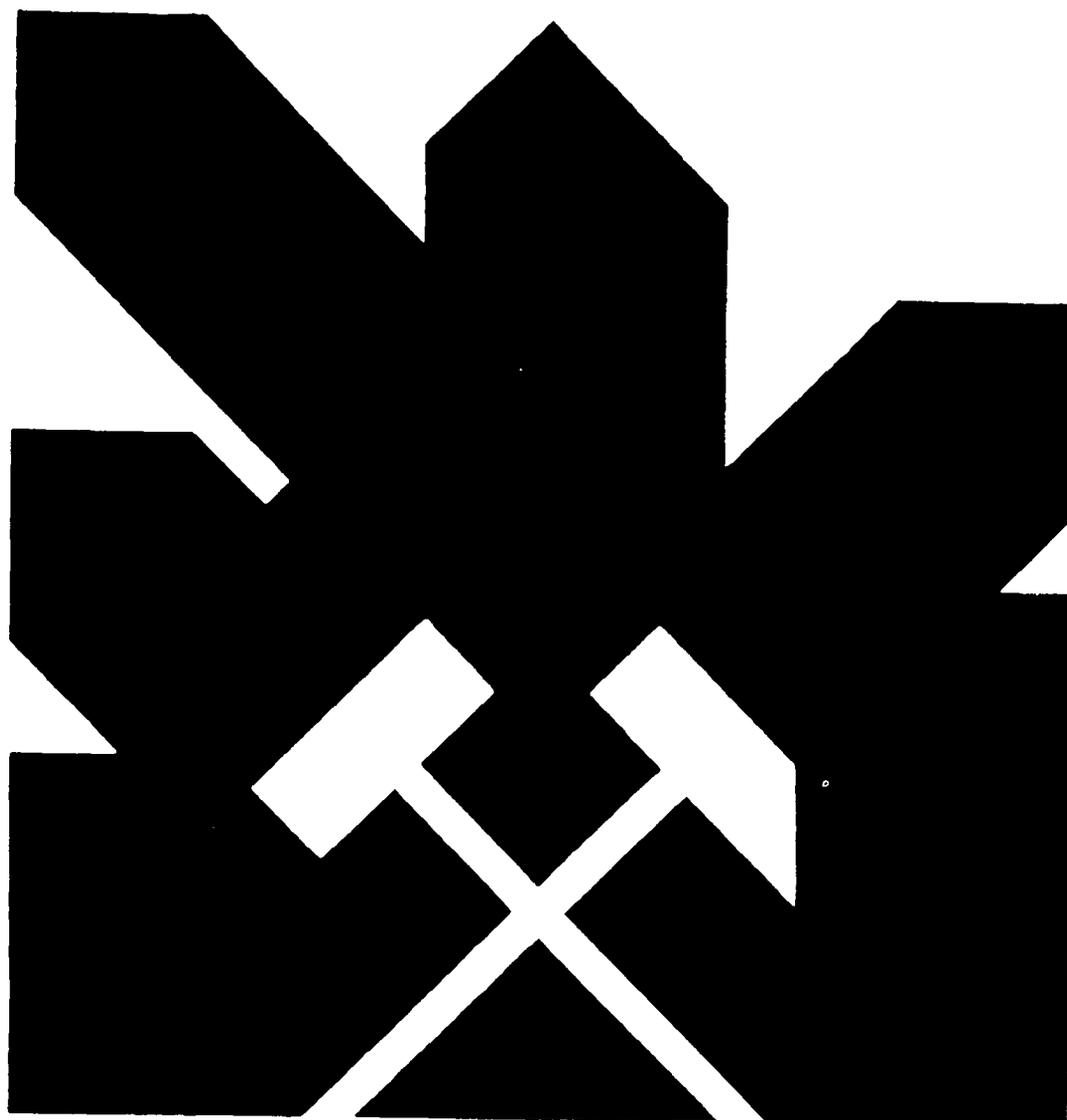


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
SECRETARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA RECARGA ARTIFICIAL
EN LAS ISLAS CANARIAS

(SUBSISTEMA ACUIFERO ARINAGA-TIRAJANA)

ANEXO 5. - PRUEBAS REALIZADAS "IN SITU" 2.
ENSAYOS DE RECARGA ARTIFICIAL EN BALSA
SA Y EN POZO.



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA RECARGA ARTIFICIAL
EN LAS ISLAS CANARIAS

(SUBSISTEMA ACUIFERO ARINAGA-TIRAJANA)

ANEXO 5. - PRUEBAS REALIZADAS "IN SITU" 2.
ENSAYOS DE RECARGA ARTIFICIAL EN BALSA
SA Y EN POZO.

"Convenio para la Realización de
Estudios Hidrogeológicos de apo
yo a la Gestión Hídrica en Astu
rias, Cantabria, Murcia, Casti
lla-La Mancha, Andalucía, Extre
madura y Canarias"

I N D I C E

	<u>PAGS.</u>
1.- INTRODUCCION	1
2.- JUSTIFICACION Y PLANTEAMIENTO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS	4
3.- ENSAYO DE RECARGA EN BALSA	10
3.1.- PLANTEAMIENTO TEORICO	11
3.2.- OBJETIVOS Y PLANIFICACION	20
3.3.- CARACTERISTICAS DEL DISPOSITIVO DE ENSAYO .	21
3.3.1.- Situación	21
3.3.2.- Composición	22
3.3.3.- Suministro de agua	25
3.4.- DESARROLLO DEL ENSAYO	29
3.4.1.- Previsión	29
3.4.2.- Cronología e incidencias	30
3.5.- INTERPRETACION DEL ENSAYO	37
3.5.1.- Análisis de datos obtenidos	37
3.5.1.1.- Volúmenes infiltrados ...	37
3.5.1.2.- Tasa de Evaporación	39
3.5.1.3.- Escalones de infiltración durante el llenado (caudales/alturas)	41
3.5.1.4.- Evolución de niveles en el pozo nº 424330028	41
3.5.1.5.- Estudio del vaciado de la balsa	43
3.5.2.- Características de la balsa	46
3.5.2.1.- Velocidades Aparentes de Infiltración	47
3.5.2.2.- Curvas características de la balsa	50
3.5.2.3.- Ley de vaciado	53
3.5.2.4.- Colmatación	54

I N D I C E (CONTINUACION)

	<u>PAGS.</u>
4.- ENSAYO DE RECARGA EN POZO	55
4.1.- PLANTEAMIENTO TEORICO DE LA RECARGA EN POZOS	56
4.2.- LIMITACIONES HIDROGEOLOGICAS	59
4.3.- OBJETIVOS Y PLANIFICACION DEL ENSAYO	60
4.4.- DISPOSITIVO DE RECARGA. CARACTERISTICAS	62
4.4.1.- Situación	63
4.4.2.- Elementos de la instalación	64
4.4.3.- Suministro de agua	66
4.5.- DESARROLLO DEL ENSAYO	68
4.5.1.- Previsión	68
4.5.2.- Cronología del ensayo	69
4.6.- INTERPRETACION	72
4.6.1.- Evolución de niveles	73
4.6.2.- Comparación inyección-bombeo	80
4.6.2.1.- Diferencias	81
4.6.2.2.- Causas	83
5.- APENDICE. DOCUMENTACION GRAFICA	94
5.1.- INSTALACIONES DE RECARGA ACTUALES	95
5.2.- ENSAYO DE RECARGA EN Balsa	103
5.3.- ENSAYO DE RECARGA EN POZO	113

* * * * *

INDICE DE PLANOS

Plano A.5.1.- Situación General de Instalaciones Existentes y
Ensayos de Recarga realizados.

INDICE DE FIGURAS

- Figura A.5.1.- Representación esquemática de las tres fases de infiltración en balsa.
- " A.5.2.- Ensayo de recarga en balsa. Esquemas de la instalación completa.
- " A.5.3.- Ensayo de recarga en balsa. Esquema de detalle del dispositivo de alimentación y balsa.
- " A.5.4.- Ensayo de recarga en balsa. Evolución del caudal de entrada y altura de agua en la balsa.
- " A.5.5.- Ensayo de recarga en balsa. Evolución del nivel en el pozo 424330028.
- " A.5.6.- Ensayo de recarga en balsa. Curva característica de la balsa altura-caudal.
- " A.5.7.- Ensayo de recarga en balsa. Curva característica de la balsa VAI-altura.
- " A.5.8.- Ensayo de recarga en balsa. Curva de agotamiento altura de lámina de agua-tiempos.
- " A.5.9.- Ensayo de recarga en pozo. Esquema del dispositivo de inyección de agua.
- " A.5.10.- Ensayo de recarga en pozo. Evolución del nivel de agua en el pozo 424330006 durante el ensayo.
- " A.5.11.- Ensayo de recarga en pozo. Representación Depresiones - log. tiempo y sobrepresiones-log tiempo
- " A.5.12.- Ensayo de recarga en pozo. Recuperación del nivel depresión-inyección y bombeo.
- " A.5.13.- Ensayo de recarga en pozo. Representación esquemática del mecanismo de infiltración por sobrecarga en el pozo.

INDICE DE CUADROS

- Cuadro A.5.1.- Tabla de conversión ALTURA-CAUDAL del vertedero.
- " A.5.2.- Ensayo de recarga en balsa. Características Químicas del agua infiltrada.
- " A.5.3.- Ensayo de recarga en balsa. Resumen de las medidas registradas.
- " A.5.4.- Ensayo de recarga en balsa. Caudales y volúmenes infiltrados.
- " A.5.5.- Ensayo de recarga en balsa. Velocidades aparentes de infiltración (VAI) durante el llenado.
- " A.5.6.- Ensayo de recarga en balsa. Idem durante el vaciado.
- " A.5.7.- Ensayo de recarga en pozo. Características químicas del agua de inyección.
- " A.5.8.- Ensayo de recarga en pozo. Ensayo de inyección. Ascensos.
- " A.5.9.- Idem. Ensayo de inyección. Descensos.
- " A.5.10.- Idem. Ensayo de bombeo. Descensos
- " A.5.11.- Idem. Ensayo de bombeo. Recuperación

* * * *

1.- INTRODUCCION

La parte del proyecto dedicada específicamente a la recarga artificial de acuíferos, tenía como misión realizar una evaluación, a escala de pre-viabilidad, de las posibilidades de utilizar esa técnica hidrogeológica en el sector de Arinaga - Tirajana.

Este análisis previo está soportado por el conocimiento de dos variables fundamentales, que condicionan la continuidad en extensión e intensidad de las investigaciones conducentes, en un estado más avanzado, al diseño y puesta en marcha de una instalación de recarga que funcionaría con carácter experimental y proporcionaría los elementos de juicio necesarios para el estudio final de viabilidad de un esquema permanente de recarga artificial.

Las dos variables, cuyo conocimiento es necesario a nivel de pre-factibilidad, son:

- Los volúmenes excedentarios de agua que puedan ser utilizados en la recarga de acuíferos, y
- La capacidad (menor o mayor facilidad) para permitir la circulación de los diferentes terrenos, bien a través de la zona no saturada (percolación), bien en la zona saturada (infiltración).

Estas dos variables condicionan:

- 1º En primer lugar, la posibilidad real de la recarga o, por el contrario, la imposibilidad de la misma, en función de la existencia o no de agua no utilizada.
- 2º En segundo lugar, si hay agua, las características generales del tipo o tipos de dispositivo de recarga que mejor se acomode a la estructura geológica, esquema hidrogeológico, propiedades hidráulicas y distribución superficial de los diferentes terrenos.

El conocimiento de la primera variable, agua disponible, se ha basado en el estudio hidrológico que se incluye como Anexo nº 3.

Por su parte, el conocimiento de la segunda variable, sólo tiene como vía de acceso la experimental, es decir, la realización de ensayos "in situ" que proporciona información sobre el volumen o caudal de agua que son capaces de admitir las formaciones donde se podrán instalar dispositivos de recarga, una vez se haya decidido sobre el tipo de los dispositivos de recarga.

En este Anexo, se hace referencia a la naturaleza general de los esquemas de recarga aplicables, desde un punto de vista general, o sea sin entrar en posibles variantes, tipos, o detalles (p.ej. se habla de recarga en balsa sin más) que serían consecuencia de un estudio más profundo y a los ensayos experimentales preliminares, realizados para valorar la eficacia o eficiencia de los dispositivos de recarga, desde el punto de vista de caudales y velocidades de infiltración, y con independencia de los tiempos y mecanismos de transferencia del agua desde el punto de recarga hasta el acuífero y de las relaciones e interacciones entre el agua del manto y el agua de recarga.

