

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INSTITUTO NACIONAL DE INDUSTRIA
CENTRO DE ESTUDIO DE LA ENERGIA

SONDEO GEOTERMICO
LANZAROTE - 1
INFORME FINAL
ANEXO

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
Sondeo Geotérmico LANZAROTE-1
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
INSTITUTO NACIONAL DE INDUSTRIA
CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGIA
Patrocinador: EMPRESA NACIONAL ADARO DE INVESTIGACIONES MINERAS S.A.

80800



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

Enero 1978

SONDEO GEOTERMICO

LANZAROTE - I

INFORME FINAL

MEMORIA

ENERO, 1978

I N D I C E

	<u>Págs.</u>
1.- RESUMEN Y RESULTADOS	1
1.1.- PRESENTACION	2
1.2.- RESUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	4
- Trabajos preparatorios	4
- Perforación del Sondeo Lanzarote nº 1	6
- Control Geotérmico	10
1.3.- RESULTADOS	12
2.- INTRODUCCION Y ANTECEDENTES	17
2.1.- INTRODUCCION	18
2.2.- ANTECEDENTES	20
- Cartografía geológica	21
- S.E.V.	21
- Gravimetría	21
- Análisis isotópicos	21
- Termometría	21
2.3.- PROYECTO DE "EVALUACION DEL POTENCIAL GEOTERMICO DE LANZAROTE"	22
2.4.- SONDEO GEOTERMICO LANZAROTE - 1	23
2.5.- ORGANIZACION DE LOS TRABAJOS	23
3.- GEOLOGIA	28
3.1.- GEOLOGIA DE LA ZONA	29
3.2.- OBJETIVOS	30
3.3.- PREVISIONES	31
3.4.1.- Control Geológico	34
3.4.2.- Perfil de temperatura	40
3.4.3.- Geoquímica	42
3.5.- INTERPRETACION	45

	<u>Págs.</u>
4.- PREPARACION DE LOS TRABAJOS	48
4.1.- GENERALIDADES	49
4.2.- PROGRAMA DE PERFORACION Y DE ENTUBACION	51
4.3.- TUBERIAS - ENTUBADO	53
- Cálculo de las tuberías	55
- Equipo de la columna de entubación	61
4.4.- CEMENTACIONES	64
- Programa de cementaciones	67
- Operaciones de la cementación propiamente dicha	70
- Restantes operaciones de la cementación ..	75
4.5.- PROGRAMA DE LODOS	77
- Fase I - Perforación en 17 1/2"	85
- Fase II - Perforación en 12 1/4"	86
- Fase III - Perforación en 8 1/2"	87
- Necesidad de materiales	89
4.6.- BARRENAS - TRICONOS	92
4.7.- CARACTERISTICAS DE LA PERFORACION - PARAME- TROS	93
- Elección de la barrena	94
- Peso sobre la barrena	94
- Velocidad de rotación	95
- Caudal del fluido de perforación	95
- Propiedades del fluido de perforación	96
4.8.- SARTAS - CARACTERISTICAS, DISEÑO Y ELEMENTOS DEL TREN DE PERFORACION	96
- Sarta mínima para 2.500 m en pozo de 8 1/2" ∅	96
- Lastrabarrenas para pozos de 17 1/2" y 12 1/4" ∅	98
- Elementos de estabilización y protección - del tren de perforación	99

	<u>Págs.</u>
4.9.- EQUIPO DE PERFORACION	101
- Función rotativa	102
- Función circulación de lodo	104
- Función extractora e introductora en el po zo	105
- Fuerza motriz	109
- Funciones auxiliares	110
4.10.-CAPACIDAD DE LOS ORGANOS DE ELEVACION EN FUN CION DE LA PROFUNDIDAD	111
- Mástil	113
- Subestructura	113
- Mesa de rotación	113
4.11.-POTENCIAS NECESARIAS EN EL EQUIPO DE PERFORA CION	114
- En el sistema de maniobra. Gancho, cabres- tante y motores	114
- En la mesa de rotación	115
- Estudio hidráulico. Potencia en bombas ...	116
4.12.-EQUIPOS DE SEGURIDAD Y CONTROL	119

	<u>Págs.</u>
4.14.-ALIMENTACION DE AGUA AL SONDEO	130
- Tendido de tubería y bombas	132
4.15.-OBRAS CIVILES A REALIZAR. PISTA DE ACCESO, PLATAFORMA DE PERFORACION, DEPOSITO DE EVACUACION	135
- Pista de acceso	135
- Plataforma de perforación	137
4.16.-PLAN GENERAL DE TRABAJOS	138
5.- MAQUINARIA Y MATERIALES	145
5.1.- EQUIPO DE PERFORACION	146
- Equipo	146
- Material de lodos y bombas	147
- Mástil y subestructura	148
- Material de plataforma y torre	148
- Material de control y medida	151
- Material auxiliar	151
- Motores y grupos electrógenos	153
- Material de fondo - Tren de perforación o sarta	153
- Material de pesca e instrumentación	155
- Vehículos	157
5.2.- EQUIPO DE CEMENTACIONES	157
5.3.- EQUIPO DE SEGURIDAD Y CONTROL - CABEZA DE POZO	158
- Cierres de seguridad (B.O.P.) y carretes perforación	158
- Cabezas de tubería y de producción	159
5.4.- TORRES DE REFRIGERACION O ENFRIAMIENTO	163
5.5.- SUMINISTRO DE AGUA	163
- Bombas	163
- Tuberías para conducción del agua de mar ..	164
5.6.- EQUIPOS DE MEDIDA	164

	<u>Págs.</u>
5.7.- MATERIALES	166
- Tubería	167
- Accesorios de casing	167
- Triconos de perforación	168
- Rodillos - Juegos de tres	169
- Productos de lodos - Toneladas	169
- Cementos y aditivos	169
- Gasoleo	169
6.- DESARROLLO DE LA PERFORACION - DATOS TECNICOS	170
6.1.- INTRODUCCION	171
6.2.- ESTUDIO DE OFERTAS Y SELECCION DE CONTRATIS- TAS	172
- Asesora de Ingeniería	172
- Compañías de perforación	174
- Cementaciones. Cementos	174
- Lodos	174
- Tuberías (casing)	175
- Herramientas de corte - Triconos	175
- Cabezas de pozo	176
- Otras compañías	176
- Selección	176
6.3.- EMPRESAS CONTRATISTAS	178
6.4.- ASISTENCIA TECNICA DE SPEG-GEOREX	179
6.5.- TRABAJOS PREPARATORIOS DE LA PERFORACION ...	180
- Abril	180
- Mayo	181
- Junio	182
- Julio	184
- Agosto	186
6.6.- EQUIPOS Y MATERIALES TRANSPORTADOS	187
6.7.- PERFORACION	188
- Análisis de tiempo	190
- Análisis de tiempo por grupo de operaciones	191

	<u>Págs.</u>
- 1 ^a Fase - Perforación en 17 1/2" Ø	192
- Levantamiento de la plataforma de trabajo ..	195
- 2 ^a Fase - Perforación en 12 1/4" Ø	195
- 3 ^a Fase - Perforación en 8 1/2" Ø	199
6.8.- TRANSPORTES DE RETIRADA	206
6.9.- RESUMEN TIEMPOS DEL PROYECTO	207

1.- RESUMEN Y RESULTADOS

1.1.- PRESENTACION

El crecimiento de la demanda de energía provocado por el desarrollo de la economía mundial junto a la crisis desencadenada por la acción árabe sobre el suministro y precio de los crudos dieron lugar a un cambio en las bases de la economía energética.

Todo esfuerzo en el sentido de mejorar el aprovisionamiento es poco y nunca suficiente.

Uno de los recursos que se recomienda desarrollar para la sustitución de importaciones de crudo es el de la energía geotérmica. Así lo hacen constar las Naciones Unidas desde 1961 a sus países miembros.

En España la investigación de los recursos geotérmicos se ha planificado en varias etapas desde un primer inventario general de anomalías hasta la investigación detallada de áreas interesantes.

El Ministerio de Industria, a través de tres de sus organismos, el Instituto Geológico y Minero de España, el Instituto Nacional de Industria y el Centro de Estudios de la Energía, decidió en Marzo de 1977, emprender la perforación de un sondeo exploratorio profundo en la Isla de Lanzarote (Canarias), con el que culminaban todas las fases de la investigación geotérmica en la zona.

Anteriormente ya se habían realizado toda una serie de estudios e investigaciones que se detallan en el siguiente capítulo.

El objetivo fundamental del sondeo era alcanzar el almacén geotérmico, que según el modelo de campo concebido debería estar constituido por materiales sedimentarios que subyacen la isla.

La inversión realizada asciende a 180 M.P. y su financiación se ha llevado a cabo entre los citados organismos de acuerdo a las siguientes proporciones.

Instituto Geológico y Minero de España	42,5 %
Instituto Nacional de Industria	37,2 %
Centro de Estudios de la Energía	20,3 %

Debido a la complejidad del sondeo, han intervenido diversos técnicos, equipos y materiales cuya coordinación ha corrido a cargo, como empresa operadora, de la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A.

Como reflejo de todas las actividades llevadas a cabo, así como los resultados de ellas, se ha redactado el presente informe final que consta de dos partes.

1.- MEMORIA

2.- ANEXOS

En los anexos se incluyen todo tipo de documentos directos de las citadas actividades.

1.2.- RESUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

El proyecto se inicia el día 1 de Abril de 1977.

Aunque en el capítulo 6 se desarrolla con mayor detalle todos los trabajos realizados en el Proyecto, en este capítulo, como información sumaria, se da un resumen de ellos.

La realización de éste Proyecto puede dividirse en dos fases distintas:

- 1) Trabajos preparatorios
- 2) Perforación del sondeo Lanzarote nº 1

1.- Trabajos preparatorios

Primeramente se preparó el programa general del Proyecto, estudiando y analizando las operaciones a realizar, equipos, materiales, técnicos, transportes, suministros, construcciones, etc., necesarias para ellas y la forma de realizarlas.

Conocidas las características y condiciones del sondeo, profundidad 2.500 m, presión y temperatura de la formación 40 kg/cm² y 350°C, se estudió y preparó el programa de perforación y entubación, el programa de lodos, los casing y sus accesorios, las barrenas y rodillos, se analizó la elección de maquinaria y equipos de perforación, se seleccionó la sarta de perforación y el programa de cementación, y los equipos y elementos para cementar.

Con todos estos datos se obtuvo: el programa estimativo de tiempos, el programa de presupuestos, el desglose de trabajos y servicios a contratar, los materiales y equipos a adquirir, etc.

El diagrama adjunto es un resumen del plan general de trabajos.

PROYECTO SONDEO LANZAROTE - 1
PLAN GENERAL DE TRABAJOS DIAGRAMA OPERACIONES-TIEMPO

OPERACIONES	MESES								
	1 Abril	2 Mayo	3 Junio	4 Julio	5 Agosto	6 Septiem.	7 Octubre	8 Noviem.	
1.- PETICION Y ESTUDIO DE OFERTAS									
2.- TRANSPORTES-ENVIO EQUIPOS			T	T					
3.- TRANSPORTES-RETIRADA EQUIPOS									R
4.- MONTAJES Y DESMONTAJES				M					D
5.- PERFORACION									
6.- INGENIERIA CIVIL									
7.- MATERIALES-COMPRA (c)-TRANSPORTE (T)									
7.1.- TUBERIAS		C	T	T					
7.2.- CABEZAS DE POZO		C	T	T					
7.3.- TRICONOS Y CORONAS		C	T	T					
7.4.- PRODUCTOS DE LODOS		C	T	T					
7.5.- CEMENTOS		C	T	T					
7.6.- ACCESORIOS TUBERIA		C	T	T					
7.7.- SARTAS		FCN	T	T					
7.8.- VARIOS									
8.- CONTROL Y RECEPCION MATERIAL									
9.- CIA. CEMENTACIONES-TRANSPORTE/CONTRATO		FCN	T	T	CN	CN	CN	CN	R
10.- TORRES REFRIGERACION									
11.- SUMINISTRO AGUA		C							
11.1.- COMPRAS MATERIAL Y CONTRATOS		T	T	T					R
11.2.- INGENIERIA CIVIL-MONTAJE				M					D
11.3.- MANTENIMIENTO SERVICIO									
12.- OTRAS COMPAÑIAS			T	T	CN	CN	CN	CN	
13.- SUPERVISIONES Y FORMACION									
13.1.- TECNICA									
13.2.- LODOS									
13.3.- INGENIERIA ASESORA									
13.4.- GEOLOGIA									
13.5.- FORMACION GENERAL									
13.6.- PRUEBAS Y ENSAYOS									
14.- VARIOS									

C = Compra de materiales

F = Fabricación de equipo

T = Transporte de envío

M = Montaje de equipo

CN = Contrato de servicio

D = Desmontaje de equipo

R = Transporte de retirada

Sin letra = Realización general de la operación.

Con estos módulos de partida y estudiado el mercado, se procede a la petición de ofertas a diferentes compañías en cada uno de los campos en que se ha desglosado el Proyecto. Recibidas las correspondientes contestaciones y tras detenido y ponderado análisis, se llegó a la selección definitiva, quedando elegidas las siguientes compañías:

- 1 - Empresa Asesora: S.P.E.G. - GEOREX
- 2 - Perforación: SONPETROL
- 3 - Cementaciones: HALLIBURTON
- 4 - Lodos: ENADIMSA y CECA
- 5 - Instrumentaciones y composición sarta: SERVCO EUROPE S.A.
- 6 - Pruebas, ensayos y medidas: SPEG - GEOREX y ENADIMSA
- 7 - Suministro de agua: SONPETROL
- 8 - Ingeniería Civil - TRANSPORTES Y CONTRATAS
- 9 - Transportes terrestres en la Península: M. CAMARA, SAINERT, etc.
- 10- Transportes terrestres en Lanzarote: T. BRITO
- 11- Transportes marítimos: PEREZ Y CIA
- 12- Agente aduanas y consignatario de buques en la Península : MUÑOZ Y CABRERO S.L.
- 13- Agente aduanas y consignatario de buques en Lanzarote: TRANSPORTES MARITIMOS LANZAROTE S.L.
- 14- Cabeza de pozo: S. CIEX INT.
- 15- Casing (tuberías): HISPANOIL y ENIEPSA
- 16- Cementos, aditivos, etc: HALLIBURTON
- 17- Productos de lodos: CECA
- 18- Tuberías de agua: THISA
- 19- Herramientas de corte: SMITH TOOL/SERVCO EUROPE S.A.
- 20- Torres de refrigeración: GARTAISA
- 21- Gasoleo: S.P.E. SHELL S.A.

Después de un detenido estudio de Lanzarote, puerto, instalaciones, carreteras, servicios, etc., y de la zona del son

deo con sus accesos y distancia a la costa, se prepararon las soluciones para su pista de acceso, plataforma de perforación, suministro de agua de mar, transportes, desembarcos, aduanas , etc.

. Una vez resueltos todos estos problemas de estructura y programación, en Junio se inician los transportes de los equipos y materiales hacia los puertos de embarque, desde los cuales, por vía marítima, llegan en Julio hasta Arrecife de Lanzarote. El equipo de perforación, desde Sfax (Túnez) arribó a Canarias el 30 de Junio, el mástil, desde Houston, llega el 13 de Julio, mientras que desde Valencia arribaba la mayor parte del material.

El 16 de Junio se empieza la construcción de la pista de acceso desde el monte Tremesana al sondeo, a la vez que se reparaba el camino del Cabildo Yaiza-Tremesana. Seguidamente - se lleva a cabo la construcción de la plataforma de perforación y el pozo de emboquillo, así como las balsas de rechazos, de regulación y de reserva. Estos trabajos finalizaban el 29 de Julio. Al mismo tiempo se efectuaba el tendido de tubería y se colocaban las bombas del suministro de agua de mar y se realizaba la toma de agua en Juan Perdomo.

Del 1 al 20 de Agosto se montó el equipo de perforación, con lo que quedó todo listo para la realización del pozo.

Perforación del sondeo Lanzarote n° 1

El 20 de Agosto a las 13 horas se inició la perforación del sondeo Lanzarote n° 1, quedando terminado totalmente el día 7 de Diciembre a las 1 hora, habiéndose alcanzado la profundidad final de 2702,40 m.

Como preparación, previamente se había realizado el pozo de emboquillo de 20 m de profundidad cubierto con el tubo

-guía de 20" \emptyset y 8 mm de espesor.

La perforación del sondeo se llevó a cabo en tres fases:

La primera fase, de 20 a 350 m, fue perforada en un diámetro de 17 1/2", entubada con casing de 13 3/8" \emptyset , J-55, 68# colocando su zapata a 345,77 m, cementándola en dos etapas, la primera de forma normal para cubrir el intervalo 194-350 m, y la segunda por la boca del pozo para el tramo 0-190 m. Tiempo de la fase 523 horas.

La segunda fase, de 350 a 1.220 m, se perforó en 12 1/4" de diámetro, entubando con casing de 9 5/8" \emptyset , N-80, 47#, quedando la zapata a 1.214,28 m y se cementó todo el espacio anular desde la superficie a la zapata. Tiempo utilizado 706 horas.

La tercera fase, de 1.220 a 2.702,40 m, fue perforada en 8 1/2" de diámetro. Con este diámetro se alcanzó el final del sondeo, que al no resultar positivo fue dado por terminado realizando las correspondientes operaciones de cierre. Tiempo de esta fase 1.193 horas.

Después de cada fase se colocaba la correspondiente cabeza de pozo, según se había programado, con los cierres de seguridad y los circuitos de entrada y salida del pozo.

Como hecho importante, se debe indicar que entre la primera y segunda fase, del 10 al 18 de Septiembre, se procedió al levantamiento de la plataforma de trabajo, al aumentar de 2,74 a 4,27 m la altura de la subestructura, con objeto de poder colocar en ella la cabeza de pozo necesaria para geotermia.

La perforación del sondeo fue normal y realizada con eficacia y rapidez de acuerdo con el programa propuesto para -

cada uno de los apartados en que se divide una operación de perforación.

El fluido de circulación fue un lodo de sepiolita - bentonita con base agua de mar, cuyas principales características fueron: densidad 1,06 a 1,10, viscosidad 45 - 65 y filtrado 45 -90.

Este sondeo se ha caracterizado por dos cosas: pérdidas de fluido de circulación y ausencia de temperaturas altas.

Las incidencias más importantes fueron las siguientes:

- a) Fase primera: numerosas pérdidas de circulación a partir de los 27 m, que se solucionan bien con tapones de cemento y colmatantes. De 190 a 194 m aparece una cueva muy importante, que no puede ser colmatada ni cerrada; desde esa cota hasta 350 m se continua la perforación con agua de mar sin retorno, por esta causa y con 229,30 m de profundidad se produce rotura de sarta en 159 m (cabeza pez) solucionada con instrumentación de pesca.
- b) Fase segunda: se producen pérdidas de circulación, que se solucionan con tapones de colmatantes y de cemento.
- c) Fase tercera: con 2.284,20 m hay rotura de tren de perforación, quedando la cabeza del pez a 2.236,88 m. Se consigue resolver esta dificultad después de una larga instrumentación.

Seguidamente se indica en un cuadro resumen las principales características del sondeo realizado.

CUADRO RESUMEN

FASE	GEOLOGIA	PERFORACION		ENTUBACION		CEMENTACION COTAS-MTS TONS CEMT	LODO Sepiolita Bentonita Agua de mar	PARAMETROS Peso R.P.M. Caudal l/min.	TRICONOS	MEDIDAS Temperatura Desviación		PERDIDAS FLUIDO	ROTURAS INSTRUMENT.	TIEMPO
		Diámetro	Profundidad	Diámetro	Cota Zapata									
1ª	Coladas de basaltos olivinos alternando con escorias, piroclastos y algunos paleosuelos.	17 1/2"	20 m 350 m	13 3/5"	345,77 m	1) 194 - 350 m 2) 0 - 190 m (40 T)	D: 1,06-1,09 V: 45 - 65 - Agua de mar	2 - 16 T 90 - 110 1.500 a 1.000 l/m.	3 de 4 JS	1º 00'	30º C 32º C 36º C	27 m 190 m	Tricono: 229,30 m Pez: 159 m	523 h
2ª	Mantos de toba basáltica con pasadas de basaltos olivinos	12 1/4"	350 m 1.220 m	9 5/8"	1.214,28 m	TOTAL 0 1.220 m (60 T)	D: 1,06-1,10 V: 48 - 60 F: 45 - 90	8 - 10 T 80 - 100 1.700 l/min.	1 de 4 JS 2 de 5 JS	0º 15' 1º 00' 0º 45' 0º 30' 2º 00'	36º C 35º C 35º C	525 m 697 m 731 m		706 h
3ª	Coladas de basalto piroxénico Tobas vitreas con intercalaciones de basaltos vitreos Calizas Alternancia margas y arcillas	8 1/2"	1.220 m 2.702,4 m	-	-	-	D: 1,08-1,10 V: 45 - 55 F: 60 - 75 pH: 10,5-11,5	10 - 12 T 13 - 14 T - 60 - 70 - 1.200 a 1.550 l/min.	5 de F5 3 de F7 1 de M4L 1 de HH7SG	2º 00' 1º 45' 1º 30' 0º 45' 0º 30'	42º C 53º C 63º C 77º C 90º C	-	Tricono: 2.284,20 m Pez: 2.236,88 m	1.193 h

TOTAL = 2.422

Terminada la perforación del sondeo, se procede a su cierre. Después de desmontar la cabeza de pozo, y cambiar el lodo del pozo por agua de mar, la tubería de 9 5/8" \varnothing , última colocada, se suplementa 1,20 m sobre el nivel del terreno, y se cierra con un tapón ciego asegurado con candados. El pozo queda cubierto con el casing de 9 5/8" hasta 1.214,28 m, y desde esa cota al final está al descubierto.

A partir del día 7 de Diciembre se procedió al desmontaje del equipo de perforación y del equipo de suministro de agua.

Como final del Proyecto, se ha realizado el transporte de retirada de los equipos utilizados en su realización y materiales sobrantes a sus puntos de destino en la Península, que se descompone en: transportes terretres: sondeo - Arrecife, marítimos: Arrecife - Valencia, y terrestres desde Valencia a sus destinos (Madrid, Burgos, etc.).

Control Geotérmico

Se ha llevado a cabo un control geotérmico completo durante la perforación del pozo, a fin de tener la mayor cantidad de datos posibles a la terminación del sondeo para una mejor evaluación de los resultados.

Este control geotérmico se concretaba en tres puntos:

- a) Control geológico
- b) Control termométrico
- c) Control geoquímico

a) Control Geológico. Se ha fundamentado en el análisis y estudio de los detritus de la perforación cada dos metros. Cuando

do se encontraba en una zona conflictiva el detritus se re cogia cada metro e incluso cada medio metro.

Periódicamente y cuando se estimaba necesario se han reali- zado placas transparentes con el detritus que posteriormente eran estudiadas petrográficamente.

Igualmente se han hecho estudios micropaleontológicos de las muestras cuando se detectaba la presencia de fauna.

- b) Control termométrico. Se han llevado a cabo dos tipos de control de la temperatura del terreno. Uno de ellos indirecto por la evolución de la temperatura del lodo y otro directo mediante ensayos termométricos. En cuanto al primero se realizaba medida de la temperatura del lodo cada cuatro o cinco horas.

Los ensayos termométricos se realizaban cada 200 ó 300 metros adaptándose un poco al ritmo de perforación y cambio de triconos. En él se obtenía la temperatura de la formación en el punto de medida de una manera muy aproximada. Se han realizado 12 ensayos de estos a las siguientes profundidades en metros: 350, 800, 1000, 1440, 1700, 1860, 1960, 2080, 2170, 2350, 2440 y 2700.

- c) Control geoquímico

Diariamente se realizaba un control químico del filtrado del lodó de perforación con lo que se pretendía detectar el aporte de fluido de la formación al pozo así como su posible significación geotérmica. En este control se analizaba el contenido en sílice (SiO_2) y amoniaco del filtrado.

Esporádicamente se ha comprobado si el lodo de perforación contenía algún tipo de gas con significación geotérmica, SH_2 , CO_2 , O_2 y H_2O (vapor).

1.3.- RESULTADOS

Los resultados técnicos y las medias obtenidas en la perforación del sondeo de Lanzarote n° 1 se indican a continuación:

1.- <u>Profundidad final del sondeo</u>	2.702,40 m
Fase previa - de 0 a 20 m	20 m
Fase 17 1/2" \varnothing de 20 a 350 m ..	330 m
Fase 12 1/4" \varnothing de 350 a 1220 m .	870 m
Fase 8 1/2" \varnothing de 1220 a 2702,4 m	1.482,40 m
	<u>8</u>
2.- <u>Tiempo de Perforación total</u> ...	2422 h = 100,92 días. 100
Fase 17 1/2" \varnothing ... 523 horas =	21,79 días 21,59
Fase 12 1/4" \varnothing ... 706 horas =	29,42 días 29,15
Fase 8 1/2" \varnothing1193 horas =	49,71 días 49,26
3.- <u>Tiempo de perforación real</u>	1382,75 h = 57,61 días 100
Fase 17 1/2" \varnothing ... 232,00 horas	16,78
Fase 12 1/4" \varnothing ... 348,00 horas	25,17
Fase 8 1/2" \varnothing ... 802,75 horas	58,05
4.- <u>Avance medio total</u>	1,11 m/h - 54 min/m
Fase 17 1/2" \varnothing ...	0,63 m/h - 95 min/m
Fase 12 1/4" \varnothing ...	1,23 m/h - 49 min/m
Fase 8 1/2" \varnothing	1,24 m/h - 48 min/m

5.- Avance medio real 1,94 m/h - 31min/m

Fase 17 1/2" Ø 1,42 m/h - 42 min/m

Fase 12 1/4" Ø 2,50 m/h - 24 min/m

Fase 8 1/2" Ø 1,85 m/h - 32 min/m

6.- Análisis de tiempo perforación (Diagrama adjunto)

	<u>Horas</u>	<u>%</u>
Perforación	1.543,75 h	63,74
- Perforación p. dicha ...	1382,75 h	57,09
- Maniobras y reperforación	161,00 h	6,65
Cementaciones y sus opera ciones	398,75 h	16,47
Entubaciones y controles	56,75 h	2,34
Circulación y fabricar lodos	61,00 h	2,52
Instrumentaciones en general	126,75 h	5,23
Medidas	102,75 h	4,24
Montajes cabeza pozo y pruebas	94,25 h	3,89
Esperas y reparaciones	38,00 h	1,57
T O T A L	2.422,00 h	100,-

7.- Triconos 16

De pastillas

14

De dientes

2

Fase 17 1/2 - De pastillas

3

Fase 12 1/4 - De pastillas

3

Fase 8 1/2

10

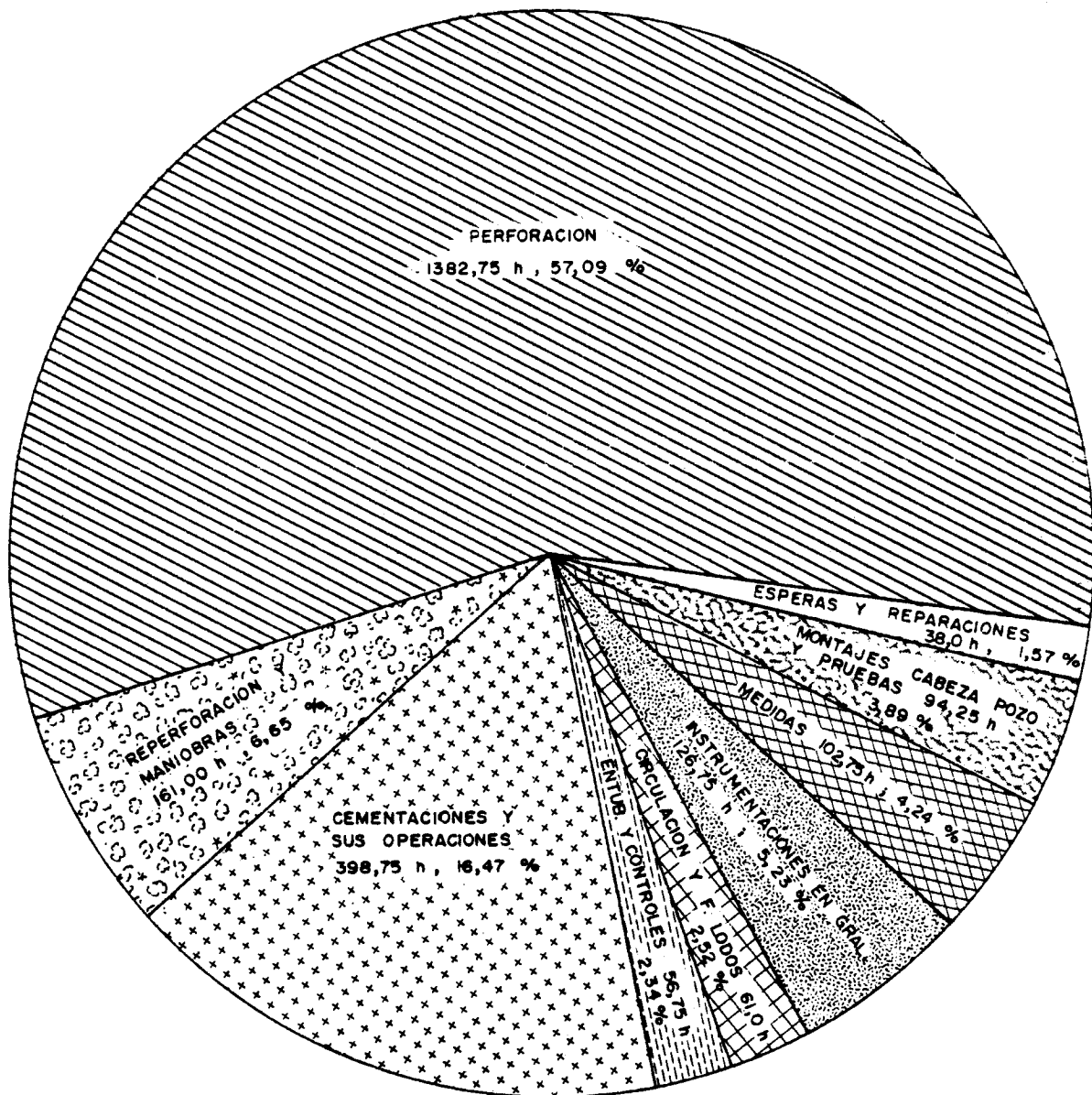
De pastillas

8

De dientes

2

DIAGRAMA DEL ANALISIS DE TIEMPO
SONDEO DE LANZAROTE N° 1



8.- Rendimiento medio por tricono 164,88 m/t

De pastillas 182,41 m/t

De dientes 42,15 m/t

Fase 17 1/2 110 m/t

Fase 12 1/4 275,23 m/t

Fase 8 1/2 148,24 m/t

De pastillas ... 174,76 m/t

De dientes 42,15 m/t

9.- Duración media por tricono 85,31 h/t

De pastillas 94,07 h/t

De dientes 24,00 h/t

Fase 17 1/2 77,33 h/t

Fase 12 1/4 110,08 h/t

Fase 8 1/2 80,27 h/t

De pastillas ... 94,34 h/t

De dientes 24,00 h/t

10.- Avance medio por tricono 1,93 m/h

De pastillas 1,94 m/h

De dientes 1,76 m/h

Fase 17 1/2 1,42 m/h

Fase 12 1/4 2,50 m/h

Fase 8 1/2 1,85 m/h

De pastillas 1,85 m/h

De dientes 1,76 m/h

11.- Temperatura final 90° C

El sondeo ha alcanzado el objetivo geológico previsto : alcanzar los materiales sedimentarios que subyacen la isla, sin embargo no ha ocurrido así con el objetivo geotérmico.

Efectivamente a los 2.598 metros la perforación alcanzó materiales sedimentarios constituidos por calizas micríticas - datadas en el Paleoceno.

Hasta los 2.702 metros ha atravesado, además de dichas micritas, alternancias de margas y arcillas, todas ellas también del Paleoceno.

Litológica y estratigráficamente estos sedimentos son correlacionables con los descritos en los sondeos del proyecto JOIDES, realizados en toda la zona Noroeste de Africa.

Desde el punto de vista geotérmico hay que llegar a la conclusión de que el modelo de campo sobre el que se fundamentó la situación del sondeo Lanzarote - 1 no es correcto. No existe ningún indicio entre los datos del sondeo que haga pensar en que a la profundidad que se pensaba (2.000 - 3.000 metros), exista un almacén geotérmico extendido en las rocas sedimentarias que subyacen a los materiales volcánicos que constituyen la isla. La máxima temperatura alcanzada (90° C) a los 2.700 metros así lo confirma.

La existencia de altos contenidos en sílice en las aguas de formación entre los metros 700 y 850 podrían tener un significado interesante desde el punto de vista geotérmico. Sin embargo su interpretación no es inequívoca en terrenos volcánicos pues de tratarse de sílice amorfa dicho significado desaparecería.

Desechada la posibilidad de un campo geotérmico extendido queda aún como posible explicación a la anomalía térmica superficial, la existencia de un campo geotérmico del tipo de fracturas en los materiales volcánicos y encontrados exclusivamente en la zona de mayor anomalía. Para comprobar esta posibilidad se ha realizado una detallada campaña de toma de gases del subsuelo en el área de anomalías térmicas.

Los análisis de las muestras de gas del subsuelo tomadas en la zona de Islote Hilario (máxima anomalía térmica) muestran que este gas se compone esencialmente de nitrógeno (> 95 %), pequeñas cantidades de vapor de agua (2 % en volumen) y CO_2 (0,05 - 0,5 % en volumen), trazas solamente de oxígeno (0,5 % en volumen).

Por ello se puede concluir que no existe evidencia directa en las manifestaciones accesibles de que el calor sea transferido a la superficie por la circulación de vapor de agua resultante de un yacimiento geotérmico. Ante éste resultado hay que pensar en la existencia de una masa de roca caliente seca cerca de la superficie y también, posiblemente, en la proximidad relativa de una cámara magmática. Sin embargo es muy difícil definirse acerca de las dimensiones, forma y características de este cuerpo caliente.

En este estado de la cuestión parece que desde el punto de vista de explotación de la energía geotérmica la única solución sea la extracción de calor de roca caliente seca para producción de vapor. La tecnología de esta solución está actualmente en investigación con plantas pilotos en Estados Unidos y Alemania. El caso de Lanzarote puede ser uno de los pocos en el mundo recomendados para la realización de una investigación piloto debido a la poca profundidad de los posibles sondeos.

Como conclusión cabe recomendar una revisión al estado actual de esta tecnología en el mundo y estudiar su posible adaptación en Lanzarote.

2.- INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

2.1. INTRODUCCION

Las Naciones Unidas vienen recomendando desde 1961 a sus países miembros el aprovechamiento de sus recursos geotérmicos (U.N. Conference on New Sources of Energy. Roma 1961).

El auge alcanzado por el Geotermismo y el interés despertado por esta fuente de energía en todos los países, se puso de manifiesto en 1970 en Pisa, donde estuvieron representados 50 países en el "U.N. Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources".

Dado el crecimiento de la demanda de energía provocado por el espectacular desarrollo de la economía mundial en los últimos tiempos, la actual situación en este campo se hace dramática. Todo esfuerzo en el sentido de una mejora del aprovisionamiento es poco y nunca suficiente.

Los acontecimientos de finales de 1973 causaron un impacto dramático en el mundo sobre todo en el panorama energético global. Las restricciones y aumentos del precio de los crudos cambiaron las bases de la economía energética, dando lugar a que el problema energético se convirtiera en el número uno de las preocupaciones de los gobiernos.

Según estimaciones del Banco Internacional para la Reconstrucción y Desarrollo, los países en vía de desarrollo gastaron en 1973 5,3 billones de dólares en importaciones de crudo. Esta cifra se convirtió en 14,9 billones de dólares al año

siguiente. Para las economías desarrolladas, las importaciones de crudo pasaron de 37 billones de dólares en 1973 a 99 billones de dólares en 1974.

A la vista de esta situación en todas las naciones se han realizado grandes esfuerzos para desarrollar los recursos energéticos propios, supliendo así parte de las importaciones.

La energía geotérmica es uno de tales recursos, y actualmente ofrece en muchos países atractivas posibilidades económicas para reemplazar a los crudos en la generación de electricidad y suministro de calor.

La investigación de recursos geotérmicos ha sido planificada en España en tres fases:

- a) inventario general de anomalías geotérmicas
- b) delimitación de zonas geotérmicas
- c) investigación de recursos por zonas

Las fases a y b ya se han realizado para todo el territorio nacional, y la c para algunas zonas. Una de estas zonas es la Isla de Lanzarote.

Esta isla reúne especiales condiciones que hacen suponer la existencia en profundidad de un yacimiento geotérmico. En las erupciones de 1730-1736, las principales históricas habidas en el archipiélago canario, los centros de emisión estaban alineados en una dirección E-NE a W-SW entre el Golfo y Tinguaton, siendo la Montaña de Fuego el principal centro de erupción. Esta zona es hoy asiento de un área con abundantes manifestaciones de anomalías geotérmicas.

En 1824 (Hausen, 1959) los observadores locales indi-

can que agua salada caliente, fué emitida por 3 ó 4 orificios que todavía son visibles. Esta erupción parece tener las características de una explosión freática, indicando la presencia de un nivel impermeable en profundidad.

Desde 1824, no ha habido más actividad volcánica, pero - en un área de unos 2 km² alrededor de la Montaña de Fuego, hay evidencia de emisión de gases calientes, provenientes de fracturas, o vientos donde existen temperaturas entre 200° y 400°C.

Temperaturas del orden de 30°C en los pequeños sondeos realizados en la isla para agua, son muy abundantes, lo que indica un flujo de calor anormal, si se piensa que la temperatura media anual es de 20°C.

2.2.- ANTECEDENTES

Este vulcanismo histórico ha llamado la atención de numerosos investigadores y ha captado el interés de estudiosos y técnicos, desde hace muchos años.

Desde que en el año 1948 el I.G.M.E. emprendió el primer estudio científico de la anomalía geotérmica de la Montaña de Fuego hasta el momento actual, diversos estudios geológicos y geofísicos han llegado a establecer un modelo conceptual del comportamiento térmico en la parte occidental de la Isla.

Se ha distinguido por una dedicación continuada en los últimos años la Cátedra de Petrología de la Universidad de Madrid que ha suplido con un meritorio esfuerzo personal la escasa dotación económica con que ha contado.

Entre los trabajos llevados a cabo por dicho grupo cabe mencionar:

Cartografía geológica

Se ha realizado a escala 1:10.000 con gran detalle en cuanto a cualquier tipo de manifestación geotérmica.

S.E.V.

Aunque han sido detectadas varias áreas con baja resistividad, hay que pensar en problemas de entrada de corriente en el terreno, que hace dudosos los resultados obtenidos. El método no parece adecuado, y las bajas resistividades más que anomalías, deben reflejar fenómenos físicos superficiales.

Gravimetría

Realizada con gravímetro Askania GS-15, muestra una anomalía negativa espectacular con un mínimo de 132 mgal, en la zona de anomalía geotérmica, frente a los 150 de media en la isla y máximo de 175 mgal. Los valores mínimos son similares a los de yacimientos geotérmicos conocidos, aunque estos datos deben tomarse con una cierta reserva, puesto que el control topográfico no ha sido muy preciso.

Análisis isotópicos

Los análisis isotópicos del O_2 contenido en el agua condensada en superficie, proveniente de escapes de vapor muestran su contacto con vapor sobrecalentado a alta temperatura. Los valores D son prácticamente constantes y el máximo enriquecimiento observado en el vapor tiene un aumento en ^{18}O de 14,7 lo que parece indicar un contacto con roca carbonatada.

Termometría

Se ha realizado una campaña de sondeos termométricos (a menos de 3 m) cuyos resultados se pueden resumir en la existen

cia de dos áreas con temperaturas superiores en superficie, a los 30°C y unas fracturas en las que la salida de vapor origina temperaturas de aproximadamente 100°C.

2.3.- PROYECTO DE "EVALUACION DEL POTENCIAL GEOTERMICO DE LANZAROTE"

El año 1975 el INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA - presentó un proyecto de "Evaluación del Potencial Geotérmico - de Lanzarote" que el Gobierno aceptó. En dicho proyecto se pretendía, además de la investigación en Lanzarote, seleccionar otras áreas en las demás Islas Canarias.

Entre todas las acciones realizadas cabe destacar por su interés y resultados la campaña de sísmica marina.

Esta campaña tenía como finalidad informar sobre las formaciones que constituyen el basamento de la isla. Se realizaron 12 perfiles en los que se simultanearon la toma de datos sísmicos, gravimétricos y magnéticos. De los métodos sísmicos se utilizó el de reflexión.

Del estudio y elaboración de datos se puede suponer que las manifestaciones volcánicas aflorantes en las islas han cortado sedimentos terciarios de la cuenca oceánica, depositándose sobre la misma.

Dentro de este mismo proyecto y con la colaboración del equipo de la Universidad de Madrid y Consejo Superior de Investigaciones Científicas, se ha llevado a cabo una campaña de sísmica pasiva, en la que se ha registrado el ruido microsísmico de la zona. En esta campaña se ha puesto de manifiesto la existencia de un área de anomalía que "grosso modo" coincide con las anomalías termométricas.

Finalmente y ante la existencia de todos estos indicios positivos, el proyecto contempló la perforación de un sondeo exploratorio profundo.

2.4.- SONDEO GEOTERMICO LANZAROTE - 1

Ante la espectacular subida de costes habida en los últimos años, dada la importancia de las investigaciones emprendidas y la necesidad de apoyar científicamente la perforación del sondeo con la aplicación de otras técnicas de medidas superficiales y en pozo, al objeto de conseguir un mejor conocimiento del yacimiento, el MINISTERIO DE INDUSTRIA promovió un acuerdo entre tres de sus organismos directamente relacionados con el tema:

Instituto Geológico y Minero de España
 Centro de Estudios de la Energía
 Instituto Nacional de Industria

Este acuerdo se concretó en un convenio entre el Instituto Nacional de Industria, la Dirección General de Minas y la Dirección General de la Energía, en Febrero del pasado año, que estableció las bases del programa común para la realización del sondeo.

La inversión total realizada ascendió a 180 MP, cuya financiación se han repartido los tres organismos, de acuerdo con el siguiente cuadro:

Instituto Geológico y Minero de España	42,5%
Instituto Nacional de Industria	37,2%
Centro de Estudios de la Energía	20,3%

2.5.- ORGANIZACION DE LOS TRABAJOS

El seguimiento y control de los trabajos llevados a ca

bo, los ha realizado un Comité de Gerencia integrado por los Sres. D. Pedro Fontanilla Soriano, Director del IGME; D. José Luís Niño de Olaiz, Director de Ingeniería y Producción del INI y D. Juan Temboury Villarejo, Director del C.E.E., a través de un Supervisor nombrado para éste proyecto que ha sido D. Jerónimo Abad Fernández, Jefe de Departamento del IGME.

Las funciones del Supervisor del proyecto han sido:

- representación del Comité de Gerencia cuando éste lo considere oportuno
- supervisar y resolver todo lo relativo a: gastos de operación, previsiones de gastos, inversiones, financiación, etc.
- supervisar y controlar todas las labores técnicas del proyecto.

Dada la complejidad del sondeo, en su realización han intervenido una serie de técnicas, equipos y materiales de muy distinta índole, cuya coordinación se ha llevado a cabo, de una manera similar a lo que ocurre en la investigación petrolera, por una empresa operadora.

Ha actuado como operadora la EMPRESA NACIONAL ADARO DE INVESTIGACIONES MINERAS, S.A., que se ha responsabilizado de :

- contratación, dirección y control de las operaciones de realización del sondeo
- dirección del control geológico del pozo y supervisión de las medidas y ensayos
- petición y estudio de ofertas
- compras y operaciones auxiliares

Para alcanzar estos objetivos la empresa operadora ha puesto a disposición del proyecto y han actuado a plena dedicación los siguientes técnicos:

Alvaro Rodríguez Martínez: (Dr. Ingeniero de Minas)	Director de Proyecto y Jefe de Perforación y operaciones.
José Sánchez Guzmán: (Ingeniero de Minas)	Director del control geológico del pozo, geología general y supervisión de medidas y ensayos.
Nicolás Arauzo Molina:	Superintendente de Perforación.
José Villas Encinas:	Gestión y Materiales.
Domingo Pavón Cabré:	Ingeniería Civil.

A partir del mes de Octubre el control geológico contó con la colaboración de Luis A. González Fernández (Ingeniero - de Minas).

Con independencia de estos técnicos relacionados directamente con el sondeo, han actuado en labor de asesores los siguientes técnicos de la Empresa Nacional Adaro:

Emilio Moreno de Castro: (Dr. Ingeniero de Minas)	Micropaleontología y Estratigrafía.
Fernando Pendás Fernández: (Dr. Ingeniero de Minas)	Geotermismo
José Calderón Laborde: (Dr. Ciencias Químicas)	Lodos y Operaciones Especiales.

Dadas las características especiales de la investigación

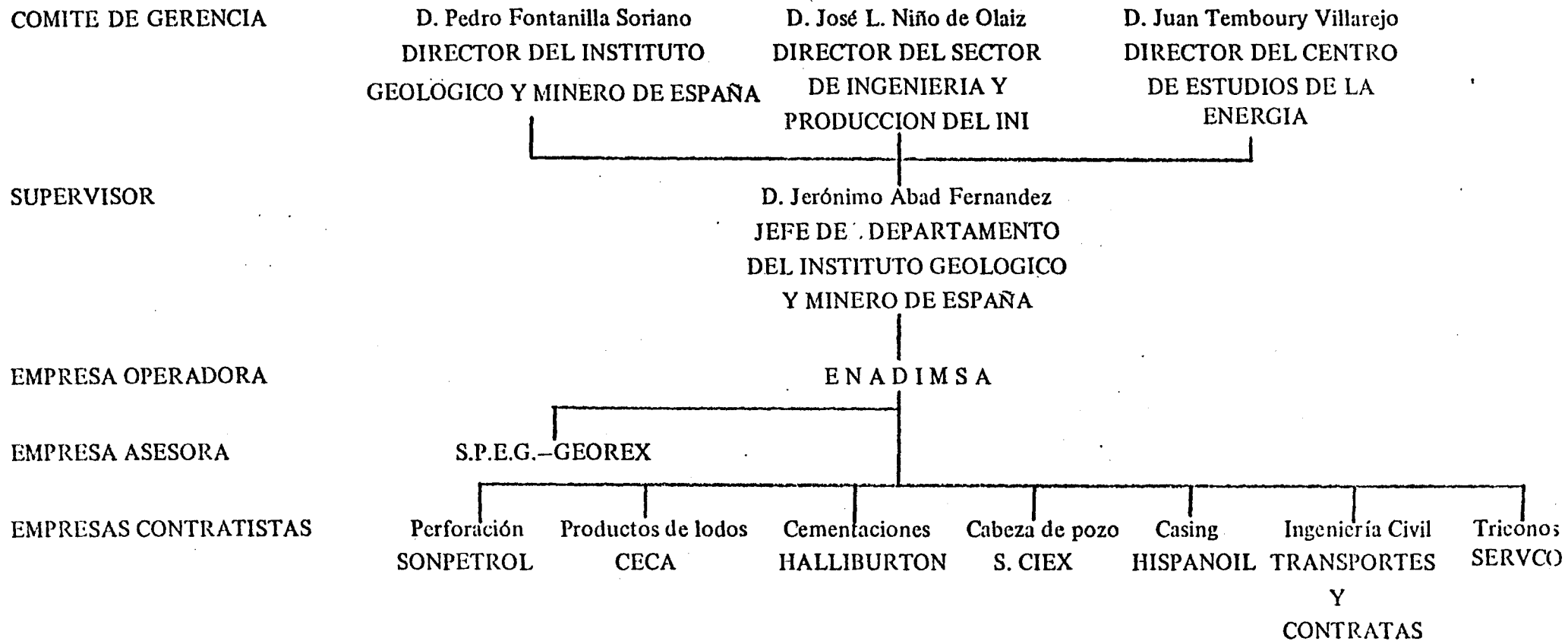
emprendida y por tratarse del primer sondeo profundo de investigación geotérmica que se realizaba en España, con sus peculiares problemas de temperatura, la Empresa Operadora ha contado para el desarrollo de sus funciones con la asesoría de una Empresa de ámbito mundial y amplia experiencia en geotermismo. Esta empresa ha sido la Societé de Prospection et d'Etudes Geothermiques (S.P.E.G. - GEOREX). Los asesores que han prestado sus servicios en el proyecto han sido:

A. Ten Dam. Asesor en geotermismo.

R. Vidal. Asesor en perforación.

Por último para la ejecución de cada fase o suministro de equipo y material adecuado se ha contado con la participación de empresas de probada solvencia y experiencia en su campo de aplicación. Las empresas seleccionadas se mencionan en el ad junto Diagrama operativo.

