

**APÉNDICE C. PROGRAMACIÓN PARA CALCULADORAS CIENTÍFICAS PROGRAMABLES**

*Programa para el cálculo de "A", "B" y "n"*

*Programa para el cálculo del caudal específico*

*Programa para el cálculo del caudal de explotación*

## APÉNDICE C

### PROGRAMAS PARA CALCULADORAS CIENTÍFICAS PROGRAMABLES

Dentro de este apéndice se incluyen una serie de programas para calculadoras manuales programables, que tienen por objeto ofrecer al lector la posibilidad de mecanizar alguno de los cálculos más molestos y engorrosos en la interpretación de los ensayos de bombeo.

Especial interés adquiere la posibilidad de utilizar este tipo de calculadoras en el análisis de los datos de los ensayos efectuados con bombeos escalonados.

Los programas que a continuación se exponen, han sido preparados por los autores y no ofrecen especial interés desde el punto de vista de programación en sí, pudiendo seguramente ser mejorados por un especialista en esta materia. Sin embargo, desde el punto de vista de su aplicación tienen una importancia tal, que muy probablemente sustituirán de un modo pleno los métodos gráficos para el cálculo de los coeficientes  $A$ ,  $B$  y  $n$  en el estudio de las curvas características de los pozos.

Los métodos de análisis de descensos (Theis, Jacob, Hantush, etc.) no es fácil que puedan seguir una evolución análoga, a pesar de los numerosos programas que existen publicados. Fundamentalmente, se debe a que una buena parte de los ensayos que se realizan, se encuentran con anomalías y casos particulares que hacen de la forma de las curvas de descensos una interpretación cualitativa de hecho.

Los programas se han realizado para las calculadoras HP 11C y HP 41C, siendo de fácil adaptación a otros tipos de calculadoras científicas programables.

**Programa «PEYEP» para el estudio de la eficiencia y explotación de pozos**

**INDICE DE TERMINOS**

$d = AQ + BQ^n$ , siendo:

$d$  = descenso en el pozo (m).

$A = (0,183/T) \log (2,25 Tt / r^2 S)$ .

$Q$  = caudal ( $m^3/día$ ).

$B$  = coeficiente de pérdidas de carga.

$n$  = parámetro adimensional. Suele variar entre 1 y 3,5.

En la expresión de A, se tiene:

$T$  = transmisividad ( $m^2/día$ ).

$t$  = tiempo (días).

$S$  = coeficiente de almacenamiento.

$r$  = radio del pozo. En los programas se usará  $r = 0,15$  (m).

**ADAPTACION A LA CALCULADORA HP 11C**

**Programa para el cálculo de los coeficientes A, B y n**

**ETIQUETA B**

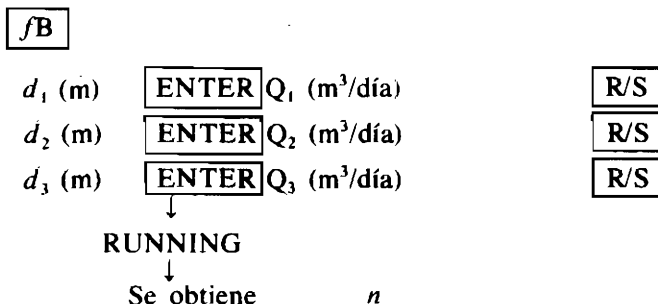
**ENTRADA**

Valores de los bombeos escalonados ( $d_1, Q_1$ ) ( $d_2, Q_2$ ) ( $d_3, Q_3$ ).

**SALIDA**

A, B y n (A, para el tiempo del escalón).

*Forma de operar*



R/S	Se obtiene	A (para el tiempo del escalón).
R/S	Se obtiene	B

**Registros**

- Opera con  $Q_1$  almacenado en  $R_7$  y  $d_1$  en  $R_8$ .
- Opera con  $Q_2$  almacenado en  $R_9$  y  $d_2$  en  $R_{10}$ .
- Opera con  $Q_3$  almacenado en  $R_{11}$  y  $d_3$  en  $R_{12}$ .
- Deja almacenado  $n$  en  $R_6$ .
- Deja almacenado A en  $R_1$ .
- Deja almacenado B en  $R_2$ .

