

e. n. adaro

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICA DE EXP  
TACION DE ENERGIA GEOTERMICA EN S. SEBASTIAN D  
LOS REYES (MADRID)

(INFORME DE SUBSUELO)

MAYO, 1984

empresa nacional adaro de  
investigaciones mineras, s.a.  
enadimsa

50258

TITULO	ESTUDO DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICA DE EXPLO TACION DE ENERGIA GEOTERMICA EN S. SEBASTIAN DE LOS REYES (MADRID)  (INFORME DE SUBSUELO)
CLIENTE	
FECHA	MAYO, 1984

Referencia: P22910

Departamento:

50258

## INDICE

	<u>Pág.</u>
1.- ANTECEDENTES .....	1
2.- DATOS TECNICOS DEL SONDEO S.SEbastian DE LOS REYES Nº 1 .....	3
3.- GEOLOGIA .....	5
4.- DIAGRAFIAS .....	7
5.- TEMPERATURAS DE FORMACION .....	10
6.- PRUEBAS DE PRODUCCION .....	11
6.2.- ENSAYO DE PRODUCCION .....	12
6.3.- INTERPRETACION .....	14
6.3.1.- Factor de compresibilidad .....	14
6.3.2.- Factor de formación del agua .....	23
6.3.3.- Viscosidad del agua .....	23
6.3.4.- Cálculo de la Transmisividad .....	24
6.3.5.- Cálculo de la permeabilidad .....	24
6.3.6.- Cálculo del nivel estático .....	24
6.3.7.- Salinidad del agua geotérmica ....	26
7.- MODELO DE EXPLOTACION .....	27
7.1.- CALCULO DEL DOBLETE .....	27
7.1.1.- Características de la explotación y almacén geotérmico .....	28
7.1.2.- Cálculo de la distancia entre pozos	28
7.1.3.- Cálculo de presiones .....	29

	<u>Pág.</u>
7.1.3.1.- Cálculo de presiones....	29
7.1.3.2.- Pérdida de presión en el casing de producción ...	31
7.1.3.3.- Cálculo de la presión hidrodinámica de flujo Ph en el pozo de producción	31
7.1.3.4.- Presión en el pozo de producción .....	32
7.1.3.5.- Pérdida de carga en el pozo de inyección .....	32
7.1.3.6.- Cálculo de la presión hidrodinámica de flujo en el pozo de inyección ...	32
7.1.3.7.- Presión en el pozo de inyección .....	33
7.1.4.- Cálculo de Potencias de Bombeo ...	33
8.- PROPUESTA SONDEO DE INYECCION .....	34
8.1.- PERFIL TECNICO DEL SONDEO PROPUESTO .....	35
8.1.1.- Programas de perforación y de entubación .....	35
8.1.2.- Programa de lodos .....	38
8.1.3.- Barrenas y coronas sacatestigos ..	38
8.1.4.- Equipo de perforación .....	39
8.2.- PRESUPUESTO ESTIMATIVO PREVIO DEL SONDEO - (QUE DEBERA SER CONTROLADO Y COMPROBADO DURANTE LA EJECUCION DEL SONDEO ANTE POSIBLES CAMBIOS TANTO DE PROGRAMA COMO DE PRECIOS) .....	41

## 1.- ANTECEDENTES

En 1980, las empresas SHELL y CAMPSA, realizan en el municipio de S. Sebastián de los Reyes un sondeo de prospección de Hidrocarburos denominado PRADILLO 1, con resultado final negativo. Sin embargo, gracias a un acuerdo previo establecido con dichas compañías la Empresa Nacional Adaro, pudo utilizar dicho sondeo para explorar las posibilidades geotérmicas de los almacenes atravesados. Así se pudo descubrir la existencia de un importante acuífero constituido por areniscas terciarias a profundidades comprendidas entre 1.580 y 1.850 metros.

En 1981 el IGME realizó un sondeo de investigación geotérmica en Tres Cantos, cuyo objetivo era el reconocimiento y evaluación del acuífero descubierto. Dicho sondeo atravesó formaciones permeables entre 1.500 y 2.400 metros, con temperaturas de formación comprendidas entre 60º C y 92º C. Las pruebas realizadas en dicho sondeo permitieron estimar un caudal de explotación de 170 m<sup>3</sup>/hora a 83º C, con una salinidad del agua del orden de 95.000 p.p.m.

A la vista de estos resultados, se realizó una prospección de posibilidades de utilización de la energía geotérmica en las proximidades de los sondeos efectuados. Puesto que en la Ciudad de Tres Cantos el desarrollo de urbanizaciones se encontraba ralentizado, la actuación se dirigió al municipio de S. Sebastián de los Reyes en donde se encontraron perspecti

vas prometedoras en cuanto a utilización de la energía.

En base a ello, la Dirección General de Minas, a través de los presupuestos contemplados en el PEN, aprobó la ejecución de un primer sondeo en el casco urbano de S. Sebastián de los Reyes y próximo a los centros de consumo previsto.

El citado sondeo se perforó en 1982, y en él se realizaron las pruebas que han permitido una primera evaluación de su potencial geotérmico.

El presente informe de subsuelo tiene por objeto analizar los resultados del sondeo y definir las condiciones de explotación del doblete geotérmico.

2.- DATOS TECNICOS DEL SONDEO  
S. SEBASTIAN DE LOS REYES Nº 1

Situación: Coordenadas Greenwich

x = 3º 37' 24"

y = 40º 33' 34"

z = 670 m s.n.m.

Fecha de comienzo: 17 de marzo de 1982

Fecha de conclusión: 22 de mayo de 1982

Profundidad final: 2.130 m

Diámetros de perforación:

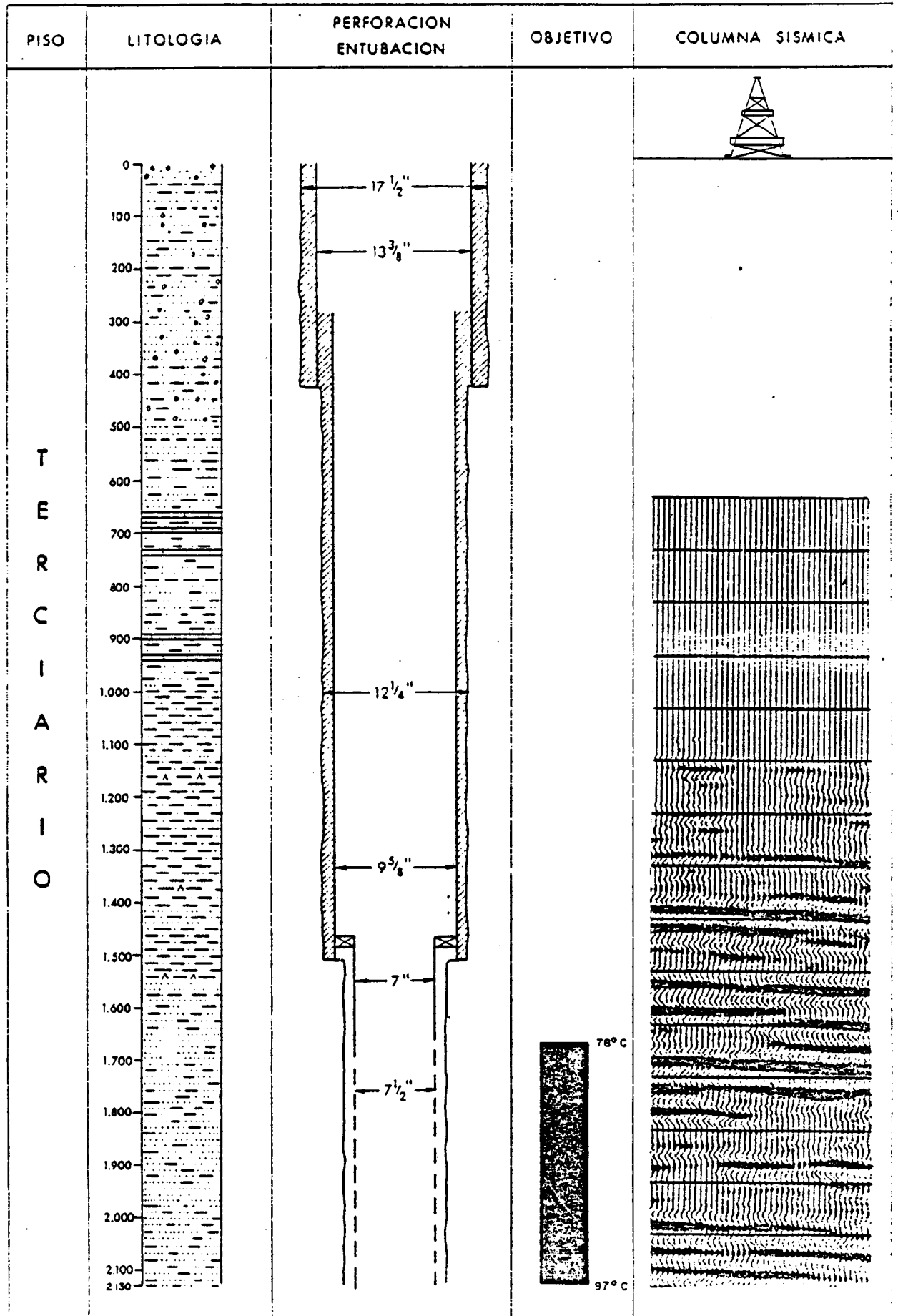
0,0 - 421,5 m .....	17 1/2 pulgadas
421,5 - 1.506,5 m .....	12 1/4 pulgadas
1.506,5 - 2.130,0 m .....	8 1/2 pulgadas

Diámetros de entubación:

0,0 - 421,5 m .....	13 3/8 pulgadas
421,0 - 1.506,5 m .....	9 5/8 pulgadas
1.506,5 - 2.125,0 m .....	7 pulgadas

En este último tramo, intercalado frente a las zonas más porosas se encuentran 300 m de filtros.