2.- JUSTIFICACION Y PLANTEAMIENTO DE LOS ENSAYOS
REALIZADOS

En la planificación general del proyecto estaba prevista únicamente la realización de un ensayo experimental de corta duración (unas 8 horas máximo).

Esta previsión, razonable "a priori", debió ser modificada a medida que se precisaron los diferentes aspectos que inter vendrían en un proceso de recarga artificial. En un planteamiento previo teórico, esos factores son:

- naturaleza y origen del agua disponible en potencia,
- presunción primero, y certeza, una vez que se conocieron los resultados del estudio hidrológico, de unos excedentes de agua muy limitados en volumen y esporádicos en su disponibilidad temporal,
- existencia de importantes extensiones de terreno baldío, tanto de acarrees aluvionares como de antiguos cultivos abandonados.
- existencia de un gran número de pozos, sin actividad, algunos parados y otros en estado de abandono, que ponen en contacto directo la superficie del terreno con la zona de basaltos saturados
- un esquema hidrogeológico que, en síntesis, se compone de una formación aluvionar, de permeabilidad alta, espesor va

riable entre 10 y 40 metros, actualmente "seca" excepto en una estrecha franja cercana a la costa que está invadida por el agua del mar, y un basamento compuesto por formaciones volcánicas de permeabilidad variable (alta en las recientes, baja en las antiguas), parcialmente saturadas pues existe una franja superior con un espesor desaturado de altura variable como consecuencia del bombeo intensivo. Realmente solo se explotan los basaltos antiguos porque los niveles actuales ya han sobrepasado en su descenso, a los basaltos y otros materiales (lapillis, cenizas) de episodios más recientes.

El origen del agua, teóricamente excedente, que podría utilizarse para una operación de recarga sólo tiene dos posibilidades:

- aguas residuales depuradas con tratamiento primario, 30 ppm DBO y 30 ppm de sólidos disueltos a la salida de planta,
- aguas de escorrentía superficial que se generan en los periodos cortos de lluvias muy intensas, con periodicidades superiores al año, que transportan una porción considerable de sólidos en suspensión, no conocida porque no existen aforos de sólidos cuando el agua circula por los barrancos.

En cualquiera de los dos casos el agua no es apropiada para una recarga directa por inyección o vertido en pozos (presión de inyección por bombeo o por peso de columna de agua) porque, en el primer caso podría perjudicar al agua del manto que se utiliza, en parte, para abastecimiento, y, en el segundo provocaría la colmatación del pozo con la consiguiente anulación de su capacidad de filtración (se ha citado el caso de un pozo en el cauce del Bco. Balos que quedó totalmente cegado por el agua de avenida introducida en 1979). Sin embargo, sí es posible uti

lizar una recarga inducida a partir de balsas o zanj_{as} de infiltración en los acarreos que ejercerían un papel depurador y de filtro en el paso del agua a través de la zona no saturada, que garantizaría la pureza del agua que finalmente se incorporaría al acuífero.

Por lo que respecta al carácter irregular de los aportes superficiales, esta característica refuerza la utilización de dispositivos en superficie, pues el hecho de que sólo haya agua cada varios años, proporciona la posibilidad de permitir que se colmaten las balsas o zanj_{as} porque hay tiempo de sobra para limpiar y escarificar fondos entre recarga y recarga.

El hecho de que haya grandes extensiones superficiales en los depósitos aluviales más recientes, que no tienen utilidad agrícola y que, además, son de dominio público, al estar dentro del cauce actual, favorece el criterio de utilizar, en su caso, dispositivos superficiales de infiltración con el apoyo de zonas de retención en cabeza dentro de los mismos acarreos, en las que se produzca una decantación simultánea con la infiltración, antes de pasar el agua a las balsas o zanj_{as} situadas aguas abajo que, al recibir agua con bajo contenido de sólidos en suspensión, serían mucho más eficaces.

La densidad de pozos en el sector estudiado es muy alta, como queda reflejado en el Anexo 2, aunque no todos estén en actividad. Al contrario, en el cauce bajo del Bco. de Balos, hay un número importante de pozos parados e incluso en estado de abandono. Esto da lugar al planteamiento de un esquema mixto de recarga, basado en las instalaciones superficiales (balsas, zanj_{as}) con el apoyo de pozos como instalación secundaria de introducción de agua de manera más directa, una vez que se haya conseguido una decantación suficiente en las balsas de retención y recarga, de manera que no se colmaten los pozos.

El último factor de influencia, el esquema hidrogeológico actual, condicionado por un régimen de extracciones intenso y continuo, muestra una situación de nivel, piezométrico o libre, constantemente definido, con un espesor desaturado muy importante - con el agua situada a cotas negativas de hasta 150 metros y con una penetración importante y progresiva de la cuña de interfase agua dulce - agua salada. Este esquema global, que indica un espesor de terreno no saturado del orden de 100 metros como media, abunda en favor de la alternativa de recarga inducida desde su superficie a través de la zona no saturada con el refuerzo de recarga directa por vertido de agua en los pozos.

La conclusión inmediata es que, en el caso de una eventual recarga artificial en la zona de Arinaga-Tirajana, el dispositivo que se utilice para inducir la entrada de agua, se componga de instalaciones principales, de retención, almacenamiento e infiltración, del tipo de balsas y/o zanjas situadas sobre los acarreoos que forman la llanura costera, entre la cota 150 y el mar, con el concurso de pozos abandonados o no explotados como instalaciones secundarias que recibirían agua de las instalaciones de superficie una vez que alcanzase condiciones de pureza suficiente.

De acuerdo con lo anterior, el replanteo de la previsión inicial sobre los ensayos preliminares de recarga, dió como consecuencia lógica la decisión de realizar dos ensayos, uno en balsa y otro en pozo.

El ensayo en balsa, a realizar en un emplazamiento adecuado en el cauce del Bco. de Balos, con el objetivo de estudiar - las características de la entrada de agua a través del aluvión y facilitar el diseño de una instalación experimental posterior - que tendría larga duración (meses) para permitir el análisis de viabilidad final de la operación. El estudio se centraría, por la duración limitada del ensayo, en determinar la característica -

que define el grado de eficacia de las balsas, denominada en la literatura, capacidad de infiltración o velocidad aparente de infiltración (VAI), que se define como el volúmen de agua que se infiltra por unidad de tiempo y unidad de superficie, y se expresa en metros/día.

El ensayo en pozo tendría como objetivo estudiar la admisión de agua por el acuífero en régimen libre y compararlo con la respuesta de bombeo, para estimar el valor de los parámetros hidrodinámicos en los dos casos. En realidad la comparación se limitaría al contraste del caudal específico, de la transmisividad (o permeabilidad) en bombeo y en recarga, puesto que el coeficiente de almacenamiento o la porosidad eficaz no se puede calcular por no existir pozos con piezómetros de observación.

3.- ENSAYO DE RECARGA EN Balsa

3.1.- PLANTEAMIENTO TEORICO

Como introducción al ensayo en balsa que se realizó durante este estudio, se incluye una descripción resumida del principio de la recarga mediante balsas, parámetros característicos y mecanismo hidrodinámico de infiltración, sin entrar en aspectos constructivos que serían competencia de un estudio posterior más detallado.

Para la descripción se han tomado como base los siguientes trabajos y publicaciones:

- Melchor Senent Alonso (1984). "Problemática de la Recarga Artificial de Acuíferos. Realizaciones Españolas y sus Posibilidades en el Sureste Español". Tesis Doctoral. E.T.S.I.M.M., Universidad Politécnica de Madrid.
- Emilio Custodio Gimena (1986). "Recarga Artificial de Acuíferos. Avances y Realizaciones". Boletín de Informaciones y Estudios nº 45. Servicio Geológico. MOPU.
- Instituto Geológico y Minero de España (1979). "Estudio de Viabilidad de Utilización de Parte de los Recursos Superficiales de la Cuenca del Adra mediante Recarga Artificial de los Acuíferos Cercanos". Informe Interno.

que, a su vez, en los aspectos aquí recogidos, se han basado primordialmente en la obra clásica de J.Bize et al, "L'Alimentation Artificielle des Nappes Souterraines" y en el inventario realizado por la Asociación Internacional de Hidrología Científica en 1970, recogido en la publicación nº 87 de este organismo.

Las funciones esenciales de las balsas son la infiltración y, en acuíferos con nivel de saturación profundo, la depuración natural de las aguas.

La recarga artificial en obras de superficie (balsas, zanjias, -) se caracteriza porque el agua debe pasar desde la superficie del suelo hasta la parte saturada de acuífero a través de la zona no saturada, siguiendo un movimiento esencialmente vertical semejante al de la infiltración natural.

El parámetro que se utiliza generalmente para valorar el grado de eficiencia o tasa de infiltración de una balsa de recarga, es la denominada Capacidad de Infiltración o Velocidad del Aparente de Infiltración (VAI) que se expresa como la altura de la lámina de agua infiltrada por día. Esta unidad puede dar las dimensiones de una velocidad, pero no en su sentido físico real, y se trata más bien del caudal necesario para mantener a nivel constante el plano del agua de una balsa dada.

De acuerdo con Bize et al (1971), las respuestas al cuestionario enviado por la A.I.H. permiten fijar la capacidad de infiltración de las balsas que se explotan entre 0,2 y 5 m/día. Los valores prácticos obtenidos para los distintos tipos son:

- 0,20 a 0,60 m/d para las balsas naturales o de vegetación.
- 0,40 m/d en las que son de arena con agua relativamente limpia.

- 0,30 y 1 m/d en aquellas excavaciones que se alimentan con agua de 1 g/l de sedimentos.
- 2 a 5 m/d en balsas de arenas en aluviones y aguas decantadas a menos de 10-20 mg/l de carga sólida.

Por otra parte, el tratamiento de los datos proporcionados por los mismos autores, permite afirmar que existe una buena correlación entre la permeabilidad horizontal del acuífero y la velocidad aparente de infiltración (V.A.I.) obteniéndose los siguientes resultados para balsas con escasa colmatación.

VELOCIDAD APARENTE DE INFILTRACION PARA DIFERENTES PERMEABILIDADES.

PERMEABILIDAD HORIZONTAL (m/s)	V. A. I. (m/d)		
	Medio	Con el 68 % de posibilidades de estar comprendido entre:	
		Mínimo	Máximo
$K = 10^{-4}$	0,25	0,10	0,85
$K = 10^{-3}$	1,50	0,50	4,50
$K = 10^{-2}$	8,35	2,85	25

Fuente: J. Bize y alt., la alimentación artificial de los acuíferos subterráneos.

Estos valores de V.A.I. no tienen en cuenta ni la lámina de agua en la balsa ni la extensión y forma de la misma, por lo que, a efectos prácticos, deben ser usados con precaución, pues, en función de las características de la balsa, pueden experimentar variaciones notables.

Así por ejemplo, los valores de V.A.I. crecen al disminuir el tamaño de la balsa. Según los estudios citados, se ha observado una variación de la V.A.I. media a lo largo de un año, en - - m/día:

	Superficie en ha		
	1	10	100
Alta K	1,4	0,7	0,4
Baja K	0,5	0,4	0,25

Los factores que influyen en la velocidad aparente de infiltración, a veces de modo contradictorio son los siguientes:

- Naturaleza del terreno y heterogeneidad del lecho filtrante (relación K_h/K_v).
- Gradiente hidráulico, que es función de los niveles piezométricos (o libres) y de la carga de agua en la balsa.
- Temperatura y viscosidad del agua.
- Altura de lámina de agua en la balsa. La V.A.I. aumenta en general con la carga de agua, pero en algunos terrenos (consolidados) la presión del agua puede descolmar fisuras provocando un aumento adicional en la V.A.I., mientras que en otros (no consolidados) pueden aparecer efectos de compactación que disminuyan la permeabilidad y, por tanto la V.A.I.
- Tamaño de la balsa y relación entre superficie y altura de las paredes. En balsas de dimensiones reducidas, el flujo bajo las mismas, no es realmente vertical por el efecto de flujo lateral a través de las paredes, que juegan un papel tanto más im

portante cuanto menores sean las dimensiones, dando a valores de V.A.I. que son mayores que los de una balsa de gran tamaño para la misma carga de agua. A medida que aumentan las dimensiones, el efecto de expansión lateral del agua introducida es menor y se reduce la contribución de la infiltración por las paredes, lo cual tiene como efecto la disminución de V.A.I.