DIAGRAMA OPERATIVO



3.- GEOLOGIA

3.1.- GEOLOGIA DE LA ZONA

Las Islas Canarias se formaron a partir del Eoceno en la pendiente Continental Africana, cerca del talud continental, en una latitud muy similar a la de la fractura Atlántida ligada a la cordillera central Atlántica.

Su formación debió comenzar con una intrusión de los sedimentos existentes, por materiales plutónicos máficos. Posteriormente sobrevino una fase eruptiva submarina en la que los productos de emisión fueron piroclásticos fundamentalmente. Tras un largo período de calma, comenzaron nuevas emisiones, esta vez subaéreas y de tipo alcalino.

Estaban constituidas por basaltos y forman una serie tabular que alcanza potencias superiores a los 1.000 metros. Un nuevo período de calma siguió a esta segunda fase, cuya duración se ha estimado en 6 - 8 millones de años.

Por último tuvo lugar y aún prosigue un nuevo ciclo de emisiones no tan homogéneo geográficamente como los anteriores, constituido por basaltos, traquitas, fonolitas, traquibasaltos, etc. La última fase de este ciclo si que es bastante similar en todas las islas y está constituida por emisión de basaltos alcalinos.

En la estratigrafía establecida por Fuster se conocen como series basálticas III y IV.

La mayor parte de la Isla de Lanzarote está cubierta por estos materiales. La serie IV abarca hasta las últimas emisiones históricas de los siglos XVIII y XIX.

La zona en que se halla ubicado el sondeo fué un gran centro de emisión de materiales en el siglo XVIII.

Se pueden reconocer en superficie algunas grandes fracturas y fisuras, materializadas por conos volcánicos y que fueron los centros de emisión de lavas y piroclastos. Estas fracturas están orientadas según direcciones predominantes ENE-WSW.

No existen datos claros de que estas fracturas estén asociadas a movimientos verticales u horizontales.

Asociadas a las grandes fracturas tecto-volcánicas se pueden apreciar pequeñas fisuras de dirección generalmente perpendicular a las principales.

3.2.- OBJETIVOS

Con el estado de conocimientos adquiridos y en vista del elevado coste de una, eventual y complementaria, campaña de investigación (que por otra parte nunca sería totalmente resolutiva) se consideró que solamente un sondeo de exploración profundo podría determinar la existencia del acuífero profundo capaz de producir fluidos geotérmicos.

Como queda dicho, el objetivo fundamental del sondeo era confirmar el modelo de yacimiento geotérmico al que se había llegado y en caso afirmativo, establecer una primera evaluación del potencial del campo, así como, en la medida de lo posible, poner en producción el pozo.

3.3.- PREVISIONES

No existían en la Isla de Lanzarote sondeos muy profundos que permitieran llevar a cabo una previsión fidedigna de los terrenos que se iban a atravesar durante la perforación.

El sondeo más profundo existente previamente alcanzaba los 450 metros. Según este sondeo y el conocimiento geológico de superficie la previsión era la siguiente:

- 0 - 200 m - Coladas y escorias basálticas de las series II, III y IV.
- 200 - 300 m - Coladas basálticas serie I
- 300 - ? - Tobas vítreas.

De otro lado, mediante la campaña de sísmica marina llevada a cabo por el Instituto Geológico y Minero de España en 1975 se podría interpretar que el techo del basamento sedimentario de la isla se encontraba aproximadamente a 2.300 m por debajo del nivel del mar, lo que significaba en el punto del sondeo a una profundidad aproximada de 2.500 m. Esta predicción se basaba en los datos de profundidad de dicho nivel sedimentario en el mar y su tendencia al aproximarse a la isla.

En cuanto a la termometría y en base a las temperaturas alcanzadas en superficie en algunos puntos, la previsión era de alcanzar en el almacén geotérmico, temperaturas de 300 - 350° C.

3.4.- CONTROL DE POZO

Durante la perforación se ha llevado a cabo un control de todas aquellas características geológicas, geofísicas y geo

químicas que permitiesen alcanzar un mejor conocimiento del campo geotérmico. Este control se concretaba en los siguientes estudios.

- a) Control geológico: Se ha basado en el reconocimiento exhaustivo del cutting extraído del sondeo. Se llevaba a cabo primeramente una descripción visual de la muestra mediante examen con binocular. En esta descripción se atendía tanto a factores litológicos, como mineralógicos, estado general de la muestra, alteraciones de minerales, etc. Se ha prestado especial atención a la presencia de paleosuelos, sobretudo aquellos de gran espesor que pudieran suponer discontinuidades importantes a nivel regional y que sirviesen de base a correlaciones con futuros sondeos.

Se han realizado estudios petrográficos de placas confeccionadas a partir del "cutting", periódicamente y cuando se producían algún cambio notable en la formación perforada. El Informe de estos estudios se incluye en los Anexos.

Cuando se ha detectado la presencia de fauna se ha llevado a cabo un detallado estudio micropaleontológico, que ha permitido fijar la época de deposición de algunos niveles.

- b) Control termométrico: Con objeto de poder disponer de datos de gradientes que no se podrían conocer posteriormente si el pozo fuera productivo, se ha llevado a cabo un control continuo de la temperatura de los terrenos atravesados.

A tal fin se disponía de dos métodos: uno indirecto y solamente indicativo de la evolución de la temperatura y que consistía en llevar un registro de la temperatura del lodo cada 4 ó 5 horas. El segundo método directo y bastante más exacto consistente en la realización de un ensayo termométrico cada 200 - 300 metros, según los datos del primer método.

Este ensayo termométrico consistía esencialmente en estudiar la evolución de la temperatura en un punto después de una parada. Se tiene en cuenta a la hora de representar esta evolución los siguientes datos: tiempo que ha estado sometido el punto a refrigeración por el lodo, tiempo total de parada de perforación y tiempo desde que cesa la circulación del lodo (téngase en cuenta que después de parada la perforación se continúa circulando como norma general durante media hora aproximadamente). Con estos datos y la evolución de la temperatura después de detenida la circulación se puede determinar con bastante aproximación para paradas de 8 a 10 horas, la temperatura de equilibrio de la formación.

La evolución de la temperatura se registra mediante un equipo de medidas Kuster. Este equipo está formado en síntesis por un instrumento registrador, un elemento de temperatura y un reloj.

La variación de temperaturas se manifiesta a través del elemento medidor en un movimiento horizontal y circular del registrador. El tiempo se manifiesta a través del reloj y un tornillo helicoidal en un movimiento vertical del registrador. La composición de ambos movimientos nos da un gráfico de registro Temperatura - Tiempo, a partir de la cual se obtienen los datos para el estudio de la evolución de la temperatura.

c) Control geoquímico: Con objeto de conocer las características de los posibles fluidos geotérmicos y para realizar termometrías hidroquímicas se lleva a cabo un control químico del lodo consistente esencialmente en:

1. Estudio químico del filtrado, fundamentalmente contenido en sílice para detectar aportes de agua de la formación

al filtrado así como posible origen geotérmico del agua.
Diario.

2. Detección de posibles gases en los lodos que podrían ser un índice de la proximidad de un almacén geotérmico.

Se realizaba esporádicamente y en caso de un aumento fuerte de la temperatura del lodo se hubiera realizado de una manera más continuada.

3.4.1.- Control Geológico

3.4.1.1.- Corte litológico

<u>Profundidad</u>	<u>Litología</u>
0 - 37	Alternancia de coladas y escorias de basaltos - olivínicos muy frescos.
37 - 53	Paleosuelo
53 - 175	Alternancia de basaltos olivínicos a veces alterados con piroclastos y pequeños paleosuelos.
175 - 340	Alternancia de basaltos olivínicos muy alterados con piroclastos y paleosuelos rubefactados. Olivino transformado en gran parte a iddingsita. Vacuolas rellenas de carbonatos y ceolitas.
340 - 353	Paleosuelo rubefactado.
353 - 685	Grandes mantos de toba vítrea, unas veces muy alterada y de aspecto arcilloso, otras compacta, de colores verde, negro y a veces claras. Esporádicamente intercalaciones de basaltos olivínicos muy alterados. (¿diques?).

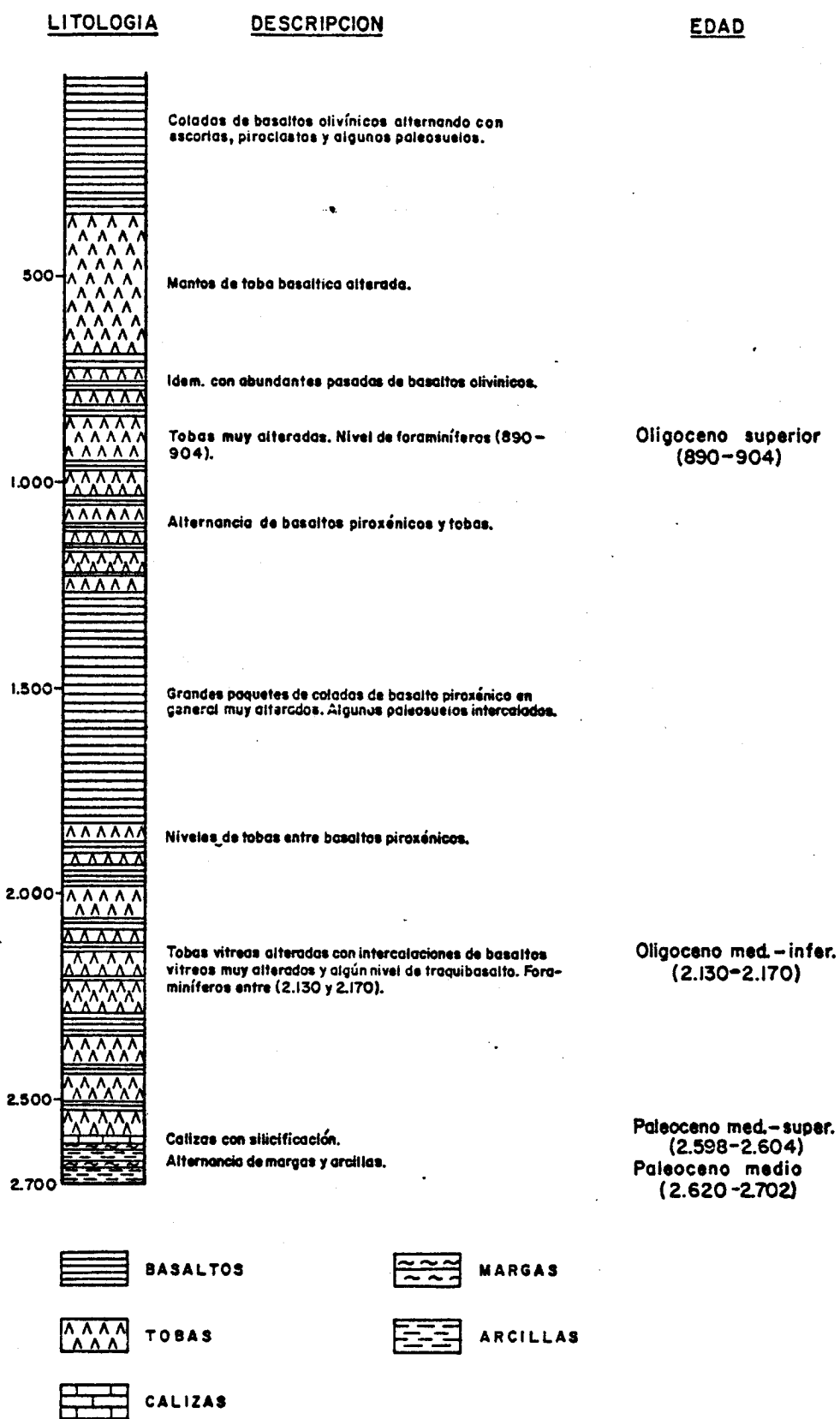


Fig. 1.- Corte geológico del sondeo Lanzarote-1

- 685 - 840 Abundantes pasadas de basaltos olivínicos de gran potencia (25 - 40 metros), muy alterados, alternando con tobas verdes.
- 840 - 910 Toba vítrea verde muy arcillosa. Algunas pasadas con foraminíferos que se hacen muy abundante en tre los 890 y 904 metros.
- 910 - 943 Toba poligénica soldada
- 943 - 1265 Alternancia de basaltos piroxénicos más o menos alterados con mantos de tobas poligénica a veces soldada, a veces arcillosa y piroclastos alterados.
- 1265 - 1760 Grandes paquetes de coladas de basaltos piroxénicos más o menos alterados alternando con paleosuelos.

Ocasionalmente aparecen basaltos olivínicos -augiticos, muy alterados y algunos traquibasaltos.
- 1760 - 1818 Zona con gran abundancia de pasadas de basaltos piroxénicos muy frescos (¿diques?) alternando con basaltos muy alterados.
- 1818 - 1990 Alternancia de basaltos piroxénicos muy alterados con traquibasaltos, tobas y paleosuelos. Abundantes mineralizaciones de pirita.
- 1990 - 2550 Mantos de tobas vítreas poligénicas y compacta , alternando con otros de toba verde arcillosa y con pasadas de basaltos olivínico-augíticos muy vítreos y alterados. Ocasionalmente aparecen traquibasaltos. Abundante mineralizaciones de pirita, clorita, serpentina y epidota.

Entre 2124 y 2176 niveles de foraminíferos en toba verde arcillosa.

2550 - 2598 Toba vítrea poligénica muy alterada con algunos cantos traquíticos.

2598 - 2605 Micrita con aportes de cuarzo detrítico tipo - silt. Algunas pasadas muy silicificadas y con recristalización.

Abundante microfauna.

2605 - 2702 Alternancia de margas y arcillas finamente estratificadas de colores verdes, marrón y beige. Pasadas silicificadas. Algunos niveles arenosos tipo silt y otros de micrita oolítica.

En los tramos de grano más fino se aprecia estratificación cruzada.

Abundante microfauna.

3.4.1.2.- Estratigrafía

Como se pone de relieve en el anterior corte litológico se han atravesado algunos niveles con foraminíferos que han servido, gracias al detallado estudio micropaleontológico para fijar la cronología y por lo tanto la estratigrafía de dichos niveles.

En los anexos que acompañan a esta memoria, se incluye el informe de dicho estudio.

Las conclusiones de este informe se pueden resumir en:

1. Las muestras de los metros 898 - 902 pueden atribuirse al Oligoceno superior, parte media de la zona de Globigerina - ciperocosis de foraminíferos.
2. Las muestras de los metros 2124 a 2176 pertenecen probablemente al Oligoceno medio - inferior.
3. Las muestras de los metros 2598 a 2604 son de un Paleoceno medio - superior (Montiense - Thanetiense).
4. Las muestras estudiadas a partir del metro 2648 y hasta el 2702 pertenecen al Paleoceno medio (Montiense).

Junto a estas conclusiones del informe de micropaleontología, se pueden deducir de la columna litológica, en su parte alta las siguientes consideraciones:

- Los materiales encontrados de 0 a 37 metros, pertenecen a las erupciones históricas habidas en la zona (1730 - 36).
- Entre 37 y 175 metros se atraviesan materiales de la serie - II (clasificación establecida por Fuster et. al. 1968).
- A partir de 175 m y dado el estado de alteración, así como la frecuencia de paleosuelos, se puede decir que se entra en la Serie I.

Siguiendo con la columna litológica, a partir de los 950 metros aproximadamente empiezan a aparecer basaltos piroxénicos que alternan con tobas hasta los 1265 y se hacen predominantes hasta los 1990 m. Estos basaltos, dada su matriz microcristalinas y la presencia de algunos niveles de paleosuelos - rubefactados, pensamos que sean subaéreo; con lo que se tiene del orden de 1000 metros de materiales muy similares, subaéreos,

emitidos entre el oligoceno medio y oligoceno superior.

Inmediatamente debajo de estos paquetes de basaltos piroxénicos aparecen de nuevo tobas vítrea muy alteradas, con foraminíferos del Oligoceno medio en los metros 2130 a 2170. Estas tobas submarinas alternan con lavas basálticas que por su matriz vítrea se pueden considerar también submarina. Los basaltos están también muy alterados, el olivino ya no se transforma a iddingsita, sino a minerales serpentínicos. Se encuentran abundantes ceolitas, carbonatos, analcima y también clorita.

Por similitud de estos materiales extremadamente transformados, con las series submarinas descritas en la memoria de Fuenteventura por Fuster, hay que considerar que pertenecen al "complejo basal".

En la base de estos materiales se encuentran tobas muy alteradas con cantos traquíticos frecuentes.

Todos estos materiales que consideramos como perteneciente al "complejo basal" se emitieron muy posiblemente entre oligoceno inferior y medio.

Inmediatamente debajo de ellos se encuentran los materiales sedimentarios que por los abundantes fósiles encontrados se han datados del paleoceno medio y superior.

Los primeros metros del sedimentario 2598 - 2605 son micritas que se pueden datar entre Montiense superior - Thanetiense.

Los restantes materiales sedimentarios 2605 - 2702 están constituidos por alternancia de arcillas y margas arcillo-

sas, con algunos niveles silíceos de grano fino, tamaño silt y otros de micritas oolíticas. La abundante fauna encontrada ha servido para clasificar todos estos sedimentos arcillosos - como Paleoceno medio (Montiense).

3.4.2.- Perfil de temperaturas

Como se dice en la introducción de éste apartado 3.4 se ha llevado a cabo un control termométrico del pozo a través de dos métodos; uno indirecto y poco exacto (temperatura del lodo) pero que servía para conocer la evolución de la temperatura del terreno, y otro directo y de bastante exactitud consistente en la realización de ensayos termométricos, cuyos principios y desarrollo se mencionaron ya en la introducción.

Temperatura del lodo. La evolución de la temperatura del lodo se expresa en el siguiente cuadro:

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Temperatura (°C)</u>
60	30
150	31
180	31,5
350	33
500	34
580	35
750	36
900	37
1.600	37,5
1.800	38
1.880	39
2.000	40
2.200	41
2.270	42
2.320	43

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Temperatura (° C)</u>
2.360	44
2.400	45
2.450	46
2.500	47
2.600	48
2.700	49

Temperatura de la formación. El perfil de temperaturas de equilibrio de la formación se puede resumir como sigue:

<u>Profundidad (m)</u>	<u>Temperatura (° C)</u>	<u>Gradiente °C/100 m</u>
350	34	
800	37,5	0,78
1.000	39	0,75
1.440	41,2	0,5
1.700	45	1,46
1.860	53,8	5,5
1.960	56,8	3,0
2.080	63,3	5,4
2.170	68	5,2
2.350	77	5,0
2.440	80	3,3
2.700	90	3,8

El análisis de la tercera columna de este cuadro, que nos da el gradiente geotérmico en el terreno, permite llegar a las siguientes conclusiones.

1. Por encima de los 1.700 metros del gradiente geotérmico va ría entre 0,5° C/100 m y 1,5° C/100 m, lo que indica la pre sencia de terrenos porosos y permeables conteniendo agua a baja temperatura.

2. A partir de 1.700 metros el gradiente es algo mayor que el normal (1,4 á 1,8 veces). Esto indica la presencia a estas profundidades de terrenos impermeables en los que la circulación de agua es prácticamente nula. Sin embargo, también indica la ausencia de un foco de calor en las proximidades, ya que en caso contrario el gradiente debería ser superior a 10 veces el gradiente geotérmico normal.

Por los datos que se tienen en otros puntos de la Isla de Lanzarote, el gradiente registrado de 5° C/100 m es normal en esta región.

Si se analiza la evolución de la temperatura de los lodos en confrontación con la temperatura del terreno, se ve que hasta 1.000 ó 1.400 metros la temperatura del lodo refleja de una manera bastante fiel, la temperatura de la formación con una diferencia de pocos grados. Sin embargo cuando la temperatura del terreno empieza a aumentar, es decir a partir de 1.700 metros, se establece un fuerte aumento en la diferencia de temperaturas, de manera que la evolución de la temperatura del lodo refleja sólo de una manera muy débil el aumento en la temperatura del terreno. Quizás esto tenga una explicación en la presencia de zonas frías inmediatamente por encima de los 1.600 metros.

3.4.3.- Geoquímica

En el control geoquímico del lodo llevado a cabo durante la perforación no se ha llegado a detectar presencia de gases.

En cuanto a los análisis químicos se han estudiado fundamentalmente contenidos en sílice y amoniaco. Los análisis de otros cationes y aniones realizados no han tenido especial sig

nificación dado que para mantener las propiedades físicas del lodo se han añadido numerosos aditivos químicos.

El contenido en amonio del filtrado del lodo ha permanecido prácticamente constante a lo largo del sondeo 0,8 - 1,2 mgr/litro; que por otra parte es igual al contenido del agua de mar, con la que se fabricaba el lodo.

En cuanto al contenido en sílice generalmente ha fluctuado durante la perforación entre 20 y 35 p.p.m. Si se tiene en cuenta que el agua de mar contenía 5 á 6 p.p.m., se puede deducir que el aumento era debido al aporte del agua de la formación. Y por otra parte estos valores no son anormales en aguas subterráneas.

Sin embargo, entre los metros 700 y 850 y coincidiendo con una zona de frecuentes pérdidas parciales se registró un aumento del contenido en sílice hasta valores de 100-120 p.p.m. Teniendo en cuenta que el filtrado se duplicó en volumen al perforar dicha zona se puede considerar que el agua aportada por la formación suponía más del 50 % del filtrado.

Así pues hay que considerar que dicho agua contenía del orden de 190 - 200 p.p.m. de sílice. El significado de este contenido en sílice es muy diferente, si se trata de sílice amorfa o de sílice cristalizada (cuarzo, tridimita o cristobalita). Desgraciadamente en el sondeo no era posible su determinación y tampoco se recogió suficiente cantidad de filtrado como para realizarlo en laboratorio.

Si se trataba de sílice amorfa, dicho contenido significa que la temperatura a la que tuvo lugar el último equilibrio era del orden de 40 - 45° C lo cual no es anormal, dado que la temperatura de la formación calculada era de 37,5° C.

Si en lugar de sílice amorfa fuera sílice cristalizada la temperatura de equilibrio oscilaría entre 170 y 210° C aproximadamente según la forma de cristalización.

3.5.- INTERPRETACION

El estudio de los resultados expuestos en el apartado anterior 3.4, nos lleva a la conclusión de que el modelo sobre el cual se fundamentó la situación y posterior perforación del sondeo Lanzarote 1 no es correcto y por lo tanto debe ser sometido a revisión.

En efecto no se ha encontrado ningún indicio de que en el basamento sedimentario cuyos 100 primeros metros se han perforado, exista un almacén fracturado extendido conteniendo vapor de agua. Ni incrustaciones típicas geotermales, ni depósitos de minerales o alteraciones que indicasen circulación de vapor en épocas pasadas, ni temperaturas elevadas.

El único indicio que podría ser positivo es el elevado contenido en sílice del agua de formación entre 700 y 850 metros, pero su interpretación es dudosa.

Por las mismas razones antes expuestas hay que poner en duda la existencia de una cámara magmática superficial y regional como fuente de calor que dé origen a la elevada anomalía térmica superficial. Esta fuente ha de ser bastante más localizada.

Finalizado el sondeo se ha llevado a cabo una campaña de toma de gases en superficie en las zonas de mayor anomalía térmica. El resultado de este estudio, actualmente en fase de elaboración, podrá dar luz acerca de un posible modelo alternativo (fracturas verticales muy localizadas), aunque realmente las primeras impresiones de campo también fueron negativas en éste sentido.

Con independencia del significado geotérmico del pozo, expresado en las anteriores líneas, la perforación del sondeo

Lanzarote 1, ha aportado nuevos e interesante datos al problema de la cronología y desarrollo del origen de esta zona de Las Canarias.

En este sentido cabe destacar los siguientes hechos puestos en evidencia por las dataciones realizadas durante el sondeo.

1. Los últimos sedimentos depositados con anterioridad a las emisiones volcánicas tuvieron lugar en el Paleoceno medio - superior (Montiense - Thanetiense).
2. La litología y estratificación de estos sedimentos hacen pensar en ambiente de sedimentación típico de gran profundidad (turbiditas).
3. Durante el Oligoceno medio ó con anterioridad se producen - emisiones submarinas de tobas, actualmente muy alteradas, con algunos niveles fosilíferos (2.130 - 2.170). Las lavas que se intercalan en estas tobas, se encuentran muy alteradas.
4. Entre Oligoceno medio (2.130 m) y Oligoceno superior (900) tiene lugar una intensa actividad efusiva subaérea que origina del orden de 1.000 metros de materiales basálticos.
5. En el Oligoceno superior se vuelven a depositar tobas submarinas con niveles fosilíferos (850 a 910). Para que esto pudiese tener lugar, se había producido con anterioridad un hundimiento de toda la serie subaérea anterior.

De estos hechos se pueden deducir las siguientes conclusiones geológicas:

- a) Las Islas Canarias al menos las orientales empezaron a formarse a finales del Eoceno o principios del Oligoceno coincidiendo este origen con las primeras fases de la orogénia alpina del Atlas.
- b) Durante gran parte del Eoceno existe un hiato en la sedimentación, que puede ser debido, como apuntan algunos autores, a un cambio en las condiciones de circulación en el fondo del oceano.
- c) Aunque basada solamente en los 100 metros de Paleoceno cortados por el sondeo, se puede llegar a una correlación litológica y estratigráfica entre el sondeo Lanzarote 1 y los realizados en el proyecto JOIDES. Los JOIDES perforados en la pendiente continental cortan el Paleoceno a profundidades comprendidas entre 4.000 y 6.000 metros bajo el nivel del mar, mientras que el Lanzarote 1, lo corta a 2.380 metros bajo el nivel del mar. Esto nos lleva a la conclusión de que la formación de Las Canarias produjo un levantamiento general de los sedimentos anteriormente depositados. En algunos casos como Fuenteventura y La Gomera estos sedimentos han llegado a emerger debido a la acción producida por la intrusión de las rocas plutónicas máficas de los complejos basales.

Este levantamiento general de los sedimentos había sido ya registrado en la campaña de sísmica realizada por el I.G.M.E. en los alrededores de la isla de Lanzarote.

4.- PREPARACION DE LOS TRABAJOS

4.1.- GENERALIDADES

El proyecto trata de la perforación de un sondeo geotérmico de unos 2.500 m en la Isla de Lanzarote.

Para conseguir su más óptima realización y alcanzar los resultados previstos, debemos seguir un plan previamente establecido. Los puntos de partida son los siguientes:

- Perforación de un sondeo geotérmico exploratorio en un campo nuevo.
- Las formaciones a perforar consisten principalmente en terrenos volcánicos, basaltos y lavas.
- La profundidad aproximada del sondeo es de 2.500 m.
- El diámetro de la tubería de producción será 7", por lo tanto el último diámetro de perforación deberá ser 8 1/2".
- La presión final prevista es de 40 Kg/cm².
- La temperatura final prevista es de 350°C.
- Hay necesidad de cementar todas las tuberías hasta la superficie para evitar roturas por desigualdades en los esfuerzos de tracción producidos por las dilataciones y contracciones, según los esfuerzos térmicos a que estarán sometidas las tuberías.

- Es el primer sondeo profundo geotérmico en España, por lo que los equipos de perforación a solicitar, normalmente petroleros, carecen de los elementos auxiliares necesarios para este tipo específico de investigación.
- El sondeo está situado al pie de Montaña Rajada, vertiente suroeste, del grupo Montañas del Fuego, en la Isla de Lanzarote (Canarias), por lo que los medios de comunicación a utilizar para el transporte de equipos, materiales, suministros, etc., deberán ser los marítimos. El puerto de salida desde la Península será normalmente Valencia, y el de llegada Arrecife de Lanzarote.
- Existe carretera asfaltada desde Arrecife a Yaiza (22 km) y una pista de 5 km de longitud desde Yaiza hasta 400 m antes de alcanzar la localización del sondeo.

De todos estos datos se debe deducir:

- El programa de perforación y entubación
- Tuberías de entubar. Características mecánicas y geométricas
- Cementaciones a realizar
- Programa de lodos, clase, características y materiales.
- Barrenas, triconos y coronas a utilizar
- Diseño y elementos del tren de perforación.
- Equipo de perforación a contratar. Clase, características, funciones, elementos, potencias, etc. que deben poseer
- Equipos de seguridad y control
- Equipos auxiliares a fabricar
- Obras civiles a realizar. Pistas de acceso, plataforma de perforación, depósitos de evacuación, etc.

- Alimentación de agua al sondeo. Funciones a cumplir, cantidades, tendido de tuberías, bombas, depósitos de almacenaje, tomas, etc.
- Compañía de ingeniería asesora
- Plan general de trabajos

4.2.- PROGRAMA DE PERFORACION Y ENTUBACION

Partiendo de la profundidad del sondeo, 2.500 m, hasta alcanzar el yacimiento; del diámetro final de perforación, 8 1/2", para que la tubería de producción sea de 7"; y de la geología del sondeo, se establece el siguiente programa de perforación y de entubación.

- 1.- Iniciar la perforación hasta alcanzar 20 m con un diámetro de, al menos, 26" y colocar la tubería guía de 20" de diámetro, cementándola hasta la boca del pozo.

Esta primera etapa, considerando su dificultad de perforación, a causa de la alternancia de terrenos sueltos y muy duros, y por no ser posible dar peso a la barrena, se proyectó realizarla hasta alcanzar los 20 m a brazo, con un diámetro de 2 m y colocando la tubería de 20" \emptyset cementar con hormigón hasta la boca del pozo.

- 2.- A los 20 m de profundidad, por tanto, iniciar la perforación del sondeo con un diámetro de 17 1/2" hasta alcanzar la profundidad de 350 m, por debajo del nivel freático. - Instalar seguidamente la tubería de superficie de 13 3/8" \emptyset , y cementarla totalmente hasta boca del pozo. A continuación colocar la cabeza del pozo provista de los correspondientes cierres de seguridad y de las necesarias entradas y salidas, como más tarde se dirá.

- 3.- A partir de los 350 m, seguir la perforación del pozo con un diámetro de 12 1/4" hasta llegar a la cota de 1.200 m, aproximadamente. Colocar la tubería intermedia, de 9 5/8" \emptyset , que deberá ser también cementada totalmente hasta su superficie. Montar de nuevo la cabeza de pozo con sus cierres de seguridad y todos los circuitos precisos para control del pozo.
- 4.- Desde los 1.200 m continuar la perforación del pozo con un diámetro de 8 1/2" hasta alcanzar el reservorio. Esta perforación deberá continuar a través del reservorio hasta su muro, 2.500/2.700 m, con o sin retorno de circulación.

Instalar la tubería de producción, de 7" \emptyset , que también se cementará totalmente hasta la boca del pozo. Dado que la formación del reservorio es dura y consistente, la zapata de la tubería de producción se colocará al techo de dicho reservorio, dejando a éste a pozo libre.

A continuación se procederá a montar de nuevo sobre esta tubería la cabeza de pozo con cierres de seguridad y circuitos de control.

- 5.- Terminar la realización del pozo, reperforar cemento y limpieza general, con barrenas de 6" \emptyset .

Como operación final de la perforación se retirarán los cierres de seguridad normales o B.O.P. dejando las válvulas y se instalará el árbol de conexiones con sus válvulas y cruces para efectuar a través de él las correspondientes pruebas de producción.

A continuación se adjunta diagramas del sondeo del pozo propuesto y del sondeo Lanzarote - 1 realizado.

DIAGRAMA SONDEO LANZAROTE - 1

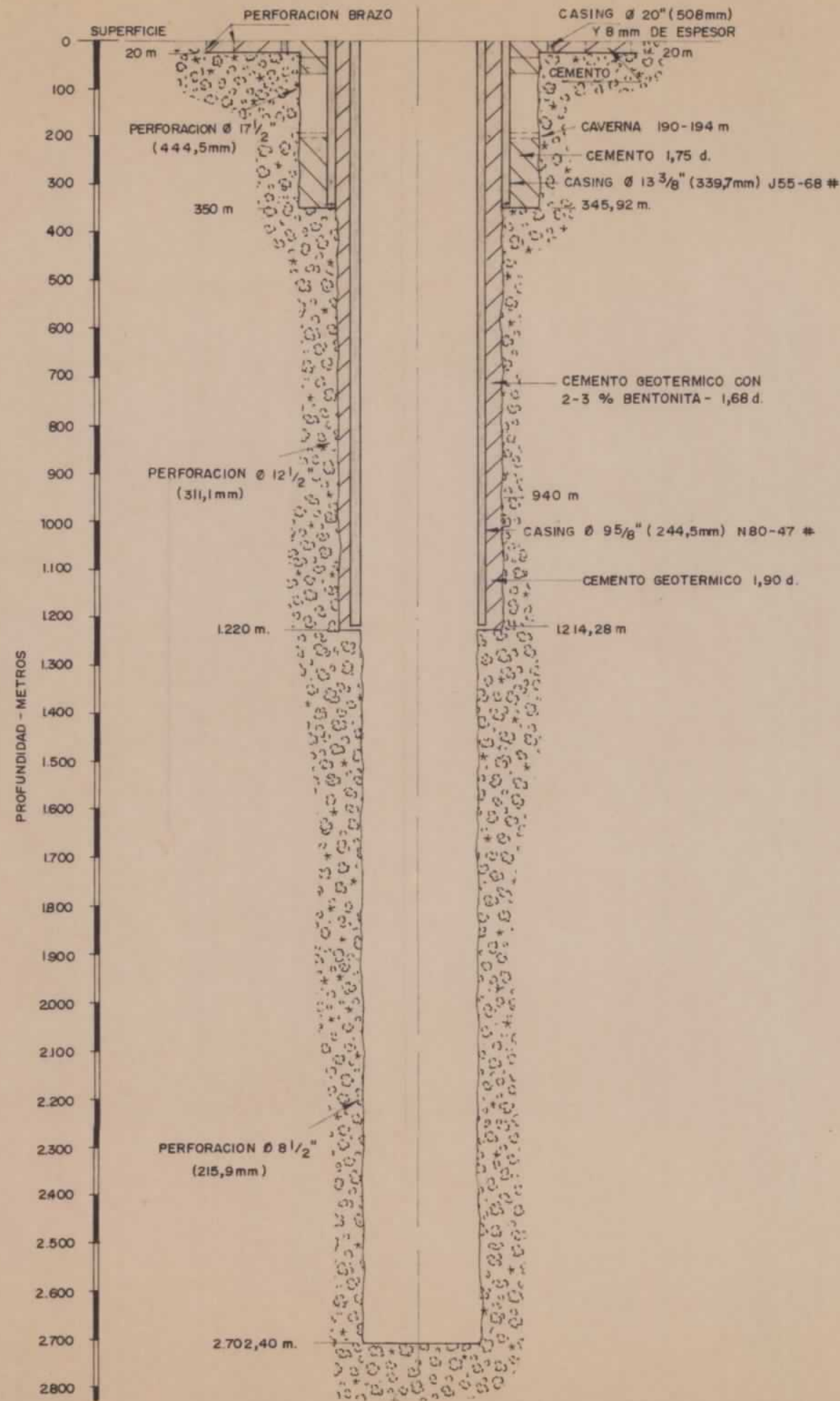
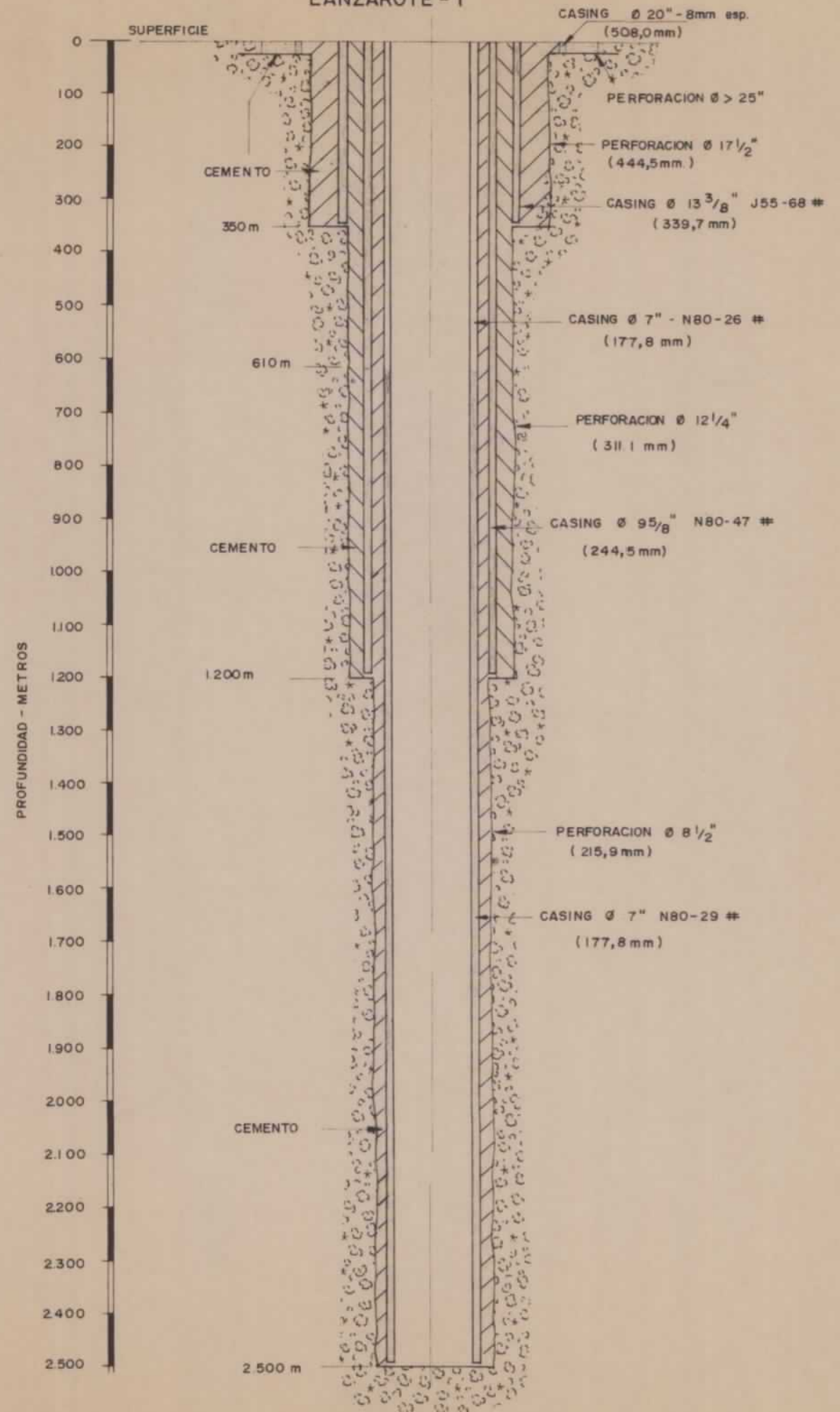


DIAGRAMA DEL POZO PROPUESTO LANZAROTE - 1



CUADRO RESUMEN

GEOLOGIA	INTERVALO DE PERFORACION m	DIAMETRO PERFORACION	COTA DE ENTUBACION m	DIAMETRO DE ENTUBACION
Terrenos volcánic. Basaltos Lavas	0-20	26"	20	20"
Terrenos volcánic. Basalto	20-350	17 1/2"	350	13 3/8"
Terreno volcánic. Basalto	350-1.200	12 1/4"	1.200	9 5/8"
Terreno volcánic. Basalto	1.200-2.500	8 1/2"	Muro Reservorio	7"

4.3.- TUBERIAS-ENTUBADO

Se llama entubado de un pozo el descenso en este pozo de una tubería que tenga un diámetro ligeramente inferior al pozo perforado; el espacio anular así creado entre la tubería y el pozo será, a continuación, cementado para fijar la tubería al terreno y asegurar entre ellos una perfecta estanqueidad.

La finalidad del entubado es mantener las paredes del pozo durante las diversas fases de la perforación y de la producción y aislar entre sí las diferentes capas permeables.

Ciertamente el programa ideal sería perforar el pozo a diámetro constante y colocar una sola tubería, esto obligaría a una perfecta colmatación de las paredes del pozo por el lodo.

A pesar de los grandes avances en el campo de los lodos, que - permiten perforar muchos metros en descubierto, no se ha alcan_zado este ideal, y para realizar el pozo con seguridad, es ne_cesario descender varias tuberías.

Es preciso considerar que en el pozo perforado la tube_ría a descender pueda pasar libremente y que, además, el ani_llo de cemento en el espacio anular sea suficientemente ancho. Generalmente en los pozos geotérmicos se prevee un juego que puede variar de 2" a 4 1/2" entre los diámetros del pozo y de la tubería.

En el sondeo de Lanzarote n° 1, según se ha indicado en el Programa de Perforación y de Entubación, se proyecta colo_car cuatro tuberías. (Véase diagrama anterior).

- a) Tubo Guía de 20" \varnothing . De 0 a 20 m. Será un tubo normal de 8 mm de espesor, colocado en el pozo abierto a brazo y cemen_tado directamente. Su objeto es asegurar la verticalidad del pozo y canalizar la circulación hasta las balsas.
- b) Tubería de Superficie de 13 3/8" \varnothing . De 0 a 350 m. Destinada a cerrar las capas superficiales freáticas y mantener las formaciones de superficie. Cementada hasta la superficie.
- c) Tubería Intermedia de 9 5/8" \varnothing . De 0 a 1.200 m. Es una co_lumna técnica necesaria para salvar las dificultades de su_jeción de las paredes del pozo. Por tratarse de un pozo geotérmico se cementará hasta superficie.
- d) Tubería de Producción de 7" \varnothing . De 0 a 2.500 m. Por iguales razones, pozo geotérmico, también esta tubería de producción se cementará hasta la superficie.

De la gama de tuberías A.P.I. existentes en el mundo, se han seleccionado los diámetros 13 3/8", 9 5/8" y 7" por ser los generalmente admitidos en Europa, y por tanto los más normales en el mercado.

Cálculo de las tuberías

En un pozo geotérmico debe realizarse una cuidadosa elección por las condiciones críticas de la operación a que se ven sujetas las tuberías, resultado de una combinación de variables (temperatura, presión, agentes químicos, esfuerzos mecánicos, etc.) que a la fecha no han sido del todo cuantificados.

Puesto que las condiciones de operación de las tuberías de pozos geotérmicos no han sido determinadas exactamente, las evidencias aceptables para intentar diseños y posteriores verificaciones han sido fundamentadas en pruebas de laboratorio, - análisis de fallas en manguitos de unión y observación directa en el campo.

Las condiciones de servicio de la tubería son determinadas principalmente por las características del manto acuífero productor, presión y temperatura; por el funcionamiento de la producción, sobre-tensiones y compresiones por variación de temperatura y de la presión del fluido, corrosiones, etc.; por las incidencias de la perforación en sí, pérdidas de fluido, cementaciones incorrectas, bolsas de agua o lodo atravesadas, afluencias de líquidos, etc.; por frotamientos durante la entubación; vaciado de la columna por ensayos de producción, etc., etc.

Se considera que las tuberías deben resistir:

- 1.- Esfuerzos de tracción
- 2.- Esfuerzos de colapsado o aplastamiento (presión exterior)
- 3.- Esfuerzos de estallido (presión interior)

Los primeros están producidos principalmente por su propio peso, agarres durante su colocación, cambio de temperatura y presión del pozo, etc. Los segundos son máximos cuando se vacía la tubería por pruebas de presión, pérdidas de lodos, etc. quedando entonces sin contrarrestar las presiones exteriores. Los terceros se deben a las presiones de los fluidos producidas por el pozo, a presiones de operaciones especiales (cementaciones, fracturaciones, etc.).

Ahora bien, se deben tener en cuenta las circunstancias siguientes:

- a) Cualquier tubo de la columna de entubación está sometido a la tensión debida al peso del pedúnculo de la columna suspendida de él. Esta tensión disminuye las propiedades de resistencia al aplastamiento. La influencia de la tracción sobre la resistencia al aplastamiento viene dada por la fórmula:

$$P_A = \left[\sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{T}{R}\right)^2} - 0,5 \frac{T}{R} \right] P_O, \text{ donde}$$

P_A = presión mínima al aplastamiento bajo esfuerzo de tensión axial.

P_O = presión mínima al aplastamiento sin esfuerzo de tensión axial.

T = esfuerzo de tensión axial

R = límite elástico del tubo

Su representación gráfica da la elipse de plasticidad, pero en la práctica el valor de esta resistencia al aplasta

miento puede ser corregida con la ayuda de ábacos ya preparados (resistencia efectiva al aplastamiento x peso de la columna x curva característica de la tubería).

- b) Los metales reducen su resistencia al esfuerzo con el incremento de temperatura. En este pozo, por las altas temperaturas, 350°C, que se esperaban, esta condición debía tenerse muy en cuenta. La experiencia de pozos geotérmicos, Geysers, Imperial Valley, Cerro Prieto, Lardarello, etc. y los cálculos matemáticos de los esfuerzos inducidos por las temperaturas que se esperaban en el pozo dan los siguientes resultados: a) los esfuerzos de tensión aumentan una media de un 50% y, b) las presiones de aplastamiento en cualquier punto de la columna están influenciadas como si ese punto soportara una tensión igual a la tubería existente desde dicho punto a la superficie, que equivale, aproximadamente, a reducir en un 80% la resistencia al aplastamiento.
- c) Dado que en los pozos geotérmicos los manguitos de unión - también pueden estar sometidos a esfuerzos de compresión, es aconsejable utilizar, al menos en la tubería de producción, rosca Buttress, 5 hilos por pulgada, en lugar de roscas redondas de 8 hilos por pulgada.

Para el cálculo de las tuberías se consideraron los siguientes casos límites:

- Tensión: peso de la tubería al aire. Coeficiente de seguridad 2,65.
- Colapsado: Tubería vacía y espacio anular con lodo de densidad 1,15 y tensión columna superior. Coeficiente seguridad: 1,25.
- Estallido: Tubería llena de cemento y espacio anular vacío. Coeficiente de seguridad: 1.

Los coeficientes de seguridad tomados son los recomendados por la Gulf, excepto el de tensión que es, naturalmente, un 50% superior.