**Observaciones**

Programa independiente.

**LISTADO DEL PROGRAMA ETIQUETA B**

1	<i>f</i> LBL B	28	/
2	<i>g</i> CLX	29	RCL 9
3	<i>f</i> REG	30	GSB 1
4	R/S	31	RCL.2
5	STO 7	32	RCL.1
6	$X \rightleftharpoons Y$	33	/
7	STO 8	34	RCL.1
8	R/S	35	GSB 1
9	STO 9	36	<i>f</i> y, r
10	$X \rightleftharpoons Y$	37	$X \rightleftharpoons Y$
11	STO.0	38	<i>g</i> ABS
12	R/S	39	RCL 1
13	STO · 1	40	FX > Y
14	$X \rightleftharpoons Y$	41	GTO 4
15	STO · 2	42	$X \rightleftharpoons Y$
16	1	43	STO 1
17	.	44	0
18	1	45	.
19	STO 6	46	1
20	<i>f</i> LBL 3	47	STO + 6
21	RCL 8	48	<i>f</i> CLEAR
22	RCL 7	49	GTO 3
23	/	50	<i>f</i> LBL4
24	RCL 7	51	RCL 6
25	GSB 1	52	R/S
26	RCL.0	53	<i>f</i> L.R.
27	RCL 9	54	STO 1

55	R/S	62	-
56	$X \rightleftharpoons Y$	63	$y^x$
57	STO 2	64	+
58	g RTN	65	g RTN
59	f LBL 1		
60	RCL 6		
61	1		

### Programa para el cálculo del caudal específico

#### ETIQUETA A

#### ENTRADA

Valores de T, S y t.

(t es el valor en días del tiempo de explotación deseado, al término del cual queda calculado el caudal específico. Lo normal es tomar cien días.)

#### SALIDA

Caudal específico (1/A) para el tiempo fijado.

#### Forma de operar

T (m <sup>2</sup> /día)	ENTER
S	ENTER
t (días)	f A
	↓
	RUNNING
	↑

Se obtiene 1/A (caudal específico en m<sup>3</sup>/día por metro de descenso, para el tiempo de bombeo fijado).

#### Registros

Opera con T almacenado en R<sub>4</sub>  
 Deja almacenado T en R<sub>4</sub>  
 Deja almacenado A en R<sub>1</sub>

#### Observaciones

Programa independiente.

**LISTADO DEL PROGRAMA ETIQUETA A**

1	f LBL A	12	0
2	/	13	.
3	1/X	14	1
4	1	15	8
5	0	16	3
6	0	17	*
7	*	18	RCL 4
8	X $\leftrightarrow$ Y	19	/
9	STO 4	20	STO 1
10	*	21	1/X
11	g LOG	22	g RTN

**Programa para el cálculo del caudal de explotación**

ETIQUETA C

ENTRADA

Valores de A, B,  $n$  y  $d$ .

A, B y  $n$  se integran automáticamente a partir de los programas ETIQUETAS B y A.  $d$  es la máxima depresión que se desea, o que es posible obtener en el pozo para un tiempo de bombeo elegido  $t$ , que va implícito en el valor de A.

SALIDA

Q. Caudal máximo posible para una depresión dada  $d$ .

*Forma de operar*

1. Cuando se han realizado previamente los programas B y A. Modalidad programa dependiente de B y A.

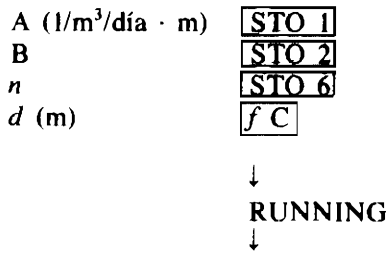
$d(m)$   $fC$



RUNNING

Se obtiene el valor de Q en m<sup>3</sup>/día.