- La presencia de vegetación y de filtros de material grueso, - que generalmente mejoran la eficacia.
- La colmatación del lecho filtrante, que aumenta con el tiempo provocando una disminución progresiva de la V.A.I.

En resumen, se trata de un parámetro muy variable y difícil de valorar y predecir su evolución con el tiempo.

Desde el punto de vista hidrodinámico, el proceso de infiltración provocado, de acuerdo con los resultados de experiencias de laboratorio y de campo realizadas por G. VACHAUD, puede descomponerse en tres fases (Fig. A.5.1) que se resumen a continuación:

FASE I - AVANCE DEL BULBO DE INFILTRACION

Esta fase se sitúa entre el momento en que se llena la balsa y el instante en el que el acuífero comienza a recibir el agua.

En esta zona no saturada el flujo es esencialmente vertical mientras que su componente lateral es poco importante. El flujo horizontal aumenta con el tiempo y es tanto más importante, a igual caudal infiltrado, cuanto más pequeña es la carga hidráulica.

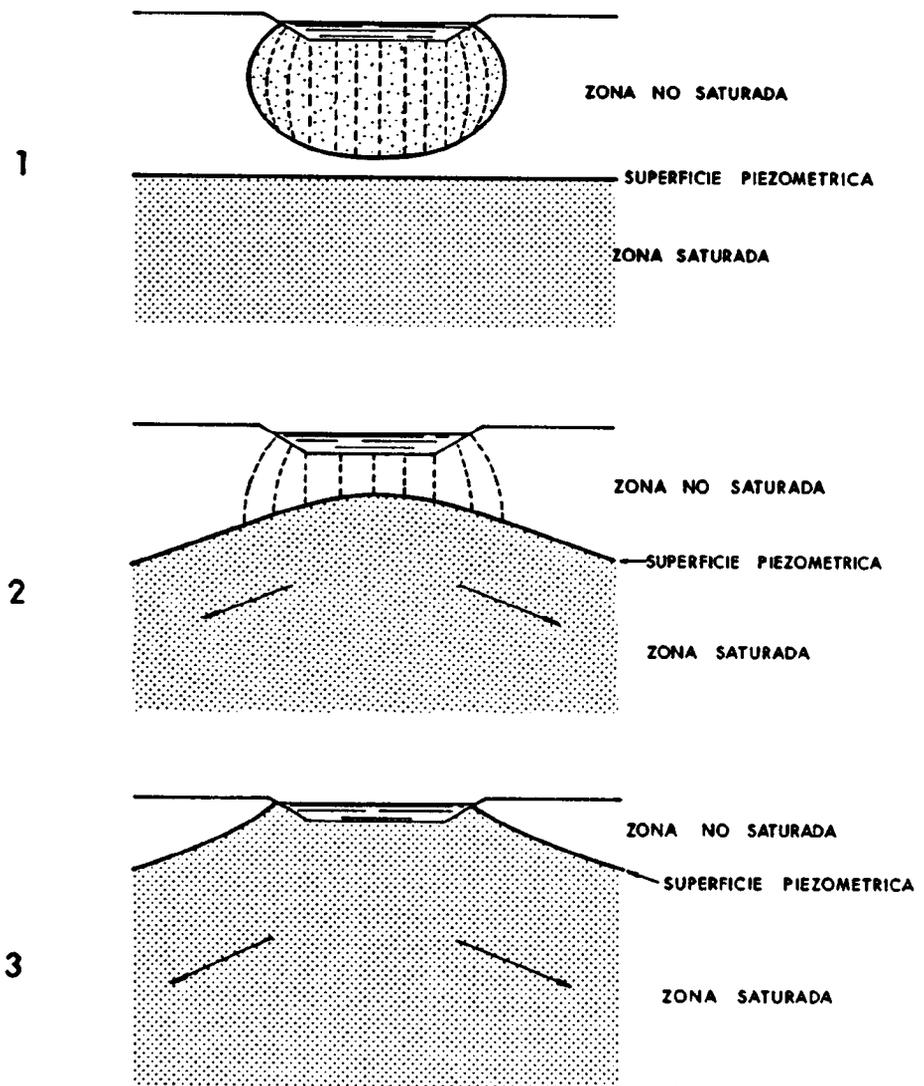


Fig. A-5.1.- REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LAS TRES FASES DE LA INFILTRACION DE LA Balsa

La infiltración aparece como el movimiento de un bulbo, limitado por el llamado "frente húmedo", y dentro del cual el grado de humedad aumenta rápidamente con el tiempo, hasta estabilizarse a un 70-80%, según el tipo de suelo, de la saturación. Se ha comprobado, por ejemplo, (EDWORTHY, 1974) que drenes colocados debajo de una balsa de infiltración no recogían nada del agua infiltrada por dicha balsa, lo que demostraba que el terreno no llegaba a saturarse.

El nivel piezométrico empieza a subir sólo cuando el frente húmedo se pone en contacto con el límite superior de la zona saturada (que no es la superficie libre, sino el frente de la franja de capilaridad, que puede estar, en terrenos finos, varios decímetros encima de la superficie libre). Este momento caracteriza el tiempo de transferencia o retardo T_0 .

El tiempo de transferencia T_0 es tanto mayor cuanto más pequeña es la carga y la anchura de la zona de infiltración, sin embargo, T_0 aumenta de forma asintótica con dicha anchura, siendo el valor límite de la misma de unos tres metros.

Aunque se puede definir un coeficiente de llenado teórico igual a la relación variación de volumen de agua/subida de nivel piezométrico (es decir, simétrico del coeficiente de almacenamiento), en la práctica dicho coeficiente se diferencia bastante del teórico y varía con el tiempo; al principio de la recarga aumenta más rápidamente pero se estabiliza en un punto sensiblemente inferior a la porosidad eficaz (65-80% de la misma).

La conductividad hidráulica K depende estrechamente del grado de humedad del terreno, ya que aumenta de forma logarítmica con el porcentaje de saturación θ/θ_2 llegando a su valor máximo K_s en un terreno saturado. A título de ejemplo, la con

ductividad de una arena cuyo grado de humedad es del 75% de saturación, es del orden del 25% y de un 50% si tiene un 90% de saturación.

Ello pone de manifiesto el papel considerable que tiene la presencia de un remanente de aire en el terreno, sobre su capacidad de infiltración.

La velocidad de infiltración vertical varía mucho con el tipo de terreno y, en menor medida, con la carga hidráulica. Se han observado velocidades variables entre menos de 1 m/día y cerca de 1 m/h en terrenos que se suponen isótopos.

Suelen tener gran importancia los niveles más arcillosos - que el agua infiltrada puede encontrar a lo largo de su descenso, en el menor de los casos lo frenan, en el peor llegan a oponerse a la infiltración, creándose niveles saturados colgados que no siempre alimentan al manto que se pretendía recargar.

FASE II - EL ABOMBAMIENTO DE LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

Como se ha dicho anteriormente, empieza cuando el frente húmedo alcanza el límite superior de la franja de capilaridad. Su amplitud es tanto mayor cuanto mayor es también el caudal y menor la transmisividad del terreno, entre otros parámetros. Sería simétrico del cono de presión durante un bombeo si fuesen iguales los coeficientes instantáneos de llenado y de almacenamiento, respectivamente, y si la conductividad hidráulica del terreno, comprendido entre el abombamiento, fuese la de saturación. No es así debido al aire remanente que se queda atrapado en los poros del terreno y reducen sensiblemente los valores de la porosidad y de la conductividad hidráulica. Que la porosidad tenga un valor menor que durante un descenso por bombeo deja muy rápidamente de tener importancia sobre la forma del bulbo (lo que

parece evidente en la formulación de JACOB, al estar S bajo logaritmo). Pero sí tiene gran importancia el porcentaje de K con respecto a K_s ; en efecto, y despreciando lo que viene bajo logaritmo:

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{K.e} \log \frac{2,25 T}{r^2 S}$$

Si volvemos al ejemplo de la arena del párrafo anterior, si está saturada en 90%, K es solamente igual a la mitad de K_s ; en otras palabras, si comparamos el cono de depresión y el abombamiento producidos respectivamente por un bombeo y una recarga (ambas operaciones con el mismo caudal Q), vemos que, en este ejemplo, el abombamiento sería 2 veces mayor que el cono de depresión; o que la misma modificación de la superficie piezométrica es producida por un caudal mitad en el caso de la recarga.

FASE III - LA RECARGA EN REGIMEN SATURADO

Se logra sólo cuando el abombamiento de la superficie piezométrica alcanza la lámina de agua libre, con lo que se consigue la infiltración. Suele producirse únicamente cuando la superficie piezométrica inicial está a unos pocos metros del suelo. En este caso, la conductividad hidráulica ha tomado su valor máximo y, por tanto, es máximo también el caudal de infiltración.

El tipo normal de flujo bajo una balsa de infiltración es el denominado de fase II. Sus componentes de arriba a abajo son los siguientes:

1. Un espesor de agua libre.
2. Un tramo colmatado extremadamente fino (capa filtro + - capa contaminada), menos impermeable que la capa subyacente.

3. Una interfase que limite el tramo colmatado y separe la zona saturada de la no saturada.
4. Un tramo no saturado.
5. El acuífero.

3.2.- OBJETIVOS Y PLANIFICACION

El denominado ensayo de recarga en balsa tenía un doble objetivo:

- en primer lugar, bajo un prisma cualitativo, se trataba de observar directamente, mediante una prueba experimental, el comportamiento de los materiales aluvionares del cauce de los barrancos como lecho de infiltración de agua,
- en segundo lugar, desde un punto de vista cuantitativo, el interés se centraba en conocer el valor de la velocidad aparente de infiltración, su variación con la altura de lámina de agua, y, condicionado a la duración del ensayo, la influencia de la colmatación del lecho filtrante en la capacidad de infiltración.

De acuerdo con estos objetivos, se planteó el acondicionamiento de una balsa excavada, con pala mecánica, en el cauce del Barranco de Balos, en una zona representativa de las características medias de los acarreos y, al tiempo, con posibilidades de suministro de agua.

Para cubrir el aspecto cuantitativo, el principio de ejecución del ensayo se estableció en tres fases:

- una fase de llenado que debería realizarse en escalones de carga creciente, es decir, llenando la balsa hasta una altura pre fijada y manteniendo esa carga hasta conseguir identificar el caudal de equilibrio; una vez conseguido se volvería a llenar la balsa hasta la siguiente altura repitiéndose el proceso hasta conseguir el llenado completo,
- con la balsa llena se mantendría el ensayo a carga constante, observando el caudal, hasta que se terminase el agua disponible para la prueba,
- una vez llegado a este punto, se cortarían la entrada de agua y se controlaría el vaciado de la balsa con una secuencia de registros y tiempos coincidente con los escalones de llenado.

3.3.- CARACTERISTICAS DEL DISPOSITIVO DE ENSAYO

Para los trabajos de selección del emplazamiento, construcción del dispositivo, suministro de agua, y desarrollo de la prueba, se contó con el apoyo decisivo de la A.M.C. del Polígono Industrial de Arinaga, en concreto con su técnico D. Oscar Muñoz de las Nieves y el equipo humano de Piletas, sin cuya colaboración la realización de los ensayos se hubiera visto seriamente comprometida.

3.3.1.- Situación

El punto de situación del ensayo en balsa pudo fijarse en una posición ideal desde todos los puntos de vista (ver plano A.5.1.),

El emplazamiento está situado en la zona de unión de los Barrancos de los Corralillos y Balos, en la parte alta de lo que

se denominan llanos de Arinaga, en un punto cuyas coordenadas Lambert aproximadas son:

$$X = 422,500$$

$$Y = 336,600$$

Por la zona pasa una tubería de conducción de agua en la que se pudo hacer una derivación una vez obtenida la correspondiente autorización de los propietarios.

La balsa se situó a unas decenas de metros del pozo nº - 424330028, propiedad de la A.M.C. del Polígono Industrial de Arinaga, que no bombea desde hace unos 15 años, que suponía un complemento excelente del ensayo, pues permitía la observación de la eventual influencia de la recarga sobre el nivel de la su perficie libre del acuífero.