Aplicando todos los cálculos, condiciones y coeficientes de seguridad anteriores se deduce que las tuberías mínimas que cumplen todos los requisitos son:

- 1 - Tubería de 13 3/8" \varnothing - (350 m) - acero J-55, peso 54,50 #, rosca STC:

$$\text{Coef. seg. tracción} = \frac{\text{Resist. tensión}}{\text{Peso tubería}} = \frac{248 \text{ Tn}}{28 \text{ Tn}} = 8,86 > 2,65$$

$$\begin{aligned} \text{Coef. seg. aplastam.} &= \frac{0,8 \text{ Resist. aplastam.}}{\text{colum. lodo exterior}} = \frac{0,8 \times 79}{40,25} = \\ &= 1,58 > 1,125 \end{aligned}$$

$$\text{Coef. seg. estallido} = \frac{\text{Resist. estallido}}{\text{Columna cemento}} = \frac{191}{69,1} = 2,77 > 1$$

- 2 - Tubería de 9 5/8" \varnothing - (1.200 m) - acero N-80, peso 40 #, rosca LTC.

$$\text{Coef. seg. tracción} = \frac{\text{Resist. tensión}}{\text{Peso tubería}} = \frac{444}{71,2} = 6,2 > 2,65$$

$$\begin{aligned} \text{Coef. seg. aplastam.} &= \frac{0,8 \text{ Resist. aplastam.}}{\text{colum. lodo exterior}} = \frac{0,8 \times 217}{138} = \\ &= 1,25 > 1,125 \end{aligned}$$

$$\text{Coef. seg. estallido} = \frac{\text{Resist. estallido}}{\text{Columna cemento}} = \frac{403}{237} = 1,70 > 1$$

3 - Tubería de 7" \varnothing - a) 2.200 m de tubería de acero N-80, peso
26 #

b) 300 m de tubería de acero N-80, peso
29 #

Toda ella de rosca buttress.

Tubería 26

$$\text{Coef. seg. tracción} = \frac{\text{Resist. tubería}}{\text{Peso columna}} = \frac{300}{2,2 \times 38,71 + 0,3 \times 43,18} =$$

$$= 3,06 > 2,65$$

$$\text{Coef. seg. aplasta.} = \frac{0,8 \text{ Resist. aplast. corregida}}{2.200 \text{ m columna lodo exter.}} = \frac{293}{253} =$$

$$= 1,158 > 1,125$$

$$\text{Coef. seg. estallido} = \frac{\text{Resist. estallido}}{\text{Columna cemento}} = \frac{508}{434,5} = 1,171 > 1$$

Tubería 29#

$$\text{Coef. seg. tracción} = \frac{\text{Resist. tracción}}{\text{Peso columna}} = \frac{353}{0,3 \times 43,18} =$$

$$= 27,3 > 2,65$$

$$\text{Coef. seg. aplasta.} = \frac{0,8 \text{ Resist. aplastamiento}}{2.500 \text{ m columna lodo exter.}} = \frac{394}{287,5} =$$

$$= 1,373 > 1,125$$

$$\text{Coef. seg. estallido} = \frac{\text{Resist. estallido}}{\text{Columna cemento}} = \frac{574}{489,3} = 1,173 > 1$$

Por necesidad del mercado, ya que los plazos de entrega de las tuberías calculadas eran superiores a los permitidos por el programa de tiempos de la operación del proyecto, y las condiciones de pago eran contrarias a la financiación del mismo, hubo que cambiar el programa y adaptarlo a las existencias del mercado y a las posibilidades de financiación.

Naturalmente las tuberías elegidas por dichas razones debían cumplir con los supuestos de partida para los cálculos y con los coeficientes de seguridad propuestos, es decir, debían ser en cada caso tuberías superiores mecánicamente a las tuberías mínimas encontradas.

Por consiguiente el programa de tuberías quedó de la forma siguiente:

- 1) 350 m tubería 13 3/8" \varnothing , J-55, peso 68 lb/pie, rosca STC
- 2) 1.200 m tubería 9 5/8" \varnothing , N-80, peso 47 lb/pie, rosca LTC
- 3) a) 690 m tubería 7" \varnothing , N-80, peso 26 lb/pie, rosca buttress
b) 1.810 m tubería 7" \varnothing , N-80, peso 29 lb/pie, rosca buttress

Con las que se tienen los siguientes coeficientes de seguridad:

TUBERIA	TENSION > 2,65	COLAPSADO > 1,125	ESTALLIDO > 1
13 3/8"	9,18	2,70	3,50
9 5/8"	4,88	1,93	2,03
7" - 26 #	2,86	2,77	3,72
7" - 29 #	4,51	1,37	1,17

que cumplen con los supuestos previstos

Las características de las tuberías programadas son:

TUBERIA - DIAMETRO NOMINAL	13 3/8"	9 5/8"	7"	7"
Longitud	350 m	1.200 m	1.810 m	690 m
Tipo acero	J - 55	N-80	N-80	N-80
Peso nominal, lb/f	68	47	29	26
Rosca	STC	LTC	Buttress	Buttress
Espesor, m/m	12,19	11,99	10,36	9,19
Diámetro exterior, mm	339,7	244,5	177,8	177,8
Diámetro interior, mm	315,3	220,5	157,1	159,4
Sección acero, mm ²	12.545	8.756	5.451	4.870
Drift (")	12 1/4	8 1/2	6	6 1/8
Volumen interior, l/m	78,08	38,19	19,38	19,95
Volumen exterior, l/m	90,80	47,10	24,88	24,88
Peso, Kg/m	98,47	68,73	42,74	38,19
Diám. exterior manguito, mm	365,1	269,9	194,5	194,5
Diám. exterior mandril, mm	311,4	216,5	153,9	156,2
Peso: roscado y con manguito	99,61	69,94	43,15	38,66 kg/m
Resistencia a la tracción, t	325	410	353	300
Resist. al aplastam. kg/cm ²	136	334	493	380
Resist. al estallido, kg/cm ²	242	483	574	508
Par de apretado, m.kg	990	1.250	1.000	800
Peso tubería al aire, ton	35	84	78	27
			105 t	

La columna de 7" es la más pesada, 105 toneladas, y será el módulo para el cálculo de la capacidad de la torre de perforación.

Equipo de la columna de entubación

La columna de entubación va provista de ciertos accesorios destinados, bien a facilitar su descenso, zapata de entubación, bien a aumentar las posibilidades de éxito de la cementa

ción, manguito de retención de tapones, centradores de tubería, rascadores, tapones de cementación, cabezas de cementación y manguitos de cementación múltiple.

En el sondeo de Lanzarote n° 1, las zapatas de entubación y los manguitos de retención de tapones serán de válvula de contracorriente, que impide el retroceso de la circulación, y de fabricación especial para resistir las altas temperaturas que se esperaban.

También se utilizarán centradores para situar bien la tubería y lograr la perfecta repartición del cemento, tapones inferior y superior, para separar lodo y lechada de cemento e impulsar los fluidos, y cabezas de cementación, para realizar correctamente esta operación y unir la tubería a los circuitos de cementación y de lodos.

No se utilizarán los rascadores por no juzgarlos necesarios, dadas las formaciones que se esperaban.

Aunque no se prevé su empleo, fue necesario preparar los manguitos de cementación múltiple para las tuberías de 9 5/8 y 7", con objeto de solucionar los casos de cementaciones - muy complicadas por altas temperaturas, fugas totales, formaciones acuíferas sin cerrar, etc.

Programa de elementos necesarios propuesto:

a) Tubería 13 3/8"

1 Cabeza de cementación, rosca STC

1 Zapata flotadora con válvula de bola, rosca STC

1 Manguito flotador con válvula de bola, rosca STC, colocado entre el 1° y 2° tubo.

- 1 Tapón de cementación superior
- 1 Tapón de cementación inferior
- 6 Centradores colocados en la tubería a una distancia entre sí de 50 m.

b) Tubería 9 5/8"

- 1 Cabeza de cementación, rosca LTC
- 1 Zapata flotadora con válvula de bola, rosca LTC
- 1 Manguito flotador con válvula de bola, rosca LTC, colocado entre 3° y 4° tubo
- 1 Tapón de cementación superior
- 1 Tapón de cementación inferior
- 10 Centradores colocados en la tubería a una distancia entre sí de 100 m.

c) Tubería 7"

- 1 Cabeza de cementación, rosca buttress
- 1 Zapata flotadora con válvula de bola, rosca buttress
- 1 Manguito flotador con válvula de bola, rosca buttress, colocado entre 3° y 4° tubo
- 1 Tapón de cementación superior
- 1 Tapón de cementación inferior
- 17 Centradores colocados en la tubería, a una distancia entre sí de 100 m los 13 primeros y 250 m los 4 últimos.

Se solicitaron también:

- 1 Manguito de cementación múltiple para tubería 9 5/8", LTC, con juego de taponés tipo bomba, para poder realizar la cementación en 2 etapas.

2 Manguitos de cementación múltiple para tubería 7", buttress , con juegos de tapones tipo bomba, para poder realizar la cementación en 3 etapas.

4.4.- CEMENTACIONES

La cementación comprende las operaciones siguientes:

- 1 - Preparación del pozo antes de la inyección de la lechada
- 2 - Cementación propiamente dicha del espacio anular
- 3 - Fraguado del cemento
- 4 - Ensayo de la estanqueidad de la columna
- 5 - Perforación del tapón de cemento
- 6 - Ensayo de estanqueidad de la cementación.

Todas estas operaciones deben ser minuciosamente programas y preparadas con el fin de evitar las pérdidas de tiempo, que en ciertos casos pueden originar el fracaso de la cementación.

De todas ellas la fundamental es la segunda, cementación propiamente dicha del espacio anular, y de ella nos ocuparemos con mayor detalle, dedicándole un cuidado especial.

Al final del capítulo se tratará someramente de las cinco restantes.

El principal problema de la cementación de tuberías en pozos geotérmicos proviene de las elevadas temperaturas, en este pozo se esperaban 350°C, que causan alteraciones químicas y físicas en los materiales cementantes.

Se presentan además esfuerzos térmicos en las tuberías - después de que han sido cementadas.

Estos aparecen mientras fragua el cemento (calentamiento) y al reanudarse la circulación de lodos (enfriamiento), pero sobre todo es con el paso del vapor de agua con el que alcanzan su cima las dilataciones de la tubería y los esfuerzos térmicos.

Esos esfuerzos se transmiten a través del cemento; si no hay cemento en alguna sección o es poco, todos los esfuerzos de esa sección se transmiten a las adyacentes que están bien cementadas, y esas concentraciones de esfuerzos pueden provocar una rotura de la tubería especialmente en las uniones, de ahí la gran importancia de cementar las tuberías en su total longitud, es decir, desde la zapata hasta boca de pozo, y conseguir lechadas homogéneas y efectivas, que originarán cementaciones correctas y adecuadas.

Para ello es necesario lo siguiente:

- 1.- Utilizar un cemento adecuado a las altas temperaturas, 350° C, del pozo. Se deben tener en cuenta principalmente: a) su tiempo de bombabilidad o espesamiento, que es el tiempo que tarda la lechada en alcanzar una viscosidad de 100 poises , y que marca el máximo que se tiene para mezclar y bombear la lechada; b) resistencia rápida a la compresión, para reanudar lo más pronto posible la perforación; c) evitar la disminución de su resistencia a los esfuerzos de compresión, ya que con elevadas temperaturas una lechada que inicialmente posee una resistencia adecuada, ésta va poco a poco disminuyendo hasta valores inaceptables; d) permeabilidad conveniente, que se incrementa con la temperatura; e) que sea fácilmente perforable; y, f) resistente a la contaminación de sales minerales.

- 2.- Uso de aditivos en concentraciones adecuadas. De esta forma se consigue colocar las características del cemento utilizado en los puntos solicitados.
- 3.- Realizar una mezcla correcta, empleando únicamente el agua necesaria.
- 4.- Evitar la contaminación con lodos. Para esto la tubería debe quedar lo más centrada posible; los lodos deben conservar sus características reológicas correctas; las paredes del pozo deben estar limpias y se debe desplazar la lechada bajo condiciones de flujo turbulento, con lo que se obtiene una mejor adhesión.
- 5.- Seleccionar correctamente el equipo auxiliar de la tubería (centradores, manguitos, zapatas, tapones, etc.).
- 6.- Cementar hasta la superficie para prevenir que no existan zonas con agua o lodos, pues provocarían colapsos de la tubería debido a la presión que ejercería el líquido confinado al dilatarse por la temperatura.

Para conseguir esta cementación óptima, se programó la utilización de un cemento geotérmico compuesto por 60% de cemento API tipo G y 40% de harina de sílice, con el cual se obtiene, con una temperatura de 350°C, las siguientes resistencias de compresión:

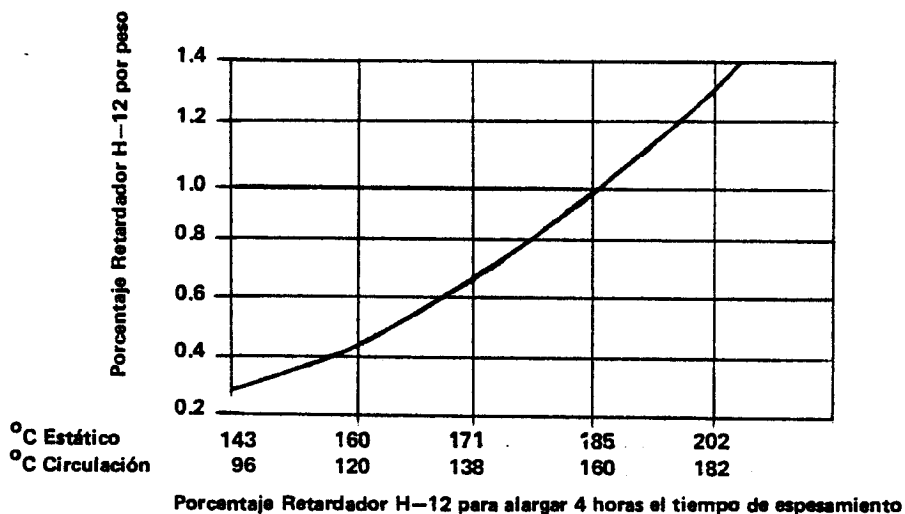
0 día	2.610 psi
1 día	3.380 psi
14 días	3.375 psi
28 días	3.165 psi
- mínimo conveniente: 500 psi	

y un tiempo de bombabilidad mínimo de 90 minutos a 2.500 m.

A la lechada obtenida se añadirán los aditivos siguientes:

- Retardador HR-12, que con bajas y altas temperaturas alarga - el tiempo de espesamiento, y con bajas temperaturas reduce la velocidad necesaria para conseguir circulación turbulenta.
- CFR-1, que con muy altas temperaturas reduce la velocidad necesaria, al reducir la viscosidad aparente de la lechada, y por tanto los caballos hidráulicos, para conseguir circulación turbulenta, y alarga el tiempo de espesamiento.
- Componente R . Pentaborato de potasio. Se utiliza como retardador. Alarga el tiempo de espesamiento de la lechada con altas temperaturas.

La proporción de estos aditivos será variable según el tramo y la fase que se vaya a cementar y se calculan después de ensayos profundos y muy contrastados en laboratorios.



Programa de cementaciones

Partiendo de los anteriores considerandos y de acuerdo con las entubaciones a realizar se proyectó el siguiente programa de cementaciones:

I - Tubería de 13 3/8", 8 Rd y Pozo de 17 1/2"

- Temperatura en el fondo: 120°C
- Profundidad: 350 m
- Operación en una sola etapa
- Peso de la lechada: 1,975 kg/l
- Volumen de la lechada, con 50% de exceso: 34.228 litros
- Cemento a emplear para obtener esta lechada: 50,1 toneladas
- Aditivos a utilizar:
 - Retardador HR-12 = 0,5% cemento = 251 kg
- Agua necesaria para la mezcla: 17.535 litros
- Volumen de la impulsión: 26.157 litros
- Presión hidrostática diferencial final: 32 bar
- Tiempo de la cementación: 110 minutos

II - Tubería de 9 5/8", 8 Rd y Pozo de 12 1/4"

- Temperatura en el fondo: 150°C
- Profundidad: 1.200 m
- Operación en dos fases:

1ª Fase (cementación superior: 0 - 300 m)

- Peso de la lechada: 1,975 kg/l
- Volumen de la lechada (entre tuberías): 9.394 litros
- Cemento a emplear para obtener esta lechada: 13,75 toneladas
- Aditivos a utilizar: NINGUNO
- Agua necesaria para la mezcla: 4.813 litros

2ª Fase (cementación inferior: 300- 1.200 m)

- Peso de la lechada: 1,975 kg/l
- Volumen de la lechada, con 40% de exceso: 37.064 litros
- Cemento a emplear para obtener esta lechada: 54,25 toneladas

- Aditivos a utilizar: Retardador HR-12 = 1% cemento = 543 Kg
- Agua necesaria para la mezcla: 18.988 litros
- Volumen de la impulsión: 45.262 litros
- Presión hidrostática diferencial final: 115 bar
- Tiempo de cementación: 125 minutos
- Presión de trabajo: 140 bar

III - Tubería de 7", buttress, y Pozo de 8 1/2"

- Temperatura en el fondo: 200°C
- Profundidad: 2.500 m
- Operación en tres fases:

1ª Fase (cementación superior: 0-900 m)

- Peso de la lechada: 1,975 kg/l
- Volumen de la lechada (entre tuberías): 13.288 litros
- Cemento a emplear para obtener esta lechada: 19,45 toneladas
- Aditivos a utilizar: NINGUNO
- Agua necesaria para la mezcla: 6.808 litros

2ª Fase (cementación intermedia: 900-1.700 m)

- Peso de la lechada: 1,975 kg/l
- Volumen de la lechada, con 30% de exceso en pozo abierto: -
12.127 litros
- Cemento a emplear para obtener esta lechada: 17,75 toneladas
- Aditivos a utilizar: Retardador HR-12: 1% cemento = 178 kg
- Agua necesaria para la mezcla: 6.213 litros

3ª Fase (cementación inferior: 1.700-2.500 m)

- Peso de la lechada: 1,975 kg/l
- Volumen de la lechada, con 30% de exceso: 12.503 litros
- Cemento a emplear para obtener esta lechada: 18,3 toneladas
- Aditivos a utilizar: CFR-1 = 1% cemento = 183 kg
Componente R = 1% cemento = 183 kg
- Agua necesaria para la mezcla: 6.405 litros
- Volumen de la impulsión: 49.080 litros

- Presión hidrostática diferencial final: 246 bar
- Tiempo de cementación: 120 minutos

IV - Cuadro resumen de las cementaciones

TUBERIA	FASE	VOLUMEN LECHADA l	CEMENTO t	ADITIVOS			AGUA l
				HR-12 kg	CFR-1 kg	COMP. R. kg	
13 3/8"	-	34.228	50,10	251	-	-	17.535
9 5/8"	1 ^a	9.394	13,75	-	-	-	4.813
	2 ^a	37.064	54,25	543	-	-	18.988
	Total	46.458	68,00	543	-	-	23.801
7"	1 ^a	13.288	19,45	-	-	-	6.808
	2 ^a	12.127	17,75	178	-	-	6.213
	3 ^a	12.503	18,30	-	183	183	6.405
	Total	37.918	55,50	178	183	183	19.426
TOTAL		118.604	173,60	972	183	183	60.762

V - Los materiales mínimos necesarios y los solicitados debían ser:

	<u>Mínimo</u>	<u>Solicitado</u>
- Cemento geotérmico	174 t	200 t
- Retardador HR-12	972 kg ...	1.000 kg
- CFR-1	183 kg ...	200 kg
- Componente R	183 kg ...	200 kg

Operaciones de la cementación propiamente dicha

Teniendo en cuenta la gran importancia de las cementaciones, como hemos visto anteriormente, estas operaciones serán realizadas por una Compañía especialista, que posea los equipos

apropiados y necesarios, así como técnicos con conocimientos y experiencia en estas labores fuera de toda duda.

Los equipos normales de cementación constan:

- Una unidad formada por dos bombas alimentadas por sus correspondientes motores independientes. Una bomba se usa para mezclar y la otra para impulsar la lechada.
- Un mezclador de cemento, que consta de un embudo y de una o dos toberas calibradas para el agua.
- Varios silos neumáticos para almacenar cemento.
- Un manifold completo que permite combinaciones variadas.

Para programar estos equipos debemos considerar:

- a) Las lechadas a fabricar
- b) La cantidad de cemento a manejar
- c) Las presiones hidrostáticas
- d) Las temperaturas que se esperan en el pozo
- e) Los tiempos de bombabilidad, que indican el tiempo disponible para la operación total, cementación e impulsión.
- f) El rendimiento y la eficacia de la operación aumentan al hacerlo el caudal de la cementación y la impulsión. Por tanto, debe trabajarse con el caudal máximo compatible con la utilización óptima de la potencia.
- g) El caudal de agua necesaria para la fabricación continua de la lechada en el tiempo previsto.
- h) El caudal de aprovisionamiento del cemento por minuto.
- i) Los volúmenes de las impulsiones finales para colocar la lechada de cemento en su sitio. Esta operación se realiza con

las bombas del Equipo de Perforación, y se efectuará, considerando las potencias hidráulicas previstas para estas bombas (400 C.V.) y las presiones hidrostáticas de las operaciones de cementación, a una media de $Q_i = 1.600$ a 1.800 l/min. en las dos primeras cementaciones, y de $Q_i = 800$ l/min. en la tercera cementación.

Como en esos caudales se alcanza la velocidad reducida - de circulación turbulenta ($0,78$ m/sg y $0,67$ m/sg) para la mezcla de cementos propuestos en cada caso, con lo que se consigue una buena operación de cementación.

- j) El aislamiento del sondeo, la gran distancia a los puntos de abastecimiento y las enormes dificultades de sus comunicaciones (transportes marítimos, carga y descarga, aduanas, etc.)

El tiempo total de una cementación propiamente dicha, se subdivide en:

- Tiempo de fabricación de lechada e inyección = T_1
- Tiempo de impulsión de la lechada = T_i
- Tiempo de maniobras de válvulas = T_3

es decir: $T_{total} = T_1 + T_i + T_3 = \frac{\text{Volumen lechada}}{\text{Caudal fabricación lechada}} + \frac{\text{Volumen impulsión}}{\text{Caudal impulsión}} + T_3$

puesto que la fabricación de la lechada y su inyección al pozo se realizan simultáneamente.

Por otra parte, del cemento a utilizar, de los aditivos a añadir a la mezcla en cada caso y de la temperatura del fondo en cada operación, se ha obtenido que el tiempo disponible para

la cementación (tiempo de espesamiento) debe ser inferior, como medida de seguridad, a 2 horas 30 minutos.

Ahora bien, considerando que según la experiencia el tiempo de maniobras de válvulas es aproximadamente 15 minutos, aquí tomamos: $T_3 = 20$ minutos, y que

$$T_i = \frac{\text{Volumen impulsión}}{\text{Caudal impulsión}} \text{ es: } 17 \text{ minutos, } 30 \text{ minutos y } 62$$

minutos para las tuberías de 13 3/8", 9 5/8" y 7" respectivamente, se obtendrá que el tiempo de fabricación de lechada e inyección

$$T_i = \frac{V_1}{Q_1} = T_t - T_i - T_3$$

no debe pasar de 113 minutos, 100 minutos y 68 minutos para cada una de las tuberías respectivamente.

Aplicando un coeficiente de seguridad de 2, y considerando las lechadas a fabricar en cada cementación, se obtendrá que los caudales mínimos necesarios en cada operación son:

- Tubería 13 3/8" 610 l/min.
- Tubería 9 5/8" 930 l/min.
- Tubería 7" 1.120 l/min.

Por consiguiente, se precisará un equipo de bombeo capaz de proporcionar 1.120 l/min. con una presión de 246 bars.

Ahora bien, en ciertos casos, es necesario realizar cementaciones forzadas para lograr cierres de fisuras antes de realizar la cementación definitiva de la tubería, o bien fracturaciones hidráulicas para apertura de campos. Para ello, es conveniente contar con un equipo capaz de proporcionar ese caudal

pero con presiones de 700 kg/cm^2 . Estos resultados, caudal mayor de 1.120 l/min. y presiones de 700 kg/cm^2 , se alcanzan con las bombas triplex, de pistón de buzo, de simple efecto, del tipo "T-10". La alimentación de estas bombas, desde sus motores se hace por intermedio de una caja de velocidades y de un convertidor de par.

Como se ha indicado antes la unidad consta de dos bombas similares.

El mezclador de toberas, para mantener el ritmo de cementación propuesto, debe ser capaz de tratar y mezclar 1,7 toneladas por minuto, lo que se alcanza con los mezcladores utilizados en los sondeos petroleros. (Máximo necesario 7" Fase 3^a : $1120 \text{ l/min} \times 18,3 \text{ t} = 12503 \text{ l/min} = 1,64 \text{ t}$).

La alimentación de agua desde las bombas de perforación debe ser de 300 a 600 l/min. (Mínimo necesario 13 3/8": $610 \text{ l/min} \times 17535 \text{ l} = 34228 \text{ l} = 312 \text{ l/min}$ y Máximo: 7" Fase 3^a : $1120 \text{ l/min} \times 6405 \text{ l} = 1250 \text{ l} = 574 \text{ l/min}$).

La alimentación a este mezclador se realiza desde silos neumáticos, en donde el cemento reposa sobre una tela muy permeable al aire e impermeable al cemento. Para su extracción se insufla aire; el control de la salida de cemento se logra regulando el aire y la puerta de cremallera de salida. Estos silos alcanzan un caudal de salida de 2 toneladas por minuto, que es suficiente para nuestras necesidades.

Por otra parte al iniciar la cementación todo el cemento que se necesite debe estar almacenado en los silos. Como cada silo es capaz para 25 toneladas y la cantidad mayor a manipular es 68 toneladas, segunda cementación, se precisarán en el sondeo 3 silos.

Por todo lo anterior, se deduce que los equipos a contratar a tiempo total para realizar con seguridad y eficacia las cementaciones, será:

- 1 Unidad de cementación Twin HT-400, de dos bombas triples ac
cionadas por motores GM-8V-71N, montada sobre patines
- 3 Silos de 25 toneladas cada uno
- 1 Cargador de cemento
- 1 Manifold completo
- 3 Cabezas de cementación para 13 3/8", 9 5/8" y 7" respectiva
mente
- 1 Operador de cementación
- 1 Ayudante.

Restantes operaciones de la cementación

Como ya se ha indicado anteriormente las operaciones com
plementarias de la cementación propiamente dicha son cinco, una
que le precede y cuatro que se realizan a continuación de ella.

.1 - Preparación del pozo antes de la inyección de la lechada: El
cemento debe asegurar una buena estanqueidad, sustituir a
todos los fluidos en el espacio anular y lograr una perfec
ta adherencia a la tubería y a las paredes del pozo.

Para ello hay que realizar una buena limpieza del pozo y
de sus paredes procediendo de la forma siguiente:

- a) Efectuar varios ciclos de circulación con lodo acondicio
nado y que tenga las características físicas y reológi
cas, densidad, viscosidad, filtrado, tixotropía, gelifi

cación, etc., necesarias para la perfecta y correcta realización de la cementación, hasta lograr la completa evacuación de los detritus existentes en el pozo y obtener una presión normal de circulación.

- b) Durante la circulación se mueve arriba y abajo la tubería para limpiar mejor sus paredes y las del pozo.
- c) Inyectar antes del cemento un tapón de agua para disgregar, en lo posible, la torta de las paredes del pozo, y establecer una separación entre el lodo y el cemento para evitar contaminaciones y canalizaciones.

.2(3)-Fraguado del cemento: El tiempo de espera para el fraguado después de la cementación se obtiene, en un sondeo, del análisis del aumento de temperatura de la lechada y de la vigilancia de la presión; ya que se sabe que el tiempo necesario a una lechada para alcanzar su temperatura máxima es proporcional al preciso para lograr una resistencia dada, y que el aumento de calor produce aumento de presión en la columna, dando su máximo en un tiempo aproximadamente dos veces superior al que necesita la lechada para alcanzar una viscosidad de 100 poises; el tiempo de espera será 1,5 veces el tiempo de alcanzar la presión máxima.

Prácticamente los tiempos de espera mínimos después de la cementación son:

- 5 a 8 horas para la columna de superficie
- 12 a 24 horas para las columnas técnicas.

.3(4)- Ensayo de estanqueidad de la columna. Los valores utilizados en estos ensayos son:

- 35 kg/cm² para la columna de superficie
- Un máximo del 80% de la resistencia al estallido del tubo más débil en las columnas técnicas.

La presión será mantenida durante 30 minutos.

.4(5)- Perforación del tapón de cemento. A continuación del anterior ensayo, y colocada en el pozo la nueva sarta se procede a reperforar el tapón de cemento de 10 a 40 m de longitud, según los casos, y el manguito de flotación y la zapata.

Esta reperforación se efectúa con un tricono blando, a veces usado, para no deteriorar la tubería.

.5(6)- Ensayo de estanqueidad de la cementación. Después de terminada la reperforación del tapón de cemento, se somete a nuevo ensayo de presión el interior de la columna, ahora además la zona cementada, dando a esta presión un valor inferior a la presión de ruptura de la formación en que estamos.

4.5.- PROGRAMA DE LODOS

Un pozo de exploración siempre presenta los riesgos que lo desconocido puede aportar, exigiendo una técnica de perforación netamente a la defensiva, indicando con ello que debe estar tanto el equipo de perforación, como el personal y la técnica preparados para responder en cualquier momento a una eventualidad. Esta preparación y cuidados no deben en ningún caso disminuir el avance que los altos valores invertidos en la exploración, exigen.

En los pozos de exploración geotérmica los estudios previos deben considerar todas las eventualidades que en un pozo exploratorio se toman en cuenta, así como las variables que son propias de la perforación geotérmica y que en casos pasan a tener valores prioritarios en la operación, stock de materiales, estabilidad del pozo, exigencias de equipo, corrosión, etc.

Normalmente un pozo de exploración geotérmica tiene como programas básicos de estudio, conocer:

- a) Geología de formación
- b) Características y volumen de flujo
- c) Química de los mismos
- d) Temperatura y presiones

Para satisfacer estos programas de estudio es muy importante una buena selección del lodo.

Las funciones y características que debe satisfacer un lodo de perforación son las siguientes:

- 1 - Formar un ademe provisional mientras se efectua la perforación.
- 2 - Transportar los cortes del fondo (detritus) a la superficie.
- 3 - Impermeabilizar las paredes del pozo.
- 4 - Enfriar la barrera y las tuberías de perforación.
- 5 - Controlar la presión y, hasta donde sea posible, evitar la entrada del agua.
- 6 - Mantener los detritus en suspensión cuando la perforación - se interrumpa.
- 7 - Ser resistente al calor
- 8 - Permanecer estable tanto física como químicamente.

Es conveniente establecer que la temperatura es el prin cipal factor que influye en la estabilidad del lodo y por tanto las alteraciones que ponen en peligro la estabilidad del pozo. Este inconveniente se incrementa cuando se encuentran flujos de agua con concentraciones de sales que aumentarán a medida que el fluido reciba en la perforación contribución de soluciones, tanto por las aguas de formación, como de la formación misma, co mo así también por las soluciones del relleno de grietas y su concentración en sales por efecto de la evaporación del agua.

Cuando la temperatura de inyección llega a tomar un va lor tal que en el pozo signifique ebullición, lo más probable es que se produzcan evaporaciones y golpes de vapor que errónea mente podrían tomarse como blow out, a la vez que mayor rapidez de deshidratación en la superficie, más en aquellas zonas de permeabilidad inducida. Se aprecia entonces la dificultad que representan las altas temperaturas en la inyección. Debe dispo nerse entonces de elementos de enfriamiento, tales como torres-lluvias, y la cantidad necesaria de tanques de lodo, que si bien facilitan la evaporación, ésta se debe suplir con agregado de agua que enfrían la inyección, diluyendo las sales solubili zadas y los sólidos.

Puede llegar el caso, en especial hacia el final de la perforación, que las concentraciones de sales hagan difíciles los controles de filtración. En esta eventualidad sería conve niente reemplazar parte del volumen del lodo por lodo de agua dulce a fin de diluir dichas sales.

Por lo general, estos pozos contienen extractos que son inactivos. Sin embargo la estabilidad o inestabilidad del pozo va a estar relacionada con el vulcanismo que habría producido agrietamientos, que son zonas de permeabilidad inducida, grie

tas rellenas con sales que se solubilizan creando derrumbes y problemas, lo que también se ve influenciado por las desviaciones del pozo.

En la realización del programa era conveniente conocer con exactitud la calidad de agua base que se utilizaría, debiendo determinarse los Cloruros Sódicos, cantidades de Calcio y Magnesio. En el transcurso de la perforación se verificará el aporte de sales de los estratos atravesados, como así mismo un exacto control de los iones sulfitos.

Respecto a la permeabilidad era seguro que los informes geológicos comprueben que no hay permeabilidad primaria, sino secundaria, producto de fallas y fracturas las cuales van a crear dificultades sobre todo en las zonas receptoras de los fluidos geotérmicos.

Referente a las presiones era posible que los fluidos geotérmicos se encuentren confinados a presiones menores de la correspondiente a la columna hidrostática del agua.

Las formaciones seguramente confirmarán los pronósticos geológicos dando formaciones inertes respecto de lo que interesa como fenómeno físico-químico. Las temperaturas se llegarán a remontar sobre 200° y el tiempo de perforación obedecerá a las formaciones atravesadas, diámetros del trépano, hidráulica empleada y capacidad del equipo.

Todas estas consideraciones generales nos indican una variabilidad de problemas posibles a encontrar:

- 1 - Corrosión tanto por Oxígeno, CO_2 , sales y presencia de H_2S
- 2 - Temperatura que toma el lodo relacionada con la estabilidad del pozo

- 3 - Pérdida del lodo por grietas, fracturas y oquedades.
- 4 - Alta concentración de sólidos frente a zonas permeables, que pueden crear condiciones de pistoneo al subir y bajar la barrena, que originarán:
- 5 - Venidas del pozo
- 6 - Pérdidas de retorno
- 7 - Pérdida de retorno en las cementaciones

Todos estos problemas se unen, para complicarlo todavía más, a las alteraciones más frecuentes del lodo, causadas no sólo por las altas temperaturas sino también por el tiempo de utilización, que son:

- 1) Cambio en sus propiedades químicas afectando con ello los patrones de filtrado y viscosidad.
- 2) Degradación de alguno de sus componentes, cambiando la concentración de sólidos y su viscosidad plástica.
- 3) Alteración de su punto de cesión.

Las principales propiedades que debe reunir el lodo programado son:

- 1.- Densidad. El lodo a usar será de bajo contenido de sólidos y exento de materiales densificantes. Obedecerá a una densidad que con la inclusión de detritus no será superior a 1,15.
- 2.- Viscosidad. El valor a usar será una relación de diámetro de trépano, avance, velocidad anular y estructura de flujo del fluido utilizado. Por ello, se utilizarán viscosidades del orden de 45 a 55 segundos de acuerdo a los intervalos y problemas de limpieza. Los valores de viscosidad conforme aumente la temperatura y profundidad, deberán cuidarse intentado que sean los menores posibles.

- 3.- Filtrado. Las pérdidas de agua determinadas en condiciones estáticas y a la temperatura ambiente no representan las condiciones de trabajo y valor a que están sometidas en el pozo. Desde luego son muy superiores a lo determinado en el análisis API normal, por lo que deberá controlarse el análisis HP-HT, que aunque no es dinámico se aproximará más a un valor real. Sin embargo, tratándose de zonas poco activas, de baja permeabilidad, el filtrado no es un problema.
- 4.- Alcalinidad. La importancia de lograr las propiedades reológicas en un orden estable no solo es responsabilidad de los componentes coloidales, sino que también es el formar un ambiente químico de reacción apropiado y eficaz para lograr los resultados buscados, lo que se consigue en base a un control de alcalinidad, que normalmente se refiere a pH, pero ambos valores, pH y Pf, deben determinarse y controlarse cuidadosamente.

La regulación de estos valores tiene relación con las sales presentes, cloruros de calcio y magnesio, tipo de reactivo dispersante, estabilizador de emulsión, etc.

El cloruro sódico deberá mantenerse en los valores normales del agua de mar con la que se perfora.

Los valores de pH se establecerán en el orden de 10,5 a 11. Los de Pf deberán ser de alrededor de 0,2.

- 5 - Reología. Es la base fundamental para estudiar el comportamiento de los aditivos en el lodo frente a las características del pozo, formación, hidráulica, temperatura, sales, etc.

En lo general, los valores de viscosidad plástica serán mantenidos entre 9 y 15 y el yield point estará entre 2 y 4.

Es importante conservar una relación determinada entre viscosidad plástica y yield point para que los lodos sean suficientemente fluidos y permitan una velocidad aceptable de los mismos al transportar los detritus hasta la superficie.

En el campo geotérmico de Lardarello (Italia), se utilizan lodos tratados con lignosulfatos de hierro y cromolignitos, superándose las limitaciones de temperatura y manteniéndose, aun estando contaminados, sus características reológicas y de filtrado. Estos compuestos resisten la acción de degradación por temperatura pero si excede de 170°C, se debe agregar cromato de sodio en bajas concentraciones.

En Cerro Prieto (Mexico), se emplean lodos bentoníticos con base en agua y bentonita, a la que se agregan lignitos y cromolignosulfatos como dispersantes, barita para dar peso, CMC para aumentar viscosidad y diesel como lubricante.

La ausencia de agua dulce en Lanzarote, obliga a tomar como base el agua de mar, que debe ser conducida desde el mar hasta el sondeo en dos saltos mediante 6.000 m de tubería de 4" Ø, alimentada por dos bombas de unos 300 C.V., colocadas una en la toma de mar y otra en la mitad aproximada de la conducción.

Por todo lo anterior, para el sondeo de Lanzarote n° 1, se propone un lodo de sepiolita/bentonita con agua de mar de las características reológicas siguientes:

	<u>Fase 17 1/2</u> <u>0 - 350 m</u>	<u>Fase 12 1/4</u> <u>350-1.200 m</u>	<u>Fase 8 1/2</u> <u>1.200-2.500m</u>
Densidad	1,05 - 1,06	1,06 - 1,10	1,09 - 1,13
Viscosidad	45 - 50	45 - 55	45 - 50
Filtrado A.P.I. ...	Libre	60 - 75	60 - 75
Viscosidad aparente	-	25 - 30	20 - 35
Viscosidad plastic.	-	9 - 12	10 - 15
Yield Point	-	3 - 4	2 - 4
Gel 0	-	10	10 - 20
Gel 10	-	10 - 20	20 - 30
pH	-	10,5 - 11	10 - 11
Pf	-	0,2	0,2
Sólidos	6 - 7	7 - 9	8 - 10

Para lo cual la composición por m³ de lodo deberá ser:

	<u>Fase 17 1/2</u> <u>0 - 350 m</u>	<u>Fase 12 1/4</u> <u>350-1.200 m</u>	<u>Fase 8 1/2</u> <u>1.200-2.500m</u>
Agua de mar	1.000 l	1.000 l	1.000 l
Sepiolita	70 - 80 kg	70 kg	70 kg
Bentonita	30 kg	30 - 40 kg	30 - 40 kg
Sosa caústica	3 kg	4 kg	4 kg
Cromolignina	5 kg	15 kg	20 kg
Lignito	-	-	10 kg

Este lodo propuesto permitirá:

- Disipar temperaturas
- Menor pérdida de carga
- Dilución de las sales
- Menor corrosión

- Evitar torque
- Mayor rendimiento de trépanos
- Menor costo

Para un óptimo tratamiento, mezclado y conservación del lodo en superficie se contará, en el circuito de lodos, con:

- 5 balsas de almacenamiento y mezclado con una capacidad total de 140 m³.
- 2 torres de enfriamiento con una capacidad de tratamiento de 3.000 l/min. de lodo caliente, que reduce la temperatura de 100 a 40°C, por medio de electroventiladores que actúan sobre el lodo, movido con bombas centrífugas, mientras éste recorre los paneles de que están provistas estas torres.
- 1 grupo de desarenadores NEYRPIC DEB-900 de 4 conos
- 1 grupo de deslamadores NEYRPIC DBF-300 de 8 conos
- 1 vibrotamiz o zaranda doble equipada con mallas 100-80

Además se tendrá un depósito de 350 m³ de agua salada como reserva, contra pérdidas de fluidos y dilución, y una reserva de 70 m³ de agua dulce.

Dadas las grandes dificultades de abastecimiento de la isla es necesario tener un gran stock de productos de lodos, como más tarde se dirá.

a) Fase I - Perforación en 17 1/2" - De 0 a 350 m

En la perforación de esta fase, se deberá mantener la densidad lo más baja posible mediante el funcionamiento del equipo desarenador y deslamador y dilución con agua de mar. Por el contrario la viscosidad se mantendrá en los valores preconiza

dos. La constancia de estos valores limitará el valor de las pérdidas.

Se estima un volumen total de 200 m^3 (80 m^3 pozo y 120 m^3 balsas) al final de esta fase, por lo que en la previsión de materiales de lodos, realizada en el resumen, teniendo en cuenta la dilución y el lodo que tiran los desarenadores, se debe considerar un volumen total de 300 m^3 .

La perforación del tapón de cementación de la tubería de $13 \frac{3}{8}$ " debe realizarse con agua de mar para no contaminar el lodo.

b) Fase II - Perforación en $12 \frac{1}{4}$ " - De 350 a 1.200 m

Se continuará con lodo de la fase anterior, debiéndose fabricar nuevo lodo para llegar al final de esta fase con un volumen estimado de 250 m^3 . El nuevo se fabricará reforzando con cromolignina hasta 10 ó 15 kg/m^3 .

Si fuera necesario por el aumento de temperatura se añadirá lignito al lodo en circulación.

Teniendo en cuenta la evaporación, la dilución y las posibles bajadas de la viscosidad, así como el lodo desaprovechado por los desarenadores y deslamadores en marcha, la previsión del volumen total será de 375 m^3 .

Para la perforación del tapón de cementación de la tubería de $9 \frac{5}{8}$ " se guardarán iguales precauciones que en la fase anterior.

c) Fase III - Perforación en 8 1/2" - De 1.200 a 2.500 m

Teniendo en cuenta que en esta fase pueden hallarse los niveles productivos, es especialmente necesario mantener un control muy riguroso de los niveles de las balsas para detectar - cualquier afluencia o pérdida indicativa de las capas productivas.

Las características del lodo de esta fase deben ser bien controladas para poder alcanzar plenamente los objetivos propuestos.

Si como es de preveer la temperatura es superior a los 200°C, será necesario el tratamiento del lodo con lignito en conjunción con cromolignina en la proporción de 10 y 20 kg, respectivamente, o más si fuera necesario, por m³ de lodo.

Así mismo se cuidará de mantener el contenido en sólidos mediante la adición de agua de mar para compensar las pérdidas por evaporación. Igualmente será imprescindible la utilización de un antiespumante, estearato de aluminio, para evitar en lo posible el burbujeo originado por efecto de la alta temperatura.

Para el cálculo de aditivos consideramos sólo un incremento del volumen de 75 m³, correspondiente a la profundización con el tricono de 8 1/2" y una dilución del 30%. El volumen del lodo en esta fase es de 215 m³, siendo 245 m³ los manipulados a lo largo de ella.

La mayor dificultad a solucionar en la circulación de lodos es la posibilidad de existencia de pérdidas de circulación por fisuras, porosidades, grietas, cavernas, etc. durante la perforación del sondeo. Estas pérdidas de lodos las dividimos según la forma en que programamos su colmatación en: bajas -has

ta $2 \text{ m}^3/\text{h}$ -, medias $-2 \text{ a } 10 \text{ m}^3/\text{h}$ - y altas $-\text{más de } 10 \text{ m}^3/\text{h}$ y totales.

En el primer caso, producidas por pequeñas fisuras, nos proponemos taponarlas agregando al lodo productos colmatantes, como mica, celofán, cáscara de nuez o otros materiales de origen vegetal en una proporción total de $60 \text{ kg}/\text{m}^3$ que unidas al lodo, mediante un mezclado violento, impermeabilizan la pared del pozo.

En el segundo caso, la solución elegida consiste en preparar tapones de 25 m^3 de lodos viscosos ($>70 \text{ seg. March}$) a los que se añadirán, mediante mezclado violento, productos colmatantes de mayor tamaño que en el caso anterior, como cáscara de nuez gruesa, celofán, fibra de caña gruesa, pulpa de remolacha, en una proporción total de $100 \text{ kg}/\text{m}^3$ y bentobloc.

En ambos casos se continuará la perforación normalmente hasta conseguir con dichos tapones acabar con las pérdidas o, por el contrario, que estas alcancen mayores volúmenes recibiendo entonces los tratamientos que seguidamente se proponen.

En el caso de grandes pérdidas, se determinará su origen (formación bastante permeable, fracturas, grietas, etc.) y su localización, preparando una lechada para impermeabilizar y cerrar la formación por donde se presentó la fuga. En este pozo utilizaremos los tres tipos de lechada que se citan a continuación, según su orden jerárquico de empleo, es decir, solamente se pasará a utilizar la siguiente cuando la anterior haya demonstrado su fracaso:

- a) De cemento con un peso aproximado de $1,75 \text{ kg}/\text{l}$. Para su fabricación se usará cemento Portland normal.

- b) De gel-cemento, que es una lechada de cemento a la cual se añade bentonita (2-8%) que la hace menos densa pero aumenta su viscosidad y permeabilidad.
- c) Mezcla de gasóleo, sepiolita y cemento (8-5-5), pero como su mezclado es difícil y su manejo peligroso por la rapidez de fraguado, sólo se utilizará en los casos muy complicados y cuando habiendo fracasado todo lo anterior, no quede otro re medio que su empleo

En caso de juzgarlo necesario, bien por la imposibilidad de obtener retorno colmatando las fugas, bien por retrasar este taponamiento para más adelante, se ha proyectado seguir la perforación con pérdida total de fluido, utilizando como fluido el agua de mar. Para ello se ha instalado un circuito de bombas y tuberías capaces de abastecer, procedente del mar y de forma - constante, el agua necesaria para realizar dicha perforación - sin interrupción. Se ha desechado la solución de perforar utilizando espuma, que resolvería las pérdidas pero a costa de no poder detener las posibles erupciones de vapor que podrían poner en peligro todo el equipo y al personal, y obligarían al uso inmediato del agua de mar; además su costo, considerando el equipo de compresores, bombas, válvulas de retención, cabeza giratoria, etc. y los técnicos especialistas que necesita, es aproximadamente el doble del alcanzado con la primera solución.

Necesidad de materiales

El volumen mínimo de lodo manipulado es de 750 m³:

- Fase 17 1/2"	300 m ³
- Fase 12 1/4"	375 m ³
- Fase 8 1/2"	75 m ³

Este cálculo y apreciación de consumo supone las necesidades de una operación normal, con una dilución del 30/40%, en base a que el equipo operador cuenta con los adecuados elementos de control de sólidos.

Ahora bien, para obtener una previsión más correcta debe tomarse en cuenta:

- La existencia de pérdidas de circulación que exigirán consumos de sepiolita, bentonita, sosa, materiales de control de pérdida, etc., difíciles de calcular, pero que consideraremos en el porcentaje de seguridad.
- El alejamiento geográfico del pozo desde los centros de abastecimiento y la demora que podría haber desde la fecha de un pedido a la llegada al sondeo, lo que obliga a preveer cierta cantidad de algunos materiales para asegurar la autonomía de la operación.
- No se puede economizar al tratar de evitar tener capitales detenidos en stocks, cuando ello trae consigo el peligro de la operación, dejando al equipo mismo detenido en espera de llegada de aditivos, lo cual, sin duda, es aún menos económico.
- Se debe tener un stock de barita suficiente para levantar la densidad del volumen final de lodo, desde 1,13 a 1,35.
- Se ha programado un sistema de operación para pedidos de aditivos en caso de aumento de necesidad por pérdidas extraordinarias o por consumos anormales.

