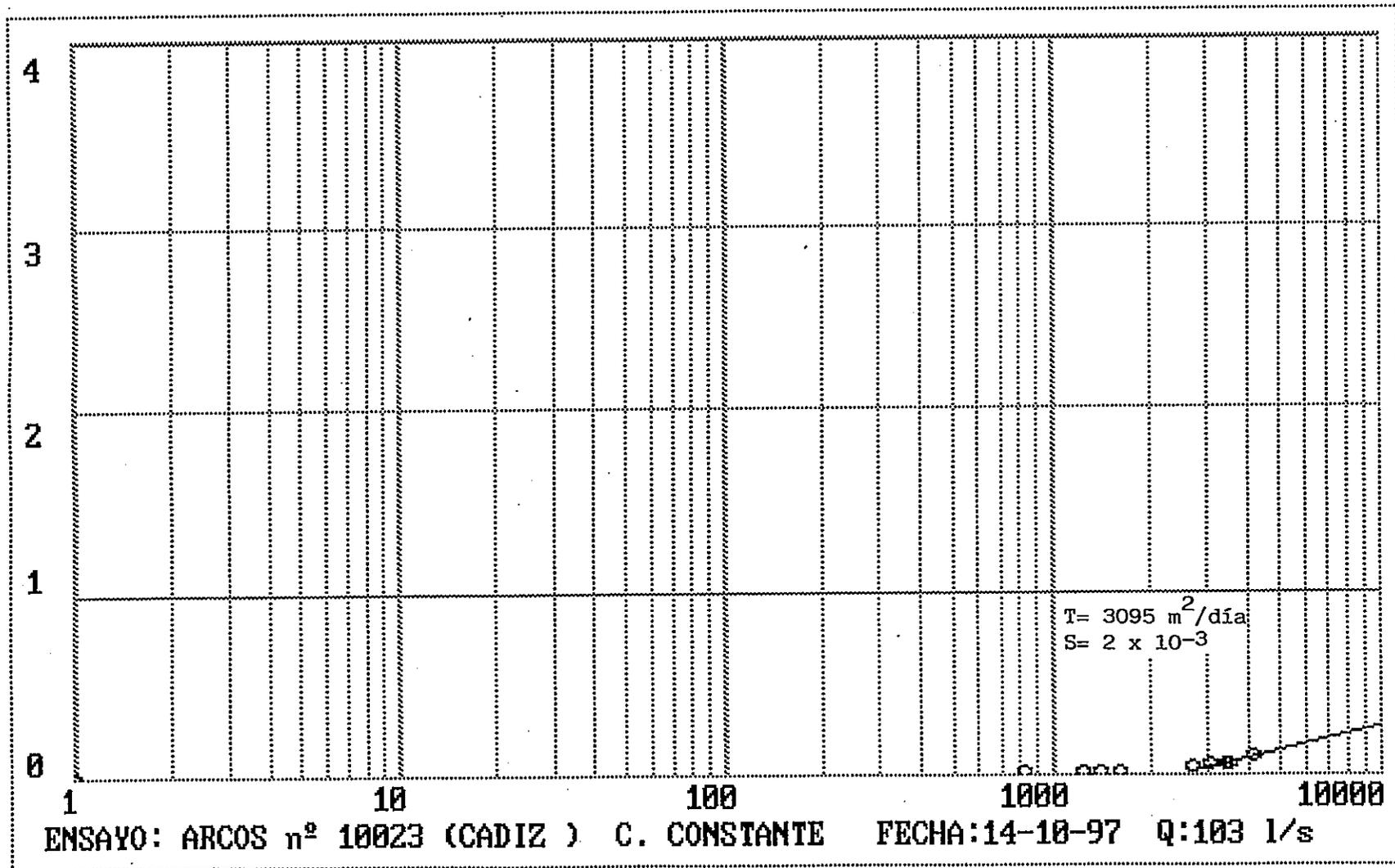
VALORES OBTENIDOS:

T = 354 m²/dia
 S = 4 x 10⁻⁴

GRAFICO Nº

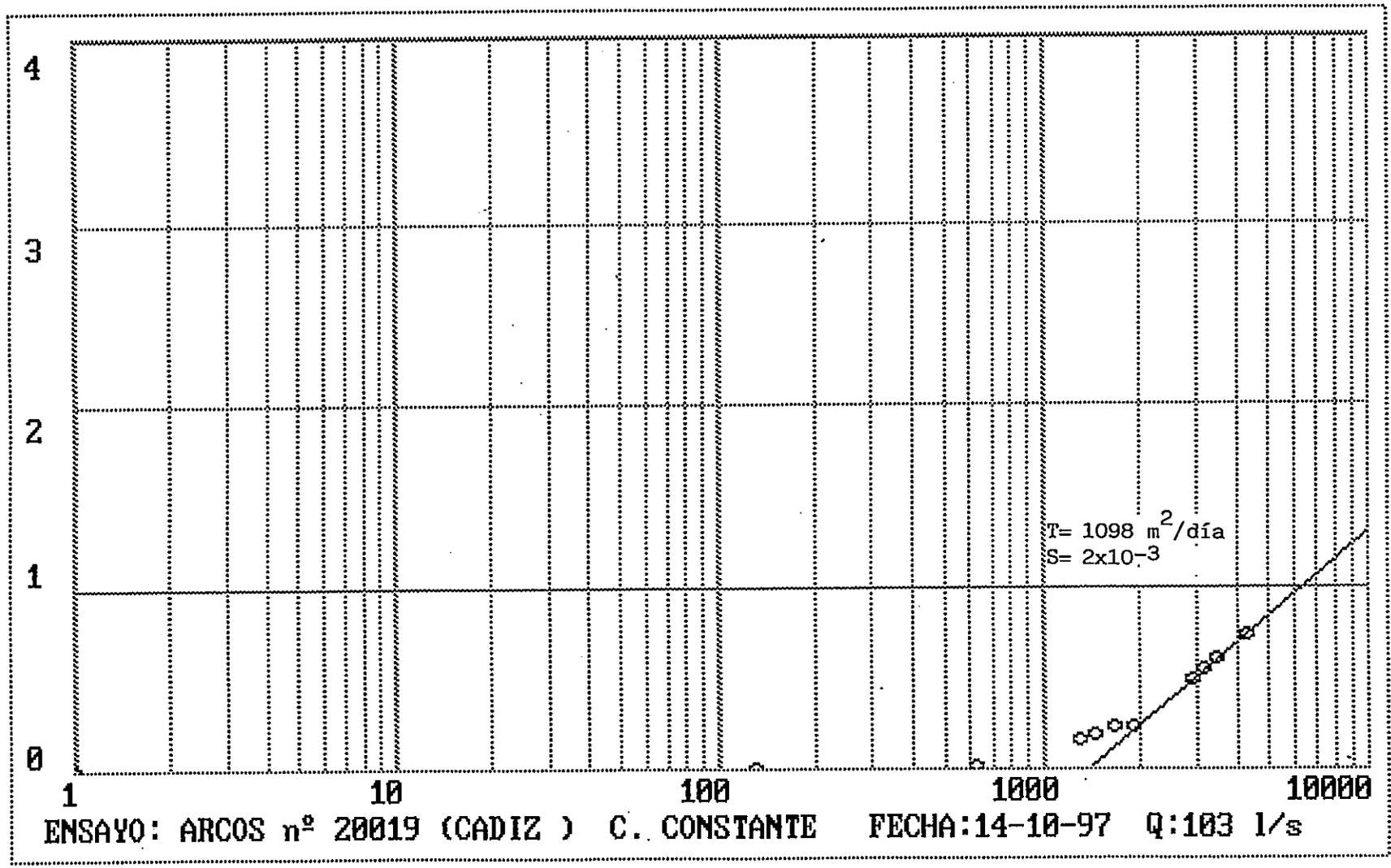
PIEZÓMETRO N° 10023

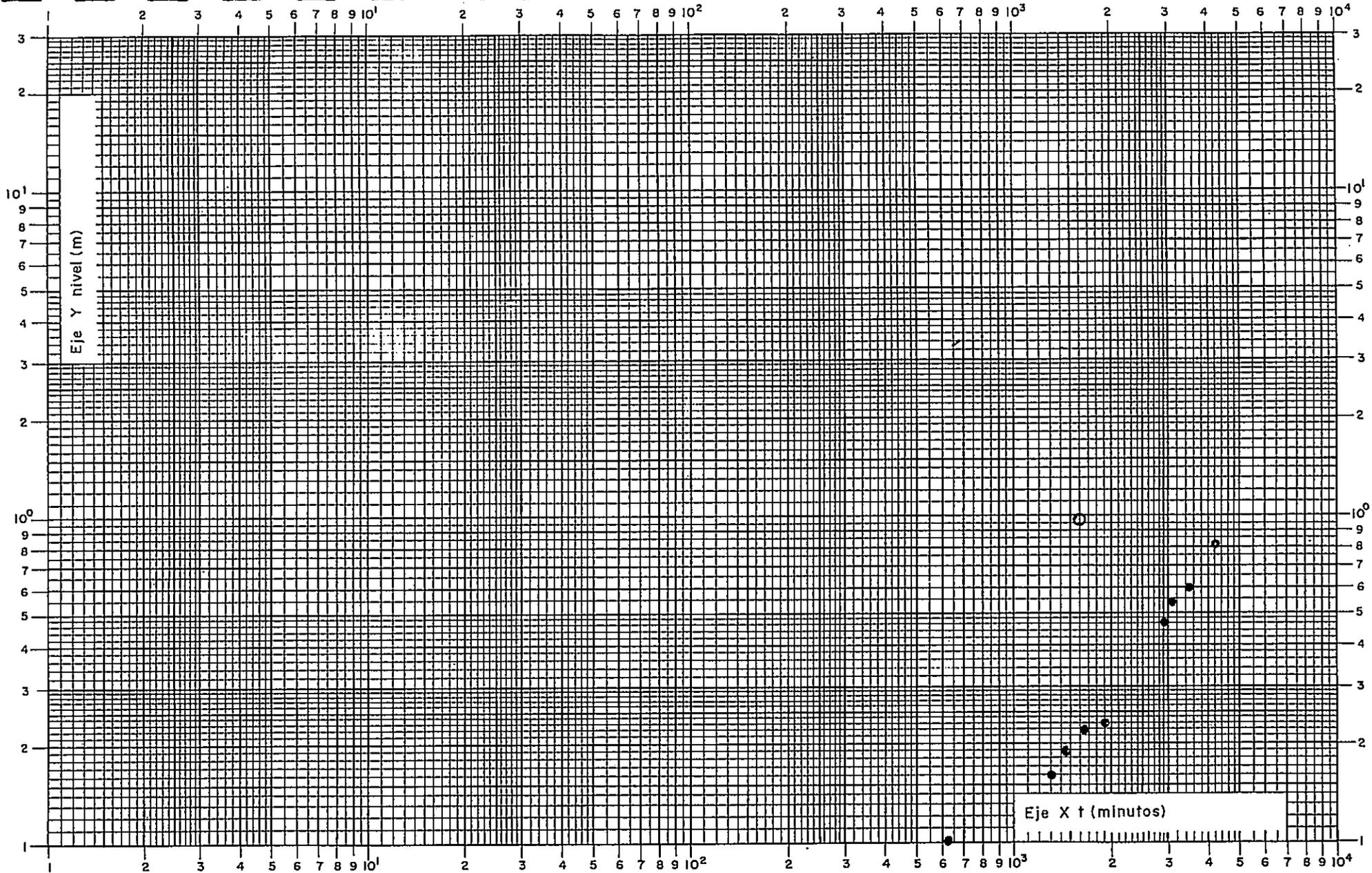
GRAFICO DE DESCENSOS



PIEZÓMETRO N° 20019

GRAFICO DE DESCENSOS






 Instituto Tecnológico
 GeoMinero de España
 AREA DE LABORATORIOS Y TECNICAS BASICAS

TOPONIMIA
 ARCOS Nº 20019 (CADIZ)

GRAFICO DE DESCENSOS (r = 110' m)

CAUDAL: 103 l/s

FECHA 14-10-97

VALORES OBTENIDOS:

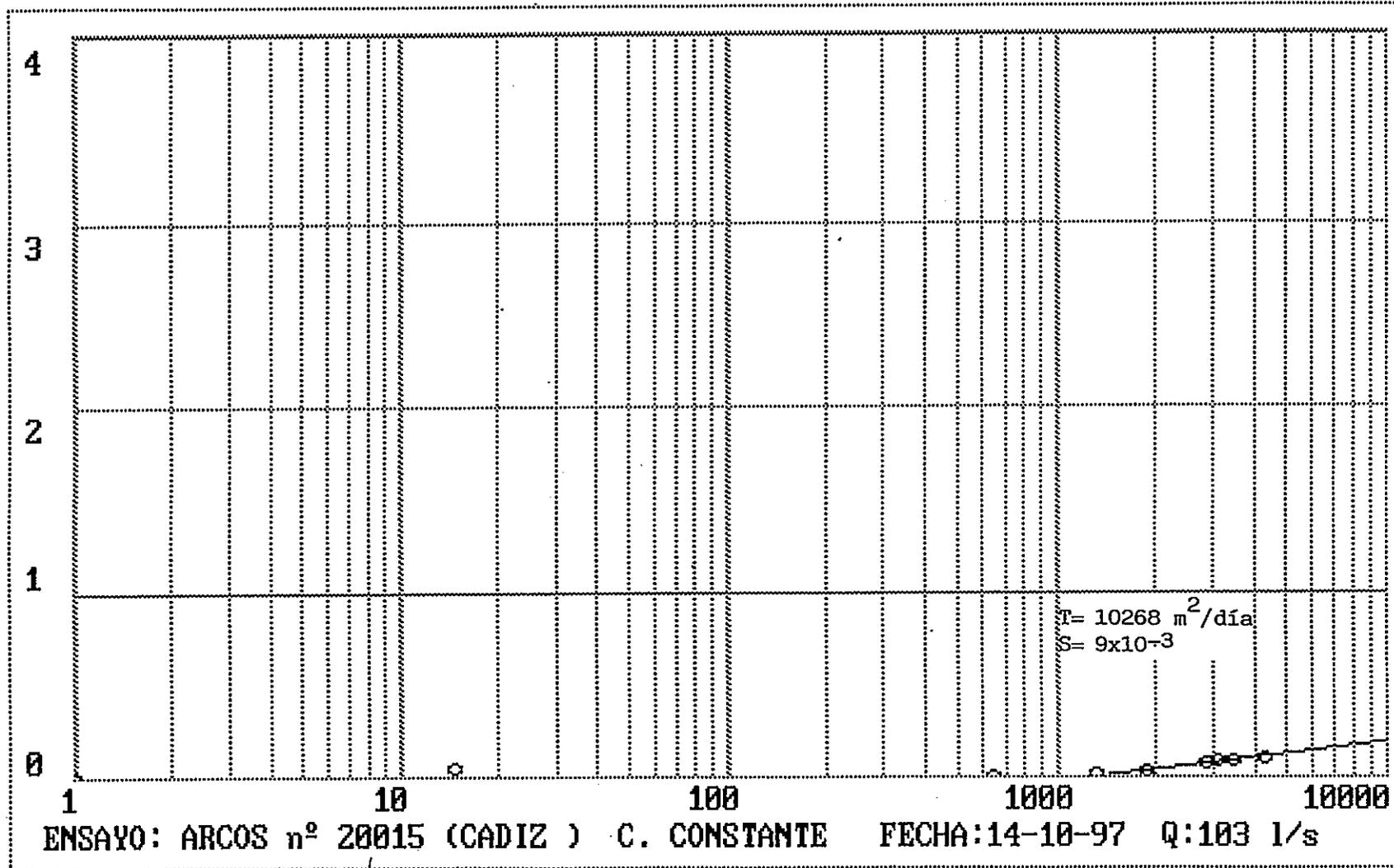
T = 745 m²/dia

S = 3 x 10⁻³

GRAFICO Nº

PIEZÓMETRO N° 20015

GRAFICO DE DESCENSOS



PIEZÓMETRO N° 60022

GRAFICO DE DESCENSOS