El espesor del relleno aluvial en la zona es del orden de 20 metros y el nivel del agua está a una profundidad que fluctua levemente alrededor de los 110 metros, equivalentes a una cota aproximada de 20 metros sobre el nivel del mar; es decir, se trata prácticamente de la única zona del acuífero poco o na da influenciada por las extracciones de agua y con el nivel más próximo a la superficie del terreno, por tanto, la única posibi lidad de poder observar, con la ayuda del pozo, el efecto de la recarga si es que ese efecto llegaba a manifestarse.

3.3.2.- Composición

La instalación utilizada para el dispositivo de recarga en balsa estaba compuesta por los siguientes elementos (ver situación en el Plano A.5.1. y esquema en las figs. A.5.2. y - A.5.3):

- Una balsa de recarga excavada en el cauce del barranco, sensiblemente cuadrada, de 5 metros de lado y 1,5 metros de profundidad, con paredes verticales. Para controlar la altura de lámina de agua se instaló en el centro de la excavación un listón metálico de señales cada 25 cm.
- Un tanque evaporimétrico enterrado, de dimensiones normalizadas de 1 metro de diámetro y 0,80 m de altura, 0,15 m de espesor de pared y solera, y sobresaliendo 10 cm del suelo, construido "in situ" con masa de cemento y arena a la que se añadió fibra de vidrio para asegurar la estanqueidad y evitar pérdidas parásitas.
- Un vertedero triangular calibrado construido de obra con dimensiones normalizadas: longitud 1,50 m., anchura 0,50 m., profundidad 0,50 m, y lámina de vertido con ángulo de 70° y ancho de abertura de 0,22 m., en el que se instaló un limnógrafo de periodo diario para tener un control constante del caudal de entrada a la balsa.

Se acondicionó con dos secciones tranquilizantes situadas a 0,40 y 0,80 metros de la pared posterior con paso de agua inferior y superior respectivamente.

La ecuación del vertedero es:

$$Q = 0.907 \cdot h^{2.47}$$

En el cuadro A.5.1. siguiente, se adjunta la tabla alturas-caudales del vertedero.

CUADRO A.5.1.- TABLA DE CONVERSION ALTURA-CAUDAL DEL VERTEDERO

h (cm)	Q (l/s)	h (cm)	Q (l/s)
0,0	0,00	11,0	3,88
5,0	0,56	11,5	4,34
5,5	0,70	12,0	4,82
6,0	0,87	12,5	5,33
6,5	1,06	13,0	5,88
7,0	1,27	13,5	6,44
7,5	1,51	14,0	7,06
8,0	1,77	14,5	7,69
8,5	2,06	15,0	8,37
9,0	2,37	15,5	9,07
9,5	2,71	16,0	9,81
10,0	3,07	16,5	10,59
10,5	3,47	17,0	11,40

- Una toma lateral de agua en la tubería de alimentación, compuesta por un acoplamiento con brida metálica, codo elástico y una válvula esférica para regulación del caudal.
- Conducciones de agua de tubería de PVC, de 90 mm de diámetro, una de 13 metros de longitud que unía la válvula de cabeza de toma de agua con la parte de entrada del vertedero, entre la pared posterior y la primera sección tranquilizante de paso inferior, y la otra de 49,5 metros de longitud que unía la arqueta de salida del vertedero con la balsa, a la que accedía el agua por caída libre.
- Como elemento auxiliar se puede incluir el pozo nº 424330028, de 150 metros de profundidad, 3 metros de diámetro y con el nivel situado a una cota aproximada de +20 m.s.n.m. La distancia del pozo a la balsa es de 75 metros.

Por su parte el sistema de alimentación de agua estaba com puesto por los siguientes elementos:

- Un estanque triangular en cabeza de circuito, situado a una co ta aproximada de 180 m.s.n.m. y a una distancia de la balsa en línea recta del orden de 1 Km.
- Un estanque intermedio cuadrado de unos 10 metros de lado y 1 metro de altura útil, unido por el primero mediante un canal - de unos 420 m de longitud y una sección de 20 x 20 cm.

De este estanque el agua pasaba a una arqueta de la que salía la tubería de conducción.

- Una tubería de conducción de fundición, de 200 mm de diámetro, de una longitud de 700 metros hasta la toma del dispositivo de recarga, que terminaba en una explotación agrícola situada al Suroeste del emplazamiento.

3.3.3.- Suministro de agua

El suministro de agua para el ensayo tenía como punto de - partida el estanque triangular situado a la cota superior.

En este estanque se almacenó un volúmen de 864 m^3 de agua, equivalente a 1 día de agua, según la terminología local (una ho ra de agua es el volúmen correspondiente a un caudal de 10 l/s - durante una hora) es decir, se disponía de una cantidad de agua equivalente a un caudal continuo de 10 l/s durante 24 horas, que fué la máxima cantidad de agua que pudo conseguirse para el ensa yo.

El agua utilizada era de origen subterráneo, de una calidad excelente, como puede verse en el cuadro siguiente que recoge los resultados de los análisis realizados en dos muestras recogidas al principio y al final del ensayo. Al margen de estos análisis, se hicieron "in situ" medidas de sólidos en suspensión por filtrado de muestras de 1 litro de agua, resultando cantidades inapreciables.

CUADRO A.5.2..- ENSAYO DE RECARGA EN Balsa. CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA INFILTRADA

	PRINCIPIO DEL ENSAYO	FINAL DEL ENSAYO
CONDUCTIVIDAD	549	545
pH	7,38	7,71
R.S.C.	1,37	1,86
S.A.R.	2,27	1,00
S.T.D.	440,00	414,00
Residuo Seco (110°C)	316,00	300,00
Ca ⁺⁺	22,64	22,64
Mg ⁺⁺	16,04	18,24
Na ⁺	57,95	57,95
K ⁺	12,51	13,29
CO ₃ H ⁻	233,42	214,48
SO ₄ ⁼	20,65	20,17
NO ₃ ⁻	0,00	0,00
Cl ⁻	31,23	29,46
SiO ₂	45,00	44,50
Fe	0,00	0,00

Unidades p.p.m, excepto conductividad en $\mu\text{mhos/cm}$.

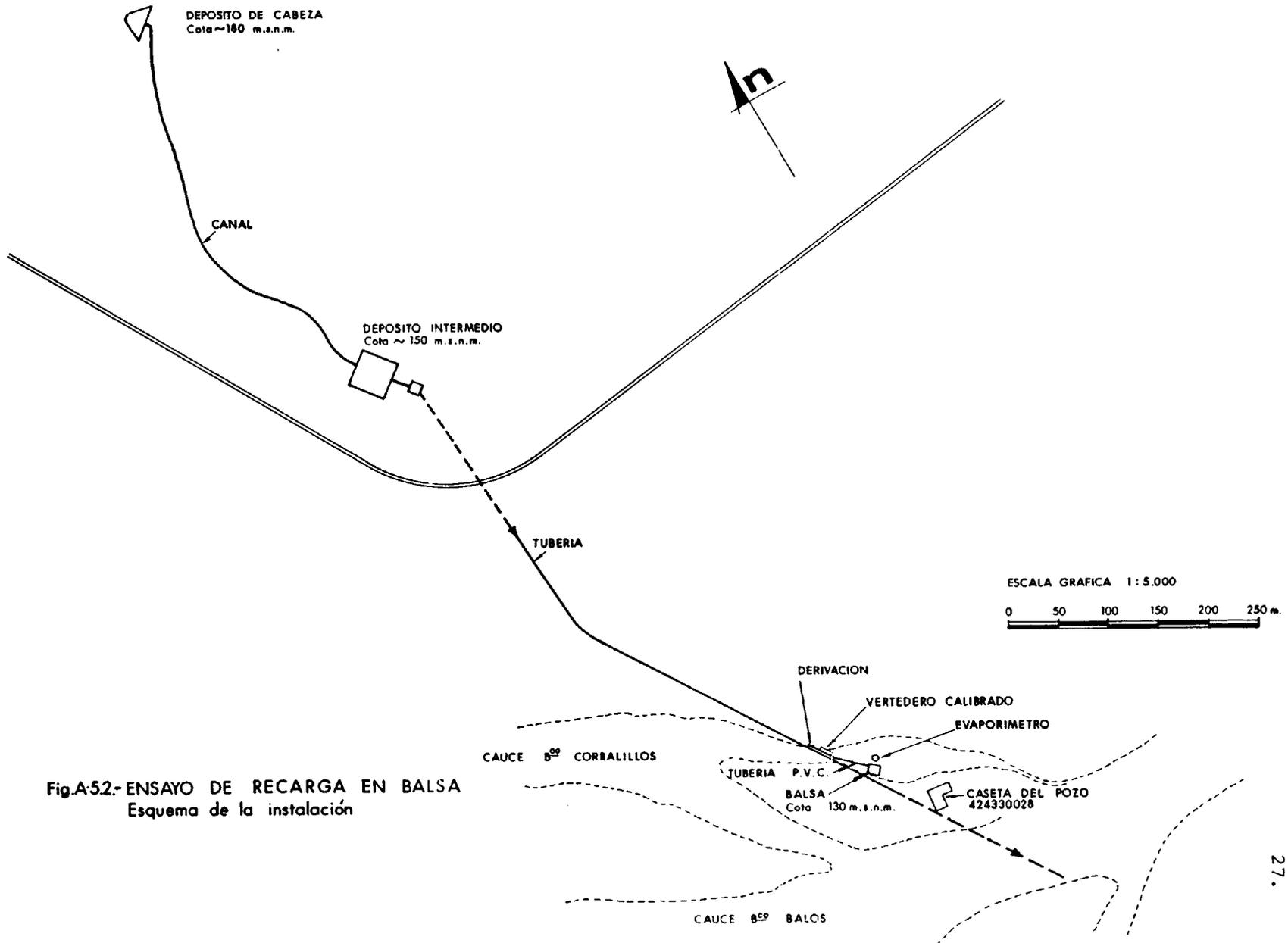


Fig.A-52.- ENSAYO DE RECARGA EN BALSA
Esquema de la instalación

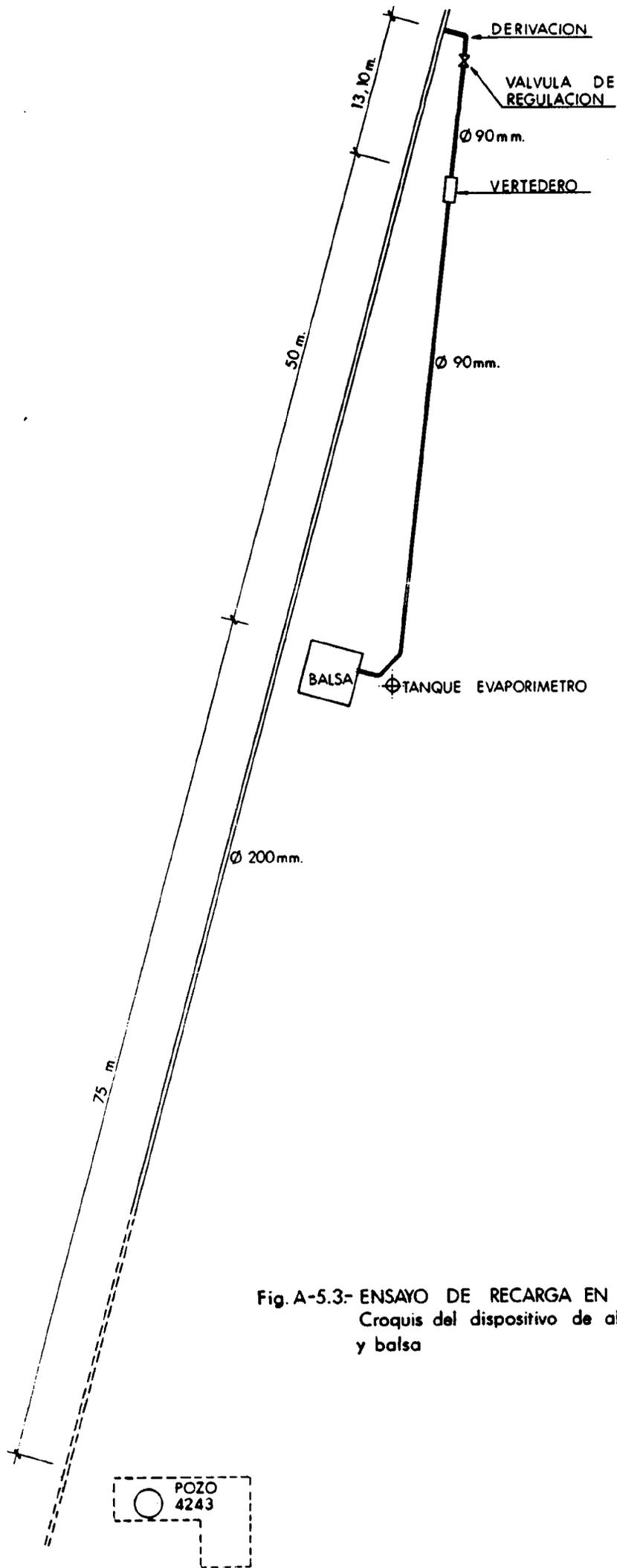


Fig.A-5.3- ENSAYO DE RECARGA EN Balsa
Croquis del dispositivo de alimentación
y balsa