MATERIALES	MINIMOS Tons	TEMPERATURA Tons	PORCENTAJE SEGURIDAD %	SEGURIDAD Tons	TOTAL Tons
<u>1. Del Programa de Perforación:</u>					
Sepiolita	55,5	-	50	27,8	83,3
Bentonita	25,2	-	50	12,6	37,8
Sosa Caústica	3,0	-	50	1,5	4,5
Cromolignina	9,5	2,6	65	7,9	20
Lignito	2,5	7,7	75	7,8	18
<u>2. Correctores</u>					
Bicarbonato sódico	1	-	-	-	1
Bicromato potásico	-	-	-	1,5	1,5
Estearato aluminio	-	1	50	0,5	1,5
Barita	-	-	-	50	50
<u>3. De Pérdidas</u>					
Colmatantes finos	-	-	-	4	4
Colmatantes grues.	-	-	-	4	4
Bentobloc	-	-	-	28	28

4.6.- BARRENAS-TRICONOS

Los diámetros de las barrenas a utilizar vienen indica dos por el "drift" de la tubería superior, obtenido a partir del diámetro del madril del maguito de dicha tubería. Estos diá metros de triconos, como se indican en el cuadro de caracterís ticas de la tubería, son:

17 1/2", 12 1/4", 8 1/2" y 6"

El terreno es un factor desconocido en la perforación de exploración y las variaciones a veces totalmente sorpresi vas que se presentan no permiten, en la mayoría de los casos , una elección correcta de detalle que consiga una adaptación perfecta de la barrena a la roca.

Teniendo en cuenta la anterior salvedad, en este sondeo, considerando las formaciones a atravesar, principalmente basal tos, duros y abrasivos, y las temperaturas que se esperaban, se programó la utilización de triconos de pastillas de carbu ro de tungsteno, con rodamientos estancos y piñas protegidas, es decir, los tipos 615 y 625, para 17 1/2"Ø y 12 1/4"Ø, y los ti pos 627, 737 y 837 para 8 1/2", más altas temperaturas, según la clasificación de la IADC.

Para cuantificar la cantidad de triconos a preveer para cada una de las fases o diámetros, se ha tenido en cuenta: la longitud de cada tramo a perforar, el desconocimiento del tipo exacto de formación, las difíciles comunicaciones con Lanzaro te que obligan a cubrir cualquier contingencia, etc.

Para casos excepcionales, formaciones muy blandas, ins trumentaciones especiales, atravesar el cemento de las entuba ciones, etc., se han preparado dos triconos de diferentes ti

pos, 231 y 335 para cada una de las fases de 12 1/4" y 8 1/2".

En los triconos de jets se solicitan toberas de 20/32"Ø y 22/32" Ø.

El programa total de barrenas propuesto, fue:

1ª Fase, 17 1/2"

- 5 triconos tipo 615

2ª Fase, 12 1/4"

- 4 triconos tipo 615
- 6 triconos tipo 625
- 2 triconos tipo 231

3ª Fase, 8 1/2"

- 5 triconos tipo 627
- 5 triconos tipo 737
- 4 triconos tipo 837
- 1 tricono tipo 231
- 1 tricono tipo 335

4.7.- CARACTERISTICAS DE LA FORMACION - PARAMETROS

Los parámetros de perforación comprenden todos los factores que influyen sobre el avance instantáneo de una barrena y su metraje global.

Los parámetros más importantes, son:

- Elección de la barrena
- Peso sobre la barrena
- Velocidad de rotación
- Caudal del fluido de perforación
- Propiedades del fluido de perforación.

a) Elección de la barrena

La elección del conjunto de triconos a utilizar en Lanzarote se ha tratado dentro de su capítulo correspondiente, teniendo en cuenta la geología general y las formaciones a atravesar.

La selección final, dentro de la gama de barrenas programadas, triconos de pastillas, depende de las necesidades - del momento y vendrá determinada por el geólogo del campo y el superintendente de perforación.

b) Peso sobre la barrena

Una vez elegida la clase de herramienta de perforación, triconos de pastillas, vienen determinados los límites del peso sobre la barrena, que deberá ser alto dada la dureza de dicha barrena:

Estos límites serán:

- Con barrena de 17 1/2", alrededor de 15 t, en cuanto se puedan tener las suficientes lastrabarrenas.
- Con barrena de 12 1/4", de 12 a 17 t y,
- Con barrena de 8 1/2" de 10 a 15 t.

Naturalmente, si la formación fuera distinta de la esperada habría que cambiar este parámetro y emplear el más conveniente para la nueva formación.

c) Velocidad de rotación

Por iguales razones que con el peso de la barrena, la velocidad de rotación debe ser baja. Los límites serán:

- Con barrena de 17 1/2", se propone emplear 100 a 120 r.p.m., para compensar la falta de peso.
- Con barrena de 12 1/4", se programa de 80 a 100 r.p.m. y,
- Con barrena de 8 1/2", de 60 a 70 r.p.m.

Hacemos la misma salvedad que en el peso, si la formación es distinta a la esperada.

d) Caudal del fluido de perforación

Debe ser suficiente para asegurar una buena subida de detritus. Las velocidades de ascensión del lodo en el espacio anular varían, para conseguir este objeto sin dañar las paredes del pozo, de 20 a 60 m/min. según la dureza del terreno y el diámetro de perforación.

Esta velocidad ascensional, que es variable según las condiciones del pozo, es una indicación para determinar el caudal óptimo. La velocidad ascendente varía inversamente proporcional con el diámetro del pozo.

En este sondeo se programaron las velocidades ascensionales y caudales del fluido de perforación siguientes:

	VELOC. ASCEND.	C A U D A L
Pozo de 17 1/2"	20 m/min.	2.700 l/min.
Pozo de 12 1/4"	23 - 29 m/min.	1.500 a 1.800 l/min.
Pozo de 8 1/2"	46 - 60 m/min.	1.200 a 1.550 l/min.

e) Propiedades del fluido de perforación

Se tratan en el Capítulo del Programa de Lodos.

4.8.- SARTAS. CARACTERISTICAS, DISEÑO Y ELEMENTOS DEL TREN DE PERFORACION

1.- Sarta mínima para 2.500 m en pozo de 8 1/2" Ø

Para obtener el peso máximo propuesto, 15 t, con barrena de 8 1/2", considerando un lodo de 1,14 de densidad, que origina un factor de flotabilidad de 0,854 y que el punto neutro (tensión y compresión nulas) quede dentro de la columna de las trabarrenas a un máximo del 75% de su longitud empezando a contar a partir del tricono, se precisarán:

$$\frac{15.000 \text{ kg}}{0,854 \times 0,75} = 23.420 \text{ kg, que con lastrabarrenas de } 6 \frac{1}{4}'' \text{ D.E. y } 2 \frac{1}{4}'' \text{ D.I. y } 9,15 \text{ m de}$$

longitud, que poseen un peso unitario de 134,7 kg/m, significa una necesidad mínima de: $23.420 : 134,7 \times 9,15 = 19$ lastrabarrenas, que al ser los tiros de extracción de 3 unidades, marca un mínimo de 21 lastrabarrenas.

Para cubrir roturas y para reserva por instrumentaciones, se solicitarán 27 lastrabarreras de 6 1/4" D.E.

Las varillas programadas son:

- 3.000 m de varillas de 4 1/2" \varnothing , grado E, 16,60 # tipo EU con manguitos de 6 1/4" \varnothing , rosca 4 1/2 IF, ya que sus características nos permiten alcanzar los 2.500 m propuestos, al poder soportar, con margen de seguridad, el peso total del tren de perforación en dicha cota.

En efecto, la longitud máxima que dichas varillas pueden descender en un sondeo es:

$$L = \frac{T \cdot 0,9 \cdot \rho}{PF} - \frac{P_L \cdot L_L}{P} ; T \cdot 0,9 \rho = F(LP + P_L L_L)$$

en donde:

L = longitud máxima de varillas (m)

T = tracción en el límite elástico de las varillas = 116.000 da N

T.0,9 = tracción máxima de trabajo

ρ = coeficiente de seguridad = 0,75

F = factor de flotabilidad = 0,854 (con lodo de 1,14)

P = peso unitario varillas = 26,80 kg/m

P_L = peso unitario lastrabarrenas = 134,7 kg/m

L_L = longitud total lastrabarrenas = 21 x 9,15 \approx 192 m

Por tanto:

$$L = \frac{116.000 \times 0,9 \times 0,75}{26,8 \times 0,854} - \frac{134,7 \times 192}{26,8} = 2.456 \text{ m}$$

La profundidad máxima de perforación que se puede alcanzar será igual a: $L + L_L = 2.456 + 192 = \underline{\underline{2.648 \text{ m}}}$

Utilizando 15 lastrabarrénas de 6 1/4" \emptyset , longitud total 156 m y peso máximo sobre barrena de 13,5 toneladas, se alcanzará, realizando idéntico cálculo:

$$2.637 \text{ m} + 156 \text{ m} = 2.893 \text{ m}$$

2.- Lastrabarrenas para pozos de 17 1/2" y 12 1/4" \emptyset

Las varillas de perforación son las programadas para el pozo de 8 1/2" \emptyset .

Para los pozos de 17 1/2" y 12 1/4" \emptyset , se deben utilizar lastrabarrenas de dos tipos: a) de 9 1/2 a 10" D.E. y, b) de 7 1/2 a 8" D.E.

Para calcular la cantidad mínima de cada tipo, se considerarán las recomendadas por el C.T.P.

- Lastrabarrenas de 9 1/2" D.E., 3" D.I., 9,15 m de longitud y rosca 7 5/8 Reg.
- Lastrabarrenas de 7 3/4" D.E., 2 13/16" D.I., 9,15 m longitud y rosca 6 5/8 Reg.

Dado que las primeras son difíciles de manejar durante las maniobras y que el tramo en que se van a utilizar plenamente es el de 12 1/4", se propone para este sondeo emplear únicamente 3 lastrabarrenas de 9 1/2", que durante las maniobras quedarán suspendidas del gancho.

Para obtener el número de lastrabarrenas de 7 3/4" D.E. se tiene en cuenta el máximo peso sobre barrena, propuesto para 17 1/2" y 12 1/4", 17 t, el factor de flotabilidad del lodo, 0,859 (densidad 1,10), el punto neutro, 75% de longitud, y el

peso unitario de las 7 3/4" DE, 207 kg/m, y se opera de igual forma que en el punto anterior.

Entonces, siendo N el número mínimo de lastrabarrenas de 7 3/4", se tendrá:

$$N = \frac{17.000 \text{ kg}}{0,859 \times 0,75 \times 9,15 \text{ m} \times 207 \text{ kg/m}} = 13,93 \approx 14$$

Para completar el triple de extracción y cubrir roturas y reservas de instrumentaciones se solicitarán 15.

Por tanto el pedido será:

- 3 lastrabarrenas de 9 1/2" DE, 3" D.I., 9,1 m de longitud, rosca 7 5/8 Reg, o similar y,
- 15 lastrabarrenas de 7 3/4" DE, 2 13/16" DI, 9,1 m longitud, rosca 6 5/8 Reg o similar.

3.- Elementos de estabilización y protección del tren de perforación

Con objeto de conseguir un pozo lo más vertical posible y de un desarrollo totalmente liso y suave, evitando fuertes desviaciones y gradientes de desviación más altos que los propuestos, reduciendo el ángulo final del pozo, limitando sus cambios de ángulo y, sobre todo, las muy peligrosas "patas de perro", que producen roces y fatigas sobre la sarta hasta llegar a la rotura, a la vez que se consigue aplicar sobre el trípode el correcto peso de las lastrabarrenas programado para alcanzar la velocidad máxima de penetración, se mejora el rendimiento de la barrena, se amortiguan las destructoras vibraciones, se minimiza el "pegado" por presión diferencial, y se consigue una

sarta más uniforme, se dotará a la sarta de ciertos elementos de estabilización, rectificación y protección.

Estos elementos se utilizan imprescindiblemente, cambiándolos de lugar dentro de la sarta, durante los controles de pozo efectuados antes de las entubaciones para poder realizar éstas correctamente y con plenas garantías.

Para estabilizar y uniformizar la sarta se utilizarán - estabilizadores de cuchillas, por las temperaturas, y Hevi - Wate Drill Pipe.

Para alisar el desarrollo del pozo, hacer desaparecer cambios bruscos y "patas de perro" en su recorrido, mejorar el rendimiento de la barrena, y estabilizar, se emplearán escariadores "Reamer" con rodillos tipo "K".

Y para amortiguar las vibraciones y mejorar el rendimiento de la barrena se usará un martillo rotativo amortiguador de golpes.

Los elementos programados para cada fase fueron:

- Fase 17 1/2

1 Escariador (bit reamer) de 17 1/2" equipado con rodillos de tipo "K".

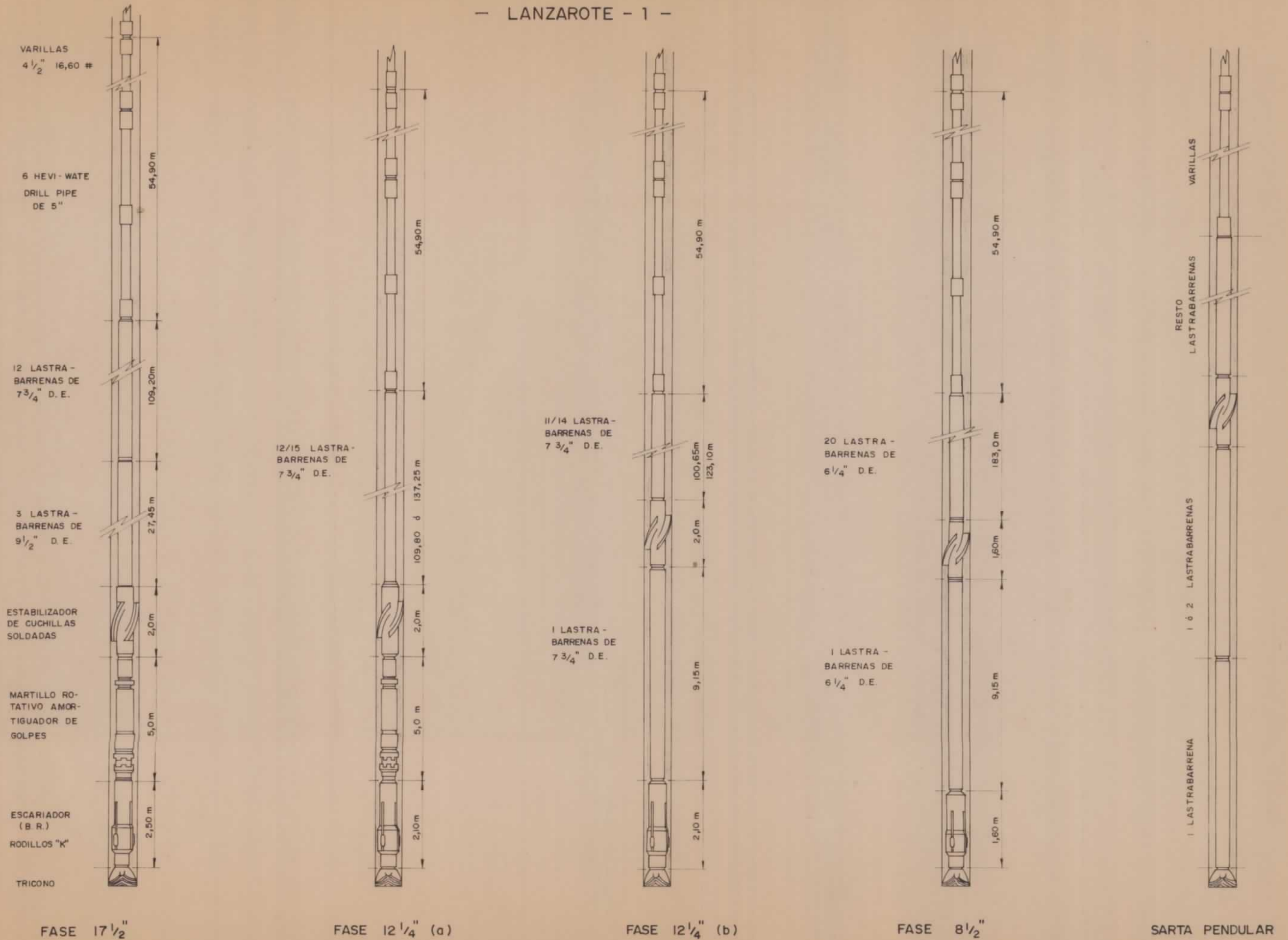
1 Estabilizador de cuchillas soldadas TC I de 17 3/8".

1 Martillo rotativo amortiguador de golpes de 10" D.E. para alta temperatura.

9 Hevi-Wate drill pipe 5", rosca 4 1/2 IF.

PROGRAMA DE ESTABILIZACION Y PROTECCION DEL TREN DE VARILLAJE

- LANZAROTE - 1 -



- Fase 12 1/4"

- 1 Escariador ("bit reamer") de 12 1/4" equipado con rodillos de tipo "K".
- 1 Estabilizador de cuchillas soldadas de 12 3/16".
- 1 Martillo rotativo amortiguador de golpes de 10"E.D. para alta temperatura.
- 9 Hevi-wate drill pipe 5" rosca 4 1/2 IF.

- Fase 8 1/2"

- 1 Escariador ("bit reamer") de 8 1/2" equipado con rodillos de tipo "K".
- 2 Estabilizadores 8 7/16" de cuchillas soldadas
- 9 Hevi-wate drill pipe 5", rosca 4 1/2 F.

En el gráfico adjunto se detalla la colocación de estos elementos dentro del tren de perforación así como una sarta pendular.

Esta sarta pendular se utiliza cuando habiéndose producido un fuerte desvío se desea enderezar el pozo de forma rápida.

4.9.- EQUIPO DE PERFORACION

El equipo a emplear en la perforación del sondeo Lanza rote 1 es el utilizado en campos petroleros, al que únicamente se le harán las adaptaciones necesarias para una eficiente perforación geotérmica.

Puesto que la profundidad a alcanzar es 2.500 m se propone un equipo rotatorio de capacidad media.

Un equipo rotatorio cumple las tres funciones principales siguientes:

a) Función rotativa

El método "rotary" utiliza para la perforación un trépano animado de un movimiento de rotación. Este movimiento le es transmitido desde la superficie por un árbol de transmisión, "árbol de perforación" o "sarta", constituido por varillas y lastrabarrenas roscadas. Este árbol, sostenido de su extremidad superior, reposa en parte (lastrabarrenas) sobre el trépano, proporcionando la fuerza necesaria para su penetración en el terreno.

El movimiento giratorio del árbol se lo transmite, por medio de un tubo de sección cuadrada (Kelly), una mesa de rotación. La potencia requerida por esta mesa se la suministran los motores del equipo, a través de transmisiones de cadena, caja de cambio y transmisión mecánica con engranaje cónico.

La mesa de rotación sirve también para suspender la columna de perforación o la tubería de revestimiento durante los viajes de introducción o extracción por medio de una guía y unas cuñas insertadas en su abertura central.

La sarta, durante la perforación, está suspendida del polipasto a través del gancho, cabeza de inyección y Kelly.

Como hemos visto la sarta tiene varias funciones:

- transmitir la rotación al trépano
- aplicarle una cierta compresión
- aportar la energía hidráulica que será necesaria para la evacuación de detritus por el espacio anular, etc.

Por ello este árbol de perforación tiene tres partes - distintas:

- en la parte superior la barra cuadrada (Kelly) que recibe el movimiento de la mesa de rotación. Medidas, longitud 40' y calibre nominal de 2 1/2" a 6". Para este sondeo se utilizará de 4 1/4".

- en la parte media, varillas de perforación, que están sometidas, además de al esfuerzo de torsión, al de tensión. En sus extremos van provistas de juntas de unión (tool-joints) que facilitaran el roscado de las varillas, por medio de una rosca de gran conicidad y gruesos hilos. En este sondeo se utilizará varillas de 4 1/2" con "tool-joint" de 6 1/4".

- en la parte inferior, las lastrabarrenas que sirven para aplicar el peso suficiente sobre el trépano para hacerle avanzar, y dejan así, las varillas en tensión. Son tubos gruesos y pesados, de mayores diámetros que las varillas; sus roscas están sometidas a trabajos muy duros por su rigidez que produce esfuerzos alternos muy elevados a la menor vibración (roturas), por ello son de un acabado y una forma especial. En este sondeo se utilizan de 6 1/4", 7 3/4" y 9 1/2" Ø.

Tanto las varillas como las lastrabarrenas son de 30' - de longitud.

b) Función Circulación de Lodos

La evacuación de los detritus arrancados del fondo por el trépano y la refrigeración de éste son asegurados de una manera continua por una corriente de lodo inyectada por el interior de las varillas de perforación y subiendo por el espacio anular (varillas-pozo) a una velocidad suficiente para elevar los detritus hasta la superficie. La presión hidrostática del lodo permite además atravesar rocas impregnadas de fluidos bajo presión sin que éstos hagan erupción en el pozo. En fin, gracias a sus cualidades coloidales, el lodo permite evitar el derrumbe de las paredes del pozo, y perforar así grandes longitudes sin proteger el terreno por tuberías.

Los elementos que aseguran la circulación del lodo son: las bombas de lodos que lo impulsan a través de un conjunto de conductos y de la cabeza de inyección en el tren de varillas de perforación. A su salida del espacio anular, el lodo es enviado sobre un tamiz vibrante o zaranda que separa los detritus que lleva en flotación desde el fondo, y después reposa en las balsas de decantación y almacenaje de donde él es retomado por las bombas.

- Bombas de lodos: Las bombas utilizadas en la perforación son de pistones horizontales de doble efecto. Generalmente tienen dos cilindros (bombas Duplex), aunque también se emplean de tres cilindros (bombas Triplex). Los pistones son accionados por un sistema biela-manivela.

La capacidad de una bomba viene indicada por las medidas máximas de sus camisas y de la carrera del pistón.

La parte hidráulica de la bomba se compone esencialmente de un cuerpo de bomba y de elementos (camisas, pistones, vástagos) que sufren uso durante su funcionamiento.

La parte mecánica consta de un árbol principal provisto de manivelas o excéntricas que accionan las bielas. Ese árbol lleva en medio una corona dentada de gran diámetro que está engranada con un piñón dentado montado en el árbol de ataque. Este último lleva en uno de sus extremos una gran polea de gargantas, que es accionada por medio de correas desde otra polea menor.

Esta polea es movida bien directamente por los motores, a través de los embragues correspondientes, o bien indirectamente por medio de un transmisor de cadenas (compound).

Las bombas van provistas de válvula de seguridad y amortiguador de pulsaciones.

c) Función Extractora e Introdutora en el Pozo

Las maniobras necesarias para reemplazar los trépanos - usados o para introducir las tuberías en el pozo, etc. exigen la presencia en superficie de una serie de órganos o elementos que hacen posible este trabajo. Los principales son:

- Mástil. Torre de celosía de cuerpo estructural de 138' de altura (la necesaria para poder extraer 3 varillas -90'- cada vez), cuya capacidad dependerá de la carga más pesada (generalmente una tubería) que debe levantar, y del número de cables y de su posición en la torre, y con el suficiente espacio disponible para el almacenamiento de la sarta en el caso del cambio de tricono.

- Subestructura. La torre descansa sobre la subestructura, que a su vez lo hace sobre el suelo. En la actualidad es necesario el uso de subestructura para instalar bajo la mesa de rotación y sobre el suelo los dispositivos de protección contra las erupciones. En un sondeo geotérmico la altura de esta subestructura es mayor, ya que el equipo de seguridad es más grande que el empleado en pozos petroleros.

La parte superior de la subestructura es lo que constituye la planchada de trabajo de la sonda y en ella se instala la mesa de rotación y el personal.

La subestructura debe soportar la carga de la torre, el peso de la tubería más pesada y el peso entero de la sarta cuando se está entubando.

- Polipasto. Cuyo fin es repartir en varias vueltas de cable las cargas que el gancho debe soportar en un sondeo. El grupo de poleas fijo va montado en el vértice de la torre, y del grupo de poleas móvil se suspende el gancho. El número de briznas del cable (6 a 14) depende de las cargas a soportar. En este sondeo se utilizarán 8.

El cable utilizado es de diámetro variable (7/8" a 2") según la profundidad. Sus hilos pueden ser de Plow Steel, Improved Plow Steel y Extra Improved Plow Steel. Sus torones son 6 x 19 Seale, 6 x 25 Filler y 6 x 19 Warrington. El toronado es a derecha normal: hilos a izquierda, torones a derecha. Puede tener alma metálica o textil. El extremo del cable muerto se sujeta a la subestructura de la torre, colocando en él el aparato de medida del peso. El extremo activo se acciona por el cabrestante. La velocidad máxima del cable en las maniobras, para obtener buenas condiciones de funcionamiento, debe situarse entre 18 y 25 m/seg.

- Cabrestante. Su objeto principal es realizar la reco
gida del cable. Para lo cual posee un tambor llamado de "mani
bra" en donde se enrolla el cable que transmite la potencia re
querida para sacar la tubería de perforación o cualquier otro
elemento.

Para recoger el cable sobre el tambor es necesario pro
porcionarle energía, mientras que para soltarlo es suficiente
con el peso de los aparatos, ganchos, sarta, etc. Para el pri
mer movimiento, la fuerza motriz le llega desde los motores a
través de transmisiones de cadena (compound), caja de velocida
des y embragues neumáticos. Posee normalmente dos frenos, uno
de fricción y otro, secundario, hidráulico o electromagnético;
con ellos se detienen los movimientos de las cargas que se ba
jan al pozo. La caja de cambios sirve para conseguir el mejor
rendimiento de la fuerza motriz respecto a los esfuerzos ejer
cidos por el cable.

Posee también un aparejo de gatos, que consiste en pe
queñas poleas colocadas lateralmente en el cabrestante, y que
suministran la fuerza necesaria para el enrosca
do del tren de perforación o de la tubería de revestimiento.

El cabrestante está preparado para transmitirle energía
a la mesa de rotación.

- Gancho. Es un órgano que completa el polipasto móvil,
del que a veces es parte integrante. Tiene un gancho con cie
rre de seguridad para tomar y suspender el cuello de la cabe
za de inyección durante la perforación. En los costados lleva
dos orejetas para recibir los brazos elevadores que se unen por
el collar de elevación y que sirven para las maniobras de las

varillas, tuberías, etc. Posee también un seguro para no girar libremente durante la perforación y un resorte de muelle, amortiguador, para salvaguardar las roscas de las uniones durante las maniobras.

- Cabeza de inyección. Tiene doble finalidad: a) Soportar, colgada del gancho, la sarta durante la perforación, y b) Unir el circuito de lodos de superficie, que está fijo en el espacio, con la sarta de perforación que debe estar animada de un movimiento de rotación y de un movimiento de traslación o de avance. Este último se absorbe por medio del flexible de inyección, parte final del circuito de lodos de superficie.

Es esencialmente un soporte doblado provisto de un prensa-estopas.

- El utillaje utilizado para las maniobras es: las llaves que sirven para roscar y desenroscar tuberías; las cuñas de retención que sirven para acuñar la mesa de rotación cuando las tuberías no están suspendidas del elevador; los collares de retención, etc.

El control del tiempo de perforación, el registro de los valores instantáneos de los diferentes parámetros, el control del trabajo del sondista y de las máquinas, el control del pozo y de la velocidad de avance exigen que el aparato de perforación esté provisto de numerosos instrumentos indicadores y registradores. Los previstos son: a) registrador Martín Decker, que posee registrador de peso, indicador de presión, indicador de toque y medidor de tiempos y de trabajo; b) registro Geograph, para control de la velocidad de avance y de maniobras; c) inclinómetro Totco para medir desviaciones del pozo; d) indicador de toque para apriete de lastrabarrenas; e) equipo completo control de lodos; etc.

Fuerza Motriz

Para cumplir estas tres funciones principales del sondeo se precisa fuerza motriz, que puede obtenerse con motores de explosión, eléctricos o de vapor. Lo normal es el empleo de los primeros.

Para el estudio de la instalación motriz del aparato de perforación, que comprende los motores y los órganos de transmisión de potencia que ellos proporcionan, se debe tener en cuenta que en la gran mayoría de las circunstancias la función elevadora o de maniobras en el pozo de una parte y las funciones de rotación y de bombeo de otra no se realizan simultáneamente.

En efecto mientras se perfora, es necesario hacer girar la mesa de rotación y hacer marchar las bombas; pero en este caso, el tren de sonda es retenido por el freno.

Por el contrario, durante la maniobra, no se necesita bombear y si es preciso utilizar la mesa de rotación, es mientras el gancho está inmóvil, estando el freno "echado".

Estos hechos permiten concebir los motores principales comunes a las tres funciones, elevación, rotación y bombeo, de forma que solucionen la función más exigente (en general la bomba). Resulta de ello una economía substancial a tener en cuenta. Las transmisiones son entonces introducidas para canalizar la potencia instalada, bien sobre el cabrestante, bien sobre la mesa de rotación, bien sobre las bombas; ésto se logra con un juego de transmisiones de cadena que se llama "compound".

Este aprovechamiento es mayor cuando la potencia requerida para el bombeo es netamente superior a la pedida por la elevación; en este caso se añade a la bomba o bombas alimenta

das a partir de los motores del cabrestante, uno o dos grupo moto - bombas independientes. Fue el caso de este sondeo.

Para calcular la potencia necesaria en el equipo de perforación, que realizaremos posteriormente, se tendrá en cuenta:

a) en el equipo de maniobra la carga más pesada que debe ser elevada a la máxima velocidad compatible con la seguridad.

b) en las bombas, los caudales y velocidades necesarias para el rendimiento máximo de trépano.

c) en el sistema de rotación el poder transmitir al tren de perforación la potencia precisa para hacer girar el trépano a velocidades que aseguren su mejor rendimiento, dentro del límite de resistencia de dicho tren.

Funciones Auxiliares

Finalmente debemos considerar, en la solicitud del equipo, las funciones auxiliares como iluminación del equipo, soldaduras oxi-acetilena y eléctrica, calefacciones, si a lugar, bombas de gas-oil y agua para limpieza y otros fines, compresores, tamiz vibrante, desarenadores, deslamadores, obturadores, etc. así como las potencias necesarias para ellas. Como la fuerza motriz que mejor se adapta para estos fines es la eléctrica, por tener transporte y mando fácil, a pesar de su débil rendimiento, la mayoría de ellas se alimentarán por medio de, al menos, como seguridad, dos grupos electrógenos, con una potencia total mínima de 200 Kw.

Otra función auxiliar, que en este sondeo por su situación fue muy importante, es el suministro de agua al sondeo para fabricar lodo. Su potencia motriz, sus bombas y su instalación es muy variable y particular para cada caso.

4.10.- CAPACIDAD DE LOS ORGANOS DE ELEVACION EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD

Es prácticamente imposible seleccionar de forma razonable el material de elevación justo a adaptar a la tracción máxima teórica que se debe encontrar en el curso de una perforación; por ello, estos órganos de elevación, a excepción quizás del cable, están siempre sobredimensionados.

Los esfuerzos de tracción máximos teóricos a que deberán estar sometidos estos elementos vienen dados por:

- Estático: peso en el aire del "casing" de 7" \varnothing = 105 t
- Dinámico: peso en el aire de la sarta a 2.500 m = 88 t, y a 70 R.P.M.

a) Cable. Se propone un cable mínimo de 1 1/8" \varnothing , 6 x 19 Seale IPS con 40,2 t de carga de rotura.

En efecto, siendo el esfuerzo de tracción 105 t, 8 el número de cables del polipasto y $K = 0,96$ el rendimiento por polea, se tiene que la tensión en el cable de tracción es:

$$t = P. \frac{(1-K)}{K (1-K^n)} = 105. \frac{1}{6,728} = 16 \text{ toneladas}$$

y el coeficiente de seguridad con 8 cables será:

$$C.S.E. = \frac{\text{Carga de rotura}}{\text{tensión}} = \frac{40,2}{16} = 2,5 > 2$$

que es el mínimo coeficiente de seguridad para entubar según API.

Y durante la perforación se tendrá con iguales cálculos

$$\text{C.S.D.} = \frac{\text{Carga rotura}}{\text{tensión}} = \frac{40,2}{88: 6,728} = 3,1 > 3$$

que es el mínimo coeficiente de seguridad para perforación según A.P.I.

Para los restantes órganos de elevación, tomamos el coeficiente de seguridad de los fabricantes dividido por 0,8, con lo que tendremos, para máximo de nuestro trabajo el 80% de la capacidad nominal del aparato. Es decir tomamos como carga de rotura la carga de prueba del fabricante.

Se tendrá.

$$\text{b) Gancho. Esfuerzo tensión} = \frac{105}{0,8} = 135 \text{ toneladas}$$

$$\text{c) Cabeza de inyección. Esfuerzo tensión dinámico} = \frac{88 \cdot 0,8}{0,8} = 88 \text{ t}$$

que equivale, según los fabricantes, a 176 toneladas estáticas.

d) Grupo poleas fijo, con 8 cables:

$$\text{Esf.tensión} = \frac{1}{0,8} \text{ Carga} = \frac{1}{0,8} \cdot \frac{\text{tensión cable muerto} + \text{tensión cable motor}}{2} \times$$

$$\times (\text{número de cables} + 2) = \frac{1}{0,8} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{105}{8} + \frac{105}{6,728} \right) (8 + 2) =$$

$$= 180 \text{ toneladas.}$$

e) Grupo de poleas móvil, con 8 cables:

$$\text{Esf.tensión} = \frac{1}{0,8} \text{ Carga} = \frac{1}{0,8} \cdot \frac{\text{tensión cable muerto} + \text{tensión cable motor}}{2}$$

$$\times \text{número de cable} = \frac{1}{0,8} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{105}{8} + \frac{105}{6,728} \right) 8 = 144 \text{ toneladas}$$

Se programa:

Cable de 1 1/8" \emptyset , 6 x 19 Seale I.P.S.

Gancho de 200 t. nominal

Cabeza de inyección de 200 t. nominal

Polipastos móvil y fijo de 200 t. nominal

Mástil

Su capacidad vendrá solicitada por la carga máxima 105 t, el coeficiente de seguridad igual a 2, y la carga reducida en función del almacenaje de varillas.

Se tendrá entonces:

$$\text{Capacidad} = 2 \times 105 \times \frac{1}{0,75} = 280 \text{ t. Se propone 300 toneladas}$$

Subestructura

La carga máxima que las subestructuras deberá soportar viene determinada por la suma de la carga máxima al gancho, del peso del mástil y del peso de la sarta durante la entubación - en 7" \emptyset .

$$\text{Carga} = 105 + (23 + 3) + 88 = 219 \text{ toneladas}$$

Mesa de rotación

Su capacidad estática, con el coeficiente de seguridad, 2, es $2 \times 105 \text{ t} = 210 \text{ t}$. Tomamos 250 toneladas.

4.11.- POTENCIAS NECESARIAS EN EL EQUIPO DE PERFORACION

1. En el sistema de maniobra. Gancho, cabrestante y motores

La potencia necesaria en el gancho, viene dada por

$$P_g = \frac{1.000 PV}{75}, \text{ en donde}$$

P_g = potencia al gancho en C.V.

P = peso total al cable en toneladas fuerza, igual al peso aparente en el lodo del tren de perforación a 2.500 m. Este, definido anteriormente, consta de 2.308 m de varillas de 4 1/2" D.E. y 192 m de lastrabarrenas de 6 1/4" D.E. Por tanto, el peso total, con factor de flotabilidad del lodo, 0,854, es

$$\text{Peso aparente varillaje } 2308 \text{ m} \times 26,80 \text{ kg/m} \times 0,854 = 52,9$$

$$\text{Peso aparente lastrabarrenas } 192 \text{ m} \times 134,7 \text{ kg/m} \times 0,854 = 22,1$$

$$\text{TOTAL TONELADAS } P = \underline{75,0}$$

V = Velocidad de elevación del gancho. La velocidad máxima del cable por seguridad es de 18 a 25 m/seg; se toma 20 m/seg.

Por razones obvias de máxima utilización de la máquina y de economía la velocidad del gancho debe ser

$$V = 1/2 \frac{V_{mx} \text{ cable}}{n^{\circ} \text{briznas cable}} \times \frac{P \text{ inicial varillaje}}{P \text{ final}} = 1/2 \times 20/8 \times 23/75 = 0,38 \text{ m/seg.}$$

por tanto se tendrá

$$P_g = \frac{1.000 P.V.}{75} = \frac{1000 \times 75 \times 0,38}{75} = 380 \text{ C.V.}$$

La potencia en el cabrestante debe ser

$$P_c = \frac{n (1 - K)}{K (1 - K^n)} \quad P_g = \frac{380}{0,841} = 452 \text{ C.V.}$$

siendo $n = 8$ es número de cables del polipasto y

$K =$ el rendimiento por polea

La potencia a instalar en motores, será

$$P_m = \frac{1}{\rho} \quad P_c = \frac{1}{85} \cdot 452 = 540 \text{ C.V.}$$

siendo ρ el rendimiento mecánico global del cabrestante y de las transmisiones.

2. En la mesa de rotación

Para calcular la potencia necesaria en la mesa de rotación, se utilizará la fórmula empírica siguiente, que puede ser empleada pero con grandes reservas.

$$P_{mr} = \left(10 + \frac{L}{30}\right) \left(\frac{N}{100}\right) \cdot \left(\frac{P}{D}\right)$$

en donde:

$P_{mr} =$ Potencia aproximadamente necesaria en la mesa de rotación en CV.

$L =$ Profundidad del sondeo en metros

$N =$ Velocidad de rotación en R.P.M.

$P =$ Peso sobre el tricono en toneladas

$D =$ Diametro del tricono en pulgadas

Las condiciones extremas se producen cuando se perfora en 8 1/2" los 2.500 m.

Se tendrá:

$$P_{mr} = \left(10 + \frac{2.500}{30}\right) \frac{70}{100} \cdot \frac{15}{8,5} = 116 \text{ C.V.}$$

que en los motores, con un rendimiento mecánico en transmisiones y en la mesa del 70%, será igual a

$$P_m = \frac{1}{0,70} \cdot 116 = 166 \text{ C.V.}$$

menor que el obtenido para maniobras, y por lo tanto es válido el primero.

De todas las formas es necesario hacer notar que desde el punto de vista del geólogo, la velocidad de la mesa debe ser constante, cualquiera que sea el par resistente, ya que dicha velocidad influye sobre la velocidad de avance del tricono y como el "log" de velocidad de avance es importante para el conocimiento de la perforación, es interesante que ese "log" no sea perturbado por factores parásitos.

Además, es fundamental que en la transmisión de la mesa de rotación haya un medidor del par para evitar los peligros de rotura de sarta por exceso de torsión.

3. Estudio hidráulico. Potencia en bombas

Una vez elegidos los caudales del fluido de perforación, así como los diámetros del pozo, el tren de perforación y las barrenas y toberas a utilizar, se debe determinar la potencia hidráulica de las bombas, y la potencia mecánica de sus motores, necesaria para conseguir dichos caudales.

Para ello, es preciso conocer las pérdidas de carga producidas en el circuito de lodos del sondeo, es decir, la presión de impulsión, p , de las bombas al proporcionar el caudal solicitado.

Esta presión, para una profundidad y un caudal determinados, depende del diámetro del pozo a perforar, del diámetro interior y exterior de las varillas de perforación y de las lastrabarrenas, del manguito de unión de las varillas, de las propiedades físicas del lodo, de las toberas instaladas en la barrena y del circuito de superficie (barra cuadrada, flexible y cabeza de inyección, y tuberías de salida de bombas).

En el programa de perforación adoptado en este sondeo, se tienen casos distintos de circuito y caudal

a) Fase de 17 1/2":

Pozo de 17 1/2" \varnothing de 350 m de profundidad, caudal 2700 l/min, 27 m de lastrabarrenas 9 1/2" D.E. y 3" D.I., 108 m de lastrabarrenas 7 3/4" D.E. y 2 13/16" D.I., 215 m de varillas 4 1/2 D.E., 16,60 #, manguito 6 1/4 D.E., rosca 4 1/2 I.F., lodo de densidad 1,06, barrena sin toberas, y un circuito de superficie formado por barra cuadrada de 4 1/4" x 40', flexible de inyección 4"x55', cabeza de inyección IDEAL R-3 Tipo L-200 (2 1/2" x 6') y tubería 4" x 45'

b) Fase 12 1/4":

Pozo de 12 1/4" \varnothing de 1.200 m de profundidad, caudal 1800 l/min, 135 m lastrabarrenas 7 3/4" D.E. y 2 13/16" D.I., 1065 m de varillas 4 1/2 D.E. etc., lodo de 1,10, barrena provista de 3 toberas de 22/32" \varnothing , y circuito de superficie igual al caso anterior.

c) Fase 8 1/2":

Pozo de 8 1/2" \varnothing de 2.500 m de profundidad, caudal 1.550 l/min, 192 m de lastrabarrenas 6 1/4" D.E. y 2 1/4" D.I., 2.308

m de varillas 4 1/2 D.E., etc., lodo de 1,14, barrena provista de 3 toberas de 20/32" \varnothing , y circuito de superficie igual al caso anterior.

De estos tres casos, el que tiene mayores exigencias hidráulicas es el tercero, y, por ello, nos limitaremos a calcular en él las pérdidas de carga producida en su circuito y las potencias hidráulica y mecánica exigidas.

Pérdidas de carga en el circuito:

- Circuito de superficie	3,5 kg/cm ²
- Interior varillas perforación-2.308 m ..	34,7 kg/cm ²
- Interior lastrabarrenas-192 m	38,0 kg/cm ²
- Toberas de la barrena	12,9 kg/cm ²
- Espacio anular varillas/pozo	
- parte lisa-2.308 m	7,6 kg/cm ²
- manguitos de unión-504	1,7 kg/cm ²
- Espacio anular lastrab./pozo-192 m	<u>2,2 kg/cm²</u>
TOTAL	100,6 kg/cm ²

$$\text{Potencia hidráulica} = \frac{1}{f} \times \frac{10}{75} \times \frac{1.550}{60} \times 100,6 = 410 \text{ C.V.}$$

$$\text{rendimiento hidráulico } f = 0,85$$

$$\text{Potencia mecánica} = \frac{1}{f_m} \cdot \frac{1}{f_t} \cdot \text{Potencia hidráulica} = 570 \text{ C.V.}$$

Se precisará, por tanto, de una bomba de al menos, una potencia hidráulica de 410 C.V., impulsada por motores de una potencia total de 570 C.V., y que pueda proporcionar un mínimo caudal de 2.700 l/min.

Ahora bien, en la actualidad se tiende a las bombas de altas potencias, pero débiles caudales y por ello se adopta la solución de disponer en el equipo de perforación de dos bombas similares, con lo que, además de doblar las tareas a realizarse, se cubren los importantes riesgos de averías, que en Lanzarote serían peores por su aislamiento. Con esta solución se puede obtener el caudal solicitado en la fase 17 1/2" colocando ambas bombas en paralelo.

Por todo lo anterior, se programó solicitar 2 Bombas Duplex 7 1/4" x 14" con una potencia hidráulica de 500 C.V. cada una, movidas, por grupo de motores de una potencia total de 660 C.V. cada grupo.

Además de la función de bombear el fluido de perforación o lodo en el pozo, las bombas del equipo deben fabricar, mantener y conservar el lodo en la superficie. Estas operaciones pueden ser simultáneas a la perforación, por ello, se programa realizarlas con una tercera bomba, que debido a las necesidades de fabricar y conservar grandes volúmenes, perfecto mezclado, gran rapidez de acción, etc. que pueden exigir un caudal de 1.500 l/min, y una presión de 100 kg/cm², se propone para esta función.

1 Bomba Duplex de 7 1/2" x 16" de 350 HP.

4.12.- EQUIPOS DE SEGURIDAD Y CONTROL

Cualquier manifestación dentro del pozo producida por emanaciones de fluidos, vapores, gases, etc. desde las formaciones atravesadas, que pueden llegar a veces hasta originar violentas erupciones en superficie, debe ser sometida, controlada, medida, probada y ensayada, evitando, sobre todo, cualquier erup

ción al exterior cuyas consecuencias podrían ser altamente peligrosas y, caso extremo, catastróficas.

Una erupción se producirá si la presión de la capa atravesada es superior a la presión hidráulica del lodo a su nivel. Por tanto, la erupción se evita si la columna de lodo tiene una altura y una densidad conveniente para mantener los flúidos de las formaciones bajo presión.

Por consiguiente, la contra-presión del lodo puede ser menor que la presión de la formación, por alguna de las causas siguientes:

- 1) Densidad de lodo insuficiente en sí o por emulsión - con el gas, petróleo o vapor procedente de la formación.
- 2) Descenso del nivel del lodo en el pozo por pérdidas de circulación o por no rellenar el pozo al extraer el tren de perforación.
- 3) Efecto de pistoneo durante una maniobra por alta velocidad de extracción o de entrada.

Lo anterior indica las precauciones que deben tomarse para evitar las erupciones:

- Vigilar el nivel de las balsas para controlar pérdidas o avenidas de flúidos.
- Vigilar el aspecto y las características del lodo (densidad, viscosidad, etc.).

- Controlar el avance de perforación y la presión de circulación del lodo.
- Realizar las maniobras y los movimientos del tricono a las velocidades indicadas por la seguridad.
- Rellenar regularmente el pozo cada tres o cinco largos extraídos, controlando el lodo introducido. Efectuar el mismo control durante el descenso.
- Etc.

En cualquier caso la avenida del fluido de formación no se produce de forma brusca; poco a poco el lodo se emulsiona, su densidad media disminuye y la evolución del fenómeno se amplía rápidamente. Estas avenidas tienen como consecuencia inmediata el aumento del volumen del fluido en circulación.

Los fluidos, vapores o gases existentes en la formación se introducen dentro de la corriente del fluido de perforación, que normalmente rellena el sondeo.

Este fluido parte de las bombas de lodos y a través de las conducciones de superficie, tubería ascendente, flexible - de conexión, cabeza de inyección, barra cuadrada y tren de perforación desciende hasta llegar al tricono - fondo de pozo donde asciende a superficie por el espacio existente entre sarta y pared del pozo perforado (espacio anular).

Por tanto, cualquier manifestación puede ser detectada en superficie bien por el circuito descendente, bien por el ascendente.

Para control y seguridad del primero se tiene:

- a) Válvulas y circuitos que forman el "manifold" de los dos, colocado en las tuberías de superficie.
- b) Llave de paso, llamada "kelly-cock", existente en la entrada de la barra cuadrada.
- c) Válvula de contracorriente colocada en el fondo de la sarta del tricono.

Con cualquiera de ellas se cierra el paso a las erupciones originadas por los fluidos de formación y se las dirige hacia el espacio anular.

Para control y seguridad del circuito ascendente, espacio anular, se utiliza un equipo de válvulas, cruces, bridas y cierres que recibe el nombre genérico de Cabeza de Pozo. Se coloca en la boca del pozo, bajo la plataforma de trabajo, conectada a las tuberías de entubación que recubren las paredes del sondeo (paredes y tuberías se unen por medio de cementaciones).