FIGURA 1 - SONDEO SAN SEBASTIAN DE LOS REYES



9379/2

### 3.- GEOLOGIA

La zona donde se perforó el sondeo pertenece al Terciario detrítico de la cuenca o fosa tectónica del Tajo, donde predominan las formaciones de arenas y areniscas de grano medio alternando con arcillas de distintos colores.

La descripción litológica de los terrenos atravesados por el sondeo es la siguiente:

<u>PROFUNDIDAD</u>	<u>LITOLOGIA</u>
0- 30 m	Arenas muy gruesas y gravas.
30- 180 "	Alternancia de arcillas grises, marrón y beige, con arenas silíceas.
180- 190 "	Banco de arenas muy gruesas y gravas.
190- 210 "	Arcillas marrón.
210- 490 "	Bancos de gravas y arenas con niveles de arcilla.
490- 655 "	Alternancia areniscas de grano medio y arcillas de distintos colores. Trazas de mica.
655- 790 "	Caliza dolomítica beige, alternando con arcillas marrones.
790-1.240 "	Alternancia de arenas y areniscas silíceas de grano medio y arcillas grises y rojizas.
1.240-1.370 "	Arcillas gris oscura, marrón-rojiza y trazas de anhidrita.

PROFUNDIDAD

LITOLOGIA

1.370-1.530 m

Arcillas marrón-rojizas y gris verdosas.

1.530-2.130 "

Abundancia de niveles detríticos de arenas y areniscas silíceas de grano medio, alternando con niveles muy poco potentes de arcillas compactas gris-verdosa.

#### 4.- DIAGRAFIAS

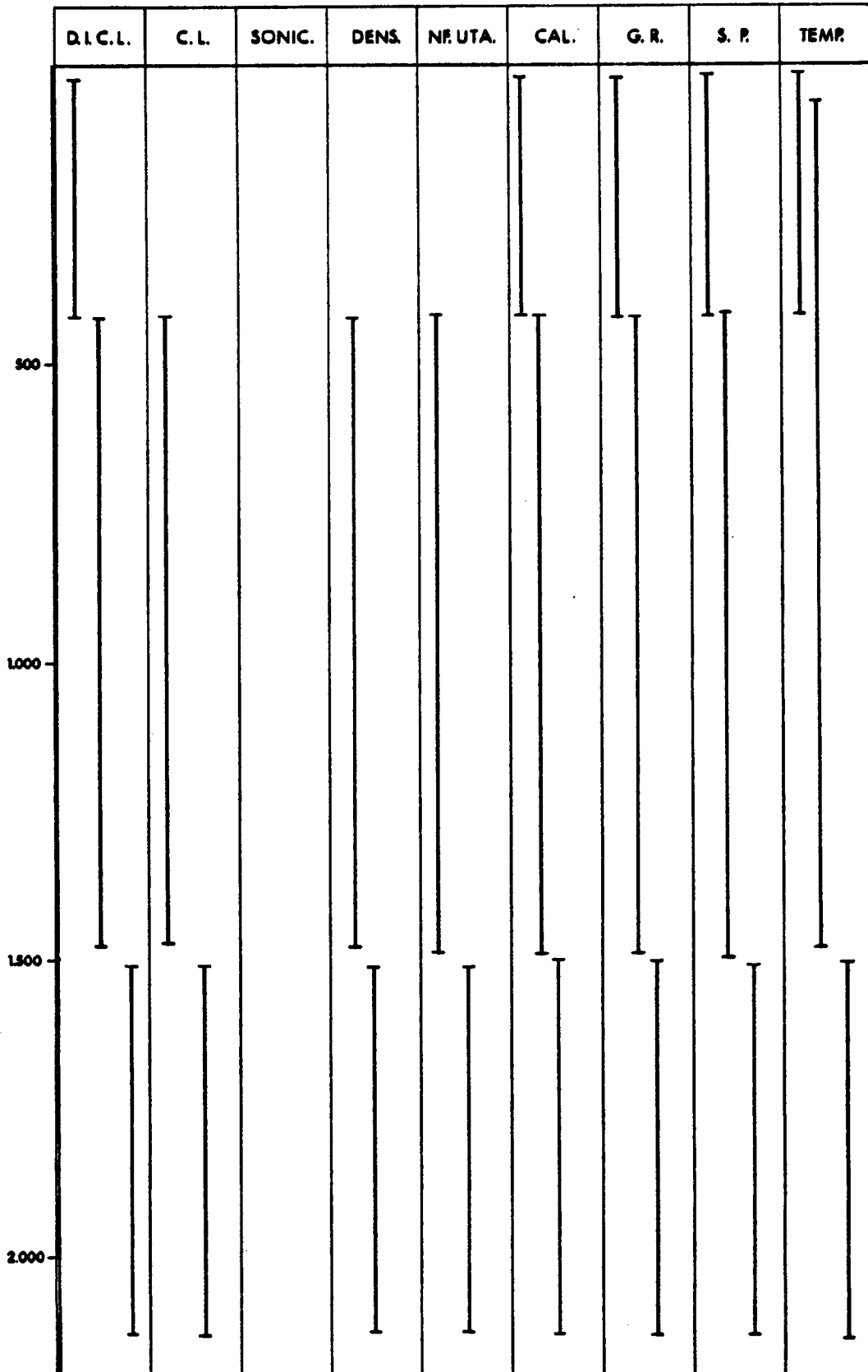
En el sondeo se realizaron las siguientes diagrafiyas:

<u>FECHA</u>	<u>INTERVALO</u>	<u>REGISTRO</u>
23 MARZO 1982	15- 422,0 m	DUAL INDUCTION GUARD LOG.
23 MARZO 1982	15- 422,0 m	PRECISION TEMPERATURE LOG.
22 ABRIL 1982	60-1.482,0 m	PRECISION TEMPERATURE LOG.
22 ABRIL 1982	421-1.480,5 m	DUAL INDUCTION GUARD LOG.
22 ABRIL 1982	421-1.481,2 m	COMPENSATED DENSITY NEUTRON LOG.
22 ABRIL 1982	420-1.480,5 m	CONTACT CALIPER LOG.
22 ABRIL 1982	60-1.480,5 m	PRECISION TEMPERATURE LOG.
22 MAYO 1982	1.506-2.130,0 m	PRECISION TEMPERATURE LOG.
22 MAYO 1982	1.506-2.131,0 m	DUAL INDUCTION GUARD LOG.
23 MAYO 1982	1.506-2.130,0 m	COMPENSATED DENSITY NEUTRON LOG.
23 MAYO 1982	1.505-2.130,0 m	CONTACT CALIPER LOG.
23 MAYO 1982	1.506-2.130,0 m	PRECISION TEMPERATURE LOG.

En la fig. 2 se recogen de forma sintética las operaciones realizadas y descritas con anterioridad.

El estudio de las diagrafiyas y su interpretación cualitativa y cuantitativa, descritos en el informe detallado del sondeo, pusieron de manifiesto las zonas de mejores características con vistas a la producción, lo que sirvió para elegir los tramos frente a los cuales se situaron los filtros.

FIGURA 2  
CUADRO DE DIAGRAMAS GEOFISICOS  
SAN SEBASTIAN DE LOS REYES



NS 9299/4

La porosidad calculada de dichas zonas varía entre 8 y 21%, considerándose la porosidad media de los tramos permeables aproximadamente 15%.

También se ha calculado a partir de las diagrafías la salinidad del agua de formación que varía entre 5.000 p.p.m. en el techo del almacén hasta 30.000 p.p.m. a fondo de pozo.

## 5.- TEMPERATURAS DE FORMACION

En base a los datos de temperatura tomados durante la ejecución de diagrafiyas, así como por la realización de registros de temperaturas a distintas profundidades mediante KUSTER, se ha podido calcular la temperatura de la formación a las citadas profundidades.

Según estos datos la temperatura en las zonas que se han formado como almacén varían entre los  $75^{\circ}$  C a los 1.500 m y los  $95-98^{\circ}$  C a los 2.100 metros, con un gradiente medio de  $3,25^{\circ}$  C por cada 100 metros de profundidad.