3.4.- DESARROLLO DEL ENSAYO

3.4.1.- Previsión

Tomando como referencia el valor medio del Índice de Percolación de 2 cm/min. obtenido para el Barranco de Balos, cifra que transformada a unidades de VAI equivaldría a 28,8 m/día para una superficie de infiltración de $0,09 \text{ m}^2$ (0,3 x 0,3 m) con paredes de altura igual a la longitud del lado del fondo, lo cual indica una participación muy importante de la expansión lateral frente a la infiltración vertical y por consiguiente una fuerte sobreestimación del valor de la Velocidad Aparente de Infiltración (VAI), se realizó la planificación del ensayo de recarga de acuerdo con la siguiente previsión:

1. Llenado de la balsa durante 24 horas, en tres escalones de 8 horas de duración cada uno con altura de lámina de agua de 0,5, 1,0 y 1,5 metros respectivamente, que se mantendría constante durante las 8 horas, tiempo considerado suficiente para que se estableciera el equilibrio de saturación bajo la balsa y el caudal de infiltración correspondiera a un régimen estabilizado, equilibrio que se comprobaría con la constancia simultánea de caudal y altura de agua en la balsa.

Como máximo se consumirían 720 m^3 durante el primer día, aunque es evidente que el consumo sería mucho menor sobre todo una vez que se saturase el substrato de la balsa, pero, en el peor de los casos se podría cumplir esa previsión.

2. Una vez cumplido el último escalón, se mantendría la carga constante en 1,5 metros de agua en la balsa para seguir la

evolución del caudal, teóricamente en disminución, hasta agotar la reserva de agua disponible.

3. Finalmente se procedería al vaciado de la balsa controlando tiempos y alturas de lámina de agua en la balsa.

Durante toda la operación se realizarían controles periódicos, de evaporación, para saber la participación de la evaporación en el consumo total de agua en la balsa y evitar errores en la tasa de infiltración, y de profundidad de nivel de agua en el pozo nº 424330028, para controlar la eventual influencia de la recarga sobre el nivel piezométrico.

3.4.2.- Cronología e incidencias

El ensayo comenzó a las 11,55 horas del día 6 de Julio de 1987. En ese momento comenzó a entrar agua en la balsa y se procedió a completar el nivel del evaporímetro hasta la señal de cero situada a 10 cm. por debajo del borde. El nivel del agua en el pozo estaba a una profundidad de 106,75 m.

Como consecuencia de los incidentes que se mencionan más adelante, el agua disponible se agotó a las 9,35 horas del día 7 de Julio, dándose por terminada la parte del ensayo con suministro de agua y pasando a controlar el vaciado de la balsa, que finalizó a las 17,15 horas del mismo día. El ensayo tuvo una duración total de 29 horas, 20 minutos.

En la Figura A.5.4., se han representado, en función del tiempo, la curva continua de los caudales de recarga registrados por el limnógrafo en el vertedero junto con el gráfico sintético de alturas de agua en la balsa, construido a partir de las observaciones puntuales, que se resumen en el cuadro A.5.3.

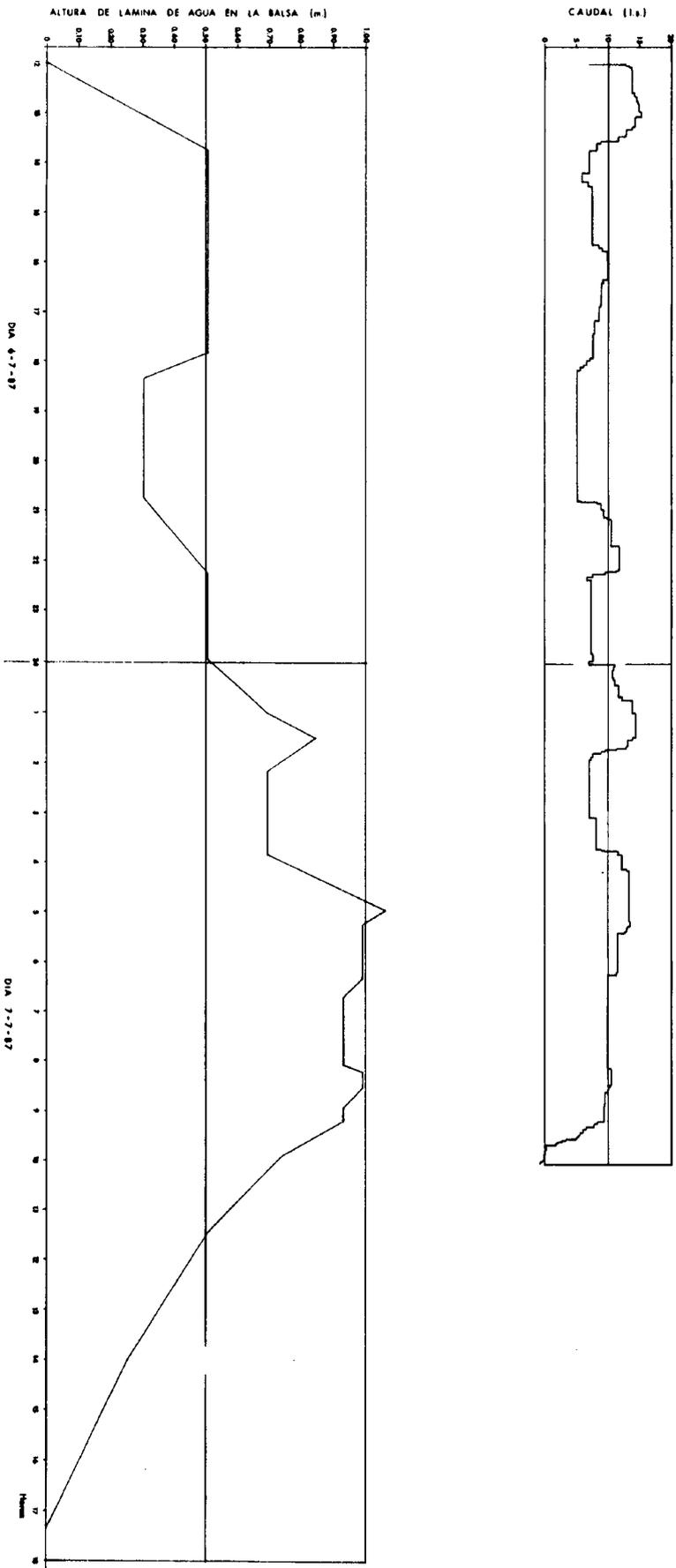


Fig.A-5.4.- BICARO DE RECARGA EN Balsa
Evolución del nivel de llenado y altura
de la lámina de agua en la balsa

Resumen de las medidas registradas

DIA	VERTEDERO			BALSA	NIVELES	
	Hora	h (cm)	Q (l/s)	H (cm)	Evaporímetro (mm)	Pozo (m)
06/07/87	11,55	0,0	0,0	0,0	-	106,75
	12,35	14,0	7,06	0,25	0,0	
	13,10	12,5	5,33	0,50		
	14,25	7,5	1,51	0,50		
	15,30	7,5	1,51	0,50	4,5	106,75
	17,30	7,5	1,51	0,50		106,73
	18,30	5,0	0,56	0,30		
	20,30	5,0	0,56	0,30	11,5	106,74
	21,40	12,0	4,82			
	22,15	12,0	4,82	0,50		
	22,30	7,5	1,51	0,50		106,74
	23,55	7,5	1,51	0,50		
	24,00	11,5	4,34			
07/07/87	1,00	15,0	8,37	0,70		
	2,00	7,5	1,51	0,60		
	3,00	9,00	2,37	0,70		
	3,45	9,00	2,37	0,70		
	4,00	13,5	6,44	0,80		
	4,10	14,0	7,06	0,80		
	5,00	14,0	7,06	1,00		
	5,20	12,0	4,82	1,00		
	6,00	12,0	4,82	1,00		
	6,10	10,5	3,47	0,90		106,745
	8,00	10,5	3,47	0,90		
	8,05	11,0	3,88	0,90		
	9,00	10,0	3,07	0,85		
	9,10	8,5	2,06	0,80		
	9,20	6,5	1,06	0,80		
	9,30	5,0	0,56		15,5	106,755
	9,35	0,0	0,0	0,80		
9,50	0,0	0,0	0,75	15,5		
11,30	0,0	0,0	0,50	15,6	106,745	
14,00	0,0	0,0	0,25	19,1	106,74	
17,15	0,0	0,0	0,00	20,6	106,73	
19,00					106,75	

En el apéndice final, se adjuntan diferentes instantáneas de la balsa y demás instalaciones durante la realización del ensayo.

A continuación, se describe de forma sintetizada la cronología del ensayo y los incidentes que redujeron la duración del suministro de agua a 21 horas y 40 minutos.

. Día 6/07/87

- Comienzo del ensayo a las 11,55 horas.
- A las 12,35 horas, el agua alcanzó la altura de 0,25 metros en la balsa, suministrando agua a válvula totalmente abierta con un caudal máximo de 7,86 l/s.
- A las 13,10 horas, la lámina de agua llegó a la referencia de 0,50 metros en la balsa. A partir de ese momento se comenzó a regular el caudal para mantener constante la carga de 0,5 metros durante las 8 horas previstas para el primer escalón de llenado.
- Se reduce el caudal progresivamente hasta llegar a un equilibrio a las 14,30 con un caudal de 1,51 l/s ($h = 7,5$ cm).
- Se mantiene ese caudal hasta las 15,40 horas en que el nivel en balsa está unos 2 cm por debajo de la señal de 0,50 m. Se procede al reajuste aumentando el caudal a 3,07 l/s, llevando el nivel de balsa a 0,5 m y cuando se rebasa ligeramente esa altura se ajusta el caudal con sucesivas reducciones fido el caudal entre 1,151 y 1,77 l/s a las 15,25 horas con el nivel en balsa ligeramente por encima de la señal 0,50 que se mantiene constante.

- A las 17,55 horas tiene lugar el primer incidente al registrar se una caída en el caudal de entrada a la balsa, que desciende de 1,51 l/s a 0,56 l/s, provocando una disminución de carga en la balsa hasta los 0,30 m de altura. Al observar que se mantenían constante el caudal en 0,56 l/s y la carga en la balsa en 0,30 m se decidió mantener esos niveles en tanto se averiguaba la causa y se subsanaba la caída de presión en la tubería de alimentación.
- El problema se atribuyó a la disminución de caudal de la salida del depósito intermedio. Se abrió la válvula de salida aumentando rápidamente la carga en la tubería de alimentación a las 20,45 horas.
- Entre las 20,45 y las 22,15 se aumentó el caudal, hasta llenar la balsa a carga 0,50 m. Se reguló el caudal a 1,51 l/s y se mantuvo hasta las 24,00 horas con la carga en la balsa constante a 0,50 m.

. Día 7/07/87

- A las 00,00 horas se abre la válvula al máximo para llenar la balsa hasta alcanzar 1,0 m de altura de lámina y realizar el segundo escalón, según la previsión, tercero de acuerdo con el desarrollo de la prueba.
- El caudal sube hasta 8,37 l/s a las 1,00 horas.
- A las 1,30 horas el agua alcanza la carga de 0,85 m en la balsa, pero el caudal había descendido ligeramente hasta 6,44 l/s, iniciando una segunda caída de presión al quedarse con poca agua el estanque intermedio.