La cabeza de pozo tiene, además de las funciones de control y seguridad para que fue programada, otras muchas. Entre todas las que cumple debemos destacar las siguientes:

- 1- Sostener las entubaciones (columnas de entubación)
- 2- Realizar un cierre estanco entre las columnas de entubación.
- 3) Rellenar o purgar los espacios anulares entre las entubaciones, para evitar colapsados de tuberías, controlar los fluidos contenidos en la formación y rea

lización de cementaciones complementarias

- 4.- Cerrado normal del pozo
 - a) Total, cuando el pozo está libre
 - b) Sobre las varillas del tren de perforación
 - c) Rápido total o sobre varillas de todas las dimensiones y formas (barra cuadrada, lastrabarrenas, varillas de perforación, tubos de revestimiento, etc.).
- 5.- Control de erupciones mediante cerrado del pozo, hasta lograr el restablecimiento de la normalidad en el pozo.
- 6.- Rellenar el pozo para controlar presiones de formación o colapsado de tubería.
- 7.- Establecer circulaciones controladas en el caso de presiones anormales.
- 8.- Realizar circulaciones inversas.
- 9.- Permitir la evacuación, de forma controlada, de los fluídos de formación.
- 10.- La realización de medidas de las características -termodinámicas del pozo.
- 11.- "Matar" el pozo y detener totalmente su actividad.
- 12.- Cerrado de pozo, ya libre, con gran cantidad de vapor.

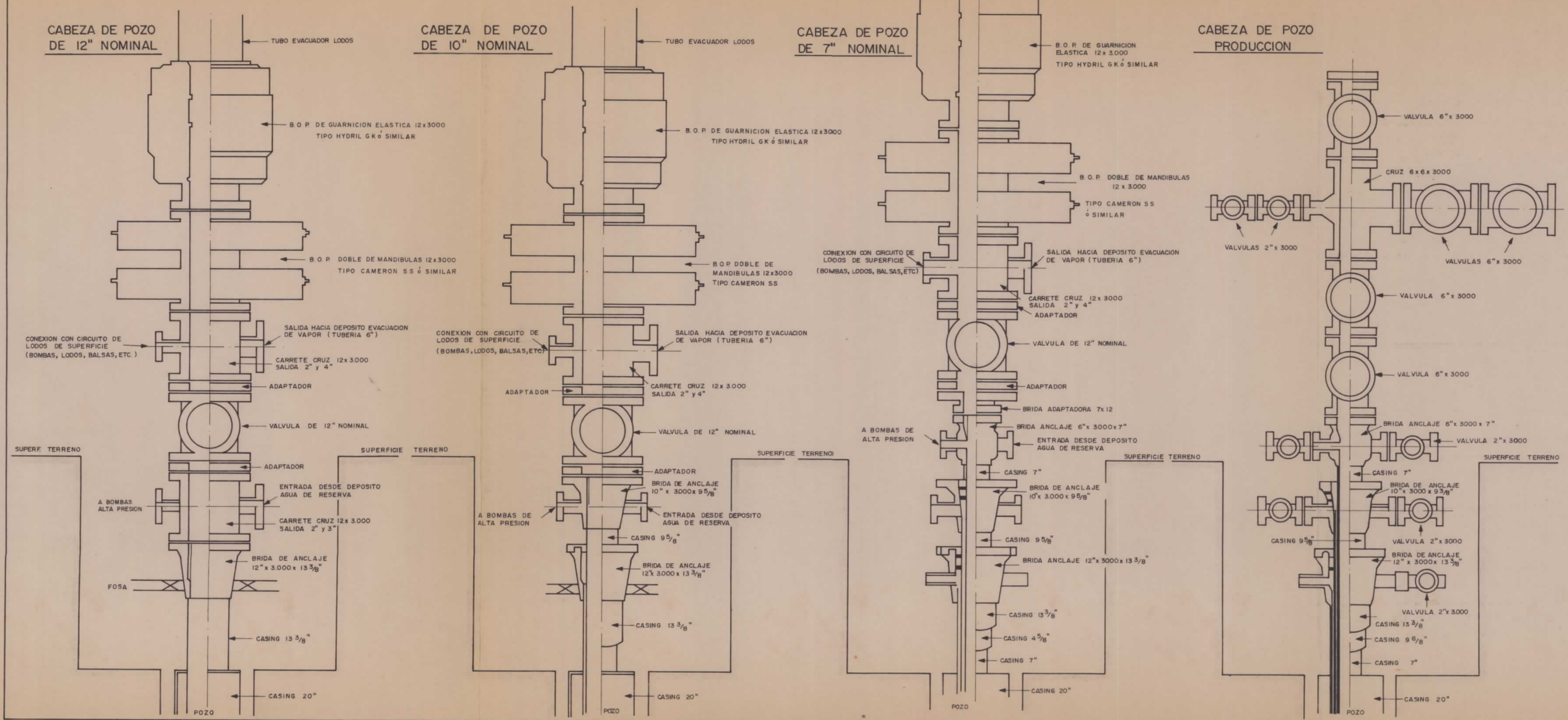
Se ajunta gráficos de las 4 cabezas de pozo propuestas - para el sondeo de Lanzarote.

CABEZA DE POZO DE 12" NOMINAL

CABEZA DE POZO DE 10" NOMINAL

CABEZA DE POZO DE 7" NOMINAL

CABEZA DE POZO PRODUCCION



Cabezas de Pozo de Perforación y de Producción del Sondeo

Para cumplir con estas funciones, las cabezas de pozo a utilizar en el Sondeo de Lanzarote 1 debían estar constituidas por los elementos que se describen a continuación:

Por ser un sondeo exploratorio, y aunque las presiones - que se esperan sean bajas, 40 kg/cm^2 , se han elegido elementos de 3.000 psi (210 kg/cm^2) de presión de trabajo y 6.000 psi (420 kg/cm^2) de presión de prueba, para quedar a salvo de cualquier contingencia, de acuerdo con las indicaciones de los técnicos asesores consultados.

1.- Cabeza de tubería o brida de anclaje de 3.000 psi

En los pozos geotérmicos y a causa de las distintas dilataciones de las tuberías de revestimiento, éstas no pueden apoyarse entre sí, por lo que cada una debe tener su correspondiente brida de anclaje, realizando el cierre entre tuberías por medio de juntas de presión especiales de amianto o de grafito, que permitan el juego de dilataciones.

La brida de anclaje se une por uno de sus extremos mediante rosca a la parte superior de la tubería, y en el otro lleva una brida apropiada para unirse con espárragos y tuercas a los otros elementos de la cabeza de pozo. El cierre estanco entre elementos se consigue con aros tóricos.

Cada cabeza de tubería posee dos salidas laterales roscadas o embridadas de $2" \text{ } \emptyset$. Estos orificios se utilizan para control de estanqueidad, rellenos y purgas, y mediciones térmicas entre tuberías, si bien en la última pueden ser empleadas para los mismos usos en el espacio anular. Estas salidas se cierran, bien con válvulas de $2" \text{ } \emptyset$, bien con tapones provistos de reducciones y grifos o espitas de $1/2" \text{ } \emptyset$.

Se necesitarán 3 cabezas de tubería o bridas de anclaje.

- 1 Brida de 13 3/8" x 3.000 psi presión de trabajo, para casing 13 3/8" rosca STC y brida superior de 12" - nominales.
- 1 Brida de 9 5/8" x 3.000 psi presión de trabajo, para casing 9 5/8" rosca LTC y brida superior de 10" nominales.
- 1 Brida (cruz) de 7" x 3.000 psi presión de trabajo, para casing 7" rosca buttress y brida superior de 6", con 2 salidas laterales de 2", una salida lateral de 3/4" y otra salida lateral de 1/2".

2. Carrete-cruz de perforación ("mud-cross") de bridas con dos salidas laterales de bridas de 2" a 6" Ø. Presión trabajo - 3.000 psi

Se colocan entre la cabeza de tubería y los cierres de seguridad y se utilizan para comunicar el espacio anular del pozo con los circuitos exteriores con las siguientes fines:

- a) Salida del vapor hacia el depósito evacuador
- b) Entrada de lodo, para relleno de pozo, desde el circuito de lodo de superficie (bombas, balsas, manifold, etc).
- c) Entrada de agua desde el depósito de reserva, siempre lleno y listo para utilizarse en caso extremo de producirse de forma imprevista un inicio de erupción.
- d) Comunicación con las bombas de cementación de alta presión.

Se solicitan 2 "Mud-Cross" de 12" nominales x 3.000 psi

W.P.

3. Carrete-cruz de producción de 6" Ø, de 3.000 psi de presión de trabajo, con salidas de 6" Ø para diversificar los caminos del vapor en producción

Tendrá 3 bocas de 6", 1 entrada y 2 salidas, y 1 boca de 2" para mediciones de presión y temperatura. Todas las bocas serán de bridas.

Se solicitará 1.

4. Válvula de mariposa de 12" nominales de diámetro para cierre del pozo durante la perforación y la producción. Se solicita 1 válvula 12" x 300 ANSI
5. Válvulas de mariposa de 6" Ø para apertura y cierre de los circuitos de producción. Se solicitan 5 válvulas de 6" x 3.000 psi
6. Otros elementos a solicitar son: válvulas de 2" Ø, grifos de 1/2 y 3/4", termómetros, aros tóricos, reducciones, bridas, etc.

La cantidad se determinará en el momento oportuno.

7. Obturadores o cierres de seguridad

El primer medio de control de erupciones es la columna de lodo. Los obturadores de seguridad no están destinados a evitar las erupciones sino que constituyen un medio de cierre a utilizar para reconstruir una columna de lodo capaz de equilibrar las capas atravesadas.

Estos cierres de seguridad deben tener las cualidades siguientes:

- Cerrar un pozo vacío
- Cerrar sobre no importa que elemento descendido en el pozo
- Permitir reconstruir bajo presión la columna de lodo
- Tener mando de cierre simple y rápido

Para cerrar sobre los diferentes elementos y cumplir to dos estos fines la cabeza de pozo se tendrá dos obturadores.

- a) Obturador doble de mandíbulas con mando hidráulico - rápido, de 12" nominales y 3.000 psi de presión de trabajo, de 13 5/8" apertura máxima y con juego de mandíbulas desde casing 9 5/8" a varillas de 3 1/2", que servirá para:

- cierre total
- cierre parcial sobre varillas y/o tuberías

- b) Cierre de seguridad de guarnición elástica en forma de cuña circular que permite el cierre sobre cual quier elemento o con el pozo vacío. Su mando de cie rre o de apertura es hidráulico. Se programa de 12" nominales y 3.000 psi presión de trabajo, con apertu ra máxima de 13 5/8". Presión mínima de cierre total 1.150 psi.

8. Grupo hidráulico para mando de los dispositivos de seguridad

Consta de un grupo moto-bomba automático, de un conjun to de acumuladores, de un manifold de distribución, de un mani fold de mando en la planchada de trabajo y de otro de mando a distancia.

El grupo hidro-neumático previsto tendrá una bomba de 1.500 psi de presión de trabajo con un caudal de 1,7 G.P.M mandada por motor eléctrico de 3 HP. Capacidad de acumulación de 40 galones (reserva 140 galones).

4.13.- EQUIPOS AUXILIARES A CONSTRUIR. TORRES DE ENFRIAMIENTO

Un equipo auxiliar importante y necesario en los sondeos geotérmicos y que no se utiliza en los petroleros está formado por las torres-lluvia de enfriamiento o refrigeración.

Su objetivo es reducir la temperatura de salida del pozo del fluido de perforación o lodo hasta límites normales antes de que vuelva a ser utilizado.

El no ser empleados en los sondeos petrolíferos origina el que los equipos de perforación existentes en España no tengan torres de enfriamiento, así que nos vimos en la necesidad de construir este equipo auxiliar para poderlos usar en el sondeo de Lanzarote n° 1.

Los datos de partida para su construcción son:

- Caudal del fluido de perforación: 1.500 a 3.000 l/min
- Salto o enfriamiento de temperatura: de 100°C a 40°C
- Enfriamiento por medio de ventiladores
- Entrada del lodo por la parte superior, bajo los ventiladores, y salida por la base de la torre
- Recorrido del lodo dentro de la torre por encima de paneles formados por pletinas de hierro
- Colocación encima de una balsa de lodos
- Situación dentro del circuito de superficie

Teniendo en cuenta la variación de caudales de circulación, la funcionalidad, las dimensiones y capacidades precisas y la seguridad se decidió construir dos torres de enfriamiento, cada una para un caudal de 1.500 l/min.

De acuerdo con los datos anteriores se programó la construcción de las torres de enfriamiento. Se adjunta planos en los que se puede observar las particularidades y las características de dichas torres.

En ellos se aprecia los tubos por los que asciende lo do hasta debajo del ventilador, que son los que forman las cuatro columnas de los vértices y que tienen 6" de diámetro.

El lodo entra por el centro de un larguero horizontal inferior y sale por los puntos medios de los dos largueros horizontales superiores perpendiculares al plano de entrada; estos largueros y los inferiores, también comunicados, son de 6" \varnothing . El lodo recorre en la torre una longitud variable entre un mínimo de 6 m y un máximo de 10 m.

Igualmente puede verse los tres planos dobles inclinados, formados con pletinas planas y en L que producen la caída en lluvia. El recorrido máximo de lodo es de $3 \times 1,414 = 4,243$ m.

En el vértice superior, y sobre las salidas del lodo, se sitúa el ventilador que aireando el lodo lo enfría.

Considerando el caudal -1.500 l/min- y el intervalo de enfriamiento -100°C a 40°C- se eligió el ventilador PV-90 movido por motor eléctrico de 1,5 HP a 750 RPM tipo 100 L.

Para mover y subir el lodo se utilizará, en cada torre, un grupo electrobomba formado por una bomba URE tipo AS-80/70

a 1.450 RPM y un motor eléctrico trifásico Siemens de 7,5 HP a 1.450 RPM. En efecto, la pérdida de carga total en el circuito de impulsión, formado por tubería de 2 1/2" \varnothing fuera de la torre y por las columnas de esta última, y por la altura a subir = 1,70 + 4,00 = 5,70 m, es de 1,68 kg/cm², de donde se obtiene que la potencia mecánica necesaria es:

$$\frac{1}{0,75} \cdot \frac{1}{450} \cdot 1.500 \cdot 1,68 = 7,5 \text{ H.P.}$$

Las torres se pueden colocar, dentro del circuito de lodos en paralelo y obtener así un caudal entre 1.500 y 3.000 l/min, caso de la perforación en 17 1/2" y 12 1/4" \varnothing . También se pueden hacer funcionar en serie y refrigerar mejor y más el lodo, pero el caudal es 1.500 l/min como máximo. Finalmente se puede dejar una torre de reserva, como seguridad, y trabajar únicamente con la otra. Estos dos últimos casos sirven durante la perforación en 8 1/2" \varnothing ; el primero si se encuentra muy altas temperaturas, más de 200°C, y el segundo cuando la temperatura del pozo sea menor que 200°C, por ejemplo.

4.14.- ALIMENTACION DE AGUA AL SONDEO

En el programa de lodos propuesto se ha tomado como base el agua de mar, debido a la falta de agua dulce en la isla de Lanzarote.

La alimentación al sondeo de esta agua de mar puede realizarse con camiones cisternas y por tubería. Para la elección del método se ha tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1 - Distancia del sondeo al punto de toma más próximo y asequible, "El Golfo", es de 6 km.

- 2 - La cota del sondeo sobre el nivel del mar es 214 m.
- 3 - Perfil del trazado para el tendido de tubería, aceptable y relativamente fácil.
- 4 - Distancia por carretera sondeo-mar: 13 km.
- 5 - Caudal de circulación en el pozo con pérdidas totales: 1.200 l/min.
- 6 - Volumen de agua de mar necesario en caso de perforar sin retorno de fluido, es decir, con pérdida total de circulación, utilizando el caudal programado: 1.728 m³/día.
- 7 - Camiones cisternas de 12 m³, tiempo medio por viaje: 2 horas.

Ante estos antecedentes, se deduce que se precisarían - 144 camiones/día, con un tiempo total de 288 horas/día; lo que significa tener 12 camiones cisternas por día en funcionamiento continuo, que equivalen a un alquiler de 36 camiones realizando jornadas de 8 horas cada uno, para cubrir las necesidades de agua en caso de pérdidas totales.

Teniendo en cuenta esta cifra tan alta de camiones, el ritmo tan alto de circulación, 12 camiones yendo y volviendo al sondeo, los precios de alquiler por jornada, 9.500 pts, que equivalen a 342.000 pts/día, la no muy excesiva distancia del tendido de tubería, el perfil del trazado y la cota del sondeo, se juzgó mucho más conveniente técnica y económicamente la solución de alimentar de agua de mar el sondeo por medio de bombas y tuberías.

Tendido de tubería y bombas

Decidida la solución de alimentar el agua de mar al sondeo por medio de tuberías y bombas, se procedió a examinar con detalle el trazado y el perfil del tendido de tuberías, de los cuales se acompaña gráficos.

El tendido empieza en el mar y termina en un depósito de 300 m³ situado 6 m por encima de la boca del sondeo. La longitud total del trazado es 5.950 m y el desnivel entre la toma en el mar y la salida en el depósito final es 220 m.

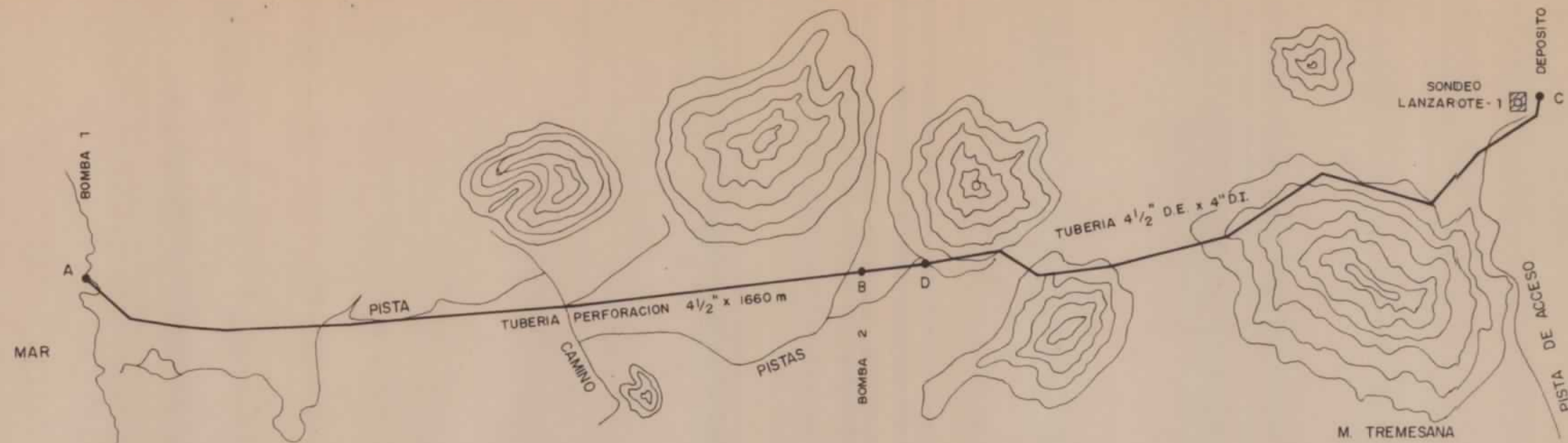
Examinando el recorrido se observa que la primera mitad tiene una planta bastante factible y un perfil relativamente suave, mientras que la segunda mitad es de un perfil mucho más abrupto y con algunas pendientes bruscas y que su trazado es dificultoso y arduo con dos ríos de lavas de 180 y de 480 m entre 3.570-3.750 y 4.040-4.520 m respectivamente y un paso muy estrecho a media ladera de difícil acceso para tractor de 290 m entre 3.750-4.040 m (dificultad total 950 m de 3.570-4.520 m).

Debido a las mareas y considerando la situación del lugar elegido para la toma de agua, que era el único posible y el más fácil, había que parar las bombas 2 horas cada 8 horas por falta de agua. Por tanto el caudal de aspiración tendría que ser $\frac{8}{6} \times 1.200 = 1.600$ l/min.

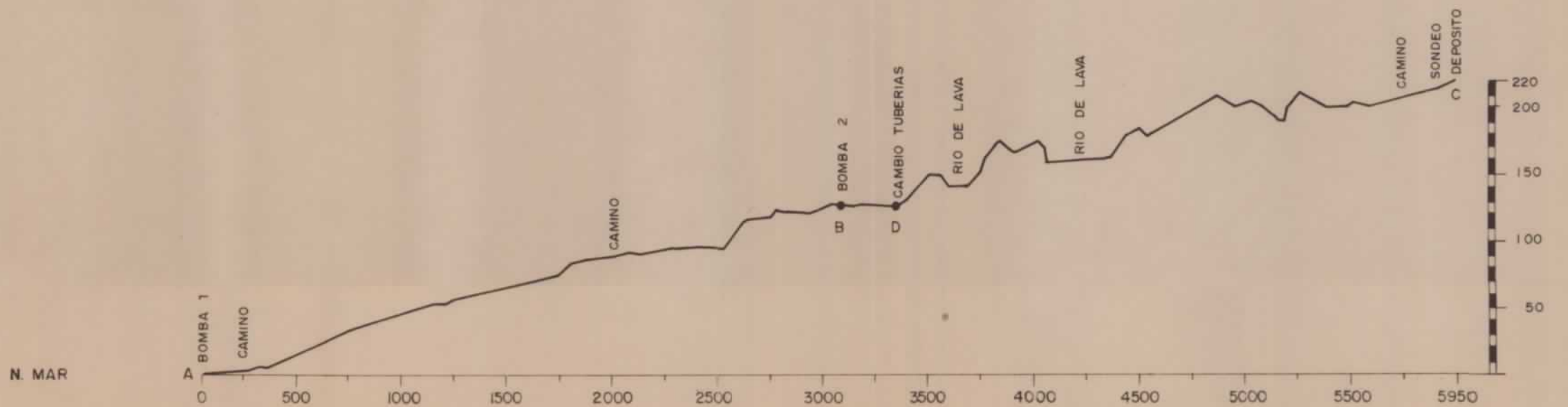
Teniendo en cuenta las posibilidades de las empresas petroleras, los precios del mercado que a partir de cierto diámetro hace prohibitiva la compra de la longitud que se precisa, el tendido y el caudal solicitado, se programó una tubería de aproximadamente 100 m/m Ø.

PLANTA DEL TENDIDO TUBERIAS Y BOMBAS

SUMINISTRO DE AGUA DE MAR



PERFIL TENDIDO TUBERIAS



Para esta tubería y caudal la pérdida de carga total sería de $111 + 22 = 133 \text{ kg/cm}^2$, y la bomba debería tener una potencia hidráulica de 480 C.V.

Estos resultados y los datos anteriores obtenidos, caudal, recorrido de la tubería, perfil del tendido, existencia de tuberías en las empresas petroleras, precios de alquiler y de compra, bombas posibles, etc, marcaron la solución final de la alimentación de agua de mar, que fue dividir el montaje en dos mitades.

1^a De 0 a 3.310 m, cotas 0 a 127 m.

Utilizar 3.310 m de tubería de perforación de 4 1/2" D. E., 16,60 # de peso, 97,2 mm D.I., 30' de longitud y 350 kg/cm² de presión límite, de fácil roscado para el personal petrolero y de manejo algo dificultoso.

Caudal 1.600 l/min. Pérdida de carga total $73,3 + 12,7 = 86 \text{ kg/cm}^2$ ($< 350 \text{ kg/cm}^2$).

Colocar al borde del mar, punto A, la bomba n° 1 de potencia hidráulica $P_a = \frac{1}{450} \times 1.600 \times 86 = 306 \text{ C.V.}$, con motor de potencia mecánica $P_m = \frac{1}{0,86} \cdot \frac{0}{0,9} 306 = 396 \text{ C.V.}$

En el punto B, 3.310 m, de fácil acceso por pistas ya existentes, se construirá un depósito de regulación de, como mínimo, 2 horas $\times 60 \text{ min} \times 1.200 \text{ m}^3/\text{min} = 144 \text{ m}^3$; tomando un coeficiente de seguridad de 2,-, el depósito se realizó de 300 m³.

2^a De 3.310 a 5.950 m, cotas 127 a 220 m.

Emplear 2.640 m de tubería de 4 1/2" D.E., 4" (101,6 m/m) DI, 5,50 m de longitud media, 40 kg/cm² presión límite, de uniones por bridas, espárragos, tuercas y arandelas de goma (vitaulic) de fácil y rápido tendido y montaje.

Caudal 1.200 l/min, posible por el depósito de regulación. Pérdida de carga total $24,7 + 9,3 = 34 \text{ kg/cm}^2$ ($< 40 \text{ kg/cm}^2$).

Situar en el punto B, 3.310 m, junto al depósito de regulación, la bomba n° 2 de potencia hidráulica $P_{er} = \frac{1}{450} \times 1.200 \times 34 = 91 \text{ C.V.}$, con motor de potencia $P_m = \frac{1}{0,86} \cdot \frac{1}{0,9} 88 = - = 118 \text{ C.V.}$

En el punto final, por encima del sondeo, se construyó un segundo depósito de reserva de 300 m³. Tanto este depósito, como el de regulación, eran excavaciones recubiertas de plástico.

La toma de agua de mar, punto A, después de detenido - examen de la costa, se situó al norte del pueblo Juan Perdomo, en el punto donde termina su playa y se inicia el acantilado de lava, pero ya dentro de este último. Para poder efectuar la aspiración, hubo necesidad de construir una rada de 40 m de larga, 2,50 m de ancha y 5 m de profunda; en la cual se colocó una plancha perforada para defensa de la aspiración y un muro para defensa de la bomba contra golpes de mar.

4.15.- OBRAS CIVILES A REALIZAR - PISTA DE ACCESO, PLATAFORMA DE PERFORACION, DEPOSITO DE EVACUACION

En base a todos los estudios realizados, el sondeo se ha situado en las inmediaciones de la Montaña Rajada, en su ladera suroeste, al norte de Montaña Tremesana.

Su localización exacta puede apreciarse en la figura. El acceso al punto de sondeo se efectuará a través de una pista existente que va de Yaiza a Montaña Tremesana y una prolongación que se realizó hasta la plataforma de sondeo.

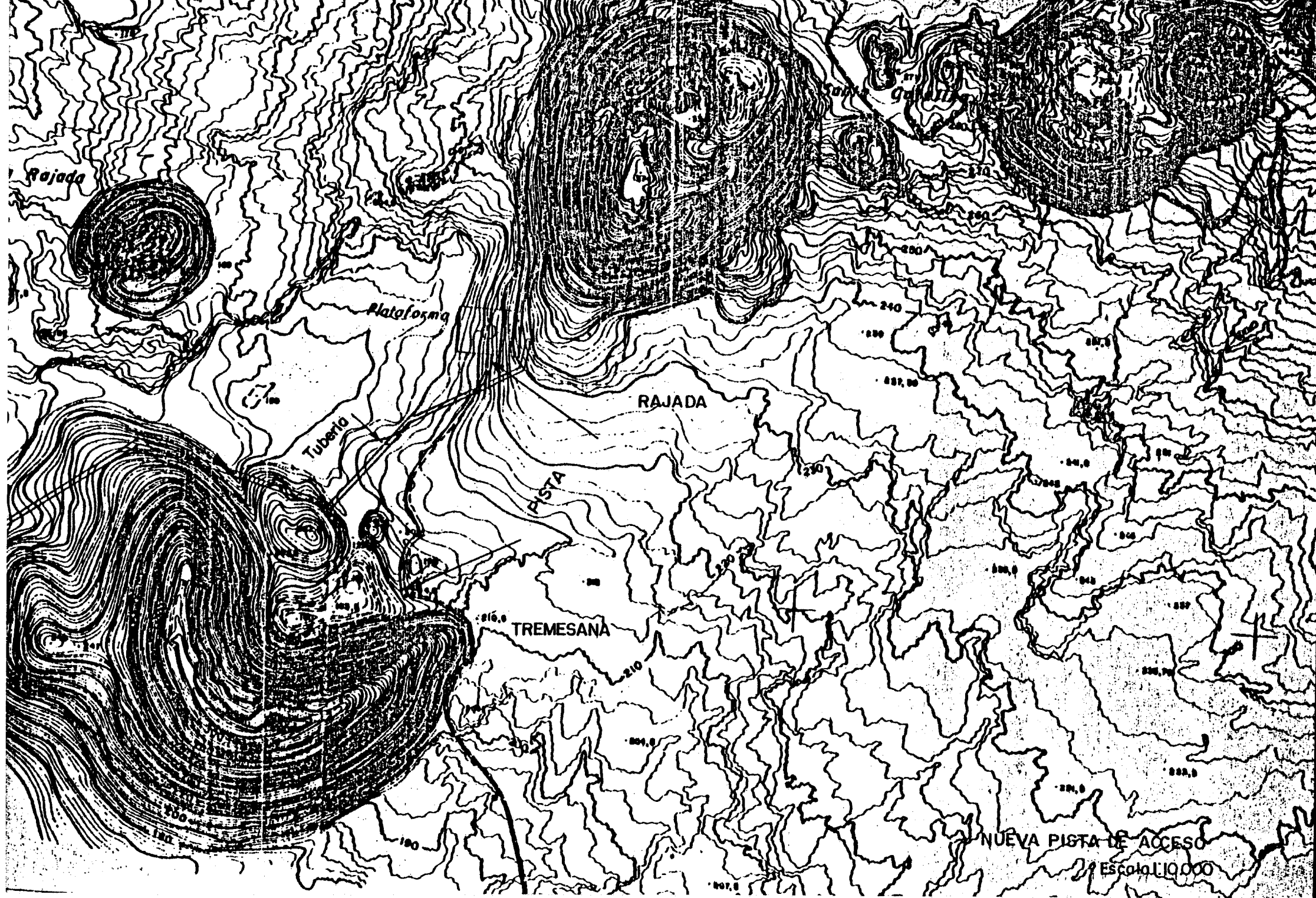
Pista de acceso

Yaiza está unido a las restantes ciudades y pueblos de la Isla de Lanzarote por medio de carreteras asfaltadas, siendo la distancia desde Arrecife, capital de la Isla en donde se encuentran su puerto y aeropuerto, hasta Yaiza de 22 km.

Desde Yaiza, como se dice anteriormente, sale una pista de 5 km que lleva hasta el pie de Montaña Tremesana. Esta pista es de piso de macadam, de deficiente conservación, estrecha, 4 ms, y su perfil tenía puntos no propios para grandes camiones; además a la salida del pueblo hacia el sondeo existían dos curvas seguidas de paso imposible para grandes camiones articulados, como los que se precisan en el transporte del equipo de perforación.

Esto obligó a realizar ciertas obras:

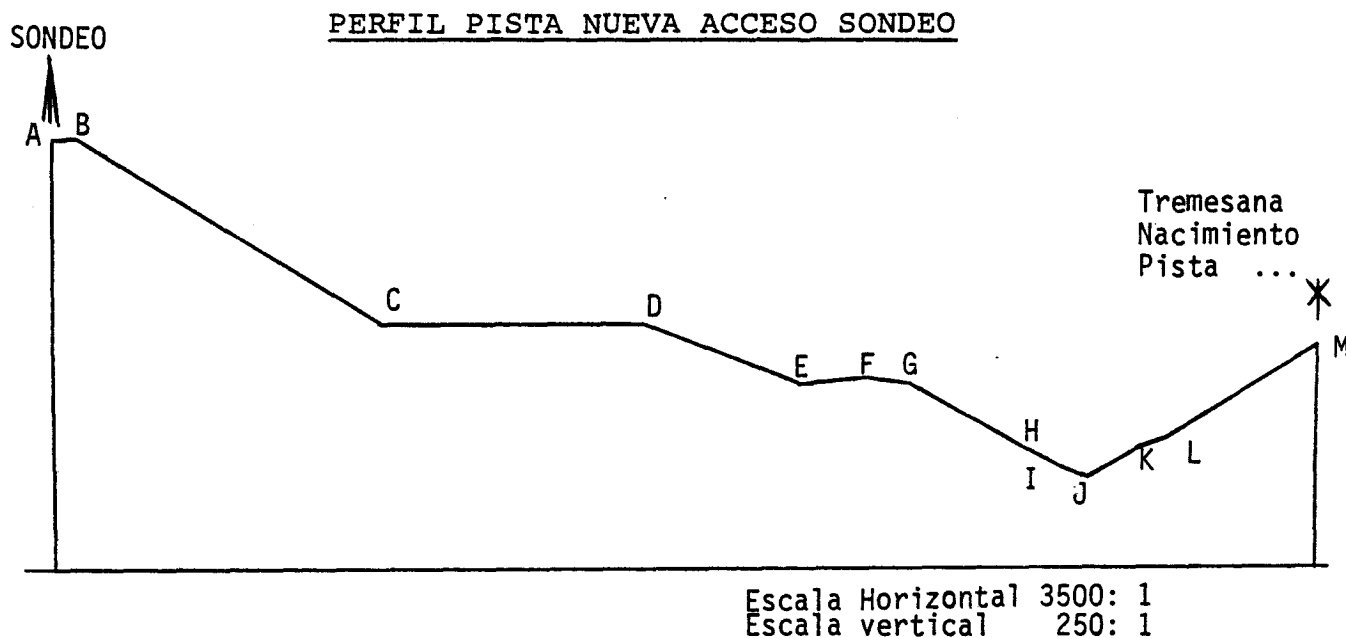
- a) Construcción de un muro de hormigón de 57 m x 2,82 m x 0,50 m con relleno de 500 m³ para rectificar las dos curvas y permitir el paso de camiones.



- b) Rectificar el perfil de la pista, cortando cuatro cambios de rasante.
- c) Ensanchar tres puntos peligrosos.
- d) Realizar seis descansos o ensanches para permitir el cruce de dos vehículos.

Para llegar hasta el sondeo desde el final de la pista ya existente, pie de Montaña Tremesana, se construyó una nueva pista, prolongación de la anterior, de perfil, trazado y piso acorde con las necesidades dictadas por el tipo de camiones a utilizar y con las instrucciones del Cabildo Insular de Lanzarote, dado que parte de ella discurre por el parque nacional de Montañas del Fuego y teniendo en cuenta que debe ir a través de terrenos cubiertos de picón.

La pista nueva a construir se realizó con una longitud de 570 m, una anchura de 5 m y un espesor o cama de 30 cm, su piso es tipo macadam, aunque algo suelto por falta de riego. Su planta puede verse en la figura que se acompaña. Su perfil se observa en el gráfico adjunto, en el que se obtiene como pendiente máxima un 4,5 %, tramo LM.



Plataforma de perforación

Elegido el equipo de perforación, EMSCO GC 500, de mástil abatible, quedó delimitada la plataforma necesaria a realizar, según se observa en el plano adjunto.

La plataforma es una explanada horizontal de 110 m de largo (para montar el mástil) por 60 m de ancho, con una extensión de 6.600 m². El pozo está situado dentro de ella en un punto distante 65 y 45 m de los lados menores y 35 y 25 m de los mayores.

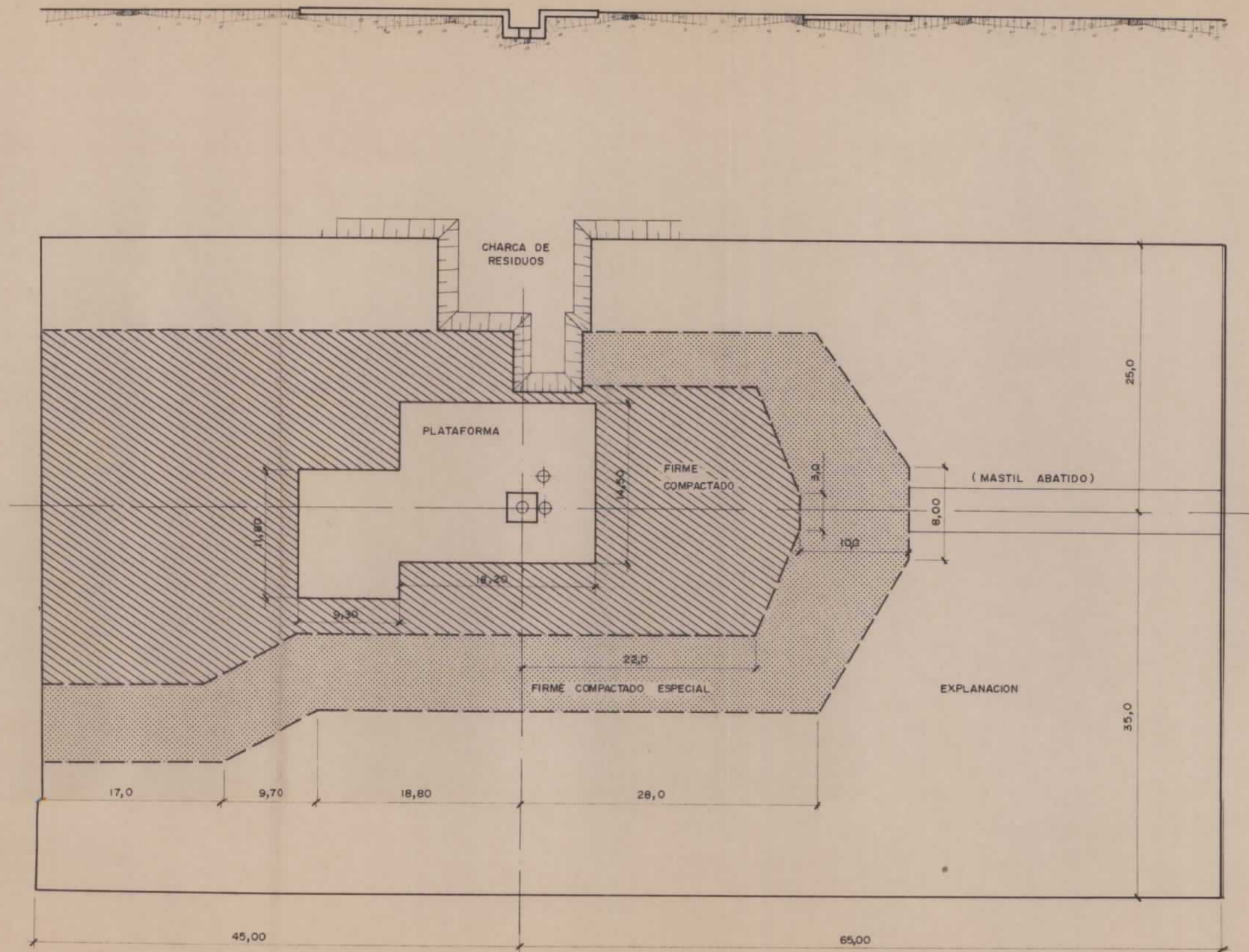
Dentro de la plataforma se delimita una zona de 1.543,00 m² de firme compactado (rayada en el plano) en donde se montará el equipo de perforación: balsas de lodos, depósitos de agua y de gasoleo, desarenadores, deslamadores, bomba de mixing, almacén de productos químicos y almacén de varillaje y tubería a utilizar, "racker".

Esta zona está rodeada de una especie de carretera (punteada en el plano), de un ancho de 7 m, 10 m y 5 m, según los lados, que se utiliza para que por ella circulen los camiones cargados de materiales y equipos. Ocupa una extensión de 863 m² y es, también, de firme compactado.

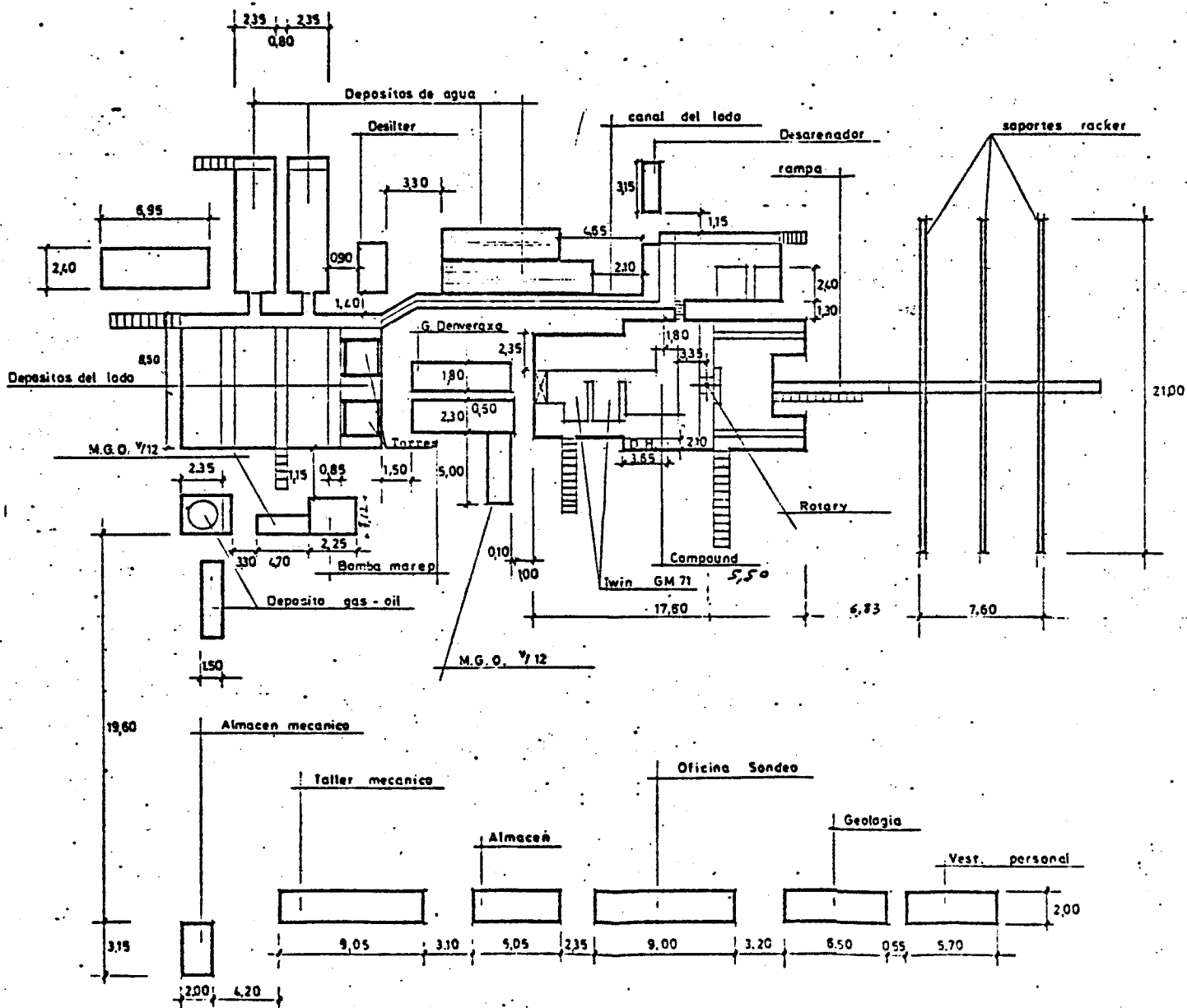
Dentro de la primera zona compactada se construye la plataforma de hormigón armado de 250 kg que ocupa una extensión de 373,64 m² (14,50 x 18,20 m + 11,80 x 9,30 m) y tiene 0,50 m de altura, de los que 0,15 m sobresalen del terreno. Dentro de la plataforma se construyen la cantina o fosa de 2,50 x 2,50 x 1,65 m en el centro de la cual está situado el pozo de perforación, y dos orificios auxiliares de 0,80 m Ø.

Sobre esta plataforma se monta la máquina de perforación propiamente dicha, mástil, cabrestante, compound, motores, me

PLANO DE EMPLAZAMIENTO Y OBRAS DEL EQUIPO GC-500



Emplazamiento del sondeo geotérmico realizado en Lanzarote (Islas Canarias)



Escala 1:400

sa de rotación, caseta sondista, etc. y las bombas de lodos con sus correspondientes motores, además de la balsa de lodos de decantación con las zarandas.

El resto de la plataforma aplanada, 3.067 m^2 deducida la salida a la charca de residuos, está simplemente allanada y afirmada y se utiliza, además de para montar el mástil, para situar en ella los almacenes y talleres mecánicos, el grupo -electrógeno, oficinas, vestuario de personal, materiales en reserva, equipos de cementación, vehículos, etc.

Adosada a esta plataforma, a 25 m del pozo, se excava la charca de residuos, de 2.500 m^3 en donde se depositarán los detritus del sondeo, los residuos, los lodos rechazados, y todos los fluidos desechados. Se excavará también la comunicación entre la balsa de vibrocribas en donde se produce la separación lodo-detritus y esta charca de residuos, que tiene una extensión de $153,36 \text{ m}^2$.

En resumen la plataforma esta formada por:

1. Plataforma de hormigón armado	373,64 m^2
2. Plataforma de balsas - firme compactado ...	1.543,- m^2
3. Corredor de camiones - firme compactado ...	863,- m^2
4. Comunicación salida pozo - charca residuos .	153,36 m^2
5. Plataforma afirmada	3.667,- m^2
T O T A L	<u>6.600,- m^2</u>

4.16.- PLAN GENERAL DE TRABAJO

A continuación se presenta un diagrama OPERACIONES-TIEMPO del plan general de trabajo como fue previsto, cuya base fundamental es, la perforación del sondeo de Lanzarote n° 1.

En ese diagrama se hacen las explicaciones siguientes:

- C = Compra de materiales
- F = Fabricación de equipo
- T = Transporte de envío
- M = Montajes de equipo
- CN = Contrato de servicio
- D = Desmontaje de equipo
- R = Transporte de retirada
- Sin letra = Realización general de la operación

En el primer mes se programaba la petición y estudio de ofertas de contrata de servicios de compañías de perforación y auxiliares como:

- Ingeniería asesora de Geotermismo
- Perforación propiamente dicha
- Cementaciones
- Lodos
- Servicios y suministros de agua
- Instrumentaciones y composición de sarta
- Transporte terrestre
- Marítimos - Regulares y especiales
- Pruebas y ensayos
- Agentes de aduanas y consignatarios de buques
- Ingeniería Civil
- Control de materiales de perforación y entubación
- etc.,

de ofertas de ventas de los materiales necesarios para la realización correcta de la perforación:

- Casing o tuberías de entubación
- Cabezas de pozo
- Trépanos y rodillos

- Productos de lodos
- Cementos y aditivos
- Accesorios de casing
- Torres de refrigeración
- Tuberías de agua
- Gasoleo

Una vez tomadas las decisiones en cada uno de los casos, se debían realizar, confeccionar y firmar contratos con las compañías de servicios y peticiones en firme de compra con condiciones de entrega, transportes y pago para los materiales.

Para todos estos trabajos preparatorios se calculaba un tiempo total de dos meses, los dos primeros del Proyecto.

Una vez seleccionada la empresa y el material auxiliar necesario no existente, por ejemplo torres de refrigeración , bridas especiales, etc. se procederá a su fabricación. Tiempo 45 días.

Cubiertos los primeros objetivos, debía realizarse el transporte de equipos, maquinarias, materiales, repuestos, etc. desde sus lugares de origen o puntos de partida, muy diversos, hasta Arrecife de Lanzarote, en primer lugar, y a continuación hasta el sondeo, utilizando transportes terrestres, marítimos, a veces aereos, y terrestres en la isla, así como los servicios de compañías de consignatarios de buques, de aduanas, de carga y descarga, etc.