## 6.- PRUEBAS DE PRODUCCION

Finalizado el sondeo y tras someterlo a una operación de limpieza y desarrollo en base a polifosfatos y tratamiento ácido, se procedió a la realización de las primeras pruebas de producción consistentes en una evaluación de las zonas productivas para el cálculo de la altura útil del acuífero, así como el cálculo de las características hidrodinámicas: transmsividad y permeabilidad del acuífero y los efectos de dañados en las paredes de pozo o efecto skim.

### 6.1.- EVALUACION DE LAS ZONAS PRODUCTIVAS

Una vez comprobado que el pozo se hallaba desarrollado, mediante el bombeo con aire comprimido (airlift), se realizó un registro con medidor de flujo (flowmeter), estando el pozo en plena producción. Este registro se compuso de varias medidas estáticas a distintas alturas y un registro continuo entre 2.120 y 1.550 metros.

Este registro ha permitido:

- localizar las entradas de agua en el pozo
- evaluar el caudal que producen los distintos niveles permeables
- obtener el espesor efectivo del acuífero o altura útil.

Se efectuaron las correcciones debido al efecto de velocidad de cable y viscosidad del agua. Para el cálculo de los caudales, se realizó una curva de calibrado y se tuvo en cuenta un factor de corrección de 0,83 debido a que la velocidad media dentro del casing es aproximadamente el 83% de la velocidad media en el centro del agujero.

Los valores de caudal en las medidas a distintas profundidades fueron:

1.589 metros	.....	72,5 l/s
1.600 "	.....	68,0 l/s
1.835 "	.....	25,3 l/s
1.984 "	.....	5,7 l/s
2.020 "	.....	4,1 l/s

El registro continuo se presenta en la figura 3 adjunta.

Del análisis de este registro y el estudio de las diafragmas ha podido establecerse como altura útil o espesor productivo la cifra aproximada de 80 m. Las zonas de mayor producción se encuentran entre 1.675 y 1.750 metros, que suministran más del 50% del caudal total. Las zonas menos productivas se encuentran en el fondo del pozo.

#### 6.2.- ENSAYO DE PRODUCCION

Una vez realizado el flowmeter, se procedió a realizar una prueba de producción con aire, instalando a la profundidad de 1.600 m un registrador de presión (amerada).

La tubería de inyección de aire se situó a 250 metros

San Sebastián de los Reyes

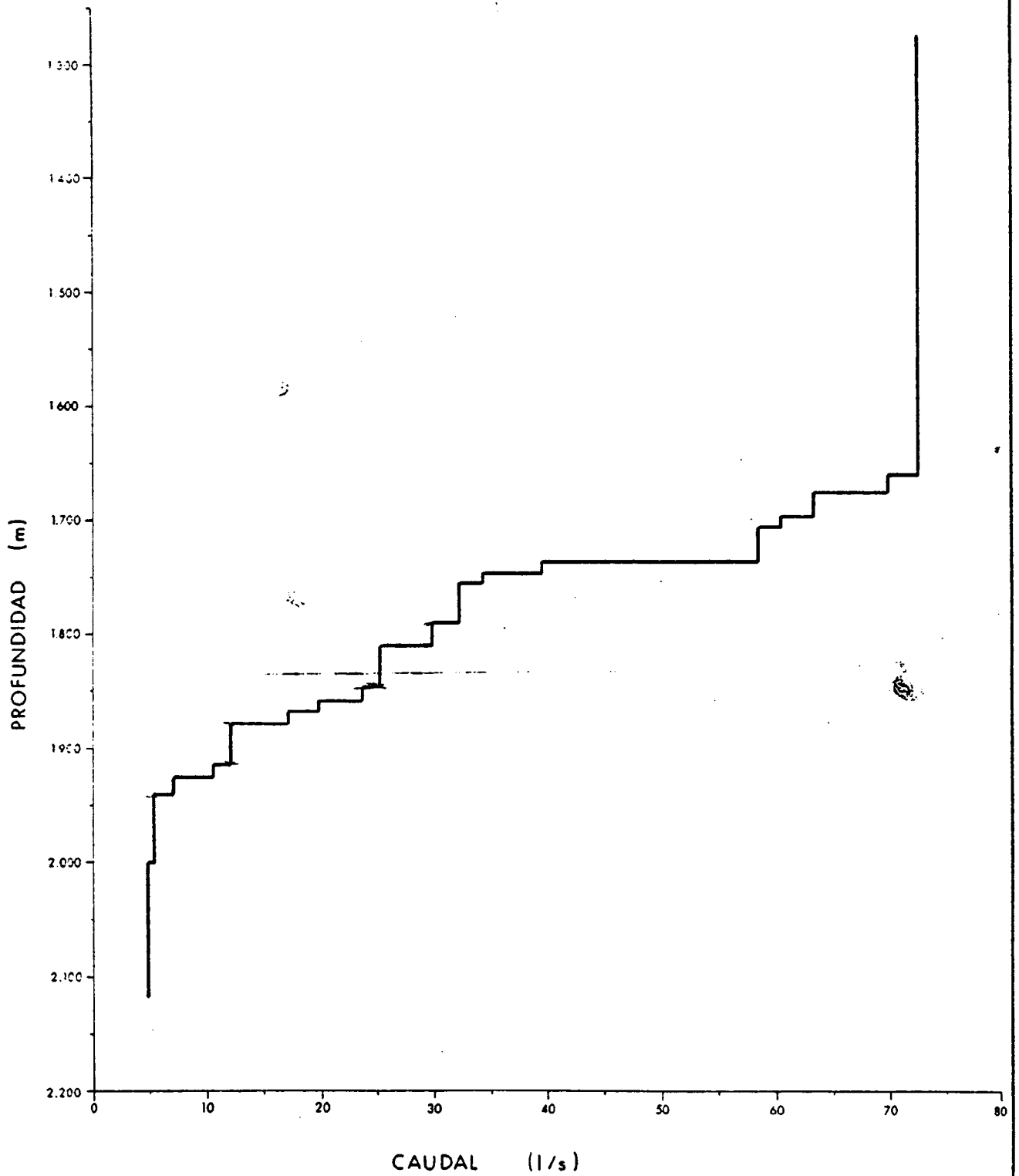
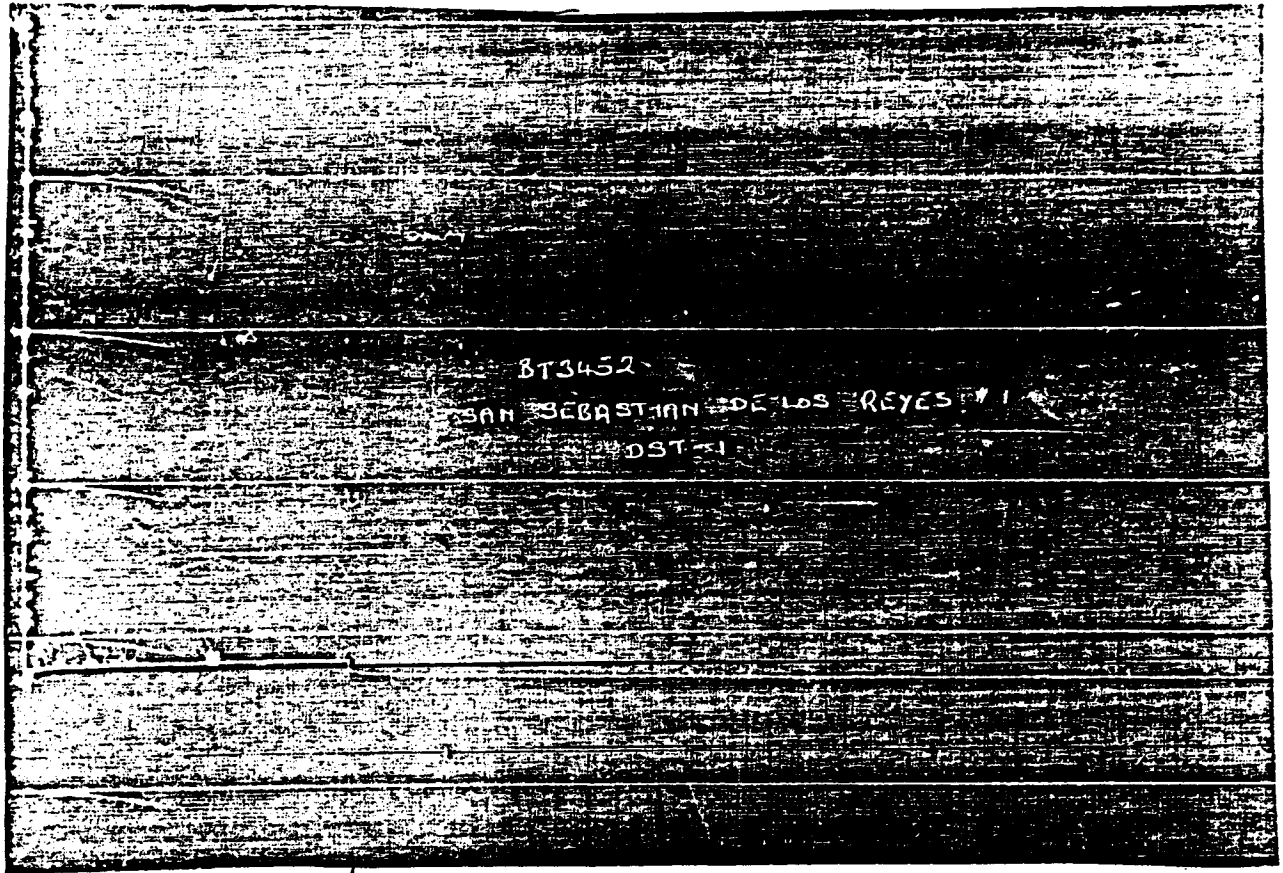