- En este momento, esas pérdidas se atribuyeron a error de estimación inicial del volumen almacenado en el estanque intermedio por cuya razón se procedió a abrir la salida del estanque superior, sin tener posibilidades de efectuar otras comprobaciones, por haber sucedido durante la noche, y pensando que el problema se reducía a la abertura de las válvulas de salida de los estanques. Teniendo en cuenta la situación de los estanques, el ajuste se prolongó durante un tiempo superior a una hora.
- A las 3,00, el nivel en la balsa había descendido hasta 0,70 metros, al bajar el caudal hasta 1,51 l/s. A aquella hora se abrió la válvula hasta un caudal de 2,37 l/s que se mantuvo constante hasta las 3,40 horas, comprobándose que la altura en la balsa se había mantenido constante.
- A las 3,45 horas se aumenta el caudal progresivamente hasta llegar a 7,06 l/s a las 4,10 horas.
- A las 5,00 horas el agua subió en la balsa hasta alcanzar 1,0 metros de altura, que se había rebasado ligeramente a las 5,10 por lo que se redujo el caudal a 4,82 l/s.
- La carga se estabiliza a 1,0 m y se mantiene hasta las 6,10 con el mismo caudal anterior. A esa hora el caudal vuelve a disminuir bruscamente situándose entre 3,47 l/s y 3,88 l/s (altura en el vertedero comprendida entre 10,5 y 11 cm).
- El equilibrio carga 0,9 m caudal 3,7 l/s, aproximadamente, se prolongó hasta las 8 horas para establecer un nuevo escalón, a la vista de las dificultades que había habido para mantener el caudal durante la noche.
- A las 8,05 horas se abrió la válvula de la toma nuevamente a tope, pero el caudal sólo aumentó hasta 3,88 l/s y a las 8,25

empezó a descender el caudal otra vez de forma espontánea.

- Ya a plena luz se volvió a reconocer los depósitos, comprobándose que el superior se quedó sin agua a las 9,00 horas y que el intermedio estaba a punto de agotarse.
- A las 9,10, el caudal en el dispositivo de recarga, comenzó a caer de forma definitiva, con el nivel en la balsa de 0,80 m.
- Se ratificó el agotamiento del estanque intermedio y a las 9,35 se cerró la válvula en la toma de la tubería ante la imposibilidad de continuar el ensayo de llenado. En ese instante, el nivel de lámina de agua en la balsa permanecía a 0,80 metros de altura.
- Desde las 9,35 se controló el vaciado de la balsa en los siguientes intervalos.
- A las 9,50 horas, el agua llegó a la altura de 0,75 m.
- A las 11,30 horas el agua había descendido hasta la señal de 0,50 m.
- La carga de 0,25 m se alcanzó a las 14,00 horas.
- El agua llegó a la carga 0 a las 17,15 horas.
- A las 17,15 horas se dió por finalizado el ensayo en balsa.

En el tiempo libre durante el control del vaciado de la balsa, se identificó la causa de la pérdida de caudal, que, en principio, se había atribuido a un error en la valoración del volumen de agua almacenado antes de la prueba. El problema se localizó en una rotura de la tubería de alimentación aguas abajo -

de la instalación de recarga, que desequilibró la estanqueidad de la tubería que tenía el nivel de descarga a cota similar a la de la toma de derivación para la balsa. En consecuencia, la tubería se despresurizó, de forma que circulaba el agua continuamente por ella, es decir, hubo una pérdida constante, tanto mayor cuanto más se abrió la válvula de salida del estanque intermedio, quedando así explicado el agotamiento imprevisto del agua de recarga.

3.5.- INTERPRETACION DEL ENSAYO

3.5.1.- Análisis de datos obtenidos

3.5.1.1.- Volúmenes Infiltrados

En el Cuadro A.5.4. se han agrupado los datos, obtenidos a partir del limnigrama del vertedero, de alturas de lámina de agua en el vertedero, caudales correspondientes a esas alturas, tiempo de duración de cada caudal, tiempos acumulados, volúmenes parciales de agua introducida en la balsa y volúmenes acumulados.

El volumen total de agua utilizada en el ensayo de recarga fue de $243,9 \text{ m}^3$, es decir, solamente el 28% del agua disponible en principio, un total de 864 m^3 . El resto del agua, más de los $2/3$ del total, se perdió aguas abajo de la instalación.

CUADRO A.5.4.- ENSAYO DE RECARGA EN Balsa. CAUDALES Y VOLUMENES INFILTRADOS

h	Q	t	V	t _A	V _A	h	Q	t	V	t _A	V _A
9,5	2,71	5	0,813	0	0,813	11,5	4,34	10	2,604	120	103.473
8,25	1,91	10	1,146	15	1,959	11,25	4,11	10	2,466	730	105.939
10,5	3,47	5	1,041	20	3,000	12,00	4,82	15	2,892	740	108.831
14,0	7,06	30	12,708	50	15,708	12,25	5,07	15	3,042	750	111.873
14,625	7,86	30	14,148	80	29,856	13,0	5,88	5	1,764	755	113.637
14,2	7,30	10	4,380	90	34,236	14,25	7,37	15	6,633	770	120.270
13,0	5,98	10	3,528	100	37,764	15,00	8,27	30	15,066	800	135.336
12	4,82	5	1,446	105	39,210	13,5	6,44	15	3,864	810	139.200
8,5	2,06	10	1,236	115	10,446	10,75	3,67	10	2,202	820	141.402
7,0	1,27	25	1,905	140	42,351	7,75	1,64	5	0,492	815	141.894
6,0	0,87	10	0,522	150	42,873	7,5	1,51	70	6,342	895	148.326
7,0	1,27	5	0,381	155	43,254	8,75	2,21	40	5,304	935	153.630
7,5	1,51	70	6,342	225	49,596	10,5	3,47	5	1,041	940	154.671
8,75	2,21	5	0,663	230	50,529	12	4,82	5	1,446	945	156.117
10	3,07	35	6,447	265	56,706	12,75	5,6	15	5,040	960	161.157
9	2,37	30	4,266	295	60,972	13,25	6,16	5	1,848	965	163.005
8,5	2,06	20	2,472	315	63,414	13,75	6,75	60	24,300	1.025	187.305
8	1,77	15	1,593	330	65,037	14,0	7,06	5	2,118	1.030	189.423
7,75	1,64	30	2,952	360	67,989	13,5	6,44	5	1,932	1.035	191.355
6,4	1,02	15	0,918	375	68,907	12,75	5,60	5	1,680	1.040	193.035
5	0,56	155	5,208	530	74,115	12,0	4,82	50	14,460	1.090	207.495
7	1,27	5	0,381	535	74,496	10,5	3,47	115	22,902	1.205	230.397
9	2,37	5	0,711	540	75,207	11	3,88	20	4,656	1.225	235.053
9,5	2,71	5	0,813	545	76,020	10,5	3,47	15	2,082	1.240	237.135
10,5	3,47	20	6,246	575	82,866	10,0	3,07	30	5,526	1.270	242.661
12,0	4,82	30	8,676	605	90,942	5,5	0,70	30	1,260	1.300	243.921
9,75	2,89	5	0,867	610	91,809						
7,75	1,51	100	9,060	710	100,869						

h = altura de lámina de agua en el vertedero (cm)

Q = caudal deducido según la fórmula del vertedero (l/s)

t = tiempo durante el que circula el caudal Q (min)

V = volumen de agua aportado a la balsa (m³)

t_A = tiempo acumulado (min)

V_A = volumen de agua acumulado (m³)

3.5.1.2.- Tasa de Evaporación

A. MEDIDA

Como se ha dicho en el apartado 4.3.2., para la medida de la evaporación se construyó un tanque de 1,02 m de diámetro y 0,80 m de profundidad, enterrado en el terreno sobresaliendo sólo 10 cm del suelo.

Con esas medidas, la superficie de lámina de evaporación es de:

$$S_e = 0,51^2 \times 12 = 0,82 \text{ m}^2$$

Por tanto, para disponer de valores unitarios de evaporación, es necesario referir las medidas a una superficie unitaria de 1 m^2 . Para ello, se hará, en cada caso la correspondiente corrección de la altura de lámina evaporada, según el coeficiente que se ha deducido con el razonamiento siguiente:

- . Superficie del tanque evaporador: $S_e = 0,82 \text{ m}^2$
- . Superficie unitaria: $S_u = 1 \text{ m}^2$
- . Volumen evaporado en tanque: $V_e = 0,82 (\text{m}^2) \times E_m (\text{m})$
- . Volumen evaporado unitario : $V_u = 1,00 (\text{m}^2) \times E (\text{m})$

siendo E_m y E , la altura evaporada en el tanque y ha la altura equivalente si el agua se hubiera evaporado en un tanque de superficie unidad.

Como las columnas han de ser iguales, se deduce:

$$\underline{E = 0,82 E_m}$$

Es decir, para obtener la altura de evaporación por m^2 hay que multiplicar por el coeficiente 0,82 la altura de evaporación medida en el tanque evaporimétrico.

B. EVAPORACION DURANTE EL ENSAYO

Con las medidas de evaporación efectuadas durante el ensayo, escogiendo de entre ellas las más fiables, se han obtenido las tasas de evaporación diurna y nocturna, con objeto de corregir los caudales de infiltración en la balsa.

La evaporación diurna se ha calculado a partir de las medidas realizadas a las 15,30 h y a las 20,30 horas del día 6/7/87,

- . Evaporación medida: $E_m = 7 \text{ mm}$
- . Tiempo de control : $t_m = 5 \text{ h} = 18.000 \text{ s}$
- . Evaporación corregida: $E = 5,74 \text{ mm/m}^2$
- . Volumen real evaporado: $V_E = 4,5 \text{ l}$
- . Caudal unitario medio de evaporación = $Q_E = V_E/t_m = 2,5 \times 10^{-4} \text{ l/s}$
- . Caudal equivalente de evaporación en balsa: $Q = 25 Q_E = 6,25 \times 10^{-3} \text{ l/s}$

Para el cálculo de la evaporación nocturna se utiliza la altura evaporada en el periodo comprendida entre las 20,30 horas del día 6/7/87 y las 9,30 horas del día 7/7/87,

- . Evaporación media: $E_m = 4 \text{ mm}$
- . Tiempo de control: $t_m = 13 \text{ h} = 46.800 \text{ s}$
- . Evaporación corregida: $E = 3,28 \text{ mm/m}^2$
- . Volumen real evaporado: $V_E = 2,58 \text{ l}$
- . Caudal medio evaporación: $Q_E = 5,51 \times 10^{-5} \text{ l/s}$
- . Caudal equivalente de evaporación en balsa : $Q = 25 Q_E = 1,38 \times 10^{-3} \text{ l/s}$

Es evidente, que la tasa de evaporación no ha tenido influencia en el desarrollo del ensayo de infiltración, porque los caudales medios de evaporación son del orden de milésimas tanto durante el día como durante la noche, mientras que los caudales de entrada de agua en la balsa y de infiltración se han medido con precisión del orden de las centésimas.