El tonelaje aproximado a transportar era:

1. Equipos y maquinaria		1.400 t
- Perforación	1.000 t	
- Cementación	40 t	
- Suministro agua	220 t	
- Auxiliares de perfor. .	100 t	
- Varios	40 t	
2. Materiales		900 t
- Perforación en general.	20 t	
- Casing	210 t	
- Tuberías vapor	5 t	
- Cabezas pozo, triconos, accesorios sarta	25 t	
- Cemento	200 t	
- Productos lodos	400 t	
- Varios	40 t	
	T O T A L	<u>2.300 t</u>

El tiempo estipulado para estos transportes, terrestres y marítimos, es de dos a dos meses y medio, según los casos.

Conocido el equipo de perforación, examinada la zona del sondeo, estudiadas las ofertas de ingeniería civil y elegida - la empresa constructora se efectuarán las obras necesarias, pistas, plataforma de perforación, tendido de tuberías, toma de agua, plataformas de bombas, depósitos de regulación y de reserva, etc. para la correcta realización del sondeo programado.

Tiempo proyectado para estas obras 45 días.

Terminadas la pista de acceso y la plataforma de perforación, y transportados equipo y maquinaria de perforación, se procederá a su montaje en el sondeo. Tiempo programado para este montaje 15 días.

Según este plan general de tiempos se proyectaba iniciar la perforación del sondeo en los primeros días del 5º mes, Agosto, de la realización del Proyecto del sondeo de Lanzarote nº 1.

Para la perforación del sondeo, considerando los equipos a contratar, las formaciones a atravesar, el personal técnico, los materiales a utilizar, la experiencia de este tipo de perforación, las pruebas y ensayos, etc., se programa un tiempo total de 120 días - 4 meses -, que se desglosan en: 102 días de perforación, 15 días de pruebas y ensayos y 3 días de cierres de pozo y desmontaje de sartas, cabezas de pozo, etc.

Por tanto, el pozo quedaría terminado, con sus pruebas y ensayos, al acabar el 8º mes, Noviembre. Finalizaría así la parte básica del Proyecto, y en sentido reducido el Proyecto mismo.

En resumen, se programó una duración total para esta parte del Proyecto de 8 meses.

Su continuación y acabado definitivo dependía del resultado alcanzado en el sondeo y de las órdenes del Comité de Gerencia y del Supervisor del Proyecto.

1º Si era positivo

Suponíamos que se iniciaría el estudio de nuevos sondeos y nuevos proyectos para el aprovechamiento integral de la energía encontrada. Entre tanto, se efectuaría el desmontaje de los equipos de perforación y su posible almacenaje en espera de nuevos sondeos, si estos se proyecta realizarlos de inmediato.

2° Si era negativo

La decisión podría ser: Desmontaje de los equipos de perforación, 15 días, y retirada y reintegro a las bases de partida o a las centrales de dichos equipos, y de los materiales sobrantes que comprendía transportes terrestres y marítimos, para lo cual se calculaba dos meses.

Durante estos dos meses y medio deberá continuar actuando la supervisión técnica y geológica del proyecto, quienes, al mismo tiempo, realizarán los informes finales del Proyecto.

En el diagrama Operaciones - Tiempo no se han colocado estos trabajos finales, ya que podían darse dos o más alternativas en el final del Proyecto según los resultados alcanzados en el sondeo.

Suponiendo 15 días para cubrir eventualidades, imprevistos y posibles retrasos, obtenemos en el Proyecto un Tiempo Total:

- Para Compañías de Perforación, Auxiliares, Asesoras, etc. 8,5 MESES
- Para Operaciones, incluidos desmontajes y retiradas 11 MESES
- Para Supervisión Técnica y Geológica 11 MESES

5.- MAQUINARIA Y MATERIALES

La maquinaria y los materiales propuestos y utilizados en el Proyecto fueron los siguientes:

5.1.- EQUIPO DE PERFORACION

De acuerdo con las normas dimanadas del capítulo 4, se utilizó el equipo de perforación EMSCO G.C. 500 propiedad de "SONPETROL" cuya descripción sigue, reforzado su tren de perforación, material de fondo, por los elementos de estabilización y protección necesarias y de los que carecía, contratados a SERVCO EUROPE S.A.

1.- Equipo

- 1 Cabrestante de perforación EMSCO tipo GC-500, n° 162, de 600 HP
- 1 Tambor de maniobra de 22" x 45" para cable de 1 1/4"
Carreteles EMSCO (conexión y desconexión) Freno hidráulico PARKERSBURG 40" R.
- 1 Compound EMSCO GC-500 en dos secciones con embrages tipo - CG 52.
- 1 Caja de cambios EMSCO GC-500.

2.- Material de lodo y bombas

- 1 Grupo independiente de bombeo compuesto por: 1 bomba DU-
PLEX 7114-R de 7 1/4" x 14 de 500 HP con amortiguador de
pulsación HYDRILL K-20, válvula de seguridad, etc... accio-
nada por motor MGO tipo V-125 de 660 HP.
- 1 Grupo independiente de bombeo que comprende: 1 bomba DUPLEX
MAREP DM-7118-R de 7 1/4" x 18" de 500 HP con amortiguador
de pulsación HYDRILL K-20, válvula de seguridad, etc.. ac
cionada por motor MGO tipo V-125 de 660 HP.
- 1 Bomba DUPLEX para mezcla GARDNER-DENVER tipo GQ G X Q de
7 1/2" x 16" de 350 HP con amortiguador, válvula seguridad,
etc..., accionada por compound.
- 5 Tanques de lodo tipo patín de 28 m³ cada uno con equipo de
pistolas batir lodo, tolvas e instalación.
- 1 Vibrador de lodo doble marca RUMBA JUNIOR modelo 4860 DU,
con motores eléctricos de 3 HP.
- 1 Tanque de lodos tipo patín de 12 m³ equipado con tolva y
pistola de cementación.
- 1 Manifold o colector completo con conexiones entre tanques
de lodo, bombas de lodo y tubo vertical.
- 1 Tubo vertical 4" 5.000 PSI.
- 1 Desarenador NEYRPIC DFB-900 de 4 conos, con bomba centrífu
ga MISSION de 5" x 6", accionada por motor DIESEL GENERAL
MOTORS 4 x 71 de 80 HP.

- 1 Bomba centrífuga ITUR en reserva para desarenador.
- 1 Deslamador NEYRPIC DBF-300 de 8 conos con bomba centrífuga MISSION accionada por motor Diesel GM 6 x 71 de 135 HP.

3.- Mástil y subestructura

- 1 Mástil IDECO tipo Full View modelo FM. 138.400 , altura 138', capacidad 620.000 Ibs., capacidad de almacenamiento - 13.000 ft. de varillaje 4 1/2"
- 1 Poleas de coronación IDECO modelo FM. 4-C54.
- 1 Subestructura IDECO capacidad 300 t, altura 9 ft. y base - de 5 ft.
- 1 Conjunto de rampas, plano inclinado, pasarela, etc.
- 1 Parrilla para tubería o casing, lastrabarrenas, varillaje, etc.
- 1 Equipo de rampas para montaje del cabrestante en la subestructura.
- 1 Parrilla de entubación.

4.- Material de plataforma y torre

- 1 Poleas viajeras OILWELL tipo 80, capacidad 250 t, con 5 poleas 36" para cable 1 1/4".
- 1 Gancho BYRON JACKSON tipo 4-300 serie 675 de 300 t.
- 1 Cabeza de inyección IDEAL modelo R-3 tipo L-200 de 200 t de capacidad.

- 1 Mesa de rotación EMSCO tipo PJ-20 1/2", capacidad estática 250 t.
- 1 Buje de Kelly BAASH-ROSS tipo 2RBS-6 con rodillos 4 1/2".
- 2 Barras cuadradas (Kelly) 4 1/4" x 40' rosca 6 5/8" Regular x 4 IF.
- 1 Barra cuadrada (Kelly) 3 1/2" x 40' rosca 6 5/8" Regular x 3 1/2 IF.
- 1 Flexible de inyección 4" LP long. 55' PS. 5.000 PSI alta temperatura.
- 1 Anclaje de cable NATIONAL tipo D para cable 1 1/4" con pulmón MARTIN DECKER.
- 1 Cable de perforación \emptyset 1 1/4".
- 1 Cabeza de circulación CHIKSAN 3" nominal 4 1/2" IF.
- 2 Brazos de elevador BYRON JACKSON 2 1/4" x 96' capacidad - 250 t.
- 2 Elevadores BYRON JACKSON tipo MAA, capacidad 250 t para D.P. 4 1/2".
- 1 Elevador BYRON JACKSON tipo MGG capacidad 300 t para D.P. 3 1/2".
- 1 Conjunto de cabezas elevación para lastrabarreras de 8", - 6 1/4", etc.
- 1 Collar de seguridad tipo CR BAASH-ROSS capacidad 3 3/4" x 8 5/8".

- 2 Cuñas de retención BYRON JACKSON tipo E, capacidad 4 1/2" x 5 3/4".
- 1 Cuña de retención MISSION modelo 80 tipo 350-R capacidad 3 1/2" x 4 3/4".
- 1 Cuña BAASH-ROSS tipo C long. 6 3/4" x 8 1/4" para lastrabarrenas 8" DE.
- 1 Cuña BAASH-ROSS tipo C. long. capacidad 6 1/4" x 8 1/4" para lastrabarrenas 6 1/4" DE.
- 1 Cuña BAASH-ROSS tipo C, para lastrabarrenas de 4 3/4"
- 4 Llaves de maniobra BYRON JACKSON tipo B, capacidad 3 1/2" x 13 3/8".
- 1 Elevador BYRON JACKSON XXH de 120 t para casing 13 3/8".
- 1 Elevador BYRON JACKSON XXH de 120 t para casing 9 5/8".
- 3 Elevadores simples BYRON JACKSON tipo J para casing de \emptyset 13 3/8", 9 5/8" y 7".
- 1 Anillo de suspensión o "spider" IDEAL con cuña de \emptyset 13 3/8" 9 5/8" y 7" para casing.
- 1 Excavador o perforador para la ratonera.
- 2 Válvulas de grifo para barra cuadrada (Kelly cock) OMSCO tipo 60-1-S, 10.000 PSI roscas 6 5/8" regular con acoplamiento de desgaste.
- 1 Válvula tipo Gray (Gray valve) 6 1/4" OD.

- 1 Unión giratoria WIRTH capacidad 150 t.
- 1 Malacate de cuchara independiente con motor GM 4 x 71 y 3.100 m de cable de \varnothing 5/8".
- 1 Elevador ligero capacidad 4 t.

5.- Material de control y medida

- 1 Registrador MARTIN DECKER tipo D con:
 - Registrador de peso
 - Indicador de presión
 - Indicador de torque
- 1 Equipo control de lodo
 - Balanza de lodo
 - Viscosímetro
 - Prensa BAROID
 - Litro
- 1 Inclínómetro TOTCO 1 5/8" completo con reloj 0° - 8°
- 1 Aparato de medida HALLIBURTON con cable
- 1 Indicador de torque MARTIN DECKER tipo H6A para apriete de lastrabarrenas, completo.
- 2 Lastrabarrenas \varnothing 38 mm para Totco.

6.- Material auxiliar

- 1 Cisterna de gas-oil sobre patín capacidad 25 m³ con electro-bomba.

- 2 Cisternas de agua sobre patín, capacidad total 70 m³, con electro-bomba.
- 1 Oficina sondista
- 1 Barraca almacén sobre patín para material del contratista.
- 1 Barraca oficina para Jefe de Campo y Secretario.
- 1 Barraca vestuario para personal.
- 1 Barraca taller mecánico.
- 1 Botiquín de urgencia.
- 1 Equipo de seguridad para personal (cascos, botas, etc.).
- 1 Freno de escape.
- 1 Protector de lodos marca OKEH.
- 1 Equipo de extintores contra incendio, con uno de 110 kg y ocho de 12 kg.
- 1 Conjunto de soldadura oxi-acetileno.
- 1 Máquina de soldar eléctrica con equipo.
- 1 Conjunto de instalación de cables eléctricos en el campo - con proyectores, etc.
- 1 Oficina para operador s/patín.
- 1 Almacén s/patín material mecánico.

7.- Motores y grupos electrógenos

- 2 Motores gemelos G.M. 6 x 71, total HP 540 en cabrestante , equipados con embragues.
- 1 Compresor G-DENVER tipo ADRA-1.100 accionado por el com
pound, con tanque para aire, válvula de seguridad y acceso
rios.
- 3 Generadores compuestos por:
 - 1 Motor CATERPILLAR, mod. 3306 de 130 HP
 - 1 Alternador CATERPILLAR de 120 KW
 - 1 Motor WILLEME F 4M-514 de 60 HP.
 - 1 Alternador AUBRY-SIMONIN de 50 KW
 - 1 Grupo alternador DEUTZ F4L-514 de 45 KW
- 1 Conjunto según necesidad de electro-bombas para agua y gas
-oil en las cisternas.

8.- Material de fondo-tren de perforación o sarta

8.1.- SONPETROL

- 3.000 - Metros de varillas (drill pipe) 4 1/2", grado E, 16,6 -
lb.ft., tipo EU con manguitos SSG de 6 1/4" DE rosca
4 1/2" IF.
- 3 Lastrabarrenas (drill collars) 9 1/2 DE x 30' Long. rosca -
7 5/8" regular
- 15 Lastrabarrenas (drill collars) de 7 3/4" DE x 30' long., -
rosca 6 5/8" Reg.

- 27 Lastrabarreras (drill collars) de 6 1/4" DE x 2 1/4" DI x 30' long., rosca 4 1/2" FH.
- 2.500 - Metros de varillas (drill pipe) de 3 1/2" DE, grado E, de 13,30 lb.ft., rosca 2 7/8 I.F.
- 12 Lastrabarreras (drill collars) de 4 3/4" DE x 30' long.
- 1 Testiguero CHRISTENSEN 6 3/4" DE x 4" DI tipo 250 P de 30' long. completo y con caja de útiles.
- 1 Testiguero CHRISTENSEN 4 3/4" DE x 2 5/8" DI, tipo 250 P de 30' long completo y con caja de útiles.
- 1 Escariador SECURITY D-12, Ø 12 1/4", Std. simple con rosca 6 5/8" Reg. MxH.
- 1 Escariador reamer SECURITY E-8 Ø 8 1/2", Std. simple con rosca 4 1/2" FH Mx H.
- 1 Escariador reamer GRANT 4 3/4 DE para pozo 5 7/8"
- 1 Estabilizador 7 3/4" DE para pozo 12 1/4" rosca 6 5/8" Reg. marca SECURITY o SERVCO.
- 1 Estabilizador 6 1/4" DE para pozo 8 1/2, rosca 4 1/2" FH. marca GRANT o SERVCO.
- 1 Lote de acoplamientos para los Ø y roscas del programa de perforación y cabezas de elevación para lastrabarreras de 9 1/2", 7 3/4", 6 1/4" y 4 3/4".

8.2.- SERVCO EUROPE S.A.

- 9 Varillas "HEWI-WATE" DRILL PIPE" 5" DE con rosca 4 1/2 IF.
- 1 Escariador DRILCO tipo "THREE POINT BIT REAMER" para pozo de 17 1/2" Ø.
- 1 Escariador DRILCO tipo "THREE POINT BIT REAMER" para pozo de 12 1/4" Ø.
- 1 Escariador DRILCO tipo "THREE POINT BIT REAMER" para pozo de 8 1/2" Ø.
- 1 Estabilizador DRILCO tipo "TCI INTEGRAL BLADES" cuerpo de 9 1/2" Ø, cuchillas de 17 5/8".
- 1 Martillo rotativo amortiguador de golpes DRILCO tipo "HI - TEMP" de 10" DE.

8.3.- ENADIMSA

- 1 Estabilizador 7 3/4 DE para pozo 12 1/4" rosca 6 5/8" Reg.
- 1 Estabilizador 6 1/4" DE para pozo 8 1/2" rosca 4 1/2 IF.

9.- Material de pesca e instrumentación9.1.- SONPETROL

- 1 Overshot o campana de pesca BOWEN tipo FS 150 de 11 3/4" - DE Ø max. de pesca 9 1/2" DE rosca 5 1/2" IF. con cuñas para pescar Ø 4 1/2 a 9 1/2".

- 1 Overshot BOWEN tipo FS-150 de 9 5/8" DE Ø máx. de pesca 8" DE rosca 6 5/8" Reg. con cuñas para pescar Ø 4 1/2 a 8".
- 1 Overshot AMERICAN JR 7 7/8" DE Ø max. de pesca 6 1/4" DE rosca 4 1/2" FH con cuñas para pescar de 4 1/2" a 6 1/4".
- 1 Overshot o campana de pesca BOWEN FS 150- 5 3/4 de rosca 3 1/2 F.H. para pescar de 3 1/2 a 4 3/4".
- 1 Martillo BOWEN de 6 1/4" DE x 2" ID tipo Z
- 1 Martillo BOWEN de 4 3/4" DE rosca 3 1/2 regular
- 1 Junta de seguridad 6 1/4" DE BOWEN tipo F rosca 4 1/2" FH.
- 1 Junk Basket BOWEN 7 7/8" rosca 4 1/2" FH con corona 8 1/4".
- 1 Junk Basket BOWEN 5 1/8" DE rosca 3 1/2" IF.
- 1 Basket Sub 9 5/8" DE rosca 6 5/8" reg.
- 1 Basket Sub 6 3/4" DE rosca 4 1/2" FH
- 1 Basket Sub 4 5/8" DE rosca 3 1/2" FH
- 1 Macho de pesca 4 3/4" DE capacidad 2 1/4" x 3 1/2" rosca - 3 1/2".
- 1 Imán de pesca 7" DE rosca 4 1/2" FH.
- 1 Imán de pesca BOWEN 5" DE rosca 3 1/2" Reg.
- 1 Junk Basket de 11 1/4" DE con rosca 6 5/8" Reg.

70 Metros de tubería de lavado de 9 5/8" DE, con material de -
manutención sin fresas.

9.2.- ENADIMSA

1 Fresa trituradora de cuerpo de 7 7/8" DE, para p ozo de 12
1/4", rosca 5 1/2" FH.

1 Fresa trituradora de cuerpo de 5 3/4" DE, para pozo de 8
1/2", rosca 4 1/2" Reg.

70 Metros de tubería de lavado de 7 5/8" DE con material de
manutención y conexión y con sus correspondientes fresas
de lavado.

10.- Vehículos

1 Vehículo transporte de personal

1 Coche ligero para Tool-Pusher

1 Coche ligero para Jefe Mecánico

1 Camión provisto de grua

5.2.- EQUIPO PARA CEMENTACIONES

De acuerdo con lo estipulado en el artículo 4.4. se con-
trató a HALLIBURTON ESPAÑOLA S.A., para las cementaciones a
efectuar en el Sondeo, el equipo de cementaciones que a conti-
nuación se especifica:

- 1 Unidad de cementación Twin HT-400, montada sobre patines,
y formada por dos bombas Triplex HT-400, presión máxima -
1.180 kg/cm², capacidad máxima de la unidad 5720 l/min.; ca-
da bomba está movida por 335 HP proporcionados por motores
GM-V-8 diesel.

- 3 Silos de cemento de 500 pies cúbicos cada uno.
- 1 Mezclador tipo Jet.
- 1 Cargadora de cemento normalizada para introducir el cemento en los silos.
- 3 Cabezas de cementación de 13 3/8" Ø rosca STC, 9 5/8" Ø - rosca LTC y 7" Ø rosca buttres.
- 1 Manifold o colector completo.

5.3.- EQUIPO DE SEGURIDAD Y CONTROL.- CABEZA DE POZO

En el gráfico adjunto y en plano del anexo se pueden observar los montajes de las 4 cabezas de pozo a utilizar en el sondeo y sus elementos.

1.- Cierres de seguridad (B.O.P.) y carretes perforación

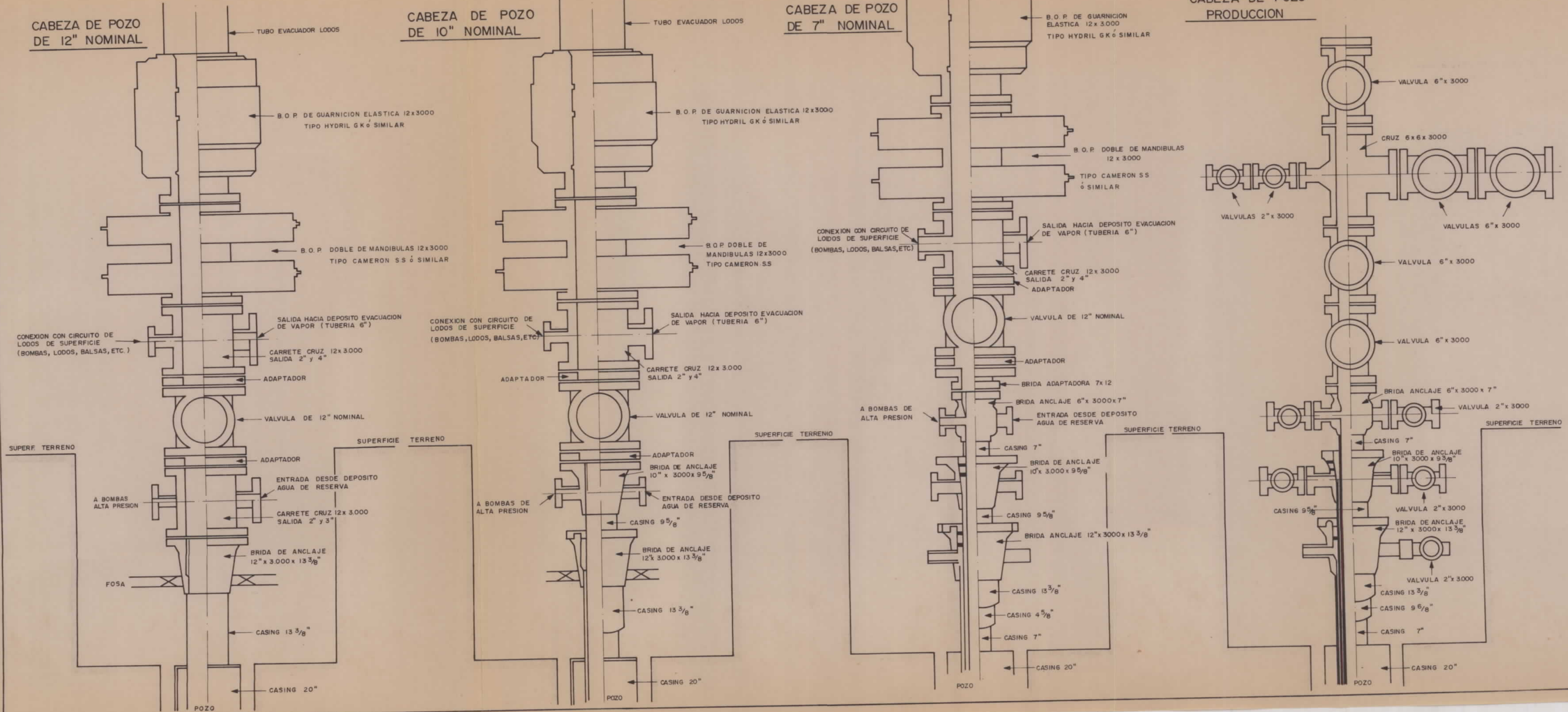
- 1 Obturador HYDRILL tipo GK, 12" - 3.000 PSI Ø entrada 135/8" con empaquetadura de alta temperatura, para cierre total y sobre cualquier elemento.
- 1 Obturador CAMERON doble tipo SS, 12" - 3.000 PSI, Ø entrada 13 5/8" con gomas alta temperatura, cierre total, 9 5/8" , 7", 4 1/2" y 3 1/2".
- 2 Mud Cross CAMERON 12" - 3.000 con check valve e instalación de válvulas para salida, etc.
- 1 Unidad de acumulación HYDRILL tipo HB-17-D-80 con bomba de 1,7 G.P.M. y motor eléctrico 3 HP.
- 1 Choke manifold 2" - 5.000 con 2 válvulas de punta CAMERON tipo N, manómetro 5.000 PSI, válvulas CAMERON Flex. Seal 2" - 5.000, cruz 2" 5.000.
- 1 Antorcha 4 1/2", long. 50 metros.
- 3 Chiksan completos 2" - 3.000 PSI.
- 1 Bomba de prueba BAKER.

CABEZA DE POZO DE 12" NOMINAL

CABEZA DE POZO DE 10" NOMINAL

CABEZA DE POZO DE 7" NOMINAL

CABEZA DE POZO PRODUCCION



- 1 Lote de gomas y empaquetaduras especiales antitérmicas para obturador HYDRILL GK obturador CAMERON doble SS, y válvulas.

2.- Cabezas de tubería y de producción

2.1.- Fase 12" nominal

- 1 Cabeza de tubería o brida de anclaje de 13 3/8" x 3000 completa para estanqueidad sobre casing 9 5/8".
- 1 Brida 12" x 3000 con rosca ACME sobre cabeza de tubería - 13 3/8" en fase perforación.
- 1 Aro tórico R 57, para 12" x 3000.
- 20 Espárragos B 7/2H para 12" x 3000, 1 3/8" x 260
- 1 Camisa de protección, fase perforación, para la cabeza de tubería de 13 3/8".
- 1 Válvula 2" x 2000 LP
- 1 Reducción 2" LPM x 1/2" LPH
- 1 Grifo o espita 1/2" LPM x H

2.2.- Fase 10" nominal

- 1 Cabeza de tubería o brida de anclaje de 9 5/8" x 3000 completa para estanqueidad sobre casing 7"
- 1 Brida 10" x 3000 con rosca ACME sobre cabeza de tubería 9 5/8" en fase de perforación.

- 1 Aro tórico R 53 para 10" x 3000.
- 16 Espárragos roscados B7/2H para 10" x 3000, 1 3/8" x 260
- 1 Camisa de protección, fase perforación, para la cabeza de tubería 9 5/8"
- 2 Válvulas FORA 2" x 2000 con bridas, servicio vapor.
- 1 Brida de adaptación 2" x 2000 x 2" LP y salida lateral 1/2" NPT para manómetro
- 1 Grifo o espita derecho 1/2" NPT MXF con manómetro 0 a 150 kg/cm² 1/2" NPT inox Ø 100.
- 1 Tapón 2" LP
- 3 Aros tóricos R-23 para 2" x 2000.
- 24 (3 juegos) Espárragos B7/2H para 2" x 2000 - 5/8" x 115.

2.3.- Fase 7" nominal

- 1 Cabeza de tubería en Cruz, bajo 7" x 3000 CSG buttress y alto 6" x 3000 embulonado, con dos salidas laterales embulonadas 2" x 3000/5000, una salida lateral 3/4" NPT con tapón M y una salida lateral 1/2" NPT con tapón M.
- 1 Brida adaptador 6" x 3000 a 12" x 3000 para la fase perforación.
- 1 Aro tórico R45, para 6" x 3000 - 900 RTS.
- 2 Válvulas 2" x 3000 WP de bridas.

- 1 Brida adaptadora 2" x 3000 x 2" LP con toma lateral 1/2" NPT
- 24 Espárragos B7/2H para 2" x 5000, 7/8" x 150.
- 3 Aros tóricos R-24 para 2" x 5000
- 1 Grifo o espita 1/2" NPT x 3000 MXH
- 1 Manguito 2" LP x 6" long con una salida lateral 1/2" NPT
- 1 Reducción 2" LP M x 1" NPT H x 3000
- 1 Tapón 3/4" NPT
- 1 Manómetro 0 - 1000 psi - 1/2" NPT
- 1 Vaina termométrica 1" x 1/2" NPT long 300 mm
- 1 Termómetro 0 a 400° C 1/2" NPT

2.4.- Fase producción

- 1 Cruz de bridas, bajo 6" x 3000 y alto 6" x 3000 con una salida lateral 6" x 3000, una salida lateral 2" x 3000/5000, una salida lateral 3/4" NPT para vaina termométrica y una salida lateral 1/2" NPT para manómetro.
- 4 Válvulas de paso directo 6" x 900 RTS cuerpo A 216 WCB Trim A 182 F6 de estellita, PE recambiable en marcha.
- 1 Brida ciega 6" x 900 RTS/3000.
- 72 (6 juegos) Espárragos B7/2H para 6" x 3000, 1 1/8" x 205.

- 5 Aros tóricos R45 para 6" x 3000/900 RTJ
- 2 Válvulas 2" x 3000 con bridas
- 2 Aros tóricos R-24 para 2" x 3000/5000
- 16 (2 juegos) Espárragos B7/2H para 2" x 5000, 7/8" x 150
- 1 Grifo o espita 1/2" x 3000 NPT
- 1 Manómetro 10.000 psi - 1/2" NPT
- 1 Vaina termométrica 3/4" x 1/2" NPT
- 1 Termómetro 0 - 400° C 1/2" NPT

2.5.- Válvula cierre

- 1 Válvula de paso directo 12" ANS 1300 RTS cuerpo de acero ASTM A 216 WCB, órganos internos 13 % C₂ ASTM A 182 F6, etc. con paso circular 315 mm, PE recambiable en marcha.
- 2 Adaptadores doble embulonado 12" API 3000 x 12" ANSI 300 RTJ.
- 2 Aros tóricos R-57

2.6.- Varios

- 1 Adaptador alto brida 6" x 3000 y bajo hembra 7" buttress.
- 1 Bomba manual con flexible
- 12 Cartuchos de fluido (800 gr) para la bomba

200 m Tubería de acero estirado 6" DE para salida del vapor.

5.4.- TORRES DE REFRIGERACION O ENFRIAMIENTO

Se fabricaron en la Empresa GARTALISA dos torres de refrigeración según las normas detalladas y prescritas en el artículo o apartado 4.1.3., que fueron provistas de los necesarios ventiladores y grupos electrobombas programados en el mismo apartado.

En resumen son:

- 2 Torres-lluvia de refrigeración de 6,180 x 2,165 x 2,165 m; cuerpo principal 4,165 x 2,165 x 2,165 m.
- 2 Grupos electrobombas, con bomba URE tipo AS 80/70 de 1450 r.p.m. y motor eléctrico SIEMENS de 7,5 CV a 220/380 V 50 Hz.
- 2 Ventiladores axiales GRUBER-SULZER tipo PV 90/8-30° disposición M con motor eléctrico trifásico marca IEC de 1,5 CV.

Sus correspondientes tuberías y mangueras de alimentación, y sus bases de apoyo para colocarlas encima de la balsa de lodos n° 1.

5.5.- SUMINISTRO DE AGUA

El equipo y los materiales contratados para el suministro de agua de mar al sondeo fueron:

1.- Bombas

- 1 Equipo de bombeo consistente en: 1 bomba Gardner Denver 7 1/4 x 16 GXQ de 350 HP accionada por un motor superior PTD de 400 HP con los compresores necesarios (colocado en el

punto A - toma de agua de mar en el acantilado).

- 1 Equipo de bombeo compuesto por: 1 bomba Oil Well P-12 de 6 x 12 de 140 HP y accionado por 1 grupo de motores gemelos GM-671 de 270 HP en total (colocado en el punto B - intermedio del tendido de tubería).

2.- Tuberías para conducción del agua de mar

5500 metros de varillas de 4 1/2" DE, 16,60 # 30' longitud, rosca 4 1/2 IF.

2504 metros de tubería de acero estirado sin soldadura Din - 2440 de 4" (114,3 x 4,5) con los extremos ranurados por embutación para 40 kg/cm².

- 17 Uniones rápidas montadas en los extremos roscados de varillas de 4 1/2" Ø.

450 Juntas "Vitaulic" modelo 77 para 42 kg/cm².

5.6.- EQUIPOS DE MEDIDA

Para realizar los ensayos y medidas de presión, temperatura, velocidad avance, etc. se contó con los equipos siguientes:

- 1 Aparato medidor-registrador de presión KUSTER de 0 a 150 - kg/cm² con libro calibrador, reloj de 3 horas, estuche herramientas y accesorios para operaciones a 3000 metros.
- 1 Aparato medidor-registrador de temperatura KUSTER de 150 a 300° C con libro calibrador, reloj de 3 horas, estuche herramientas y accesorios.

- 1 Integrador-lector de cartas KUSTER de registro gráfico, sistema óptico 5X con iluminación eléctrica, 220 V.
- 1 Conjunto de malacate completo con motor de gasolina de 9 HP, transmisión de cadena, embrague, freno manivela y 3000 m de cable de acero de 2 mm.
- 1 Reloj KUSTER de 3 horas, para operaciones a 3000 m y 260° C n° 17.758.
- 1 Reloj KUSTER de 24 horas, para operaciones a 3000 m y 260° C n° 17.492.
- 1 Lote de material para medidas en pozo como cabeza de cucharo, dispositivo de bajada de sonda termométrica, trócolas fundas termométricas, barras pesadas, etc.
- 1 Microscopio de polarización LEITZ n° 443134 con equipos ópticos para luz transparente y luz reflejada, completo, con lámpara de iluminación, transformador regulable y otros accesorios.
- 1 Binocular NIKON n° 70617 de 20 aumentos con lámpara de iluminación, transformador regulable, etc.
- 1 Aparato registrador GEOLOGRAPH RECORDER modelo G-3W n° 2586/3 de dos plumas para registro de tiempo de avance, operaciones básicas de la perforación y peso sarta.
- 1 Laboratorio portátil HYDROCURE V2G para análisis de CO₂, TH, TA, TAC, Cl, SO₄, NH₃, sílice y TH cálcico.
- 2 Bombas detectoras de gases DRAGER.
- 1 Lote de material vario como termómetros, tamices, buretas, probetas, tubos control de gases y vapor de agua etc.

5.7.- MATERIALES

Para la perforación del sondeo Lanzarote n° 1 se efectuó la correspondiente y necesaria previsión de materiales a consumir en su realización.

En algunos casos, dada su caducidad v.g. cementos, o sus precios unitarios y los costos de transportes marítimos, v.g. barita, bentonita, etc, fue necesaria su compra en firme sin opción a retorno y devolución, en otros fue posible una compra condicionada a su uso, con la alternativa de retorno - con devolución mediante un descuento que variaba del 6 al 10 % según los casos, en un tercer grupo se ejercía una opción a compra que sería en firme solo si se utilizaban, y finalmente, una cuarta posibilidad era su compra total y venta posterior - del material no utilizado por tratarse de elementos muy empleados por empresas petrolíferas o de otras actividades.

Como establecer todos estos grupos o posibilidades en los materiales sería demasiado prolijo y, además innecesario, únicamente se especificará lo que interesa al Proyecto, y por ello, en cada material se indicará la cantidad prevista, se comprara en firme o no, se ejerciera opción o simplemente se programara su adquisición, y la cantidad consumida en la realización del Proyecto que incluye, naturalmente, las compras firmes, ya que de hecho este material se ha consumido.

<u>1.- Tubería</u>	<u>Previsión</u>	<u>Consumo</u>
Casing de 13 3/8" DE, J-55, 68# STC, R-3 tubos	29	29
Casing de 9 5/8" DE, N-80, 47#, LTC, R-3 tubos	100	100
Casing de 7" DE, N-80, 29# Buttress, R-3 tubos	69	-
Casing de 7" DE, N-80, 26#, Butt. R-2 tubos ..	181	-
 <u>2.- Accesorios de casing</u>		
Zapata-guía de flotación HALLIBURTON de 13 3/8" válvula contracorriente, insertos de aluminio, 8 Rd n° 846.528 X	1	1
Manguito flotador HALLIBURTON de 13 3/8" válvula contracorriente, insertos de aluminio, 8 Rd n° 820.432 X	1	1
Tapón cementador superior HALLIBURTON de 13 3/8", aluminio y goma n° 402.1545	1	1
Tapón cementador inferior HALLIBURTON de 13 3/8" aluminio y goma n° 404.3045	1	1
Centradores HALLIBURTON modelo S-3 de 13 3/8" con sus retenes	9	9
Cajas de compuesto para rosca HALLIBURTON - Weld A	5	5
Canastas cementadoras HALLIBURTON de 13 3/8" n° 800.8894	4	4
Grapas para canastas cementadoras de 13 3/8" n° 807.6306	8	8
Zapata-guía de flotación HALLIBURTON de 9 5/8" válvula contracorriente, insertos de aluminio 8 Pd, n° 846.521 X	1	1
Manguito flotador HALLIBURTON de 9 5/8" válvula contracorriente, insertos de aluminio, 8 Rd n° 820.425 X	1	1

	<u>Previsión</u>	<u>Consumo</u>
Tapón cementador superior HALLIBURTON de 9 5/8" (aluminio y goma) n° 402.1531	1	1
Tapón cementador inferior HALLIBURTON de 9 5/8" (aluminio y goma) n° 404.3031	1	1
Centradores HALLIBURTON modelo S-3 de 9 5/8" n° 80791043	10	10
Herramienta cementadora múltiple HALLIBURTON de 9 5/8", DV, 8 Rd n° 813.10901, con tapones y bombas obturadoras para cementar en dos eta pas	1	1
Zapata-guía de flotación HALLIBURTON de 7" , válvula contracorriente, insertos de aluminio, Buttress, n° 820.712 X	1	0
Manguito-collar flotador HALLIBURTON de 7" , válvula contracorriente, insertos de aluminio, Buttress, n° 846.712 X	1	0
Centradores HALLIBURTON modelo S-3 de 7" - n° 807.91019	14	0
Tapón cementador superior HALLIBURTON de 7" ..	1	0
Tapón cementador inferior HALLIBURTON de 7" ..	1	0
Herramienta cementadora múltiple HALLIBURTON de 7" DV Buttress n° 813.10601, con tapones y bombas obturadoras para cementar en 3 eta pas	2	0

3.- Triconos de perforación

Triconos de 17 1/2 SMITH tipo 4 JS	5	3
Triconos de 12 1/4 SMITH tipo 4 JS	4	1
Triconos de 12 1/4 SMITH tipo 5 JS	6	2
Triconos de 12 1/4 SECURITY tipo H 77 SG	1	0
Triconos de 8 1/2 SMITH tipo F 5	5	5

	<u>Previsión</u>	<u>Consumo</u>
Triconos de 8 1/2 SMITH tipo F 7	5	3
Triconos de 8 1/2 SMITH tipo F 9	4	0
Triconos de 8 1/2 SECURITY tipo M 4 L	1	1
Triconos de 8 1/2 SECURITY tipo H 77 C	1	1

4.- Rodillos - Juegos de tres

De 17 1/2" tipo K para escariador DRILCO 17 1/2	3	0
De 12 1/4" tipo K para escariador DRILCO 12 1/4	6	0
De 8 1/2" tipo K para escariador DRILCO 8 1/2 .	6	0

5.- Productos de lodos - Toneladas

Sepiolita Clarsol FB-7 - toneladas	158	144,5
Bentonita Clarsol FB-2 - toneladas	70	70
Sosa caústica - toneladas	15,35	13,85
Bicarbonato sódico - toneladas	1,0	0,7
Bicromato potásico - toneladas	1,5	0,7
Estearato de aluminio - toneladas	1,5	0,15
CL - 11 (cromolignito de potasio) - toneladas .	20	5
L - 10 (lignito) - toneladas	18	3
Colmatante Cecipag - toneladas	16,095	8,395
Bentobloc - toneladas	28	7
Barita Cecabar - toneladas	50	50
Actigum C - toneladas	0,1	0,1

6.- Cementos y aditivos

Cemento geotérmico G con harina sílice - t ...	200	200
Cemento Portland artificial - toneladas	270,56	270,56
Retardador HR-12 de Halliburton - kg	1000	0
CFR - 1 de Halliburton - kg	200	0
Componente R de Halliburton - kg	200	0

7.- <u>Gasoleo</u> - miles de litros	240	240
--	-----	-----

6.- DESARROLLO DE LA PERFORACION

DATOS TECNICOS

6.1.- INTRODUCCION

El Proyecto se inicia el día 1 de Abril de 1977 por de
cisión del Comité de Gerencia.

En primer lugar se preparó el programa general de este proyecto de investigación, estudiando y analizando las opera
ciones a realizar, forma de llevarlas a cabo, orden, necesida
des, previsiones, etc., las compañías de servicios a contratar, los equipos, materiales, técnicos, transportes, suministros ne
cesarios para este trabajo y como obtenerlos, alquileres, com
pras nacionales, importaciones, así como las compañías suminis
tradoras, construcciones y obras de ingeniería civil a efec
tuar.

De los datos y resultados obtenidos de las investigacio
nes y estudios geológicos, geofísicos y geotérmicos se deducen las características y condiciones del sondeo, la profundidad - del mismo, 2.500 m, para alcanzar el yacimiento geotérmico, la presión, 40 kg/cm², y temperatura, 350° C, que se esperan en él, se estudió y preparó, como se ha visto, el programa de per
foración y de entubación del pozo, el programa de lodos y de cementaciones, se eligieron los casing y sus accesorios, y las barrenas y rodillos a utilizar, se analizó la elección de ma
quinaria y equipos de perforación, de enfriamiento y de sumi
nistro de agua al sondeo; se seleccionó la sarta de perfora
ción y el programa de cementación y los equipos y elementos pa
ra cementar; y se proyectó las pruebas, ensayos y medidas a rea
lizar en el sondeo para su control y estudio, y obtener así el máximo aprovechamiento de este sondeo y de sus datos.

Con todo esto se obtuvo: el programa estimativo de tiempos, el programa de presupuestos, el desglose de trabajos, servicios y compañías a contratar; los materiales y equipos a adquirir o fabricar, los suministros a tener en cuenta, etc., en resumen programar la operación total y cada uno de sus menores detalles. Estos estudios se plasman en los diagramas adjuntos.

6.2.- ESTUDIO DE OFERTAS Y SELECCION DE CONTRATISTAS

Con estos programas, estudios y módulos de partida y considerando y examinando el mercado de compañías de servicios y materiales se procedió a preparar los modelos de ofertas a solicitar de las compañías de perforación, auxiliares y de suministros nacionales y extranjeros, es decir, de cada uno de los campos en que se ha desglosado el Proyecto.

Se efectuaron las peticiones de ofertas que seguidamente se indican, obteniendo contestaciones en su mayoría.

6.2.1.- Asesora de Ingeniería

Por la índole de su servicio se solicitaron ofertas antes del 1 de Abril a las compañías:

- Electroconsult (Italia)
- Beicip (Francia)
- SPEG-Georex (Francia)
- Geonomics, Inc (EE.UU.)
- BRGM (Francia)

Todas enviaron su correspondiente oferta y por razones técnicas y económicas fue seleccionada:

- SPEG - Georex (Francia)

con quién se firmó el pertinente contrato de servicio de asistencia técnica el 18 de Abril de 1977.

6.2.2.- Compañías de perforación

- Sondeos Petrolíferos S.A. (SONPETROL) - Contestó en viando oferta de 1 máquina: EMSCO GC500
- Compañía General de Sondeos S.A. (C.G.S.) - Contestó enviando oferta de dos máquinas: GARDNER DENVER 800 y EMSCO G-450.

No hay más compañías nacionales capaces de efectuar el sondeo propuesto.

6.2.3.- Cementaciones - Cementos

Después de un estudio de las cementaciones a realizar y del tipo de cemento más conveniente a utilizar se solicitó oferta a:

- Halliburton
- Dowell Schlumberger

Ambas contestaron tanto en lo que respecta al alquiler del equipo y de técnicos para cementar, como a los materiales a utilizar (cementos, aditivos, etc.) y al programa de operaciones.

6.2.4.- Lodos

Con ayuda del Servicio Técnico de Lodos de ENADIMSA se preparó un programa de lodos, que después de ser discutido con los técnicos de SPEG, nos sirvió de base para nuestras solici-

tudes de productos para fabricación de dicho tipo de lodos y de los técnicos de asistencia y control.

Ofertas de:

- Milchem
- C.E.C.A.
- Dresser Magcobar
- Baroid (Prodipesa)
- IMCO
- ENADIMSA

6.2.5.- Tuberías (Casing)

Compañías que han ofertado:

- Sideribérica (Dalmine)
- Sumitomo
- Mannesmann
- Hispanoil
- Abionzo (Technocomerz)
- Thisa
- ERIM
- Petroser

6.2.6.- Herramientas de corte. Triconos

Compañías ofertantes:

- Oil Tools de España, S.A. (Hughes)
- Compair Ibérica (Security)
- Abionzo, S.A.
- Servco Europe (Smith)
- Dresser. Security
- SMF

6.2.7.- Cabezas de pozo

Se solicitaron ofertas a tres compañías de las que únicamente respondieron las dos primeras:

- Societé Ciex Internationale
- Cameron Iron Works (Prodipesa)
- WKM (SAE Uginox)

6.2.8.- Otras Compañías

Se solicitaron ofertas de materiales complementarios y de servicios auxiliares a varias compañías como:

- Hispanoil
- Halliburton
- Servco Europe
- Dowell Schlumberger
- Christensen
- Schlumberger Logging
- Exploration Logging
- Drilco
- Prodipesa
- Cifair,
- Gartaisa, etc.

6.2.9.- Selección

Después de un detenido y ponderado análisis por los técnicos de SPEG, Compañía seleccionada como asesora, y de ENADIM SA y de acuerdo con los estudios y peticiones técnicas preparadas con anterioridad, según puede verse en el Capítulo 4, que permitirían realizar de forma correcta, eficaz y con total éxito técnico y de tiempo todas y cada una de las operaciones, so

bre todo la perforación del sondeo, en que se divide este Pro
yecto, se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Compañía de perforación: SONPETROL, con quien se tuvo con
tactos para solicitarles los materiales y equipos complemen
tarios que juzgamos necesarios. Posee la máquina y equipo
más apropiados y en mejores condiciones. Contrato del 1 de
Junio de 1977.
2. Cementaciones: Halliburton. Igualdad en la tecnicidad y me
jores condiciones económicas. Contrato de suministro de equi
po y de servicios del 15 de Julio de 1977.
3. Lodos. Técnicos: ENADIMSA. Productos: CECA
4. Tuberías (Casing): HISPANOIL
5. Herramientas de corte. Triconos: SERVCO EUROPE (triconos -
marca Smith). En el estudio comparativo en el que se tuvo
en cuenta calidad de la herramienta, precios y servicio en
España, su oferta dió el mejor resultado.
6. Cabeza de pozo: S. CIEX IN, a quien se ha solicitado la ca
beza de pozo programada en las reuniones con los técnicos -
de SPEG, por razones de plazo de entrega y económicas, prin
cipalmente.
7. Estabilizador y protección tren de perforación. SERVCO EURO
PE. Dada su gran experiencia en este campo, así como en ins
trumentaciones y pescas, su buen servicio en España y sus
precios su oferta fue la más interesante y, por tanto, la
seleccionada.

6.3.- EMPRESAS CONTRATISTAS

A modo de resumen, seguidamente se indican todas las Empresas Auxiliares, que colaboraron en la realización de este Proyecto de Investigación:

- 1 - Empresa Asesora: S.P.E.G. - GEOREX
- 2 - Perforación: SONPETROL
- 3 - Cementaciones: HALLIBURTON
- 4 - Lodos: ENADIMSA y CECA
- 5 - Instrumentaciones y composición sarta: SERVCO EUROPE S.A.
- 6 - Pruebas, ensayos y medidas: SPEG - GEOREX y ENADIMSA
- 7 - Suministro de agua: SONPETROL
- 8 - Ingeniería Civil: Transportes y Contratas
- 9 - Transportes terrestres en la Península: M. Cámara , Sainert, etc.
- 10 - Transportes terrestres en Lanzarote: T. BRITO
- 11 - Transportes marítimos: Pérez y Cía
- 12 - Agente aduanas y consignatario de buques en la Península: MUÑOZ Y CABRERO S.L.
- 13 - Agente aduanas y consignatario de buques en Lanzarote: Transportes Marítimos Lanzarote S.L., A. Fernández Fuentes, y Graneros de Lanzarote.