FIGURA Nº 3



BT3452

SAN SEBASTIAN DE LOS REYES

DST

BOMBEO



RECUPERACION

FIGURA N<sup>o</sup> 4

CUADRO Nº 1 - LECTURAS DE LA CURVA DE BOMBEO

<u>MINUTOS</u>	<u>DEFL PULGADAS T</u>	<u>DEFL PULGADAS P</u>	<u>PSIG</u>	<u>DELTA P</u>	
P0	0	.000	2.474	2110	0
P1	10	.016	2.464	2102	8
P2	20	.033	2.460	2098	4
P3	30	.049	2.459	2097	1
P4	40	.066	2.457	2095	2
P5	50	.082	2.456	2095	0
P6	60	.099	2.456	2095	0
P7	70	.115	2.456	2095	0
P8	80	.132	2.456	2095	0
P9	90	.148	2.456	2095	0
P10	100	.165	2.455	2094	1
P11	110	.181	2.455	2094	0
P12	120	.198	2.455	2094	0
P13	130	.214	2.455	2094	0
P14	140	.231	2.455	2094	0
P15	150	.247	2.455	2094	0
P16	160	.264	2.454	2093	1
P17	170	.280	2.454	2093	0
P18	180	.297	2.454	2093	0
P19	190	.313	2.453	2092	1
P20	200	.330	2.453	2092	0
P21	210	.346	2.453	2092	0
P22	220	.363	2.452	2091	1
P23	230	.379	2.452	2091	0
P24	240	.396	2.452	2091	0
P25	250	.412	2.451	2090	1
P26	260	.429	2.451	2090	0
P27	270	.445	2.451	2090	0
P28	280	.462	2.451	2090	0
P29	290	.478	2.451	2090	0
P30	300	.495	2.451	2090	0
P31	310	.511	2.451	2090	0
P32	320	.528	2.450	2089	1
P33	330	.544	2.450	2089	0
P34	340	.561	2.450	2089	0
P35	350	.577	2.450	2089	0
P36	360	.594	2.450	2089	0
P37	370	.610	2.450	2089	0
P38	380	.627	2.450	2089	0
P39	390	.643	2.450	2089	0
P40	400	.660	2.450	2089	0
P41	410	.676	2.450	2089	0
P42	420	.693	2.450	2089	0
P43	430	.709	2.450	2089	0
P44	440	.726	2.449	2089	0
P45	450	.742	2.449	2089	0
P46	460	.759	2.449	2089	0
P47	470	.775	2.449	2089	0
P48	480	.792	2.449	2089	0

<u>MINUTOS</u>	<u>DEFL PULGADAS T</u>	<u>DEFL PULGADAS P</u>	<u>PSIG</u>	<u>DELTA P</u>
P49 490	.808	2.449	2089	0
P50 500	.825	2.449	2089	0
P51 510	.841	2.449	2089	0
P52 520	.858	2.449	2089	0
P53 530	.874	2.449	2089	0
P54 540	.891	2.449	2089	0
P55 550	.907	2.449	2089	0
P56 560	.924	2.449	2089	0
P57 570	.940	2.449	2089	0
P58 580	.957	2.449	2089	0
P59 590	.973	2.448	2088	1
P60 600	.990	2.448	2088	0
P61 610	1.006	2.448	2088	0
P62 620	1.023	2.448	2088	0
P63 630	1.039	2.448	2088	0
P64 640	1.056	2.448	2088	0
P65 650	1.072	2.448	2088	0
P66 660	1.089	2.448	2088	0
P67 670	1.105	2.448	2088	0
P68 680	1.122	2.448	2088	0
P69 690	1.138	2.448	2088	0
P70 700	1.155	2.448	2088	0
P71 710	1.171	2.448	2088	0
P72 718	1.184	2.448	2088	0

CUADRO Nº 2 - LECTURAS DE LA CURVA DE RECUPERACION

<u>MINUTOS</u>	<u>DEFL PULGADAST</u>	<u>DEFL PULGADASP</u>	<u>PSIG</u>	<u>DELTA P</u>	<u>LOG T+e/e</u>	
P0	0	.000	2.448	2088	0	
P1	10	.016	2.488	2122	34	1.8751
P2	20	.033	2.492	2126	4	1.5668
P3	30	.049	2.494	2128	2	1.4008
P4	40	.066	2.496	2129	1	1.2774
P5	50	.082	2.498	2131	2	1.1886
P6	60	.099	2.499	2132	1	1.1126
P7	70	.115	2.500	2133	1	1.0529
P8	80	.132	2.500	2133	0	.9987
P9	90	.148	2.501	2134	1	.9542
P10	100	.165	2.502	2135	1	.9125
P11	110	.181	2.502	2135	0	.8775
P12	120	.198	2.503	2135	0	.8438
P13	130	.214	2.504	2136	1	.8151
P14	140	.231	2.504	2136	0	.7871
P15	150	.247	2.505	2137	1	.7629
P16	160	.264	2.505	2137	0	.7392
P17	170	.280	2.505	2137	0	.7184
P18	180	.297	2.506	2138	1	.6978
P19	190	.313	2.506	2138	0	.6797
P20	200	.330	2.506	2138	0	.6616
P21	210	.346	2.507	2139	1	.6456
P22	220	.363	2.507	2139	0	.6296
P23	230	.379	2.507	2139	0	.6153
P24	240	.396	2.507	2139	0	.6010
P25	250	.412	2.508	2140	1	.5881
P26	260	.429	2.508	2140	0	.5752
P27	270	.445	2.508	2140	0	.5636
P28	280	.462	2.508	2140	0	.5518
P29	290	.478	2.508	2140	0	.5412
P30	300	.495	2.509	2141	1	.5304
P31	310	.511	2.509	2141	0	.5207
P32	320	.528	2.509	2141	0	.5109
P33	330	.544	2.509	2141	0	.5019
P34	340	.561	2.509	2141	0	.4928
P35	350	.577	2.509	2141	0	.4846
P36	360	.594	2.509	2141	0	.4761
P37	370	.610	2.510	2141	0	.4685
P38	380	.627	2.510	2141	0	.4607
P39	390	.643	2.510	2141	0	.4535
P40	400	.660	2.510	2141	0	.4462
P41	410	.676	2.510	2141	0	.4396
P42	420	.693	2.510	2141	0	.4327
P43	430	.709	2.510	2141	0	.4265
P44	440	.726	2.510	2141	0	.4201
P45	450	.742	2.510	2141	0	.4143
P46	460	.759	2.511	2142	1	.4082
P47	470	.775	2.511	2142	0	.4027
P48	480	.792	2.511	2142	0	.3971

MINUTOS	DEFL PULGADAS T	DEFL PULGADAS P	PSIG	DELTA P	LOG T+0/e	
P49	490	.808	2.511	2142	0	.3919
P50	500	.825	2.511	2142	0	.3865
P51	510	.841	2.512	2143	1	.3816
P52	520	.858	2.512	2143	0	.3766
P53	530	.874	.2512	2143	0	.3719
P54	540	.891	2.512	2143	0	.3671
P55	550	.907	2.512	2143	0	.3627
P56	560	.924	2.513	2144	1	.3582
P57	570	.940	2.513	2144	0	.3540
P58	580	.957	2.513	2144	0	.3497
P59	590	.973	2.513	2144	0	.3457
P60	600	.990	2.513	2144	0	.3416
P61	610	1.006	2.513	2144	0	.3378
P62	620	1.023	2.513	2144	0	.3339
P63	630	1.039	2.513	2144	0	.3303
P64	640	1.056	2.513	2144	0	.3266
P65	650	1.072	2.513	2144	0	.3231
P66	660	1.089	2.513	2144	0	.3196
P67	670	1.105	2.513	2144	0	.3163
P68	680	1.122	2.514	2145	1	.3129
P69	690	1.138	2.514	2145	0	.3097
P70	700	1.155	2.514	2145	0	.3064
P71	710	1.171	2.514	2145	0	.3034
P72	720	1.188	2.514	2145	0	.3003
P73	730	1.204	2.514	2145	0	.2974
P74	740	1.221	2.514	2145	0	.2944
P75	750	1.237	2.514	2145	0	.2916
P76	760	1.254	2.514	2145	0	.2887
P77	770	1.270	2.514	2145	0	.2861
P78	780	1.287	2.514	2145	0	.2833
P79	790	1.303	2.514	2145	0	.2807
P80	800	1.320	2.514	2145	0	.2781
P81	810	1.336	2.514	2145	0	.2756
P82	820	1.353	2.515	2146	1	.2730
P83	830	1.369	2.515	2146	0	.2706
P84	840	1.386	2.515	2146	0	.2682
P85	850	1.402	2.515	2146	0	.2659
P86	860	1.419	2.515	2146	0	.2635
P87	870	1.435	2.515	2146	0	.2613
P88	880	1.452	2.515	2146	0	.2590
P89	890	1.468	2.515	2146	0	.2568
P90	900	1.485	2.515	2146	0	.2546
P91	910	1.501	2.516	2147	1	.2526
P92	920	1.518	2.516	2147	0	.2504
P93	930	1.534	2.516	2147	0	.2484
P94	940	.1551	2.516	2147	0	.2463
P95	940	1.551	2.516	2147	0	.2444
P96	960	1.584	2.516	2147	0	.2424
P97	970	1.600	2.516	2147	0	.2405