3.5.1.3.- Escalones de infiltración durante el llenado (caudales/alturas)

La interpretación del limnigrama de altura de agua en vertedero/tiempo, junto con las observaciones de altura de lámina de agua en la balsa, permiten aislar 5 escalones durante el llenado de la balsa para diferentes pares de valores constantes, caudal de entrada en la balsa y altura (o carga) de agua en la balsa. Dicho de otra manera, los caudales Q necesarios para mantener la balsa con una altura de llenado h , es decir, los caudales de infiltración Q para diferentes cargas de agua h en la balsa son:

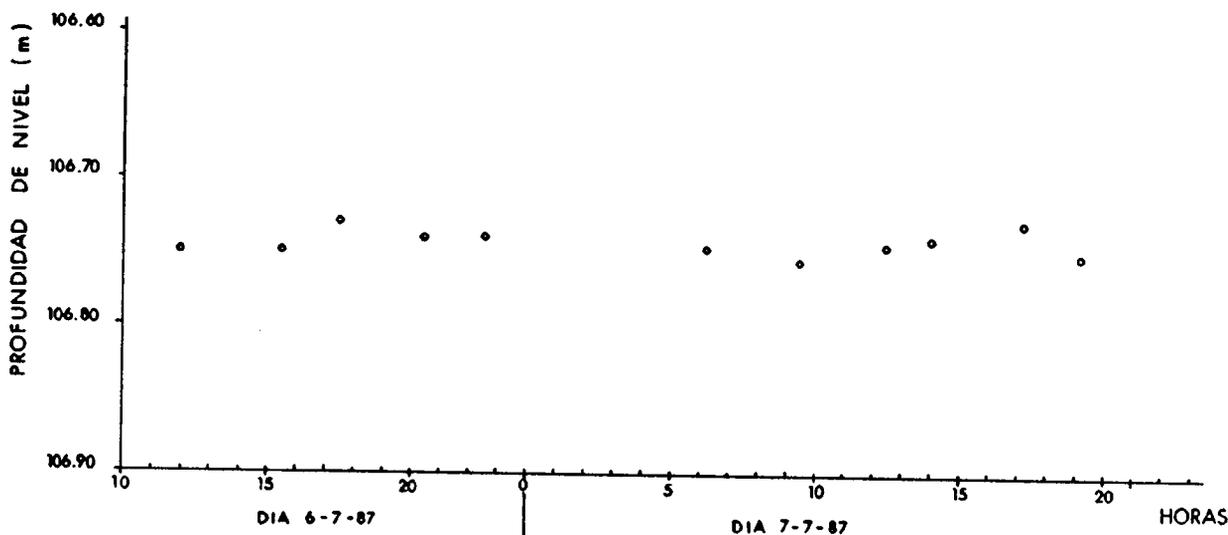
<u>CARGA DE AGUA EN LA Balsa h (m)</u>	<u>CAUDAL DE FILTRACION Q (l/s)</u>
0,30	0,56
0,50	1,51
0,70	2,37
0,90	3,47
1,00	4,86

3.5.1.4.- Evolución de niveles en el pozo nº 424330028

A lo largo del ensayo y después de finalizar el aporte de agua a la balsa, se efectuó un seguimiento de la evolución del

nivel de agua en el pozo 424330028 con objeto de observar si se producía alguna elevación del nivel como consecuencia de la recarga.

En total, se realizaron 11 medidas de la profundidad del nivel, entre las 11,55 horas del día 6/7/87 y las 19,00 horas - del día 7/7/87, cuya evolución se ha representado en la figura A.5.5.



**Fig.A-5.5.- ENSAYO DE RECARGA EN Balsa
EVOLUCION DE NIVEL EN EL POZO 424330028**

Se observa una evolución cíclica debida a la afección causada por el bombeo del pozo nº 424330033, con variaciones diarias de amplitud del orden de 2 a 3 cm, pero no hay ningún indicio de que el agua infiltrada durante la recarga hay sido acusada por el acuífero, cosa por otra parte lógica, si se tiene en cuenta que el nivel está a más de 100 metros de profundidad y

que existen numerosos planos de discontinuidad subhorizontal - (contacto aluvi3n-volc3nico, contactos entre sucesivas coladas) por lo que la trayectoria del agua sufrir3 un fuerte grado de dispersi3n, circunstancia que, unida al reducido vol3men in filtrado, impidi3 que se observase ning3n efecto de la recarga sobre la zona saturada del ac3ifero.

3.5.1.5.- Estudio del vaciado de la balsa

Como en el momento en que se par3 la alimentaci3n de agua, la l3mina de agua en la balsa estaba por debajo de la se3al de 1 m (aproximadamente a 0,80), se decidi3 esperar a que el agua llegase a la se3al de 0,75 m para, en ese momento, comenzar a controlar el vaciado de la balsa. De esta manera, se part3a, - al menos te3ricamente, de un estado de saturaci3n del subsuelo en el entorno inmediato de la balsa, no s3lo en sentido vertical bajo el suelo de la balsa, sino tambi3n en toda la franja lateral en las proximidades de las paredes.

A partir de la carga de 0,75 m, se controlaron tres escalones de vaciado, todos de 25 cm de amplitud, es decir, en un primer escal3n, se control3 el tiempo transcurrido durante el descenso de nivel de carga en la balsa desde 0,75 m a 0,50 m., en un segundo escal3n desde 0,50 m a 0,25 m y en el tercero - desde 0,25 m a 0,00 m, midiendo igualmente la evaporaci3n en el tanque anexo a la balsa.

Con los datos observados, se pueden obtener los siguientes valores medios de vol3menes infiltrados (INF.) y caudales medios de infiltraci3n (Q_{INF}) durante cada escal3n.

1^{er} escalón. Descenso lámina de agua en balsa desde 0,75 m (estado 1) a 0,50 m (estado 2)

ESTADO INICIAL

- . Carga en la balsa $H_1 = 0,75$ m
- . Hora 9,50 horas
- . Altura en evaporímetro ... $E_1 = 7,1$ cm

ESTADO FINAL

- . Carga en la balsa $H_2 = 0,50$ m.
- . Hora 11,30 horas
- . Altura en evaporímetro ... $E_2 = 7,2$ cm

VALORES MEDIOS CALCULADOS

- . Altura de vaciado $H_{1-2} = 0,25$ m
- . Tiempo de descarga $t_{1-2} = 1\text{h } 40\text{min} = 6.000$ s
- . Evaporación $E_{1-2} = 1$ mm
- . Evaporación corregida ... $E'_{1-2} = 0,82$ mm
- . Volumen de descarga $V_{1-2} = 6,25$ m³
- . Volumen de evaporación ... $V_{E1-2} = 0,02$
- . Volumen de infiltración .. $INF_{1-2} = 6,23$ m³
- . Caudal medio infiltración $Q_{1-2} = 1,038$ l/s

2º escalón. Descenso de lámina de agua en balsa desde 0,80 m - (estado 2) a 0,25 m (estado 3). Utilizando la misma nomenclatura

ESTADO INICIAL

- . $H_2 = 0,50$ horas
- . 11,30 horas
- . $E_2 = 7,2$ cm

ESTADO FINAL

- . $H_3 = 0,25 \text{ m}$
- . 14,00 horas
- . $E_3 = 7,35 \text{ cm}$

VALORES MEDIOS CALCULADOS

- . $H_{2-3} = 0,25 \text{ m}$
- . $T_{2-3} = 2,5 \text{ h} = 9.000 \text{ s}$
- . $E_{2-3} = 1,5 \text{ mm}$
- . $E'_{2-3} = 1,23 \text{ mm}$
- . $V_{2-3} = 6,25 \text{ m}^3$
- . $V_{E2-3} = 0,031 \text{ m}^3$
- . $INF_{2-3} = 6,129 \text{ m}^3$
- . $Q_{2-3} = 0,69 \text{ l/s}$

3^{er} escalón. Descenso en lámina de agua en balsa desde 0,25 m -
(estado 3) hasta el fondo (estado 4)

ESTADO INICIAL

- . $H_3 = 0,25 \text{ m}$
- . 14,00 horas
- . $E_3 = 7,35 \text{ cm}$

ESTADO FINAL

- . $H_4 = 0,00 \text{ m}$
- . 17,15 horas
- . $E_4 = 7,7 \text{ cm}$

VALORES MEDIOS CALCULADOS

- $H_{3-4} = 0,25 \text{ m}$
- $t_{3-4} = 3 \text{ h } 15 \text{ min} = 11.700 \text{ s}$
- $E_{3-4} = 3,5 \text{ mm}$
- $E_{3-4}^1 = 2,87 \text{ mm}$
- $V_{3-4} = 6,25 \text{ m}^3$
- $V_{E3-4} = 0,072 \text{ m}^3$
- $INF_{3-4} = 6,178 \text{ m}^3$
- $Q_{3-4} = 0,53 \text{ l/s}$

3.5.2.- Características de la balsa

Desde el punto de vista práctico, las conclusiones más interesantes que pueden obtenerse en un ensayo de recarga en balsa, se refieren a la determinación de las velocidades aparentes de infiltración y a la valoración de la colmatación del lecho filtrante y su influencia en la eficacia de la balsa, que son los dos elementos básicos, junto con el caudal de agua disponible, para el diseño de una instalación de recarga experimental.

Aunque, como ya se ha explicado, no se alcanzaron totalmente los objetivos previstos, el ensayo si permite deducir resultados válidos tanto a nivel cuantitativo como a nivel cualitativo. En el aspecto cuantitativo, se han podido estimar velocidades de infiltración para diferentes cargas de agua y construir una curva característica de la balsa, naturalmente con todas las reservas con que deben acogerse los resultados de estos experimentos. Por su parte, el efecto de la colmatación sólo ha podido observarse bajo un punto de vista parcial meramente cualitativo.

3.5.2.1.- Velocidades Aparentes de Infiltración

Con los 5 escalones definidos a partir de la interpretación de las variaciones de altura de lámina de agua y caudal de entrada en al balsa, y caracterizadas por la constancia simultánea de alturas y caudales, se pueden calcular los caudales aproximados de filtración para diferentes cargas de agua, y, a partir de los caudales se pueden calcular las tasas o velocidades aparentes de infiltración que caracterizan a la balsa.

Los 5 valores de VAI se han agrupado en el cuadro siguiente (A.5.5.) en el que:

H : es la altura (m) o carga de agua en la balsa a nivel constante,

Q : es el caudal constante (l/s) de agua (medido en el vertedero) que alimentaba a la balsa durante el tiempo de equilibrio de la carga H, y

VAI : es la velocidad aparente de infiltración correspondiente al caudal Q modificado en función de la superficie de la balsa y del tiempo en días.

Por otra parte, con los caudales medios de infiltración calculados a partir del estudio de los escalones de vaciado se han obtenido los valores de velocidad aparente de infiltración, resumidos en el cuadro A.5.6.

CUADRO A.5.5.- VALORES DE VAI (m/d) DURANTE EL LLENADO DE LA Balsa

h (m)	Q (l/s)	VAI (m/d)
0,30	0,56	1,93
0,50	1,51	5,20
0,70	2,37	8,20
0,90	3,47	12,00
1,00	4,86	13,40

CUADRO A.5.6.- VALORES DE VAI (m/d) DURANTE EL VACIADO DE LA Balsa

VARIACION DE CARGA (m)	Q (l/s)	VAI (m/d)
0,75 - 0,50	1,038	3,59
0,50 - 0,25	0,690	2,39
0,25 - 0,00	0,530	1,82

Como puede observarse los valores de VAI durante el vaciado son sensiblemente menores que los correspondientes al llenado de la balsa.

La diferencia se aprecia igualmente comparando los valores medios de Q y VAI, de los periodos de llenado (1.300 min de duraci3n) y de vaciado (445 min de duraci3n) que son respectivamente,

	LLENADO	VACIADO
Q_{INF} (l/s)	2,87	0,70
VAI (m/día)	9,90	2,40

La causa que podría explicar esta diferencia es la disminución progresiva de la superficie lateral filtrante, la disminución de franja saturada bajo la balsa y, probablemente, el efecto de la colmatación producida al depositarse en el fondo de la balsa la materia sólida en suspensión, originada e incorporada al agua dentro de la misma balsa, producida por la agitación creada por el agua al caer, y decantada en el fondo al tranquilizarse el régimen de la balsa cuando cesó la entrada de agua.

También es necesario tener en cuenta que los escalones del llenado corresponden a tiempos cortos que puede ser que correspondan aún a la fase en que parte del agua perdida por la balsa rellena los poros vacíos desplazando el aire contenido en ellos, en la que el caudal de infiltración es superior al que se infiltraría en una situación de subsuelo saturado.

En cualquier caso, el ensayo no ha tenido la duración suficiente como para llegar a explicar estas diferencias, aunque, apoyando las posibilidades citadas, cabe mencionar que en el escalón de ascenso de mayor duración, a carga 0,30 m, la VAI es la que más se aproxima a la del escalón equivalente de vaciado, 1,93 m/día y 1,82 m/día respectivamente. Por tanto, a falta de mayor información, la diferencia creciente en las velocidades de infiltración para cargas en balsas creciente, puede atribuirse fundamentalmente al efecto combinado de aumento porcentual de expansión lateral por las paredes y a la saturación parcial bajo la balsa.