2. Cuando no se han realizado previamente los programas B y A. Modalidad programa independiente.



Se obtiene el valor de Q en m<sup>3</sup>/día

### Registros

- Opera con A almacenado en R<sub>1</sub>
- Opera con B almacenado en R<sub>2</sub>
- Opera con d almacenado en R<sub>3</sub>
- Opera con n almacenado en R<sub>6</sub>

En R<sub>0</sub> se almacenan e incrementan los valores de Q para sucesivos tanteos. La determinación es de 50 m<sup>3</sup>/día, que puede variarse según convenga.

### Observaciones

Debe realizarse en primer lugar el programa ETIQUETA B.

Si se desea conocer el valor de Q para el tiempo del escalón, se pasa seguidamente al programa ETIQUETA C.

Si se desea conocer el valor de Q para un tiempo de explotación fijado, debe seguirse la secuencia de programas B → A → C.

En caso de conocerse A puede efectuarse

B → A (l/m<sup>3</sup>/día · m) STO 1 → C

### LISTADO DEL PROGRAMA ETIQUETA C

1 f LBL C	14 *
2 STO 3	15 +
3 5	16 RCL 3
4 0	17 f X ≤ Y
5 STO 0	18 GTO 6
6 f LBL 5	19 5
7 RCL 0	20 0
8 RCL 6	21 STO + 0
9 y <sup>x</sup>	22 GTO 5
10 RCL 2	23 f LBL 6
11 *	24 RCL 0
12 RCL 0	25 g RTN
13 RCL 1	

## ADAPTACION A LAS CALCULADORAS HP 41C y HP 41CV

El programa tiene una organización de entrada de datos y salida de resultados análogos a la estructurada en la adaptación a la calculadora HP-11C. Asimismo, los programas etiquetas B, A y C se corresponden con las subrutinas B(02), A(01) y C(03) del presente programa.

Las posibilidades de diálogo de HP 41C permiten pedir los datos y sus unidades en cada subrutina, según el siguiente esquema:

	Entrada	Salida
Subrutina B(02)	$d_i$ , $Q_i$ y $N$ .º escalones	$n$ , B y A
Subrutina A(01)	T, S, $t$ (días)	$Q_e$ (caudal específico)
Subrutina C(03)	$d(m)$ deseable en el pozo	Q (caudal de explotación)

### Forma de operar

1. XEQ «SIZE» 023      Se disponen 23 registros de datos.
2. Pasar tarjetas      Se carga el programa.
3. XEQ «PEYEP»      Se inicia el programa.

Se inicia la subrutina B(02) directamente.

4. En la subrutina B(02), la pantalla pide el número de escalones  $N$ . Se ingresa seguido de R/S. Pide los sucesivos pares de valores de descensos  $d$  y caudales  $Q$  de los diversos escalones que deben ingresarse seguidos de R/S.  
Durante unos minutos, se ejecuta el programa que termina con un tono audible (BEEP).
5. Aparece en pantalla el valor de  $n$ .  
Se pulsa R/S.  
Aparece en pantalla el valor de  $b$ .  
Se pulsa R/S.  
Aparece en pantalla el valor de  $a$ .
6. XEQ A(01).  
La pantalla pide los valores de T, S y  $t$  que se ingresan seguidos de R/S.  
Se obtiene el caudal específico a un tiempo  $t$ .
7. XEQ C(03).  
La pantalla pide el valor del descenso deseable o permisible en el pozo, que se ingresa seguido de R/S.  
Se obtiene el caudal de explotación al cabo de un tiempo  $t$ .



### Registros

R00	Contador de $d$ (1.005).
R01 a R05	Valores de $d$ .
R06 a R10	Valores de $Q$ .
R11 a R16	Registros estadísticos en LBL B.
R17	Contador de $Q$ (6.010).
R18	$N$ número de escalones.
R19	Coefficiente de correlación.
R20	$n$ exponente.
R21	$b$ coeficiente de pérdidas.
R22	$a$ descenso específico para el tiempo del escalón.
R13	$T$ transmisividad en LBL A
R14	$A$ descenso específico para el tiempo deseado.
R15	$d$ descenso deseable o permisible en el pozo en LBL C.
R16	Contador de $Q$ en LBL C.

### Observaciones

Debe realizarse en primer lugar la subrutina B(02).