<u>MINUTOS</u>	<u>DEFL PULGADAS T</u>	<u>DEFL PULGADAS P</u>	<u>PSIG</u>	<u>DELTA P</u>	<u>LONG T+e/e</u>
P98 980	1.617	2.516	2147	0	.2386
P99 990	1.633	2.516	2147	0	.2368
P100 1000	1.650	2.516	2147	0	.2349
P101 1010	1.666	2.516	2147	0	.2332
P102 1020	1.683	2.516	2147	0	.2313
P103 1030	1.699	2.516	2147	0	.2297
P104 1040	1.716	2.516	2147	0	.2279
P105 1050	1.732	2.516	2147	0	.2262
P106 1060	1.749	2.516	2147	0	.2245
P107 1070	1.765	2.516	2147	0	.2229
P108 1080	1.782	2.516	2147	0	.2213
P109 1090	1.798	2.516	2147	0	.2197
P110 1100	1.815	2.517	2148	1	.2181
P111 1110	1.831	2.517	2148	0	.2166
P112 1120	1.848	2.517	2148	0	.2150
P113 1130	1.864	2.517	2148	0	.2136
P114 1140	1.881	2.517	2148	0	.2120
P115 1150	1.897	2.517	2148	0	.2106
P116 1160	1.914	2.517	2148	0	.2091
P117 1170	1.930	2.517	2148	0	.2078
P118 1180	1.947	2.517	2148	0	.2063
P119 1190	1.963	2.517	2148	0	.2050
P120 1200	1.980	2.518	2148	0	.2036
P121 1210	1.996	2.518	2148	0	.2023
P122 1220	2.013	2.518	2148	0	.2009
P123 1230	2.029	2.518	2148	0	.1996
P124 1240	2.046	2.518	2148	0	.1983
P125 1250	2.062	2.518	2148	0	.1971
P126 1260	2.079	2.518	2148	0	.1958
P127 1270	2.095	2.518	2148	0	.1946
P128 1280	2.112	2.518	2148	0	.1933
P129 1290	2.128	2.518	2148	0	.1921
P130 1300	2.145	2.518	2148	0	.1909
P131 1310	2.161	2.519	2149	1	.1897
P132 1320	2.178	2.519	2149	0	.1885
P133 1330	2.194	2.519	2149	0	.1874
P134 1340	2.211	2.519	2149	0	.1863
P135 1350	2.227	2.519	2149	0	.1852
P136 1360	2.244	2.519	2149	0	.1840
P137 1370	2.260	2.519	2149	0	.1830
P138 1380	2.277	2.519	2149	0	.1818
P139 1390	2.293	2.519	2149	0	.1808
P140 1400	2.310	2.519	2149	0	.1797
P141 1410	2.326	2.519	2149	0	.1787
P142 1420	2.343	2.519	2149	0	.1776
P143 1430	2.359	2.519	2149	0	.1766
P144 1440	2.375	2.520	2150	1	.1757
P145 1450	2.392	2.520	2150	0	.1746
P146 1460	2.408	2.520	2150	0	.1737

<u>MINUTOS</u>	<u>DEFL PULGADAS T</u>	<u>DEFL PULGADAS P</u>	<u>PSIG</u>	<u>DELTA P</u>	<u>LONG T+<math>\theta</math>/<math>\theta</math></u>
P147 1470	2.425	2.520	2150	0	.1727
P148 1480	2.441	2.520	2150	0	.1717
P149 1490	2.458	2.520	2150	0	.1708
P150 1500	2.474	2.520	2150	0	.1698
P151 1510	2.491	2.520	2150	0	.1689
P152 1520	2.507	2.520	2150	0	.1680
P153 1530	2.524	2.520	2150	0	.1671
P154 1540	2.540	2.520	2150	0	.1662
P155 1550	2.557	2.520	2150	0	.1653
P156 1560	2.573	2.521	2151	1	.1644
P157 1570	2.590	2.521	2151	0	.1635
P158 1580	2.606	2.521	2151	0	.1627
P159 1590	2.623	2.521	2151	0	.1618
P160 1600	2.639	2.521	2151	0	.1610
P161 1610	2.656	2.521	2151	0	.1601
P162 1620	2.672	2.521	2151	0	.1593
P163 1630	2.689	2.521	2151	0	.1585
P164 1640	2.705	2.521	2151	0	.1577
P165 1650	2.722	2.521	2151	0	.1568
P166 1660	2.738	2.521	2151	0	.1561
P167 1670	2.755	2.521	2151	0	.1553
P168 1680	2.771	2.521	2151	0	.1545
P169 1690	2.788	2.521	2151	0	.1537
P170 1700	2.804	2.521	2151	0	.1530
P171 1710	2.521	2.521	2151	0	.1522
P172 1720	2.837	2.521	2151	0	.1515
P173 1730	2.854	2.521	2151	0	.1507
P174 1740	2.870	2.521	2151	0	.1500
P175 1750	2.887	2.521	2151	0	.1493
P176 1760	2.903	2.521	2151	0	.1486
P177 1770	2.920	2.521	2151	0	.1478
P178 1780	2.936	2.521	2151	0	.1471
P179 1790	2.953	2.521	2151	0	.1464
P180 1800	2.969	2.521	2151	0	.1458
P181 1810	2.986	2.521	2151	0	.1450
P182 1820	3.002	2.521	2151	0	.1444
P183 1830	3.019	2.522	2152	1	.1437
P184 1840	3.035	2.522	2152	0	.1431
P185 1850	3.052	2.522	2152	0	.1424
P186 1860	3.068	2.522	2152	0	.1417
P187 1870	3.085	2.522	2152	0	.1411
P188 1880	3.101	2.522	2152	0	.1404
P189 1890	3.118	2.522	2152	0	.1398
P190 1900	3.134	2.522	2152	0	.1392
P191 1910	3.151	2.522	2152	0	1.385
P192 1920	3.167	2.522	2152	0	.1379
P193 1930	3.184	2.522	2152	0	.1373
P194 1940	3.200	2.522	2152	0	.1367

<u>MINUTOS</u>	<u>DEFL PULGADAS T</u>	<u>DEFL PULGADAS P</u>	<u>PSIG</u>	<u>DELTA P</u>	<u>LONG T+0/0</u>
P195 1950	3.217	2.522	2152	0	.1361
P196 1960	3.233	2.522	2152	0	.1355
P197 1970	3.250	2.522	2152	0	.1349
P198 1980	3.266	2.522	2152	0	.1343
P199 1990	3.283	2.522	2152	0	.1337
P200 2000	3.299	2.522	2152	0	.1332
P201 2010	3.316	2.523	2153	1	.1326
P202 2020	3.332	2.523	2153	0	.1320
P203 2030	3.349	2.523	2153	0	.1315
P204 2040	3.365	2.523	2153	0	.1309
P205 2050	3.382	2.523	2153	0	.1304
P206 2060	3.398	2.523	2153	0	.1298
P207 2070	3.415	2.523	2153	0	.1293
P208 2080	3.431	2.523	2153	0	.1288
P209 2090	3.448	2.523	2153	0	.1282
P210 2100	3.464	2.523	2153	0	.1277
P211 2110	3.481	2.523	2153	0	.1271
P212 2120	3.497	2.523	2153	0	.1266
P213 2130	3.514	2.523	2153	0	.1261
P214 2140	3.530	2.523	2153	0	.1256
P215 2150	3.547	2.523	2153	0	.1251
P216 2162	3.567	2.523	2153	0	.1245

con lo cual se obtiene un valor para el factor de compresibilidad de

$$C = 4,02 \times 10^{-6} \text{ psi}^{-1}$$

### 6.3.2.- Factor de formación del agua

Este factor mide la relación entre volumen de agua en superficie y en fondo para una masa determinada

$$B_w = 1 - C \times P_f$$

siendo  $C$  = el factor de compresibilidad y

$P_f$  = la presión en fondo

$$B_w = 0,99$$

### 6.3.3.- Viscosidad del agua

La viscosidad dinámica del agua en condiciones de fondo se obtiene por la fórmula

$$\mu_{P_1 T} = \mu^*_{T} \times F_{P_1 T}$$

en la que  $\mu^*_{T}$  = Factor de viscosidad dependiente de la concentración en sal y temperatura.