Las principales empresas suministradoras han sido:

- 1 - Cabeza de pozo: S. CIEX INT.
- 2 - Casing (tuberías) - HISPANOIL y ENIEPSA
- 3 - Cementos, aditivos, etc. - HALLIBURTON
- 4 - Productos de Lodos - CECA
- 5 - Tuberías de agua - THISA
- 6 - Herramientas de Corte - SERVCO EUROPE S.A.

- 7 - Torres de enfriamiento - GARTAISA
- 8 - Gasoleo - S.P.E. SHELL S.A.

6.4.- ASISTENCIA TECNICA DE SPEG - GEOREX

Durante los días del 25 de Abril al 3 de Mayo se tuvieron reuniones con los técnicos de SPEG-Georex, Sres. Ten Dam y Lacombe, para analizar las ofertas recibidas y estudiar y decidir las sartas, material de la cabeza de pozo, tipo de cementación, clase de materiales a utilizar, operaciones, ensayos, pruebas, etc.

A lo largo de todo el mes de Mayo se mantuvieron constantes contactos telefónicos y por carta para aclarar y definir los variados problemas que se fueron presentando.

Del día 29 de Junio al 7 de Julio se realizaron reuniones en Arrecife (Lanzarote) con los Sres. Ten Dam, Director de SPEG, y Vidal, Superintendente de perforación, para definir en profundidad e "in situ" las soluciones sobre plataforma de perforación, tendidos de tuberías de agua y bombas, los problemas de perforación en basalto con posibles nuevas soluciones, como utilización de turbina en los 350 primeros metros, las pérdidas de circulación, métodos de pruebas y ensayos, equipos y materiales para realizarlos, ampliación de la cabeza de pozo, entubaciones, etc. Se acordó que los técnicos asesores regresasen a Arrecife poco antes del inicio de la perforación, con objeto de hacerse cargo de sus responsabilidades.

Los días 5 y 8 llegaron a Arrecife los Señores Vidal, superintendente de perforación y Ten Dam, Director de SPEG, respectivamente, con objeto de encargarse de las labores propias de su asesoría técnica, tal y como se había programado.

Durante la perforación del sondeo han realizado su trabajo; el primero asesorando sobre la marcha de la perforación y los trabajos especiales a efectuar, y el segundo programando los ensayos y pruebas, preparando los correspondientes equipos y materiales y asesorando al geólogo de pozo en su labor en lo referente a medidas, controles, pruebas, ensayos, etc.

Dado el resultado no positivo del sondeo en cuanto a la obtención de vapor de agua, la labor principal del superintendente de perforación fue la programación de las medidas de seguridad en general y de los circuitos de entrada en el pozo para control y de salida del vapor de agua a superficie, puesto que de la marcha de la operación total y de la perforación en sí se ocupaban totalmente los técnicos de ENADIMSA.

El asesor de Geología, por el mismo motivo, no pudo efectuar toda la gama de ensayos, medidas y pruebas que se programó, terminando su labor al acabar la perforación del sondeo y proceder al cierre de éste por no ser positivo.

6.5.- TRABAJOS PREPARATORIOS DE LA PERFORACION

6.5.1.- Abril

Aparte de la petición, recepción y estudio de las ofertas de las Compañías Contratistas y de Suministro, etc, que se detalla anteriormente, en este mes se realizó una visita a la Isla de Lanzarote para estudiar la zona de situación de la futura plataforma de perforación, los accesos y carreteras existentes, las pistas que deben ser construidas, el recorrido del tendido de la tubería de suministro de agua de mar, los lugares de ubicación de las bombas de este suministro.

Igualmente se procedió a visitar el puerto de Arrecife,

sus gruas de descarga, los camiones para el transporte del equipo de perforación y otros medios de apoyo.

Se estableció contacto con las compañías constructoras de las islas y con las del puerto.

En la visita al Cabildo Insular de Arrecife se recibió las mejores promesas de apoyo para este proyecto.

6.5.2.- Mayo

Durante este mes se procedió a seleccionar los elementos de la sarta de perforación en los tres diámetros en que se debía realizar el sondeo; posteriormente se eligió las compañías proveedoras, teniendo en cuenta, calidad, características, precios y existencias. Se programó la utilización de herramientas y artículos de Servco, Hispanoil, Sonpetrol y ENADIMSA.

También fue definida la cementación y los elementos auxiliares de la entubación, siguiendo similar proceso que en la elección anterior.

En ambos casos se contó con la colaboración y asesoramiento técnico de S.P.E.G.

El cemento de clase G y los aditivos se solicitaron a Halliburton y los elementos de entubación, todas marca Halliburton, a Hispanoil, ENADIMSA y la misma Halliburton.

Se envió a las compañías ofertantes las respuestas de los concursos decididos en Abril entre ENADIMSA y SPEG.

Se realizaron los correspondientes estudios y contactos

para solucionar y seleccionar los transportes marítimos, los agentes de aduanas, los fletes, la forma de cumplir con las Leyes Insulares sobre importación, según la cual el Instituto Geológico y Minero de España está exento de pago de impuestos de importación para sus equipos y materiales. Después de todos los exámenes anteriores se programó el transporte de material hasta Arrecife.

Durante Mayo se mantuvieron discusiones y contactos con SONPETROL hasta confeccionar un contrato para la perforación - del sondeo y el suministro de agua, que fue firmado por los directores generales de ambas Compañías el 1 de Junio de 1977.

Después de decidir los accesos y la plataforma del sondeo, así como el suministro de agua, se solicitaron ofertas a constructores de las islas. De las dos ofertas obtenidas, se seleccionó la de TRANSPORTES Y CONTRATAS, por considerar que era la más conveniente, por medios, experiencia y tiempo de construcción.

6.5.3.- Junio

El día 30 llegó a Arrecife procedente de Sfax (Túnez) el equipo de perforación de SONPETROL y seguidamente se procedió a su descarga y transporte al lugar en donde se debía realizar su puesta a punto en espera de la llegada del mástil del mismo equipo.

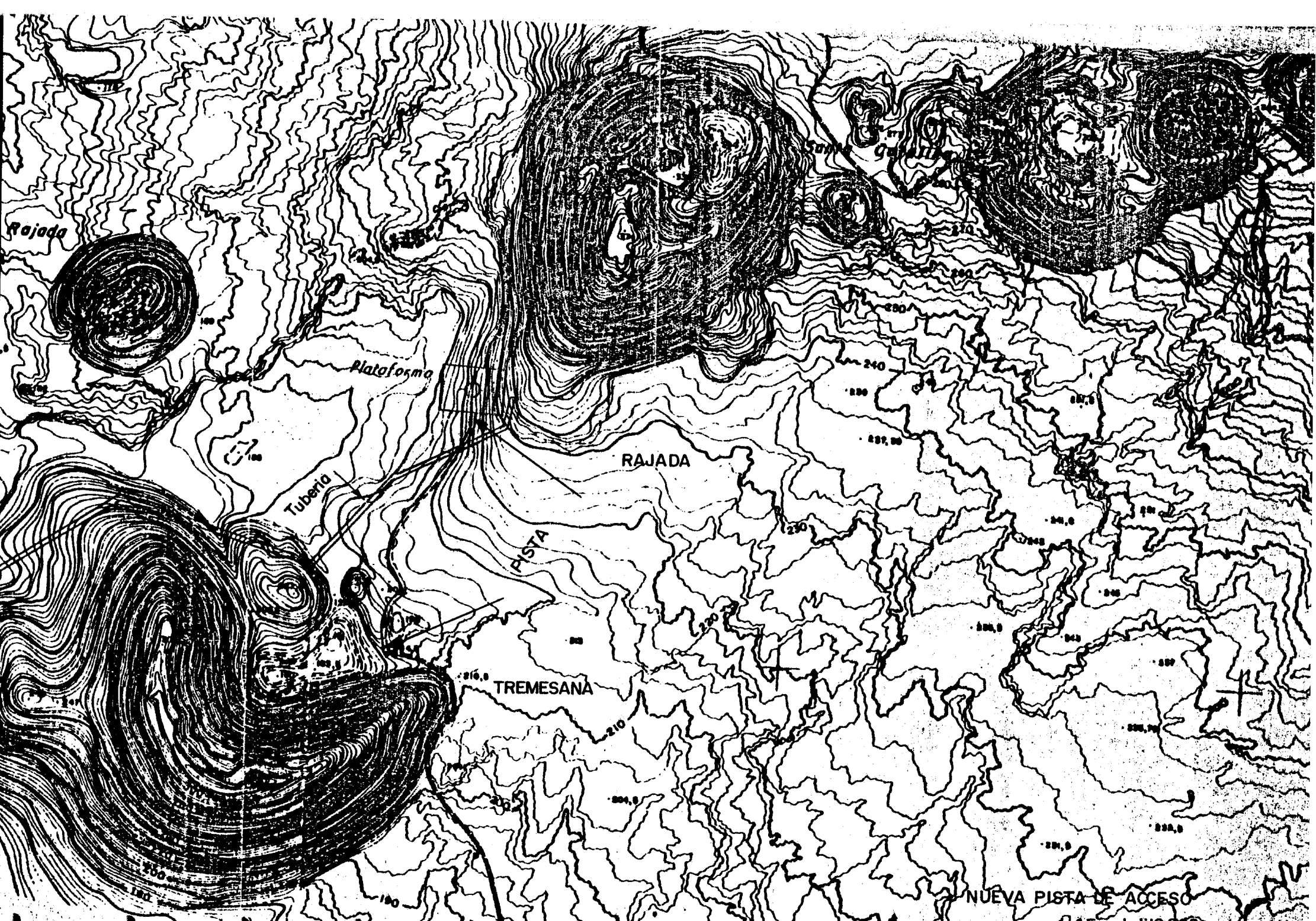
El día 16 de Junio se iniciaron los trabajos de Ingeniería Civil, diez días más tarde de lo programado. Este retraso fue debido a la carencia de permiso de Icona para trabajar en el Parque Nacional de Timanfaya. Finalmente la puesta en marcha de las obras se efectuó con consentimiento verbal del ingeniero del Cabildo Insular de Lanzarote, D. José Manuel Fiestas.

Este aplazamiento en la iniciación, originó, como es natural, el correspondiente retraso en todos los trabajos del Proyecto, que dependen de la terminación de la Ingeniería Civil. Consecuente con ello, la terminación de las obras de acceso, plataforma, tendido de tubería, implantación de las bombas de suministro de agua, etc, se retrasaron también 10 días hasta el 30 de Julio.

La perforación del sondeo debería comenzar, por tanto, hacia mediados de Agosto, en lugar del 1 al 5 de Agosto como estaba programado.

Los trabajos efectuados en la Ingeniería Civil fueron:

- 1 - Reforma de los 5 km del camino del Cabildo que une Yaiza con las proximidades del sondeo (Montaña Tremesana), con la construcción del muro de hormigón de 57 m x 2,82 m x 0,50 m y relleno de 500 m³ para la rectificación de dos curvas en Yaiza, ensanche de los tres puntos peligrosos por su alzado sobre la lava, rectificado en cuatro cambios de rasante muy difíciles para camiones articulados y construcción de seis descansos para cruce de dos vehículos.
- 2 - Construcción de la 1^a fase de la pista de acceso, que une el camino anterior del Cabildo, Yaiza - Tremesana, con el sondeo. Esta nueva pista tiene una longitud total de 570 m una anchura de 5 m y una cama de 30 cm. Su piso era algo deficiente por falta de agua, pero se reafirmó con el paso de los vehículos y con las lluvias caídas. Su pendiente máxima no pasa del 4,5 %. Su trazado y perfil pueden verse en el artículo 4.15. Se adjunta mapa de situación.
- 3 - Apertura del pozo de emboquillo del sondeo.



El día 30 se efectuaba en Valencia el embarque de la 1ª parte de material vario y complementario (tubería de agua, bombas de suministro, etc.), con rumbo a Arrecife, y que durante los 4 días anteriores fue transportado desde Madrid al puerto de embarque.

6.5.4.- Julio

El día 13 arribó a Arrecife el mástil del equipo de perforación de SONPETROL. Después de su descarga, se procedió a su reforma para acoplarlo al resto del equipo.

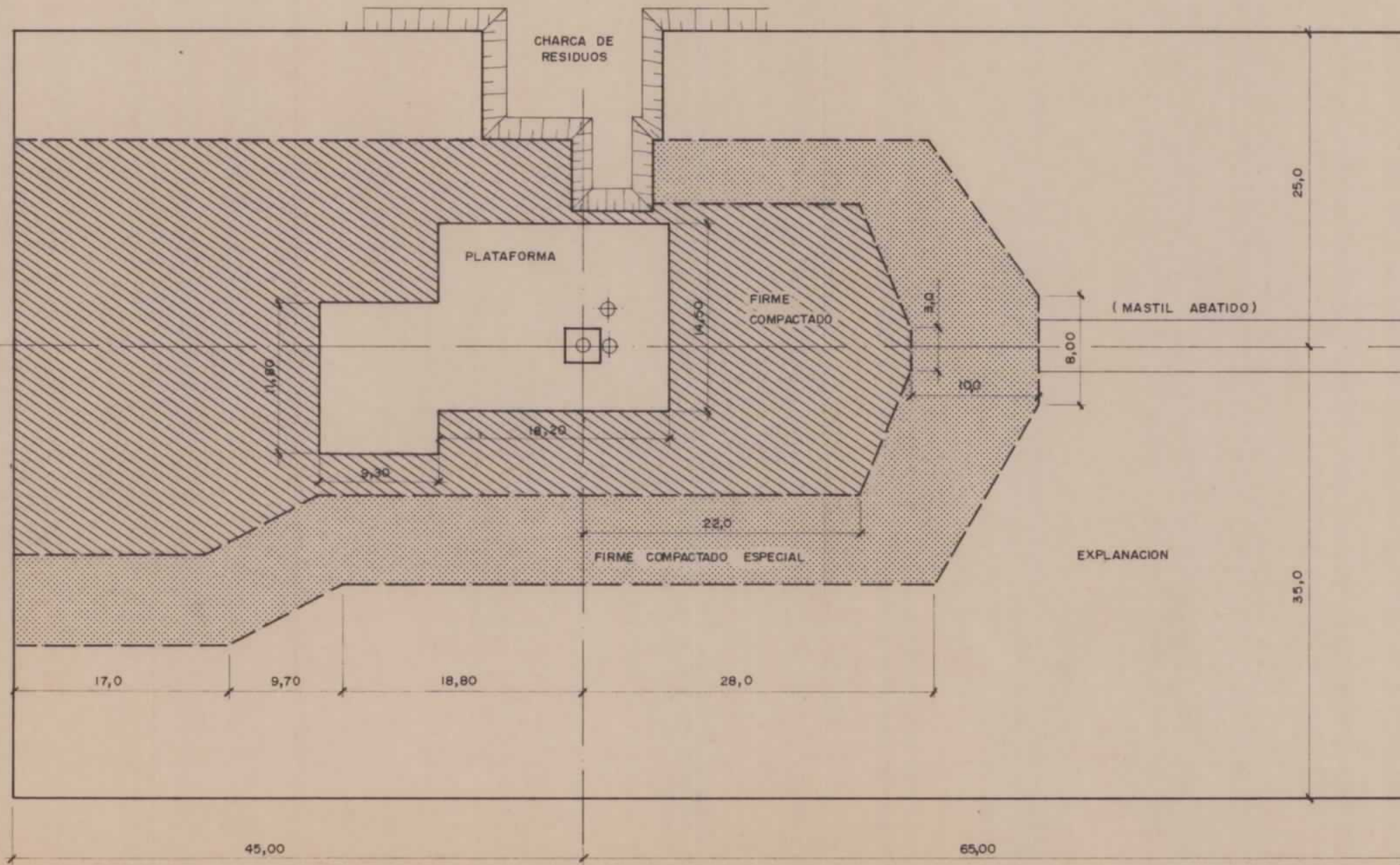
Los días 5, 12 y 26 llegaron a Arrecife los tres envíos de material complementario que se remitían desde la Península, embarcados en Valencia, y que constaban principalmente de: 8.000 metros de tubería de 4 1/2" Ø para conducción de agua, 2 motobombas de 400 y 270 CV para suministro de agua, 2 torres de enfriamiento de lodo, los equipos de cementación de Halliburton, accesorios de entubación, material de sarta, etc. por un total aproximado de 350 toneladas.

En la primera semana de Julio se terminó la nueva pista de acceso que une el camino del Cabildo, Yaiza - Tremezana, con el sondeo, según las características descritas más arriba.

Una vez marcado el punto exacto del pozo, a su alrededor (45 + 65 = 110 y 25 + 35 = 60 m) se construyó la plataforma de situación del sondeo, de acuerdo con las normas y características solicitadas y marcadas en el artículo 4.15., punto "Plataforma de Perforación" y teniendo en cuenta la dirección de viento dominante. En el plano adjunto se observan las obras de la plataforma.

Ocupa una explanación de 6.600 m², de los que 1.543 m² eran de terreno firme compactado para montar las balsas de lo

PLANO DE EMPLAZAMIENTO Y OBRAS DEL EQUIPO GC-500



dos, los depósitos de agua y gasoleo, los desarenadores, deslamadores, bomba de mixing, almacén de productos químicos y parrilla de varillaje, tubería y lastrabarrenas, que estaba rodeado de una especie de carretera de terreno también firme compactado de una extensión de 863 m^2 para la circulación de camiones cargados de material. Rayado y puntuado en el plano.

En el centro de la primera zona compactada se hizo una planchada de cemento armado de 250 kg, que tiene $373,64 \text{ m}^2$ de superficie y 0,50 m de altura, sobre la que se situó la máquina de perforación: mástil, subestructura, cabrestante, compound, motores, mesa de rotación, oficina del sondista, balsa de vibrocabras y las bombas de lodos con sus correspondientes motores.

El resto de la plataforma explanada, 3.667 m^2 , que fue simplemente aplanada y afirmada se dedicó, después de servir para montar el mástil, para situar en ella las oficinas, almacenes, vestuarios y talleres, y para paso del personal. En el extremo del eje mayor de la plataforma, más alejado del pozo se colocaron los equipos de cementación de HALLIBURTON.

Teniendo como centro el pozo, dentro de la planchada de cemento, se construyó la cantina o cava, excavación de $2,50 \times 2,50 \text{ m}$ y 1,65 m de profundidad, revestida de cemento armado.

Igualmente se excavaron las balsas de almacenaje de agua de mar con fondo de plástico, situadas al final de cada uno de los dos tramos en que se divide la conducción de agua, de 300 m^3 cada una, y el depósito del rechazo de lodos de 2.500 m^3 de capacidad, que estaba adosado a la plataforma de sondeo.

Paralelamente se efectuó el tendido y roscado de la tubería de agua desde el sondeo hasta el mar con una longitud total de 5.950 m.

Otros trabajos fueron: transporte hasta el sondeo de los productos de lodos, colocación de moto-bombas de agua, construcción de la toma de agua de mar, tal y como se indicó en el artículo 4.14. (rada de 40 m de larga, 2,50 m de ancha y 5 m de profunda, con un volumen aproximado de 400/500 m³).

6.5.5.- Agosto

Terminada el 29 de Julio la construcción de la plataforma de situación del sondeo, el día 1 de Agosto se inició el montaje del equipo de perforación de SONPETROL, que quedaba totalmente listo el día 20 de Agosto. Véase figura del montaje.

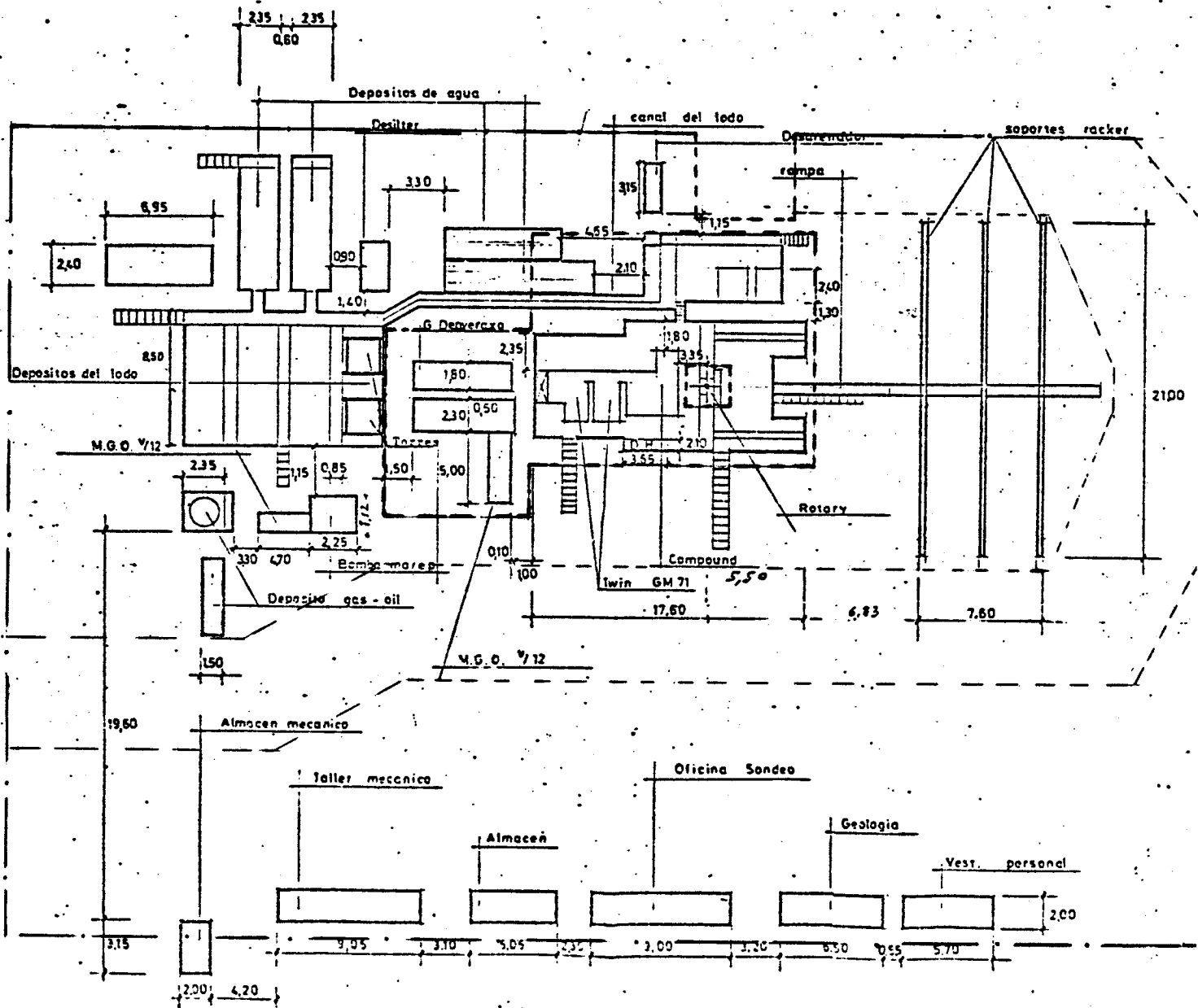
La excesiva duración de este montaje ha sido debida a tener que acoplar la nueva torre y subestructura al antiguo equipo, y a la construcción de la nueva planchada de trabajo sobre la estructura así como el alargamiento de todos los circuitos de pozos y agua y de las corazas protectoras, etc.

Paralelamente al montaje se colocaron las bombas de suministro de agua en sus correspondientes plataformas y se construyó un muro en la toma de agua de mar para defensa del grupo moto-bomba contra los golpes de mar.

Se terminó el pozo de emboquillo, que partía de la cava, perforado a brazo con una profundidad total de 20 m; fue recubierto con un tubo de 20" Ø y 8 mm de espesor (tubo-guía), cementándolo hasta superficie.

De acuerdo con las normas de la perforación, que normalizan los exámenes y análisis a efectuar en el material tubular a introducir en el pozo, los técnicos de Drilco realizaron el control del varillaje de perforación de SONPETROL (roscas, cañas, etc.) y de la tubería de 13 3/8".

Emplazamiento del sondeo geotérmico realizado en Lanzarote (Islas Canarias)



Los transportes marítimos efectuados en ese mes fueron:

1. Casing de 13 3/8", 9 5/8" y 7" procedentes de HISPANOIL, con un peso total de 212,1 toneladas.
2. Triconos, rodillos y elementos de estabilización y ensanche de la sarta procedentes de SERVCO (SMITH). Peso 14,466 toneladas.
3. Cementos especiales, y aditivos, y accesorios de 13 3/8" - procedentes de HALLIBURTON. Peso 202 toneladas.
4. Cabeza de pozo adquirida a S. Ciex Int. y embarcada en Rouen (Francia). Peso 4.150 kg.

6.6.- EQUIPOS Y MATERIALES TRANSPORTADOS

Para la realización del sondeo hubo necesidad de transportar desde distintos puntos, Barcelona, Madrid, Burgos, Bilbao, etc. (España), Sfax (Túnez), Paris y Pau (Francia), Génova (Italia), Housten (USA) hasta Lanzarote los equipos de perforación y de cementación, los materiales auxiliares, las tuberías, cementos, productos de lodos, repuestos, etc.

Esto obligó a la contratación de los servicios de varios agentes consignatarios de buques, a la tramitación de los necesarios permisos de importación en el Ministerio de Comercio, a la obtención en el Cabildo Insular de las autorizaciones de entrada, a contratar fletes marítimos en compañías navieras, a la contrata de transportes terrestres y de servicios de puerto (carga, descarga, estibación, etc.) a obtener los seguros de dichas mercancías, etc.

Seguidamente se detalla los equipos y materiales transportados, así como sus puntos de salida y su peso.

<u>Mercancías</u>	<u>Punto de salida</u>	<u>Peso t</u>
Equipo de perforación	Sfax (Túnez)	917
Torre de Perforación	Houston (USA)	58
Equipo de cementación	Madrid	38
Material de perforación	Madrid	226
Tuberías de agua y vapor	Madrid	114
Casing	Burgos y Barcelona	212
Triconos y sartas Servco	Pau (Francia)	15
Cabeza de pozo	Paris (Francia)	4
Cemento	Génova (Italia)	202
Productos de lodos	Pau (F) y Burgos	380
Repuestos	Varios	6
Varios	Varios	15
T O T A L ..		2.188

6.7.- PERFORACION

El 20 de Agosto a las 13 horas se inició la perforación del sondeo Lanzarote n° 1, quedando totalmente terminado el día 7 de Diciembre a la 1 hora, habiéndose alcanzado la profundidad final de 2.702,40 m.

El tiempo total empleado en la perforación del sondeo fue 100,92 días.

Si a este tiempo se le añade el utilizado en el levantamiento de la subestructura, 7,58 días, se tendrá el total de la operación, 108,5 días.

Antes de esta iniciación, como preambulo, se ha perforado el pozo de emboquillo de 20 m de profundidad. Esta operación se realizó a brazo, según costumbre en la isla para pozos de estas dimensiones, ante la eventualidad de encontrar dificultades de efectuarla con tricono. Una vez perforado este po

zo se introdujo un tubo de 20 m de longitud, 20" de diámetro y 8 mm de espesor, que se cementó por el espacio anular desde el fondo del pozo hasta la base de la cava o cantina. Este tubo, que llegaba casi hasta la mesa de rotación, se utilizó como tubo-guía para la salida del fluido de perforación hasta la balsa de vibrocribas mediante el circuito correspondiente.

La perforación del sondeo se efectuó en tres fases, 17 1/2", 12 1/4" y 8 1/2", según los diámetros utilizados. Los metros perforados en cada fase, la duración de cada una y las medias de avance conseguidas en ellas, con los tantos por cientos en cada caso, fueron:

1 - <u>Perforación final del sondeo</u>	2.702,40 m	<u>8</u> 100
Tubo de emboquillo	20 m	0,74
Fase 17 1/2" Ø	330 m	12,21
Fase 12 1/4" Ø	870 m	32,19
Fase 8 1/2" Ø	1.482,4 m	54,86
2 - <u>Tiempo total de la perforación</u> ..	2.422 horas = 100,92 d	100
Fase 17 1/2" Ø	523 horas = 21,79 días ...	21,59
Fase 12 1/4" Ø	706 horas = 29,42 días ...	29,15
Fase 8 1/2" Ø	1193 horas = 49,71 días ...	49,26
3 - <u>Tiempo real de perforación</u>	1.382,75 horas .	100
Fase 17 1/2"	232,00 horas	16,78
Fase 12 1/4"	348,00 horas	25,17
Fase 8 1/2"	802,75 horas	58,05

en este "tiempo real" solo se considera el tiempo en que el tricono está en el fondo del pozo y perforando.

4 - Avance medio total 1,11 m/h = 54 min/m

Fase 17 1/2" 0,63 m/h = 96 min/m

Fase 12 1/4" 1,23 m/h = 49 min/m

Fase 8 1/2" 1,24 m/h = 48 min/m

5 - Avance medio real 1,94 m/h = 31 min/m

Fase 17 1/2" 1,42 m/h = 42 min/m

Fase 12 1/4" 2,50 m/h = 24 min/m

Fase 8 1/2" 1,85 m/h = 32 min/m

Este "avance medio real" indica el avance del tricono , en cada fase, por hora, y el tiempo medio empleado en perforar cada metro.

Análisis de tiempo

Las 2.422 horas utilizadas en la perforación del sondeo se distribuyeron en las diferentes operaciones siguientes:

	<u>Tiempo-Horas</u>	<u>%</u>
Perforación	1.382,75 h	57,09
Reperforación	10,50 h	0,43
Maniobras perforación	141,75 h	5,85
Desmontar sarta	8,75 h	0,36
Cementaciones	28,75 h	1,19
Maniobras por cementaciones	80,50 h	3,32
Reperforación tapones cemento ..	177,75 h	7,34
Esperas por fraguado	111,75 h	4,61
Entubaciones	15,50 h	0,64
Control pozo y reperforación ...	41,25 h	1,70
Circulación	52,50 h	2,17
Instrumentaciones	52,50 h	2,17

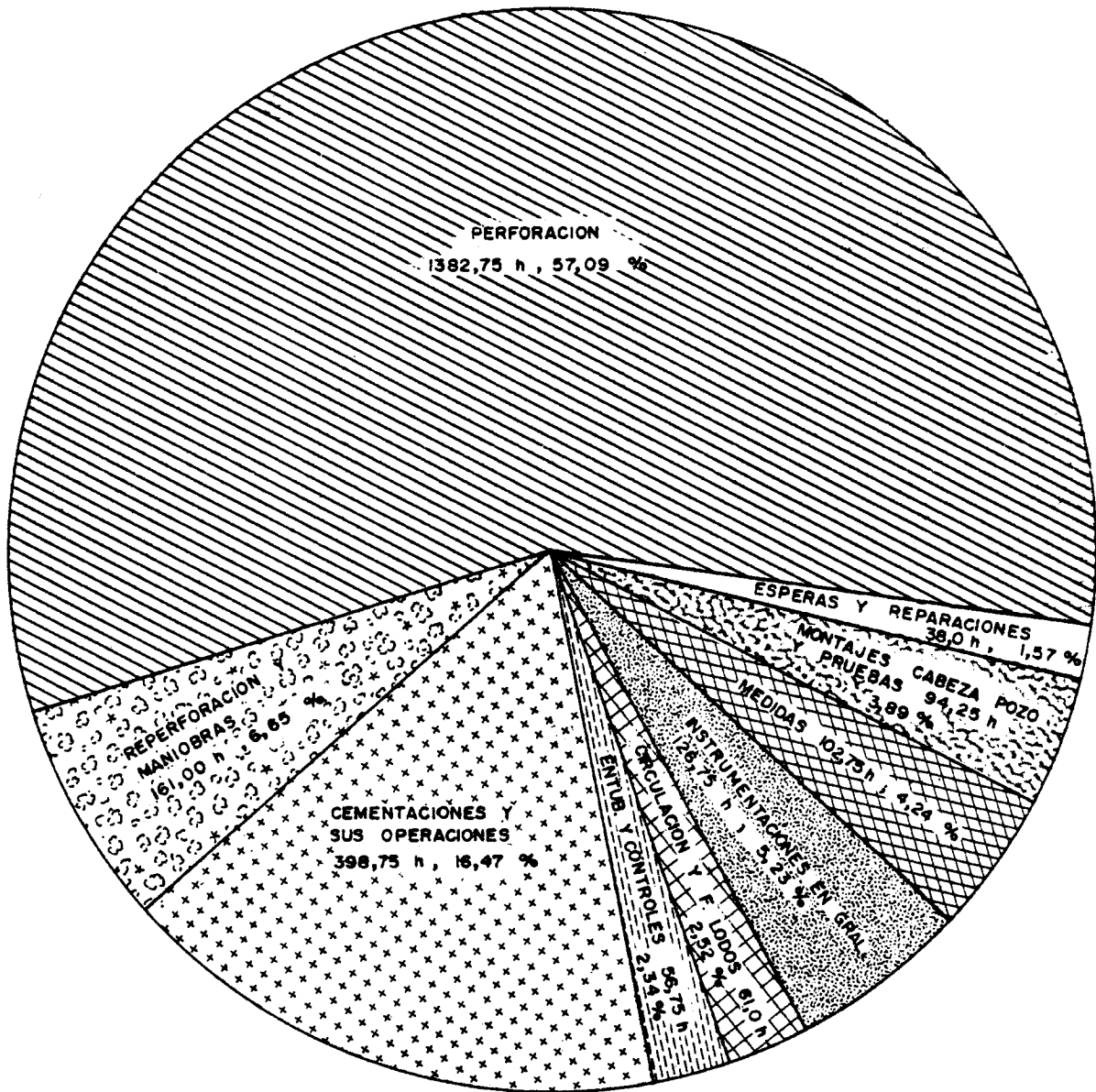
	<u>Tiempo-Horas</u>	<u>%</u>
Operaciones auxiliares instrumentación	20,50 h	0,85
Fresado	28,50 h	1,18
Maniobras fresado	20,25 h	0,84
Circulaciones por instrumentación	5,00 h	0,21
Medidas de desviación	13,50 h	0,56
Medidas de temperatura	45,75 h	1,89
Maniobras por medidas temperat. .	43,50 h	1,79
Fabricación de lodos	8,50 h	0,35
Montaje cabeza de pozo y pruebas.	94,25 h	3,89
Reparaciones	30,50 h	1,26
Esperas	7,50 h	0,31
T O T A L	2.422,00 h	100,-

Análisis de tiempo por grupo de operaciones

Para mejor conocimiento del reparto del tiempo en el Proyecto, se agrupan las operaciones anteriores según su fin u objeto y se obtiene el cuadro siguiente y el diagrama adjunto:

	<u>Tiempo-Horas</u>	<u>%</u>
Perforación	1.543,75 h	63,74
- Perforación p. dicha	.1382,75 h	57,09
- Reperforaciones y maniobras	161,00 h	6,65
Cementaciones y controles	398,75 h	16,47
Entubaciones y controles	56,75 h	2,34
Circulación y fabricar lodos ...	61,00 h	2,52
Instrumentaciones en general ...	126,75 h	5,23
Medidas	102,75 h	4,24
Montajes cabeza pozo y pruebas ..	94,25 h	3,89
Esperas y reparaciones	38,00 h	1,57
T O T A L	2.422,00 h	100,-

DIAGRAMA DEL ANALISIS DE TIEMPO
SONDEO DE LANZAROTE N° 1



1^a Fase - Perforación en 17 1/2" Ø

Perforación total del tramo de 20 a 350 m	330 m
Tiempo total operación, incluida entubación en 13 3/8" Ø, cementación y fraguado 21,79 días	= 523 horas
Avance medio total	95 min/m = 0,63 m/h
Tiempo real de perforación	232 horas
Avance medio real	42 min/m = 1,42 m/h

El día 20 de Agosto se dió comienzo a la perforación del sondeo en 17 1/2" de diámetro, utilizando el máximo peso permitido, teniendo en cuenta las lastrabarrenas que pueden emplearse; el peso fue creciendo hasta un máximo de 16 toneladas. El día 9 de Septiembre se alcanzó los 350 metros. A continuación se procedió a entubar el pozo desde la superficie, quedando situada la zapata en los 345,77 m, se utilizaron 25 tubos de acero J-55 de 68 lb/pie de peso y rosca redonda de 8 hilos/pulgada (STC).

Esta tubería llevaba zapata, manguito, para detención - de los tapones de cementación, ambos con válvula de contracorriente y 9 centradores.

Por la existencia de la caverna (190 - 194 m) fue necesario efectuar dos cementaciones para sujetar la tubería, la primera abarcaba desde 350 a 194 m y la segunda, realizada a mano por la boca del anular, cubría los primeros 30 m. Para detener la lechada de esta segunda cementación se colocaron 4 canastas cementadoras por encima de la cota 190 m - Se usaron 40 t de cemento entre las dos operaciones (15 y 25 t respectivamente).

Este tramo se terminó el día 11 Septiembre a las 8 horas.

Los parámetros utilizados en la perforación fueron:

Peso: creciente de 2 a 16 t de 20 a 110 m (máximo posible) y desde esa profundidad 16 t.

Velocidad de la mesa de perforación:

los primeros 70 metros: 70/90 r.p.m.
y los restantes: 90/110 r.p.m.

Caudal de circulación: 1.500 l/min en los primeros 190 m y -
1.000 l/min en los restantes (190/350 m)
a causa de las pérdidas totales de circulación a partir de 190 m.

Fluido de circulación:

De 20 á 190 m, se utilizan los lodos programados con las características reológicas siguientes: densidad 1,06/1,09
viscosidad 45/65

A partir de 190 m, al encontrar la caverna que produce las pérdidas totales de circulación, se decide perforar sin retorno de fluido, utilizando agua de mar.

Medidas obtenidas:

Desviación: 1° a 174 m
1° a 235 m

Temperatura: 32°C a 190 m
34°C a 235 m
34°C a 350 m

En esta fase se han utilizado 3 triconos 4 JS de 17 1/2" \varnothing con un rendimiento medio de 110 m/tricono y máximo de 204,70 m; una duración media de 77,33 horas/tricono y máximo de 172,25 horas; y un avance de 1,42 m/h = 42 min/m.

Incidencias más importantes:

A los 27 m se producen pérdidas totales de circulación lo que obliga a continuar la perforación sin retorno, a circulación pérdida, hasta alcanzar los 49,50 m. Con esta profundidad se realizan dos cementaciones (tramo 20 a 49,50 m), las cuales dan dos resultados: a) localizar las pérdidas en los 26-29 m, y b) lograr retorno de fluido al cerrar las grietas. Estas fisuras se abren parcialmente debido al movimiento de la sarta, pero se taponan en parte con productos colmatantes, hasta que con 174,50 m se decide una nueva cementación ya que los efectos colmatantes se amortiguaban; esta cementación dió resultados positivos.

A los 190 m se alcanza una caverna de 4 m de profundidad (190 - 194 m), con caída libre de la sarta, lo que origina una nueva y total pérdida de fluido de circulación. Ante la imposibilidad de cementar la caverna se continuó la perforación sin retorno de fluido, utilizando agua de mar como fluido de perforación tal y como se había programado, desde esta profundidad de 190 m hasta los 350 m del final de la fase de 17 1/2.

No obstante para solucionar las posibles grietas que pudieran existir en el tramo 194 - 350 m, que dificultarían la cementación de la entubación, se realizaron varias cementaciones en dicho tramo con resultado positivo, y merced a esta precaución pudo asegurarse una buena sujeción para el casing de 13 3/8".

A los 229,30 m de profundidad se produce la rotura de un lastrabarrena por su rosca hembra quedando la cabeza del "pez" a 159 m. Se realiza la instrumentación correspondiente utilizando campana de pesca y se recupera el "pez" a las 9 horas de comenzar la operación.

Teniendo el sondeo una profundidad de 246,80 m, durante la extracción de la sarta, se produce su agarre en los 214 m quedando bloqueada. Se efectúan varios tiros y compresiones con la máquina, y se procura hacer girar la sarta sin ningún resultado. A continuación se intenta soltar introduciendo gaso_{leo}, al no conseguirlo se proyecta realizar tiros con martillo hidráulico; para ello primero se efectúa un back-off mecánico desenrocando por los 48 m (5 varillas), luego se bajan dichas varillas pero llevando en su extremo un martillo hidráulico; se enrosca con la sarta agarrada y se realizan tiros, logrando soltar y rescatando toda la sarta. La operación total duró 12 horas.

Levantamiento de la plataforma de trabajo

Con objeto de tener espacio suficiente para colocar la cabeza de pozo necesaria para geotermia, se procedió a suplementar la estructura de la torre de perforación, obteniendo así una altura de 4,27 m, en lugar de los anteriores 2,74 m (suplemento 1,53 m). Esta operación se inició el día 11 a las 8 horas, una vez entubado y cementado el pozo, y se terminó el día 18 a las 22 horas, con una duración total de 7 días y 14 horas. Este intervalo de tiempo no se contabiliza en la perforación.

2ª Fase - Perforación en 12 1/4" Ø

Perforación total del tramo de 350 a 1.220 m 870 m
 Tiempo total de la operación, incluida entubación en 9 5/8" Ø, cementación y fraguado .. 29,42 días = 706 h

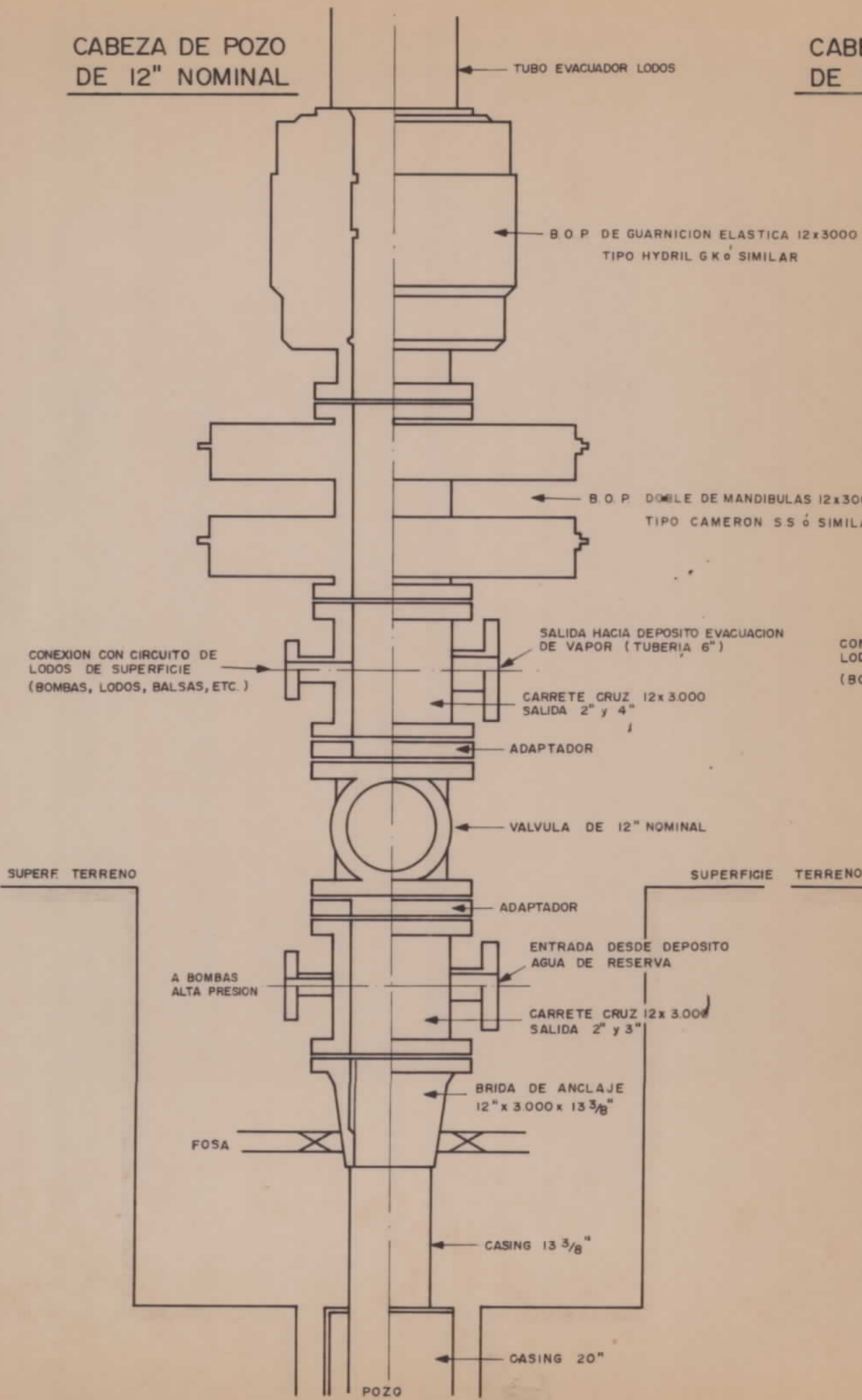
Avance medio total	49 min/m =	1,23 m/h
Tiempo real de perforación		348,00 horas
Avance medio real	24 min/m =	2,50 m/h

El día 18 de Septiembre se procede a colocar la cabeza de pozo, provista de los cierres necesarios (total, sobre varilla de 4 1/2" \varnothing y general), que sufrieron las correspondientes pruebas de presión, y se montaron los circuitos de salida de vapor y de entrada (3) para control, llenado y "matado" del pozo. Véase diagramas de montaje de cabeza de pozo adjuntos.

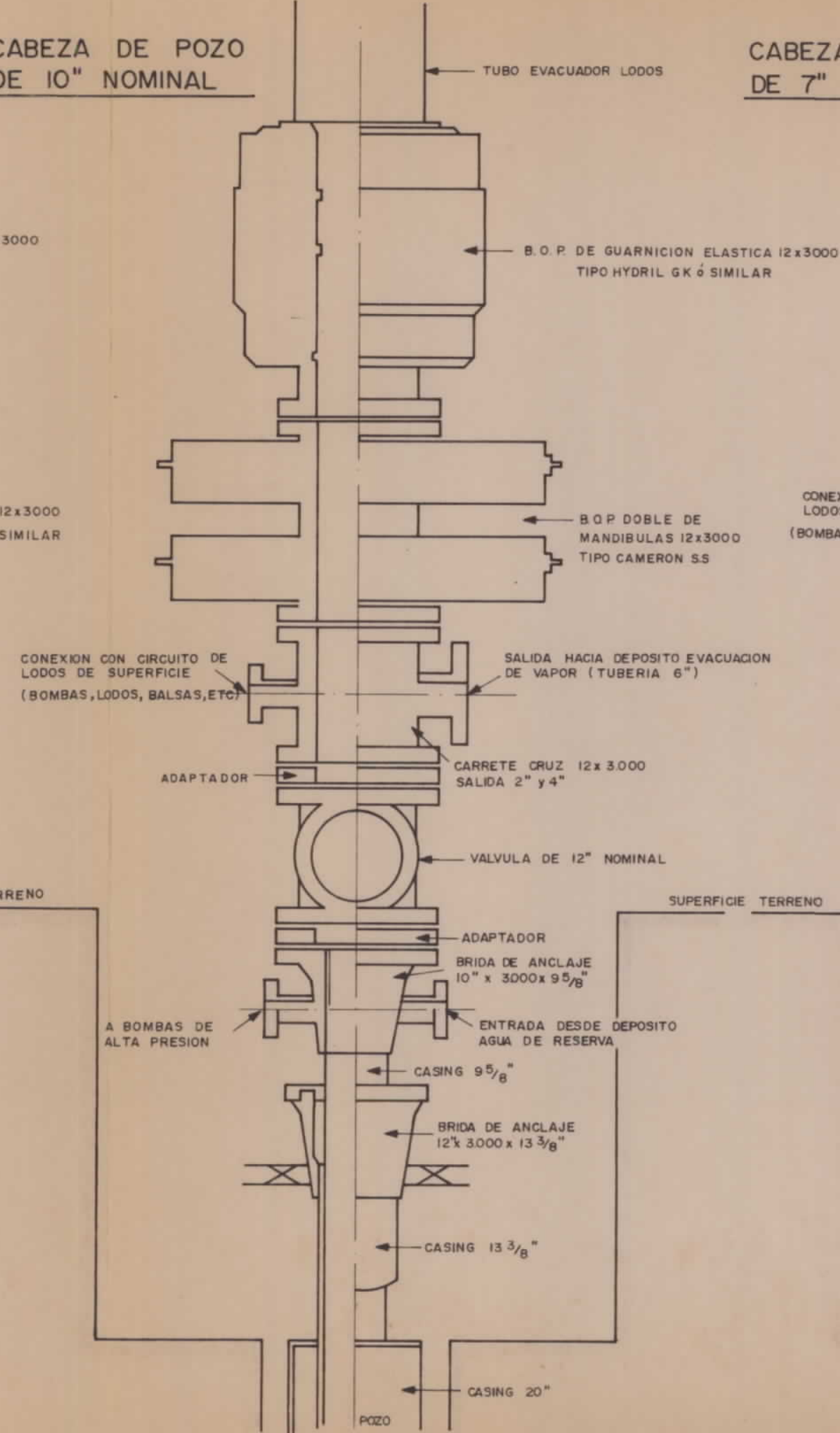
A continuación se reanudó la perforación en un diámetro de 12 1/4" alcanzando el final de este tramo, los 1.220 m, el día 15 de Octubre. Seguidamente, como estaba programado, se procedió a entubar el pozo desde la superficie, quedando situada la zapata de la tubería en los 1.214,28 m. Se utilizaron 97 tubos de acero N-80 de 47 lb/pie de peso con una longitud total de 1.207,91 m y rosca redonda de 8 hilos/pulgada (LTC). Esta tubería iba provista de su correspondiente zapata y manguito de circulación, así como de 10 centradores.