Si se desea conocer el valor de  $Q$  para el tiempo del escalón, se pasa seguidamente a la subrutina C(03).

Si se desea conocer el valor de  $Q$  para un tiempo de explotación fijado, debe seguirse la secuencia:

B(02) → A(01) → C(03)

En caso de conocer el valor de  $A$  (descenso específico a un tiempo  $t$ ), debe procederse según:

B(02) → A(1/m<sup>3</sup>/día m.) STO 14 → C(03)

### LISTADO DEL PROGRAMA «PEYPEP»

01	LBL «PEYPEP»	14	AVIEW	27	1.1	40	/
02	LBL 02	15	PROMPT	28	STO 20	41	6.005
03	CLRG	16	STO IND 00	29	XEQ 12	42	+
04	CL Σ	17	«Q»	30	GTO 13	43	STO 17
05	«N=? ESCA»	18	ARCL 00	31	LBL 12	44	RTN
06	PROMPT	19	«t=? M3/D»	32	RCL 18	45	LBL 13
07	STO 18	20	AVIEW	33	1 E3	46	RCL IND 00
08	XEQ 12	21	PROMPT	34	/	47	RCL IND 17
09	LBL 11	22	STO IND 17	35	1	48	/
10	FIX 0	23	1	36	+	49	RCL IND 17
11	«D»	24	ST + 17	37	STO 00	50	RCL 20
12	ARCL 00	25	ISG 00	38	RCL 18	51	1
13	«t=? MTS?»	26	GTO 11	39	1 E3	52	—

Apéndice C. Programas para calculadoras científicas programables

53	Y↑X	95	FIX 1	137	«S=?»	179	GTO 26
54	Σ+	96	«N=»	138	PROMPT	180	50
55	1	97	ARCL 20	139	«T DIAS»	181	ST+ 16
56	ST + 17	98	«↑»	140	PROMPT	182	GTO 25
57	ISG 00	99	AVIEW	141	/	183	LBL 26
58	GTO 13	100	BEEP	142	1/X	184	«Q=»
59	LBL 14	101	STOP	143	100	185	ARCL 16
60	RCL 16	102	RCL 16	144	*	186	«↑-M3/D»
61	RCL 12	103	RCL 15	145	X<> Y	187	AVIEW
62	*	104	*	146	STO 13	188	BEEP
63	RCL 11	105	RCL 11	147	*	189	RTN
64	X↑2	106	RCL 13	148	LOG	190	END
65	—	107	*	149	0.183		
66	RCL 16	108	—	150	*		
67	RCL 14	109	RCL 16	151	RCL 13		
68	*	110	RCL 12	152	/		
69	RCL 13	111	*	153	STO 14		
70	X↑2	112	RCL 11	154	1/X		
71	—	113	X↑2	155	FIX 0		
72	*	114	—	156	«Qe=»		
73	SQRT	115	/	157	ARCL X		
74	1/X	116	STO 21	158	«↑-M3/D.M»		
75	RCL 16	117	SCI 1	159	AVIEW		
76	RCL 15	118	«b=»	160	RTN		
77	*	119	ARCL 21	161	LBL 03		
78	RCL 11	120	AVIEW	162	«d=? MTS»		
79	RCL 13	121	STOP	163	PROMPT		
80	*	122	RCL 13	164	STO 15		
81	—	123	RCL 21	165	50		
82	*	124	RCL 11	166	STO 16		
83	ABS	125	*	167	LBL 25		
84	RCL 19	126	—	168	RCL 16		
85	X> Y?	127	RCL 16	169	RCL 20		
86	GTO 15	128	/	170	Y↑X		
87	X<> Y	129	STO 22	171	RCL 21		
88	STO 19	130	«a=»	172	*		
89	0.1	131	ARCL 22	173	RCL 16		
90	STO+ 20	132	AVIEW	174	RCL 14		
91	CLΣ	133	RTN	175	*		
92	XEQ 12	134	LBL 01	176	+		
93	GTO 13	135	«T=? M2/D»	177	RCL 15		
94	LBL 15	136	PROMPT	178	X<= Y?		