$F_{P_1 T}$  = Factor de corrección

para nuestro caso se obtiene

$$\mu_{P_1 T} = 0,4012 \text{ c.p.}$$

#### 6.3.4.- Cálculo de la Transmisividad

Para el cálculo del valor de transmisividad, se ha aplicado el método de Horner, representando en papel semilogarítmico los valores de recuperación de presiones después de parado el flujo en función del logaritmo de  $\frac{t + \Delta t}{\Delta t}$ .

De la curva de la figura 5 se observa un valor de la pendiente  $m = 21$  psi/ciclo.

La transmisividad viene dada por

$$K_h = \frac{162,6 \times \mu_{P_1T} \times \beta_w \times Q}{m} \times 0,3048$$

con  $\mu_{P_1T}$  en c.p.,  $Q$  en bbl/día y  $m$  en psi/ciclo y  $K_h$  en milidarcímetros.

Para nuestro caso se llega a un valor de  $T = 35.000$  milidarcímetros aproximadamente o 35 D.m.

#### 6.3.5.- Cálculo de la permeabilidad

Teniendo en cuenta el espesor útil de la formación estimado a partir del flowmeter, se puede deducir un valor medio de la permeabilidad de aproximadamente

$$K = 440 \text{ milidarcys}$$

#### 6.3.6.- Cálculo del nivel estático.

A partir del registro realizado durante el bombeo y recuperación, es posible extrapolando para tiempo suficiente calcular la presión estática del yacimiento.

Pf (psi)

San Sebastián de los Reyes

GRAFICO DE HORNER

RECUPERACION

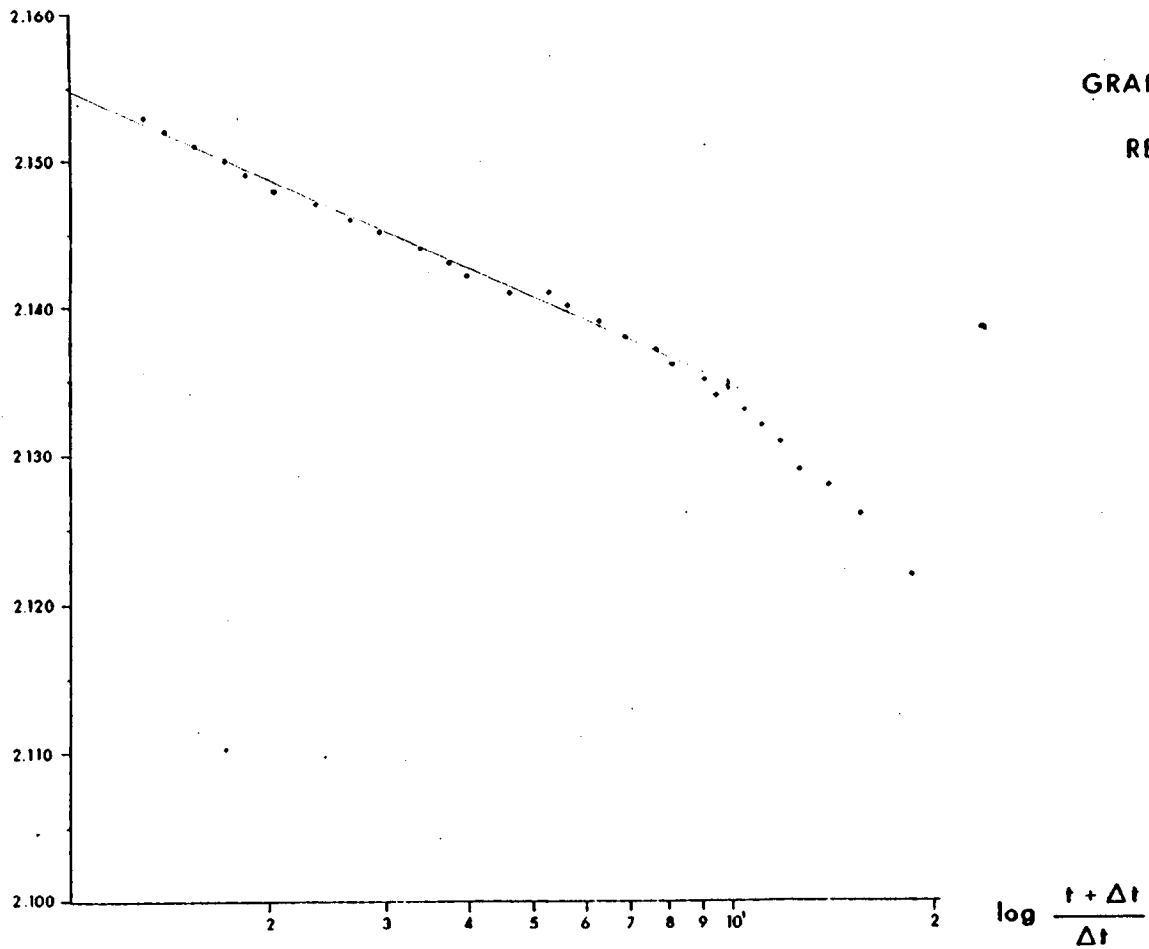


FIGURA Nº 5

Se obtiene  $P_s = 2.155$  psi. Puesto que la densidad media de la columna de agua es  $1,02$  gr/l, dicha presión supone una columna de  $1.485$  metros sobre la cota de  $1.600$  metros donde se situaron los registradores. Por ello el nivel estático está situado a una profundidad del suelo de aproximadamente  $115$  metros.

La presión al final de las doce horas de bombeo de  $70$  l/s, es según el registrador  $2.088$  psi, lo que supone una de presión respecto a la presión estática de  $75$  psi. Que para la columna de agua a la temperatura de producción supone una depresión en el nivel dinámico de aproximadamente  $50$  metros.

#### 6.3.7.- Salinidad del agua geotérmica

Durante la realización del ensayo de producción se tomaron varias muestras de agua que analizadas posteriormente, han podido definir la calidad química del fluido contenido en el almacén geotérmico. Se trata de un fluido con una salinidad entre  $30.000$  y  $40.000$  p.p.m.

## 7.- MODELO DE EXPLOTACION

A la vista de la alta salinidad del agua geotérmica es necesaria su inyección en el acuífero una vez cedido el calor en superficie. Por lo tanto la explotación ha de realizarse por el sistema de dobles.

Este sistema de explotación térmica de acuíferos, lleva consigo la determinación de las características, de modo que el frente frío creado por la inyección de agua fría, llegue a pozo de producción en un plazo superior a la vida de la explotación geotérmica.

Generalmente este problema se resuelve mediante la aplicación de un modelo de difusión térmica relativamente sencillo. Este modelo se está poniendo actualmente a punto para el acuífero de Madrid.

No obstante, es posible, en casos sencillos resolver los cálculos con fórmulas aproximadas que dan la distancia entre pozos con un amplio margen de garantía o bien con ábacos contruidos expresamente para acuíferos diferentes geológicamente pero en los que las características térmicas; conductividad y capacidad calorífica, son similares.

### 7.1.- CALCULO DEL DOBLETE

7.1.1.- Características de la explotación y almacén geotérmico

Profundidad: 1.550 - 2.120 m  
Zonas más productivas: 1.675 - 1.750 m  
Caudal de bombeo supuesto: 250 m<sup>3</sup>/hora  
Altura útil del almacén: 80 m  
Porosidad media: 15%  
Transmisividad: 35.000 milidarcyos  
Permeabilidad: 440 milidardyes  
Viscosidad del agua de formación: 0,4012 cp  
Temperatura de almacén: 75-95 °C  
Presión estática a 1.600 m: 2.155 p.s.i.: 151,5 kg/cm<sup>2</sup>  
Densidad del agua: 1,02 gr/l  
Nivel estático: 115 metros de profundidad  
Capacidad calorífica del agua  $\gamma_w$ : 1 cal/cm<sup>3</sup>. °C  
Capacidad calorífica de la roca  $\gamma_R$ : 0,52 cal/cm<sup>3</sup>. °C  
Conductividad térmica de la roca  $\gamma_{K_R}$ : 6.10<sup>-3</sup> cal/cm.seg. °C

7.1.2.- Cálculo de la distancia entre pozos

La distancia entre pozos viene dada por la fórmula aproximada:

$$D = \left[ 3 \times 8.760 \times Q_m \times \Delta t \times \gamma_w / \Pi \times \gamma_A \times h \right]^{1/2}$$

dónde  $Q_m$  = Caudal medio anual equivalente (m<sup>3</sup>/h)  
 $\Delta t$  = vida total de la explotación (años)  
 $\gamma_w$  = Capacidad calorífica del agua  
 $\gamma_A$  = capacidad calorífica del almacén  
 $h$  = Altura útil del acuífero

La capacidad calorífica del almacén viene dada por la fórmula

$$\gamma_A = \phi \gamma_W + (1 - \phi) \gamma_R$$

siendo  $\phi$  la porosidad y

$\gamma_R$  capacidad calorífica de la roca

Para nuestro caso, suponiendo una explotación de 4.000 horas al año a plena potencia, se obtiene un caudal medio anual equivalente de 115 m<sup>3</sup>/hora.