La tubería se cementó con 60 t de cemento clase G con 40 % de harina de sílice. La lechada de cemento fue de dos tipos: en la primera parte se utilizó 46 t de cemento añadiendo 1 t de bentonita (2,2 %) obteniendo una densidad de 1,65; en la segunda las restantes 14 t con una densidad de 1,90. Esta operación se programó así a causa de las pérdidas de circulación que se habían tenido a los 525, 697 y 731 m; de esta forma en la parte superior quedaría una lechada de menor densidad y mayor viscosidad evitando, en lo posible, las pérdidas, y en la inferior de 940 a 1.220 m, se tendría una lechada de mayor resistencia y más rápido fraguado para sujetar y apoyar la tubería. El objetivo fue prácticamente alcanzado, ya que aunque se reprodujeron las pérdidas, el cemento cubrió más del 90% de la tubería, y esta quedó firmemente anclada. Las operaciones de

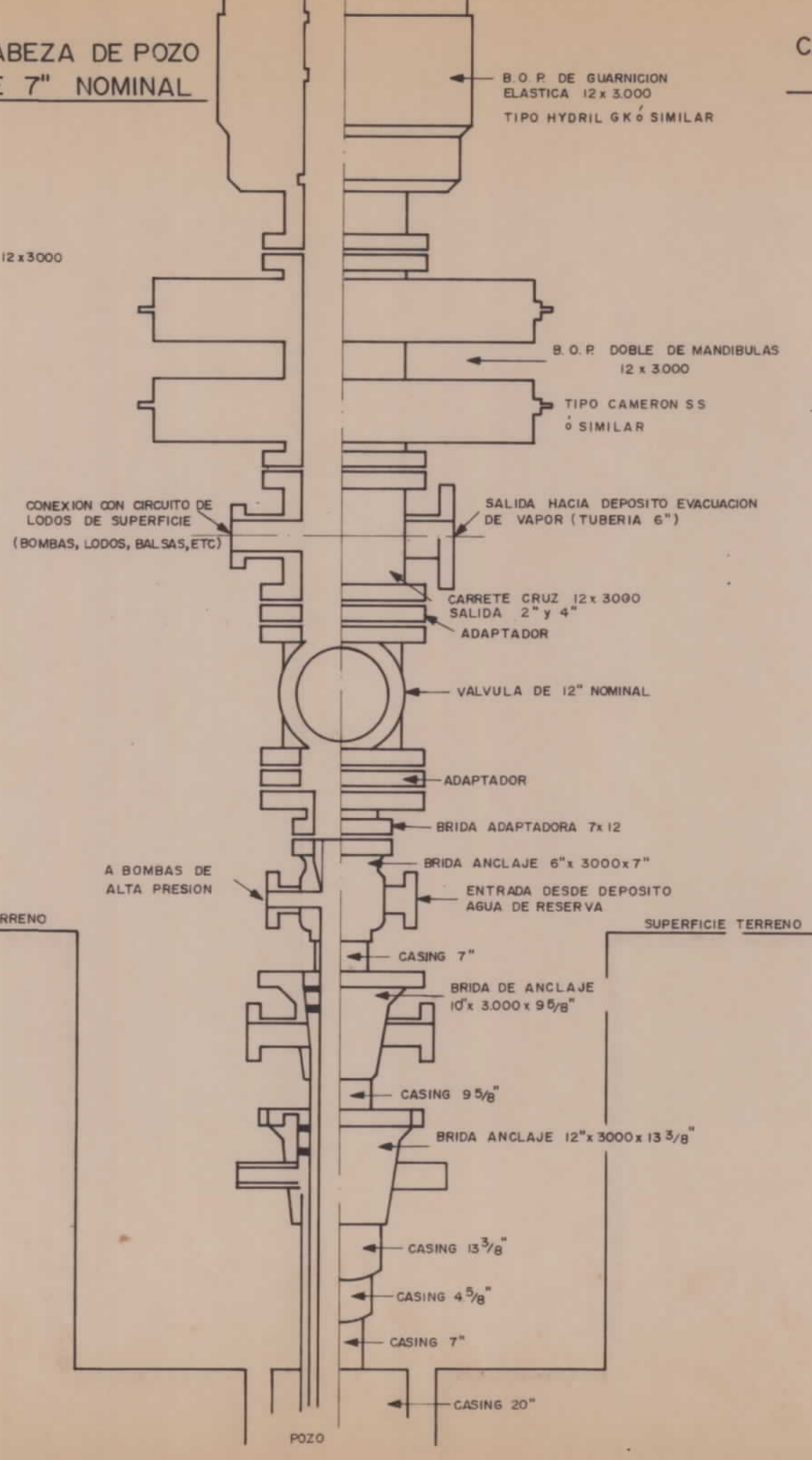
CABEZA DE POZO DE 12" NOMINAL



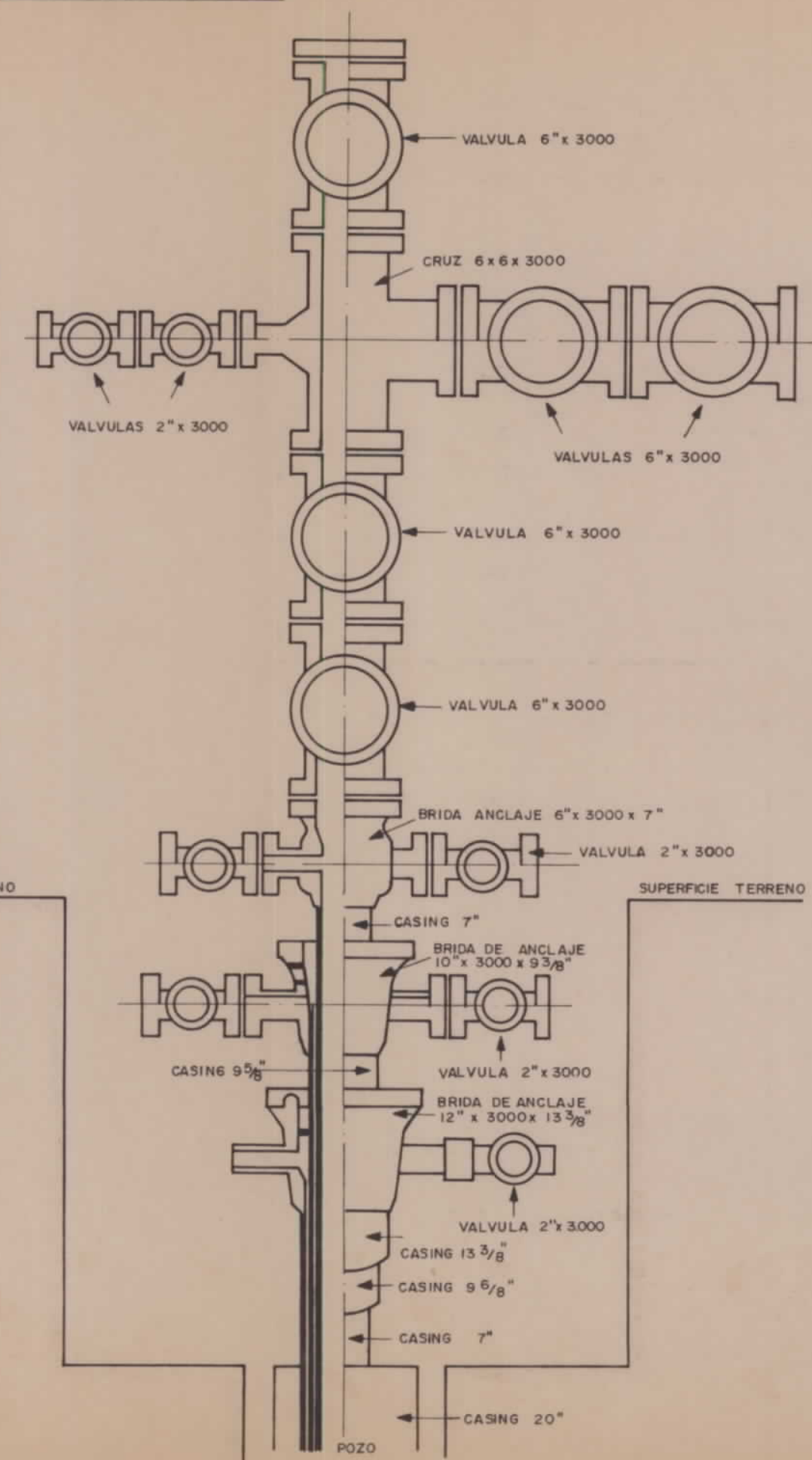
CABEZA DE POZO DE 10" NOMINAL



CABEZA DE POZO DE 7" NOMINAL



CABEZA DE POZO PRODUCCION



este tramo se finalizan el día 18 de Octubre a las 8 horas.

Los parámetros de la perforación fueron:

Peso sobre tricono de 8 á 10 toneladas.

Velocidad de la mesa de perforación: de 80 a 100 R.P.M.

Caudal de circulación: 1.700 l/min

Presión de bomba: se inició con 15 kg/cm² alcanzando al final del tramo los 25 kg/cm².

Fluido de circulación: lodo de las siguientes características:

- Densidad: (de 350 a 700 m) 1,06 - 1,07 kg/dm³
(de 741 a 1.220 m) 1,08 - 1,10 kg/dm³
- Viscosidad: 48 - 60 sg
- Filtrado (de 350 a 700 m) 45 - 60 cm³
(de 700 a 1.220 m) 70 - 90 cm³

De 716,30 m a 741 m se utilizó agua de mar.

Medidas obtenidas:

Desviación:	0° 15'	a	570 m
	0°	a	686 m
	0° 15'	a	740 m
	1° 00'	a	838 m
	0° 45'	a	869 m
	0° 30'	a	1.012 m
	2° 00'	a	1.219 m

Temperatura: 36° C a 697,80 m
 36° C a 838,30 m
 37,5° C a 869,00 m
 39° C a 1.012,- m

Triconos de 12 1/4" utilizados de 350 á 1.220 m:

3 triconos de pastillas, de los tipos siguientes:

- 1 de 4 JS
- 2 de 5 JS

con una media de 275,23 m/tricono, un máximo de 352 m y un mínimo de 123 m. La duración media por tricono fue de 110 horas, con un máximo de 146,50 horas y un mínimo de 71,25 horas, y un avance medio de 2,50 m/h = 24 min/m.

Sólo 44,30 m se realizaron con triconos de dientes (2 triconos de medio uso), utilizando en la perforación 17,75 horas (22,15 m y 8,87 h por tricono), con una media de 2,50 m/h = 24 min/m.

Incidencias más importantes:

A los 525 m de profundidad se producen pérdidas parciales de 4 á 5 m³/h de fluido de perforación que desaparecen con colmatantes.

A los 695 m se producen nuevas pérdidas parciales de 3 m³/h, que a los 697,80 m se tornan totales. Se intentan solucionar mediante tapones de colmatantes, primero y con tapones de cemento después. De los primeros se colocaron 2 y de los segundos 5, de una longitud de 50 m cada uno.

Se obtiene una solución parcial, ya que las pérdidas

quedan en $10 \text{ m}^3/\text{h}$. De esta forma se continuó la perforación, utilizando como fluido agua de mar, hasta alcanzar los 741 m, zona libre de fisuras, donde se procede a cementar de nuevo desde el fondo hasta la cota de 458 m. Se perfora el cemento de este tramo con un avance de 8 m/h y con fugas parciales de $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Continúa la perforación del terreno y al llegar a los 838 m se logra la colmatación total de las pérdidas. Hasta los 1.220 m no se produce ninguna novedad, siendo normal su perforación.

3ª Fase - Perforación en 8 1/2" \emptyset

Perforación total del tramo de 1.220 a 2.702,40 m	.	1.482,40 m
Tiempo total de la operación 49,71 días	= 1.193, h
Avance medio total 48 min/m	= 1,24 m/h
Tiempo real de perforación	802,75 h
Avance medio real 32 min/m	= 1,85 m/h

Después de 32,50 horas de fraguado de cemento, el día 18 de Octubre se coloca de nuevo la correspondiente cabeza de pozo sobre la tubería de 9 5/8", provista de los cierres necesarios (total, sobre varilla de 4 1/2" \emptyset y general), de una salida para vapor, con su respectiva tubería de 6", y de tres entradas para control y "matado" de pozo, realizando, seguidamente, las pertinentes pruebas de presión sobre cierres y tubería.

El día 20 de Octubre se reanudó la perforación en un diámetro de 8 1/2" alcanzando el final de pozo 2.702,40 m, con este mismo diámetro, el día 6 de Diciembre.

Los parámetros empleados en esta perforación fueron.

Peso sobre tricono:

- a) de 1.220 a 2.178 m: 10 a 12 toneladas
- b) de 2.178 a 2.284 m: 14 a 16 toneladas
- c) de 2.284 a 2.349 m: 10 a 12 toneladas
- d) de 2.349 a 2.702,40 m: 13 a 14 toneladas

Velocidad de la mesa de perforación:

- tramos a y b): de 1.220 a 2.284: 60 a 70 R.P.M.
- tramo c): de 2.284 a 2.349: 70 a 80 R.P.M.
- tramo d): de 2.349 a 2702,40:60 a 70 R.P.M.

Los tramos a, b y d fueron atravesados con triconos de pastillas tipos F5 y F7.

El tramo c se perforó con un tricono de dientes tipo - H77SG, debido a que por la incidencia ocurrida a los 2.284,20 m, que más tarde se indica, hubo necesidad de fresar el medi dor de desviación "totco" y por la existencia de limaduras de hierro de muy variado tamaño no era conveniente utilizar trico nos de pastillas hasta tener bien limpio el pozo.

Caudal de circulación:

- de 1.220 a 2.081 m: 1.200 l/min
- de 2.081 a 2.178 m: 1.400 l/min
- de 2.178 a 2.620 m: 1.500 l/min
- de 2.620 a 2.702,40 m: 1.550 l/min

Presión de bomba:

- de 22 kg/cm² a 1.220 m creció hasta 40 kg/cm² a 1.791,50 m
- a 2.081 m, al aumentar el caudal, pasó a 45 kg/cm²
- a 2.178 m, por igual razón, ascendió a 50 kg/cm² y
- a 2.620 m, por lo mismo, alcanzó los 55 kg/cm² que se mantuvo hasta final de pozo.

Fluido de circulación. Se utilizó lodo de sepiolita-bentonita con base agua de mar, cuyas principales características reológicas fueron:

Densidad: 1,08 a 1,10
 Viscosidad: 45 a 55
 Filtrado: 60 a 75
 pH: 10,5 a 11,5

Medidas obtenidas:

Desviación: 2° a 1.239 m
 2° a 1.348 m
 1° 45' a 1.436 m
 1° 45' a 1.527 m
 1° 45' a 1.575 m
 1° 30' a 1.675 m
 1° 45' a 1.806 m
 1° 30' a 1.861 m
 1° 30' a 1.965 m
 1° a 2.026 m
 1° a 2.081 m
 0° 45' a 2.177 m
 0° 45' a 2.348 m
 0° 45' a 2.442 m
 0° 45' a 2.598 m
 0° 45' a 2.702,40 m

Temperatura. Medida con el equipo de testificación Kuster.

41,2° C a 1.440 m
 45° C a 1.700 m
 53,8° C a 1.860 m
 56,8° C a 1.960 m
 63,3° C a 2.080 m
 68° C a 2.170 m
 77° C a 2.350 m

SONDEO LANZAROTE I

DIAGRAMA TEMPERATURA/METROS PROFUNDIDAD

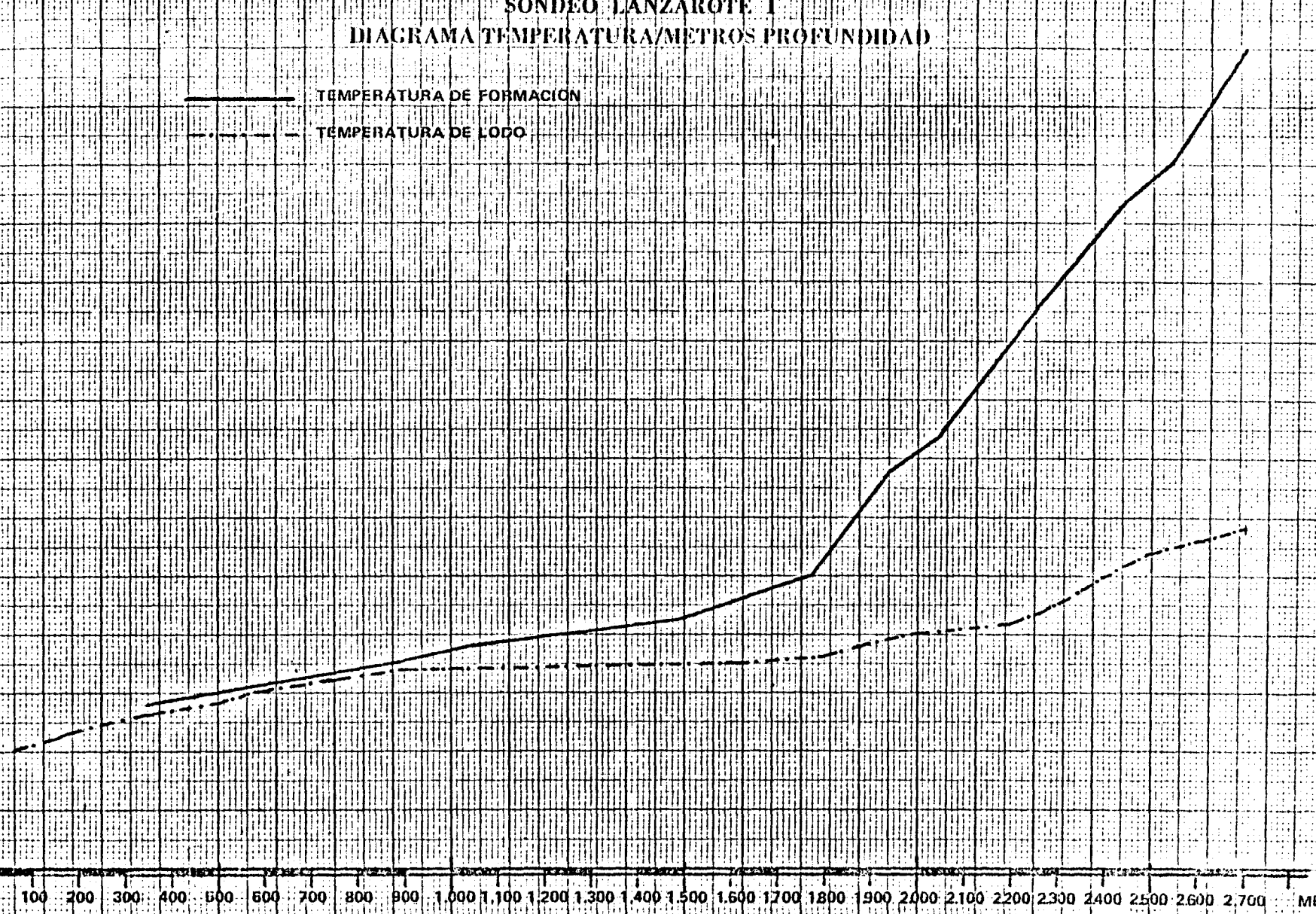
TEMPERATURA EN GRADOS CENTIGRADOS

90° C
85° C
80° C
75° C
70° C
65° C
60° C
55° C
50° C
45° C
40° C
35° C
30° C
25° C
20° C

— TEMPERATURA DE FORMACION
- - - TEMPERATURA DE LODO

100 200 300 400 500 600 700 800 900 1,000 1,100 1,200 1,300 1,400 1,500 1,600 1,700 1,800 1,900 2,000 2,100 2,200 2,300 2,400 2,500 2,600 2,700 METROS

METROS - PROFUNDIDAD DEL POZO



80° C a 2.440 m

90° C a 2.702,40 m

En todo momento se llevaba control de la temperatura de salida del lodo, que servía de índice de la temperatura de la formación atravesada.

Triconos de 8 1/2" utilizados de 1.240 m a 2.702,40 m:

8 triconos de pastillas, de los tipos siguientes:

- 5 de F5

- 3 de F7

Con una media de 174,72 m/tricono (187,74 y 153,03 m/tricono respectivamente), un máximo de 239,50 m y un mínimo de 103,10 m. La duración media por tricono fue de 94,37 horas - (87,40 y 106 h respectivamente) con un máximo de 116,50 horas y un mínimo de 72,25 horas, y un avance medio de 1,85 m/h = 32 min/m (2,15 m/h = 28 min/m y 1,44 m/h = 42 min/m).

De 1.220 m a 1.240 m (20 m) y para atravesar el cemento de entubación se utilizó un tricono de dientes tipo M4L, con una duración de 12,50 h y un avance de 1,60 m/h = 37 min/m.

De 2.284,50 a 2.348,80 (64,30 m), a continuación del fresado, como ya se ha indicado, se utilizó también un tricono de dientes, tipo H77SG, con una duración de 35,50 h y un avance de 1,81 m/h = 33 min/m.

Incidencias más importantes:

El día 15 de Noviembre y con una profundidad de 2284,20 m, se produce la rotura del tren de varillaje entre la 5^a y 6^a lastrabarrena quedando la cabeza del "pez" a los 2.236, 88 m,

(longitud "pez" 47,32 m, peso 4,8 t).

Se efectúa la instrumentación correspondiente empleando campana de pesca que atrapa el "pez". Al tirar para iniciar la extracción se aprecia agarre, logrando soltar con tiros de 90 toneladas. Una vez recuperado todo el tren de varillaje, al desenroscar el tricono se observa que se ha quedado en el fondo del pozo el aparato medidor de desviación "Totco".

Para intentar rescatarlo se realiza una nueva instrumentación con campana provista de recogedor de dedos, sin obtener éxito. Por ello, y considerando que es altamente difícil su rescate, se dedice cementarlo en el fondo para posteriormente fresarlo.

Una vez fraguado el cemento, se baja tren de varillaje provisto de fresa, tocando cemento a 2.269 m. Se efectúa el fresado del cemento y del aparato medidor alcanzando otra vez los 2.284,20 m; para mayor seguridad se continua el fresado hasta los 2.284,50 m, quedando libre de obstáculos el pozo (longitud total fresada 15,50 m).

Ahora bien, esta operación ha originado gran cantidad de limaduras de hierro de diferentes tamaños, que podrían hacer saltar de sus alojamientos a las pastillas de carburo de tungsteno de los triconos que se estaban utilizando. Para evitar estas roturas y conseguir limpiar el pozo, se dedice bajar un tricono duro de dientes - tipo H77SG -, colocando encima de él una cesta de sedimentos, con el cual se perfora de 2.284,50 a 2.348,80 m (64,3 m) consiguiendo el objetivo buscado.

El tiempo empleado en el total de las instrumentaciones fue:

1 ^a Instrumentación. Pesca lastrabarrenas ..	17,00	horas
2 ^a Instrumentación. Pesca "Totco"	37,00	"
Cementación y fraguado	32,75	"
Fresado y maniobras (0,71 m/h)	38,50	"
T O T A L	125,25	"

Durante el resto de la perforación del tramo de 8 1/2" \varnothing no se ha registrado ninguna otra incidencia digna de mención.

El día 5 de Diciembre a las 10,25 horas se llega a la profundidad de 2.702, 40 m con la cual se decide dar por terminado el sondeo una vez alcanzados todos sus objetivos geológicos con resultado NO POSITIVO.

A continuación se realiza la última medida de desviación que marca 0° 45', y el definitivo registro de temperatura con el equipo de testificación Kuster obteniendo de la posterior lectura de la carta y de su interpretación por las tablas de calibración 90° C, que es la temperatura final del sondeo.

Como operaciones finales del sondeo se realiza el cambio del lodo del pozo por agua de mar, para facilitar, en lo posible, las mediciones futuras, el desenroscado total del tren de varillaje y su retirada de la torre de perforación y el desmontaje de la cabeza de pozo.

Como terminación, se suplementa la tubería de 9 5/8" - hasta alcanzar 1,20 m por encima de la superficie del terreno y se le coloca un tapón ciego, que se fija con candados, quedando así acabado y cerrado totalmente el pozo Lanzarote n° 1.

El sondeo se ha caracterizado por dos cosas: pérdidas de fluido de circulación y ausencia de temperaturas altas.

La perforación del pozo fue normal y realizada con eficacia y rapidez, ya que en todo momento se procuró cumplir al máximo el programa general de perforación propuesto total y para cada uno de los apartados en que se divide una operación de sondeo. La correcta programación efectuada y su cumplimiento acertado hicieron alcanzar el éxito deseado en la realización total de la operación proyectada y de la perforación del sondeo en particular.

Las dificultades y pequeñas averías producidas en su mayoría por pérdidas de fluidos, han podido ser solucionadas por las correspondientes operaciones especiales, ya previstas y programadas, considerando que, para que tengan eficacia, es muy importante que el estado del pozo, calibre, paredes, perfil, y del lodo sean lo mejor posible, lo cual ocurre cuando la tecnici-dad aplicada ha sido la más correcta y conveniente en cada momento de la perforación.

Finalizadas todas las operaciones de cierre del pozo , el día 7 de Diciembre se procedió al desmontaje del equipo de perforación de SONPETROL, preparándolo para su transporte de regreso.

Idéntica operación se hizo con el equipo de cementar de HALLIBURTON y con el equipo de suministro de agua de mar, bom-bas, motores y tuberías.

Al mismo tiempo se recogió, contabilizó y preparó todo el material de perforación sobrante, bien para su devolución a las compañías que aceptaban el retorno, lodos, rodillos, tube-rías, aditivos de cementación, bien para su venta, triconos , bien para su almacenaje en espera de poder darles salida, ce-mento, tubería de vapor, etc.

En el diagrama de perforación, tiempo/metros, adjunto se detalla la marcha del sondeo, sus principales incidencias, el avance y trabajo diario, las entubaciones, triconos, etc.

DIAGRAMA DE PERFORACION - TIEMPO/METROS - Y OPERACIONES

ENTUBACIONES - Y - TRICONOS

ENTUBACIONES

DIAS

TIEMPO TOTAL DE PERFORACION
TIEMPO REAL DE PERFORACION

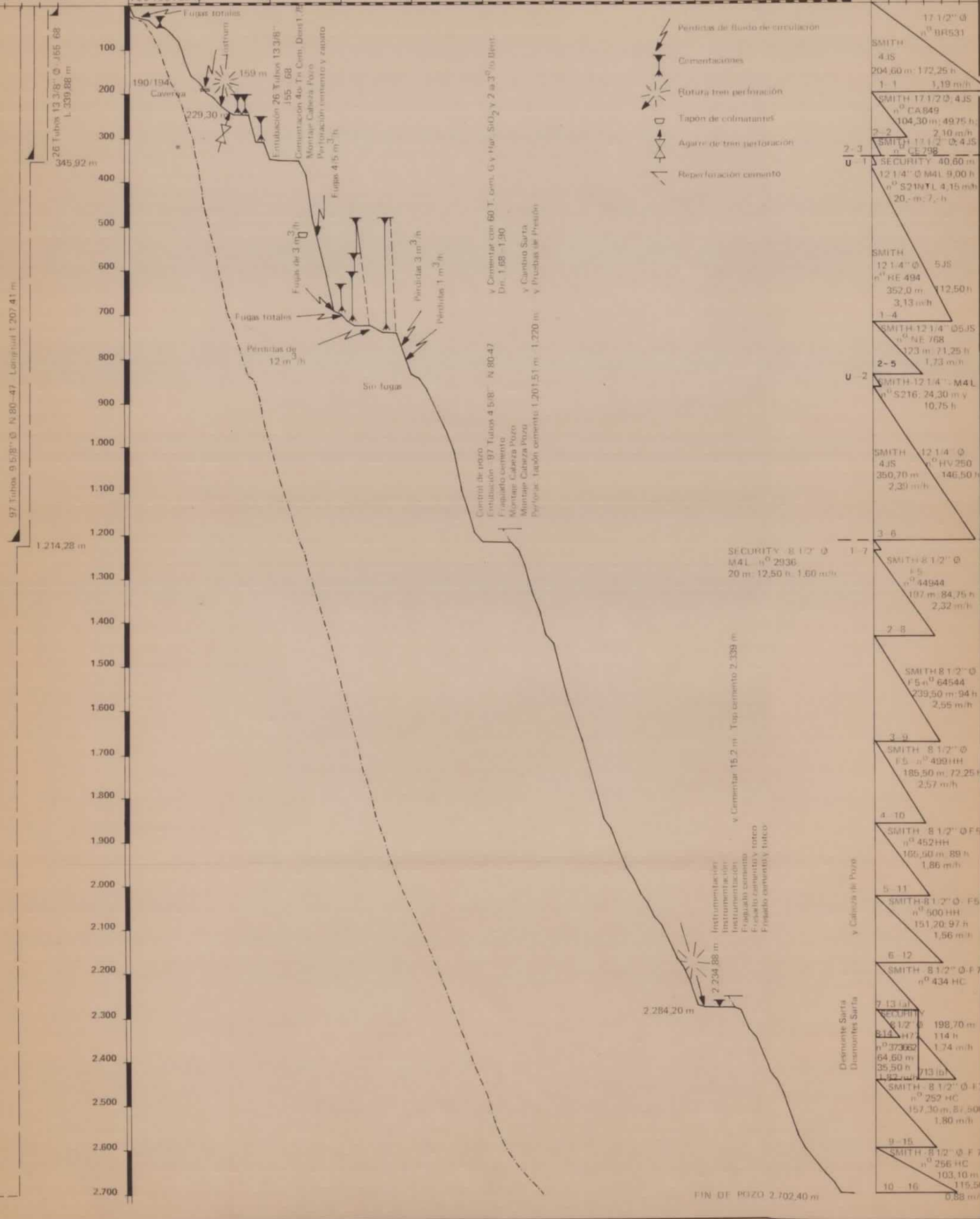
TRICONOS

HORAS

5" 10" 15" 20"

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 102

25 50 75 100 125



- Pérdidas de fluido de circulación
- Cementaciones
- Rotura tren perforación
- Tapón de colmatantes
- Agarre de tren perforación
- Reperforación cemento

TRICONOS	HORAS
17 1/2" Ø n° BR531	172,25 h
SMITH 4 JS	204,60 m: 172,25 h
1-1	3,19 m/h
SMITH 17 1/2" Ø 4 JS n° CA849	104,30 m: 49,75 h
2-2	2,10 m/h
SMITH 17 1/2" Ø 4 JS n° GE 298	40,60 m
2-3	121,4" Ø M4L 9,00 h
U-1	SECURITY 40,60 m n° S21M TL 4,15 m/h
	20, - m: 7, - h
SMITH 12 1/4" Ø 5 JS n° RE 494	352,0 m: 112,50 h
1-4	3,13 m/h
SMITH 12 1/4" Ø 5 JS n° NE 768	123 m: 71,25 h
2-5	1,73 m/h
U-2	SMITH 12 1/4" Ø M4L n° S216: 24,30 m y 10,75 h
SMITH 12 1/4" Ø 4 JS n° HV 250	350,70 m: 146,50 h
	2,30 m/h
3-6	
1-7	SECURITY 8 1/2" Ø M4L n° 2936, 20 m: 12,50 h - 1,60 m/h
	SMITH 8 1/2" Ø F5 n° 44944, 197 m: 84,75 h, 2,32 m/h
2-8	
	SMITH 8 1/2" Ø F5 n° 64544, 239,50 m: 94 h, 2,55 m/h
3-9	
	SMITH 8 1/2" Ø F5 n° 499HH, 185,50 m: 72,25 h, 2,57 m/h
4-10	
	SMITH 8 1/2" Ø F5 n° 452HH, 165,50 m: 89 h, 1,86 m/h
5-11	
	SMITH 8 1/2" Ø F5 n° 500HH, 151,20: 97 h, 1,56 m/h
6-12	
	SMITH 8 1/2" Ø F7 n° 434 HC
7-13 (a)	
	SECURITY 8 1/2" Ø 198,70 m
8-14	114 h
	n° 373662, 1,74 m/h
	64,60 m
	35,50 h
	1,92 m/h
	SMITH 8 1/2" Ø F7 n° 252 HC, 157,30 m: 81,50 h, 1,80 m/h
9-15	
	SMITH 8 1/2" Ø F7 n° 256 HC, 103,10 m, 115,50 h, 0,88 m/h

Se adjunta también diagramas del pozo propuesto y del realizado para su comparación, así como cuadro resumen del sondeo.

6.8.- TRANSPORTES DE RETIRADA

Como final del Proyecto se debe efectuar el transporte de retirada de la maquinaria y equipos, perforación, cementación, suministro de agua, etc, utilizados en su realización, así como los materiales sobrantes a sus puntos de destino, ya sean en la Península o fuera de España.

Esta retirada se descompone en:

- a) Transporte terrestre del sondeo al puerto de Arrecife, de aproximadamente 30 km.
- b) Transporte marítimo desde el puerto de Arrecife al puerto de Valencia, realizado por línea regular en la naviera Pérez y Cía, o en barcos fletados especialmente: equipo de perforación y de suministro de agua.
- c) Transporte terrestre desde Valencia a los puntos finales de destino.
 - Madrid: equipos y materiales de SONPETROL, HALLIBURTON, ENADIMSA, CECA (productos nacionales), etc.
 - Burgos: casing
 - Jaca (Huesca): bombas y motores suministro de agua
 - Pau (Francia): rodillos, elementos de sarta de SERVCO, productos importados de CECA, etc.
 - etc.

El tonelaje manejado en este transporte es:

DIAGRAMA SONDEO LANZAROTE - 1

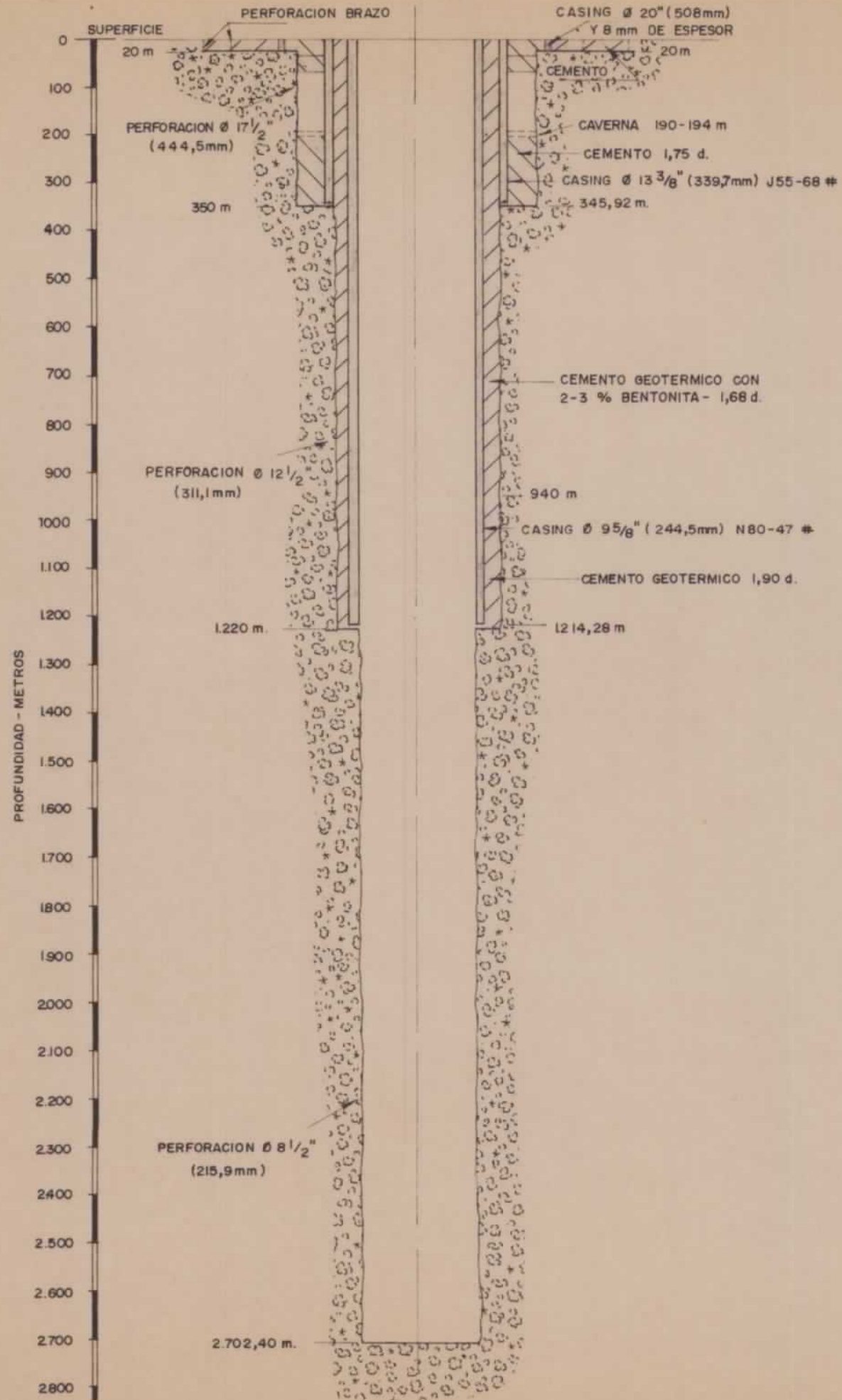
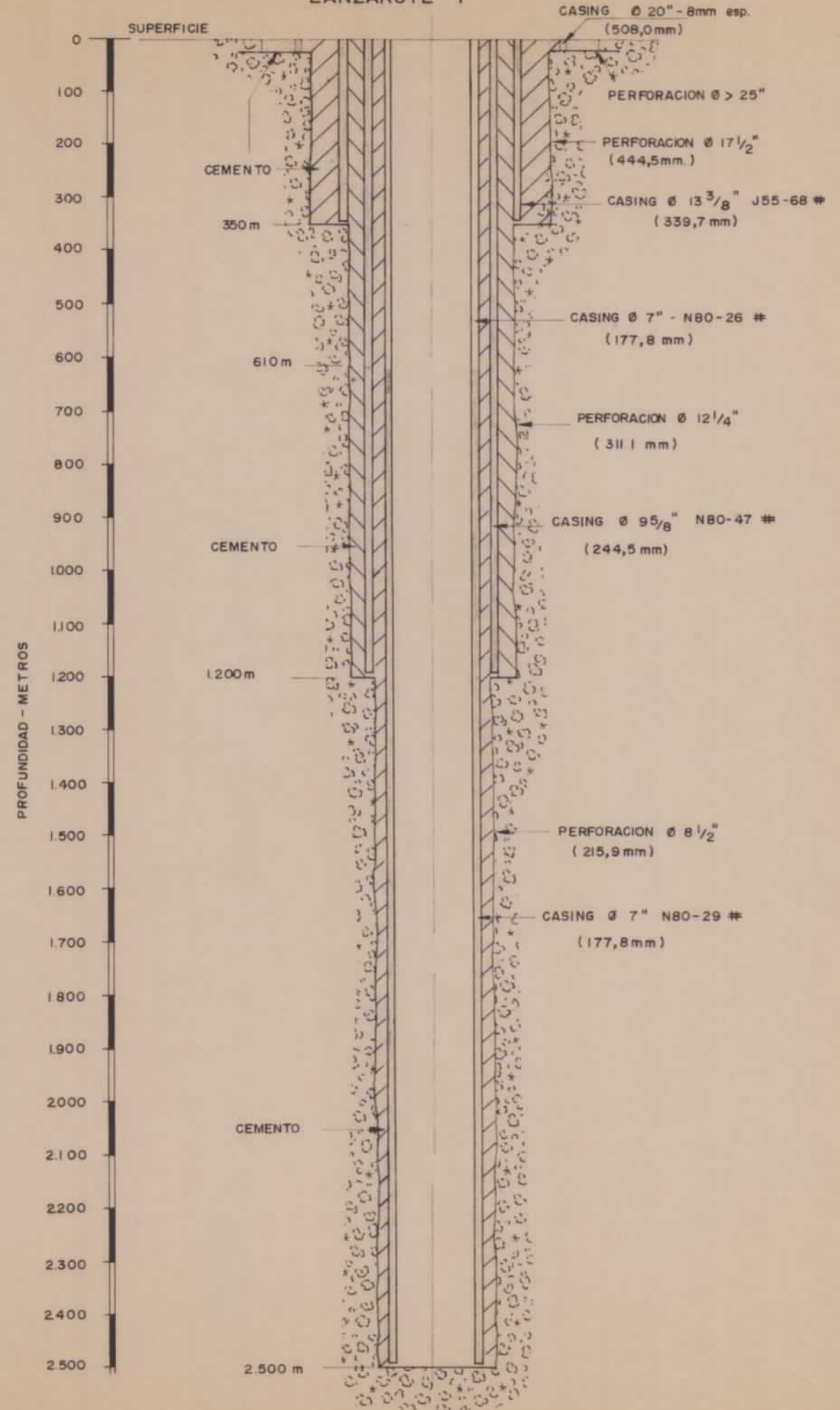


DIAGRAMA DEL POZO PROPUESTO LANZAROTE - 1



CUADRO RESUMEN

FASE	GEOLOGIA	PERFORACION		ENTUBACION		CEMENTACION COTAS-MTS TONS CEMT	LODO Sepiolita Bentonita Agua de mar	PARAMETROS Peso R.P.M. Caudal l/min.	TRICONOS	MEDIDAS Temperatura Desviación		PERDIDAS FLUIDO	ROTURAS INSTRUMENT.	TIEMPO
		Diámetro	Profundidad	Diámetro	Cota Zapata									
1ª	Coladas de basaltos olivinos alternando con escorias, piroclastos y algunos paleosuelos	17 1/2"	20 m 350 m	13 3/5"	345,77 m	1) 194 – 350 m 2) 0 – 190 m (40 T)	D: 1,06–1,09 V: 45 – 65 – Agua de mar	2 – 16 T 90 – 110 1.500 a 1.000 l/m.	3 de 4 JS	1° 00'	30° C 32° C 36° C	27 m 190 m	Tricono: 229,30 m Pez: 159 m	523 h
2ª	Mantos de toba basáltica con pasadas de basaltos olivinos	12 1/4"	350 m 1.220 m	9 5/8"	1.214,28 m	TOTAL 0 1.220 m (60 T)	D: 1,06–1,10 V: 48 – 60 F: 45 – 90	8 – 10 T 80 – 100 1.700 l/min.	1 de 4 JS 2 de 5 JS	0° 15' 1° 00' 0° 45' 0° 30' 2° 00'	36° C 35° C 35° C	525 m 697 m 731 m		706 h
3ª	Coladas de basalto piroxénico Tobas vitreas con intercalaciones de basaltos vitreos Calizas Alternancia margas y arcillas	8 1/2"	1.220 m 2.702,4 m	–	–	–	D: 1,06–1,10 V: 45 – 55 F: 60 – 75 pH: 10,5–11,5	10 – 12 T 13 – 14 T – 60 – 70 – 1.200 a 1.550 l/min.	5 de F5 3 de F7 1 de M4L 1 de HH7SG	2° 00' 1° 45' 1° 30' 0° 45' 0° 30'	42° C 53° C 63° C 77° C 90° C	–	Tricono: 2.284,20 m Pez: 2.236,88 m	1.193 h

Sondeo - Madrid	1.522,5	t
Sondeo - Burgos	96,-	t
Sondeo - Jaca	26,6	t
Sondeo - Pau	63,-	t
	<hr/>	
TOTAL	1.708,-	t

Esta operación cierra el Proyecto Exploración Geotérmica Lanzarote - Sondeo Lanzarote n° 1.

6.9.- RESUMEN TIEMPOS DEL PROYECTO

La distribución en el tiempo de las distintas operaciones del Proyecto se detalla en el siguiente análisis.

En él se establece el intervalo de cada operación principal que era necesario terminar antes de poder empezar la siguiente.

Dado que el elemento fundamental del sondeo es el equipo de perforación, su estado será el módulo que marque las distintas fases del Proyecto. Únicamente en la iniciación, por exigirlo así su mercado, hubo que tener en cuenta los plazos de entrega del casing y de la cabeza de pozo, que nos definieron la fecha más temprana de poder empezar a perforar, (1 de Agosto). Haciendo abstracción de este hecho, la sucesión y tiempos de las operaciones ha sido la siguiente:

1 - Iniciación del Proyecto	2 meses
1.1. Preparación y estudio del Proyecto y de las operaciones a realizar. Petición y estudio de ofertas	1 mes

1.2. Selección de compañías Auxiliares. Confección y firmas de Contratos. Compra de materiales. Estudio y contratos de Transportes y de obra civil.etc. ..	1 mes	
2 - Transporte de equipos, maquinaria y materiales. Módulo: equipo de perforación	2 meses	
Durante este tiempo se realizó paralelamente:		
- Construcción obras civiles	1,5 meses	
- Montaje suministro agua	1,0 meses	
3 - Montaje del equipo de perforación	0,66 meses	
4 - Perforación del sondeo	3,32	"
5 - Levantamiento de la subestructura	<u>0,25</u>	"
Sub-total Compañía Asesora	8,23	"
6 - Desmontaje del equipo de perforación	<u>0,50</u>	"
Sub-total compañías de perforación y auxiliares.	8,73	"
7 - Preparación de transporte de retirada. Recogida de materiales y tuberías. Terminar desmontar tubería de agua. Cierre plataforma	0,37	"
8 - Transporte de retirada de equipos, maquinaria y materiales. Incluye la búsqueda y contratación de buques	<u>2,-</u>	"
TOTAL TIEMPO PROYECTO	11,10	"