La capacidad calorífica de la roca no ha sido medida, empleándose en su caso un valor aproximado y común para dicha litología.

La distancia calculada entre pozos es de:

$$D = 780 \text{ metros}$$

Esta misma distancia se puede calcular en el ábaco de la figura 6 elaborado para unas características térmicas del acuífero de  $\gamma_R = 0,5 \text{ cal/cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$  correspondientes al Dogger de la cuenca de Paris.

La distancia calculada con el ábaco es:

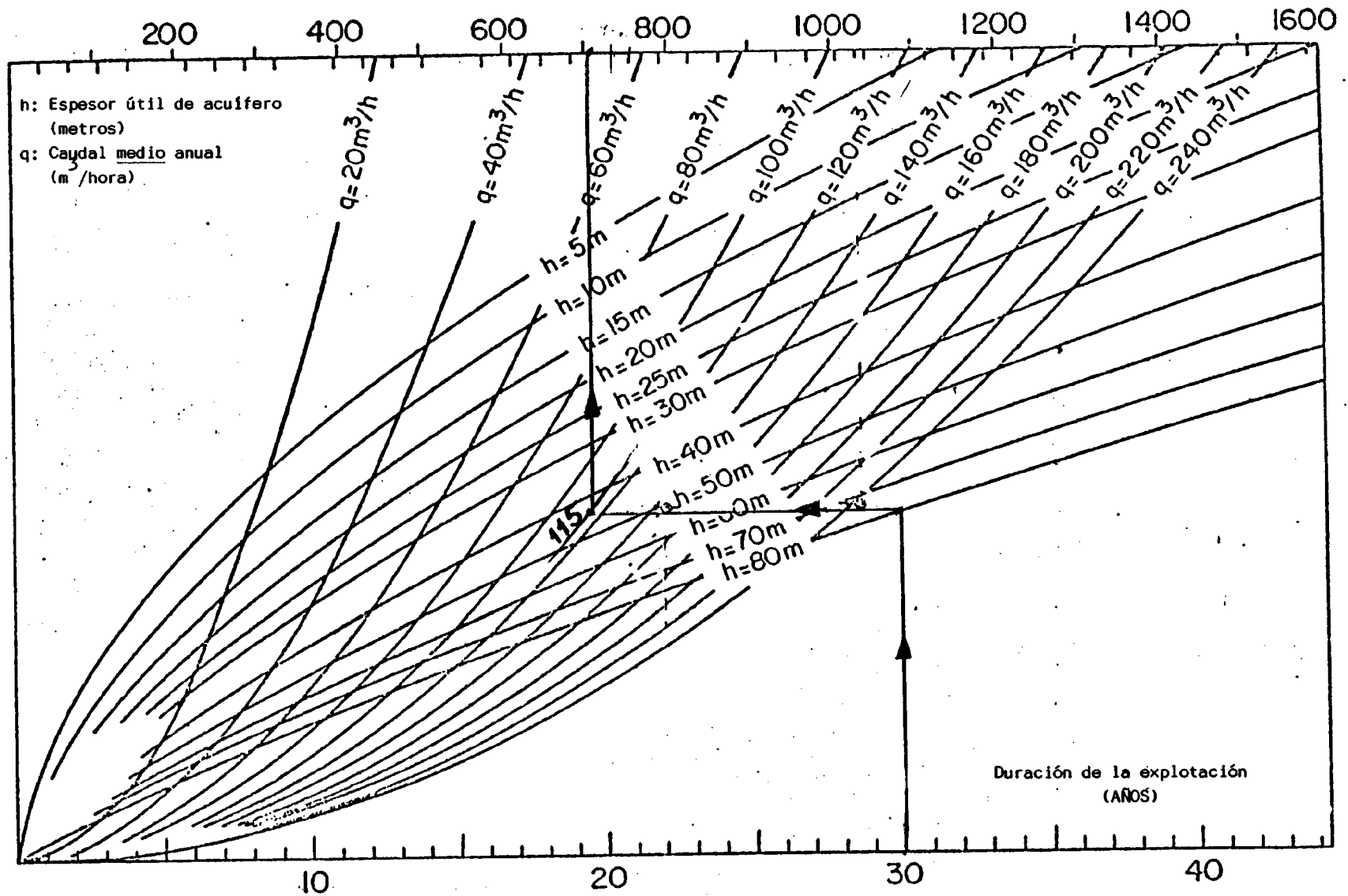
$$D = 700 \text{ metros}$$

### 7.1.3.- Cálculo de presiones

#### 7.1.3.1.- Presión hidrostática en cabeza de pozo

Viene dada por la fórmula

Distancia entre pozos (metros)



- 30 -

FIGURA 6 - ABACO PARA CALCULO APROXIMADO DE DISTANCIA ENTRE POZOS



D = distancia entre pozos en metros  
 $d_1$  = diámetro del casing en el almacén en pulgadas

En base a los datos calculados en otros apartados se obtiene:

$$P_h = 11,3 \text{ kg/cm}^2$$

7.1.3.4.- Presión en el pozo de producción

$$P_p = P_s - P_c - P_h$$

que para nuestro caso

$$P_p = -25,71 \text{ kg/cm}^2$$

7.1.3.5.- Pérdida de carga en el pozo de inyección

Viene dada por la fórmula:

$$P_c = 1,023 \times 10^4 \times \frac{\mu_o^{0,21} \times Q^{1,79} \times P_R}{d^{4,79}}$$

En este caso la viscosidad del fluido a inyectar es diferente puesto que la temperatura del fluido es de 35° C.

$$\mu_o = 0,75 C_p$$

$$P_c = 9 \text{ kg/cm}^2$$

7.1.3.6.- Cálculo de la presión hidrodinámica de flujo en el pozo de inyección

La fórmula es la misma que para el pozo de producción

cambiando el valor de la viscosidad:

$$P_h = 20,8 \text{ kg/cm}^2$$

#### 7.1.3.7.- Presión en el pozo de inyección

Viene dada igualmente por:

$$P_I = P_s + P_c + P_h$$

$$P_I = 18,2 \text{ kg/cm}^2$$

#### 7.1.4.- Cálculo de Potencias de Bombeo

La potencia de bombeo, tanto en el pozo de producción como en el de inyección viene dada por:

$$Kw = 0,03894 \times Q \times P$$

siendo Q = Caudal bombeado ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )

P = Presión dinámica en el pozo ( $\text{kg/cm}^2$ )

Kw = Potencia en kilowatios

se ha considerado que el rendimiento de la bomba es de 70%

Para el pozo de producción:

$$K_{WP} = 250,2 \text{ Kw}$$

Para el pozo de inyección:

$$K_{WI} = 177,2 \text{ Kw}$$

#### 8.- PROPUESTA SONDEO DE INYECCION

Existen dos posibilidades como solución al pozo de inyección: La primera realizar un sondeo vertical situado a una distancia del pozo de producción igual a la calculada. (En la práctica se propone una distancia de 900-1.000 metros, para tener un mayor margen de seguridad). La segunda, realizar un pozo desviado junto al actual, de tal manera que a la altura del almacén la separación sea la misma distancia calculada.

La ventaja de la primera solución es el sobrecosto que conlleva la segunda, que se puede estimar en un 20% del coste de sondeo vertical. Sin embargo comporta una serie de desventajas que se pueden enumerar.

- 1 - Línea de unión entre ambos pozos de tubería anticorrosión, que ha de estar perfectamente controlada para evitar la aireación de la salmuera. Su coste se estima en 25-30 M.P. (Sin contar problemas de permisos de paso).
- 2 - Duplicar los términos: plataforma de perforación y caseta e instalaciones anexas a los pozos.
- 3 - Instalación provisional para las pruebas de inyección de una conducción entre pozos.
- 4 - Encontrar terrenos adecuados para el segundo pozo.

La comparación de ventajas e inconvenientes, junto al hecho de que la perforación de sondeos desviados es una técnica, cada vez más dominada en el campo de la investigación de hidrocarburos, nos inclina hacia ésta solución.

#### 8.1.- PERFIL TECNICO DEL SONDEO PROPUESTO

##### 8.1.1.- Programas de perforación y de entubación

Conociendo la profundidad final a alcanzar en el sondeo (2.390 m) así como la litología del mismo, se establece -condicionado a ulteriores exigencias del pozo- el siguiente programa de perforación y entubación, en principio:

- 1 - Perforación, con diámetro suficiente, para alojar de 20"  $\phi$ , en una profundidad estimada de unos 50 m, que permita la colocación del tubo-guía, en arenas sueltas, y cementación de todo su espacio anular, desde el fondo a superficie, antes de atacar la perforación propiamente dicha, y antes de acometer la construcción de la placa de hormigón de base del equipo.
- 2 - Continuar, seguidamente, la perforación normal con 17 1/2" de diámetro, hasta alcanzar la profundidad prevista, en principio, de 400 m.

Entubar con tubería de 13 3/8"  $\phi$  y cementar todo su espacio anular, desde el fondo a superficie.

Colocación de los cierres de seguridad de cabeza de pozo, provistos de cierres sobre varillaje, cierres totales y en la parte superior obturador rotatorio Hydril, así como de las correspondientes entradas y salidas A.P. al pozo.

- 3 - Proseguir, a partir de 400 m, perforando en 12 1/4" de diámetro, hasta alcanzar la cota prevista de 1.768 m.

Desde 400 m hasta 1.425 aproximadamente se producirá una desviación continua y controlada de 1º cada 30 metros aproximadamente, de manera que se alcance finalmente un ángulo de 36º respecto de la vertical.

Entubar con tubería de 9 5/8"  $\phi$  y cementar el espacio anular comprendido entre el fondo (1.768 m) y la cota 400 metros dentro, ya, de la anterior tubería cementada, de 13 3/8"  $\phi$ .

Colocación del "casing hanger" de 9 5/8", bajo los cierres de seguridad ya instalados anteriormente.

- 4 - Continuar, desde los 1.768 m ya alcanzados, perforando en 8 1/2" de diámetro hasta la profundidad final de 2.390 metros.

Equipar el pozo, con los filtros correspondientes en las cotas productivas, prefijadas de acuerdo con las diagramas correspondientes, colgados de tubería de 7"  $\phi$  y ésta, a su vez de la de 9 5/8"  $\phi$ .

#### CARACTERISTICAS DE LAS TUBERIAS A EMPLEAR

Teniendo en cuenta las características del terreno a perforar, se ha considerado conveniente la colocación de la tubería adecuada para las distintas fases, según se especifican a continuación:

##### 1) Tubería de superficie (tubo-guía)

Tubería de hierro negro, de 8 m/m de espesor y 20" de

diámetro exterior, de chapa vuelta, soldada helicoidalmente, para los primeros 50 m.

2) Primera tubería (casing)

400 m de tubería de 13 3/8" de diámetro exterior, en acero, grado N-80, de 68 libras/pié de peso, rosca BTC.

3) Segunda tubería (casing)

1.388 m de tubería de 9 5/8" de diámetro exterior, en acero, grado N-80, de 47 libras/pié de peso, rosca BTC.

4) Tercera tubería (casing y filtros)

Casing: 122 m de tubería de 7" de diámetro exterior, en acero, grado N-80, de 29 libras/pié de peso, y rosca 8RT.

Filtros: 500 m de filtros de 7 1/2" de diámetro exterior, en acero, grado K-55, de 26 libras/pié de peso, con malla de 0,020 pulgadas de paso, preparados con rosca 8RT, para poder ser roscado a la tubería de 7" y con diámetro interior de 6".

CEMENTACIONES

Las cementaciones a efectuar se realizarán de acuerdo con las previsiones expuestas anteriormente.

El cemento a emplear será del tipo "P-350", en ambas cementaciones y la cantidad total estimada es de 110 toneladas.

### 8.1.2.- Programa de lodos

El lodo a emplear será para las fases de 17 1/2" y 12 1/4" el bentonítico normal, con bajo filtrado y viscosidad adecuada según la conveniencia del pozo y se enriquecerá con lignosulfonato, a partir de la fase en 8 1/2".

Dadas las características del terreno, por ser casi toda la perforación en arenas a pesar de ser de obligada utilización constante, las baterías de desarenadores, es aconsejable la dilución periódica del mismo conservando sus características reológicas.

Los productos previstos suponen un tonelaje total de 102 toneladas, que se desglosan, eventualmente, en:

Bentonita .....	64 t
Quebracho .....	5 t
Sosa cáustica .....	5 t
CMC - AV .....	5 t
CMC - BV .....	7 t
Yeso .....	10 t
Lignosulfonato .....	5 t
Bicarbonato sódico .....	2 t

### 8.1.3.- Barrenas y coronas sacatestigos

Una vez preestablecido el programa de perforación, conociendo los distintos diámetros de la misma, las características litológicas de los distintos estratos a atravesar, así como los tramos en cada diámetro, la previsión de barrenas, para cada fase de perforación, es la siguiente:

Fase en 17 1/2" .....	3	triconos	tipo 1.3.1.	LADC
Fase en 12 1/4" .....	12	"	"	5.2.7 ó 5.3.7 LADC
Fase en 8 1/2" .....	12	"	"	5.2.7 ó 5.3.7 LADC

Hay prevista la toma de 1 testigo de 18 m.

#### 8.1.4.- Equipo de perforación

Para la profundidad prevista alcanzar, de 2.390 m, se puede utilizar p.e. el equipo de perforación ya conocido, de la Compañía General de Sondeos (C.G.S.), que ha realizado los dos sondeos geotérmicos de la cuenca de Madrid, cuyas características más importantes son:

- Mástil Continental Emsco B-127 de 416.000 lbs. de capacidad y 127 ft. de altura, con bloque de poleas fijas para cable de 1 1/8" y con capacidad para almacenar 96 triples de 4 1/2".
- Subestructura Continental Emsco, para mástil B-127 de 10 piés de altura, capacidad central 250.000 lbs., capacidad de varillaje 160.000 lbs.
- Malacate Emsco G-450 con cabrestante automático Foster para llaves y transmisión Emsco, para dos motores Cartepillar D. 17.000 de 200 C.V. de potencia.
- 2 motores Cartepillar D. 17.000 para malacate.
- Grupo independiente de bombeo, compuesto por bomba Ideco MM-600 de 7 1/4 x 16", de 600 HP. accionado por 4 motores GM-Serie 6-71, de 175 CV.

- Grupo independiente de bombeo, compuesto por bomba Ideco T-1.300 de 7 1/4 x 12". Triplex de 1.300 HP, accionado por 2 motores Cartepillar de 800 CV cada uno.
- Bloque móvil de poleas Emsco, tipo NC-36-4", capacidad 135 t.
- Gancho de elevación Byron Jackson triples 4.200 serie 315, de 200 t de capacidad.
- Mesa de rotación Emsco, tipo JCS de 20 1/2" con capacidad estática de 250 t y 125 t, a 100 r.p.m.
- Acumulador de presión Hydril KB-77-3.000 para BOP con manifold de accionamiento a distancia.
- BOP Hydril GK-12-3.000.
- BOP Cameron QRC-12-3.000 con cierre total.
- BOP Cameron QRC-12-3.000 con cierre sobre varillaje.
- Cable de perforación de 1 1/8".
- Indicador Martín Decker.
- Elevador para casing de 13 3/8" Byron Jackson, tipo X-75 t de capacidad.
- Elevador para casing de 9 5/8" Byron Jackson, tipo XXH-150 t de capacidad.

Así como los restantes instrumentos de perforación, seguridad y control utilizados en los anteriores sondeos.

8.2.- PRESUPUESTO ESTIMATIVO PREVIO DEL SONDEO (QUE DEBERA SER CONTROLADO Y COMPROBADO DURANTE LA EJECUCION DEL SONDEO ANTE POSIBLES CAMBIOS TANTO DE PROGRAMA COMO DE PRECIOS).

1 - Acceso, emplazamiento y restitución del terreno al estado primitivo .....	4.650.000
2 - Traslado, montaje, desmontaje, perforación	75.808.375
3 - Triconos .....	30.624.000
4 - Productos de lodos .....	9.870.000
5 - Tuberías .....	18.000.000
6 - Accesorios de entubación .....	4.048.000
7 - Cabeza de pozo .....	1.138.500
8 - Cemento y aditivos .....	1.821.600
9 - Gas-oil .....	18.400.000
10 - Agua .....	125.000
11 - Filtros .....	11.120.000
12 - Liner Hanger .....	2.760.000
13 - Desviación elementos y control .....	18.530.000
14 - Perforación en $\phi$ suficiente para entubar , en 20" $\phi$ para la colocación del tubo guía, en arenas masivas húmedas .....	3.105.000
15 - Control geológico (cabinas) .....	4.200.000
16 - Diagrafías .....	13.167.500
17 - Cementaciones .....	9.165.000
18 - Control de lodos .....	4.554.000
19 - Almacén de lodos .....	442.800
20 - Supervisión geológica .....	8.096.000
21 - Asesores técnicos .....	3.162.500
22 - Desarrollo de pozos .....	3.450.000

23 - Control de material (Casing, D.P. etc.) .	1.265.000
24 - Supervisión técnica .....	6.957.500
25 - Transportes (grúas, etc.) .....	943.000
26 - Pruebas de Producción .....	5.060.000
27 - Aislamiento acústico .....	3.000.000
28 - Varios e imprevistos .....	7.672.300
(Aduana, importación, permisos, visados - de colegio, alquiler, etc.)	
	<hr/>
TOTAL PRESUPUESTO .....	271.136.075