En consecuencia, los caudales y velocidades aparentes de infiltración más aproximados a la realidad son:

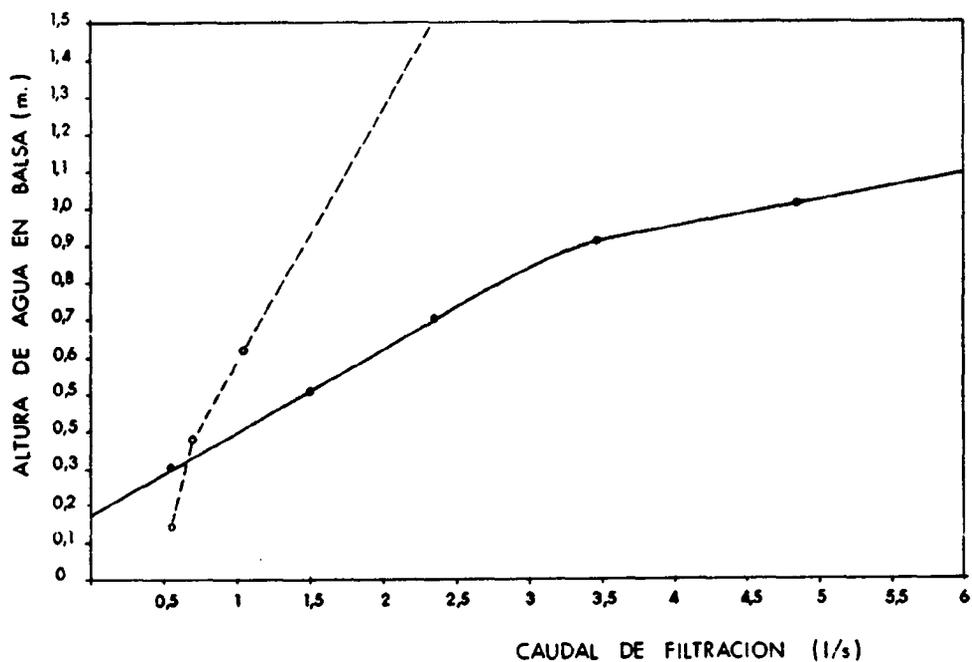
- . los obtenidos durante el vaciado, para representar un estado de régimen estable de funcionamiento saturado de la balsa,
- . los obtenidos para el llenado, que pueden representar el funcionamiento de la balsa en las primeras horas de la recarga.

3.5.2.2.- Curvas características de la balsa

En las Figuras A.5.6. y A.5.7. se han dibujado las evoluciones caudal-altura y VAI-altura según los datos correspondientes al llenado y al vaciado de la balsa.

En la representación $Q_{INF} = f(h)$ se observan dos tramos rectilíneos, tanto en el llenado como en el vaciado, que reflejan un aumento en el ritmo de crecimiento del caudal de filtración a partir de una determinada altura de lámina en la balsa.

Este hecho se atribuye en la literatura clásica (Bize et al.) a la existencia de un punto crítico, debido a que el agua de la balsa, para llegar al acuífero, tiene que atravesar la zona no saturada existente entre el bulbo saturado creado bajo la balsa y el nivel piezométrico, que está limitada superiormente por una interfase en que se forman meniscos. En la interfase el flujo tiene lugar en trayectorias individualizadas en forma de cuentas-gotas; bajo el efecto de la presión del agua, los meniscos se rompen y se renuevan sin cesar, dejando pasar el agua en forma de gotas.



A-5.6.- ENSAYO DE RECARGA EN Balsa
Curva característica de la balsa $Q = f(h)$

- (h,Q) Durante el llenado
- (h,Q) Durante el vaciado

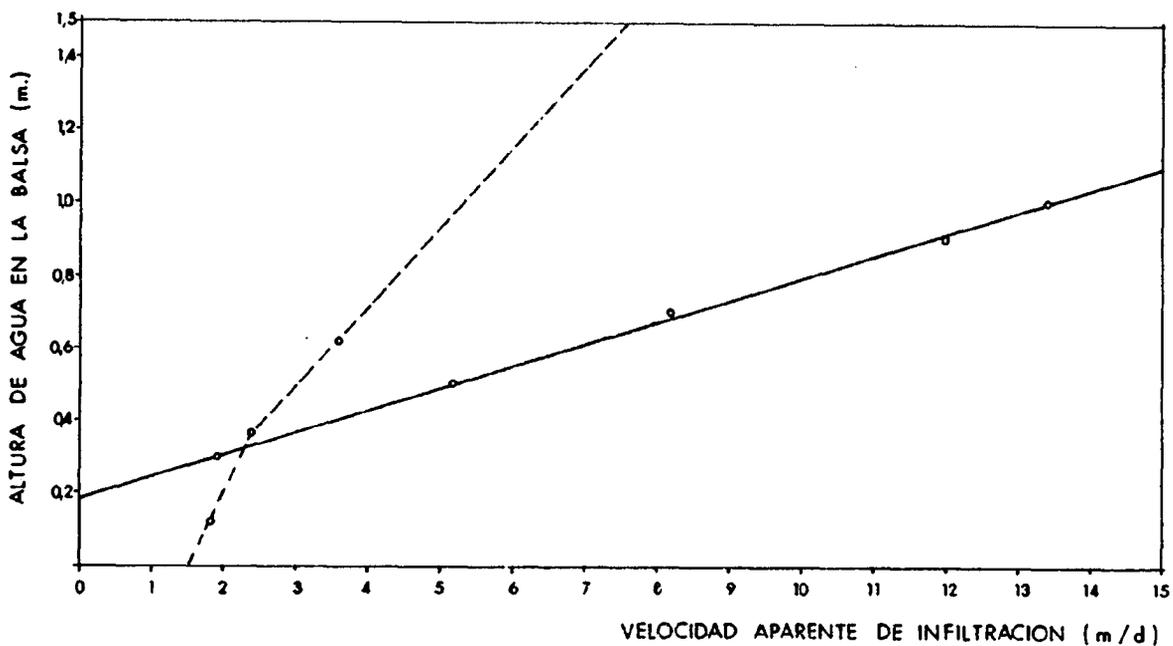


Fig. A-5.7.- ENSAYO DE RECARGA EN Balsa
Curva característica de la balsa $VAI = f(h)$

- (h, VAI) Durante el llenado
- (h, VAI) Durante el vaciado

Cuando baja el nivel de agua en la balsa, es decir, cuando la presión disminuye, los meniscos dejan de romperse a partir del momento en que la presión del agua en la balsa es igual o inferior a la presión capilar. Probablemente, la relación entre el caudal de filtración y la altura de lámina de agua en la balsa durante su vaciado sea una representación de la ley de anulación progresiva de los meniscos.

Esta explicación también puede justificar la diferencia observada entre el comportamiento de la balsa en el llenado y en el vaciado, porque al cesar la alimentación en la balsa, la presión disminuye de forma progresiva y quizás se acelere el proceso de paralización de los meniscos.

La existencia de un punto o zona crítica en la curva $Q = f(h)$ permite fijar la altura mínima de agua en una balsa para que este alcance un funcionamiento eficiente. En el caso de la balsa del ensayo, la profundidad mínima de carga de agua está comprendida entre 0,5 y 0,6 metros, valor que debe ser considerado con las reservas que imponen la falta de escalones a mayor presión, que podrían condicionar un tramo crítico más largo.

No obstante, como conclusión del ensayo se ha tomado el segundo tramo rectilíneo de las evoluciones caudal-altura y VAI--altura durante el vaciado que tienen por ecuaciones:

$$Q_{INF} = 0,17 + 1,39 h$$

$$VAI = 0,59 + 4,80 h$$

como valores a retener para diseños futuros, junto con la altura mínima de 0,5-0,6 metros para la lámina de agua.

3.5.2.3.- Ley de vaciado

El estudio de agotamiento de la balsa se ha ilustrado en la figura A.5.8. en la que la altura de lámina se ha representado en función del tiempo a partir del momento en que se cortó la alimentación de agua a la balsa. Los cuatro puntos correspondientes a las cargas 0,75; 0,50; 0,25; 0,0 se han ajustado por el método de los mínimos cuadrados a diferentes ecuaciones. El mejor ajuste ha correspondido a una regresión parabólica de ecuación:

$$h = 0,79 - 0,00261 t + 0,0000194 t^2$$

con coeficiente de correlación, $r^2 = 1$.

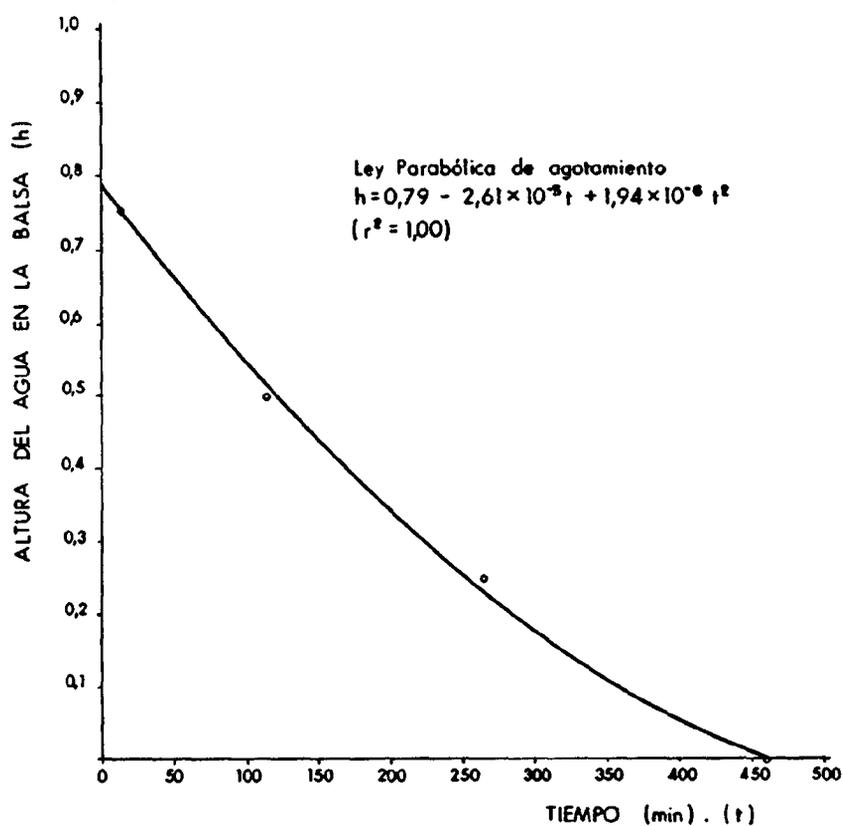


Fig. A-5.8.- ENSAYO DE RECARGA EN BALSA
Curva de agotamiento de la balsa

Por tanto se puede decir que el descenso de lámina en la balsa tiene lugar de acuerdo con una ley parabólica que responde a la ecuación anterior.

3.2.5.4.- Colmatación.

La duración limitada del ensayo no ha permitido observar ningún efecto de la colmatación, en primer lugar, porque el agua utilizada no transportaba sólidos en suspensión en cantidad apreciable y, en segundo lugar, porque la duración ha sido insuficiente para apreciar el efecto de la colmatación producida por los propios elementos finos que, como consecuencia de la turbulencia creada por el agua en la balsa, se incorporaron al agua y se depositaron en el fondo, dejando al final del ensayo una capa irregular de limos de espesor variable entre 0 y 5 cm según las zonas.

4.- ENSAYO DE RECARGA EN POZO

4.1.- PLANTEAMIENTO TEORICO DE LA RECARGA EN POZOS

La descripción teórica del régimen hidrodinámico durante una recarga en pozo (inyección) se ha extractado de los mismos documentos que han servido de base para la exposición del apartado 4.1. sobre el mecanismo de la recarga en balsa.

La recarga en los pozos se caracteriza, a diferencia de la infiltración en balsas superficiales, porque el agua inyectada está en contacto con la zona saturada del acuífero desde el comienzo, y se produce por diferencia de presión entre el agua de recarga en el pozo o sondeo y el nivel piezométrico o libre del acuífero.

En el caso de un acuífero libre, la recarga se induce por gravedad, es decir, por la diferencia de carga entre el nivel de recarga y el nivel de superficie libre. En un manto confinado, la efectividad de la recarga, puede exigir una sobrepresión, que requiere un dispositivo de inyección presurizado, - siendo el bombeo, la fuente de presión comúnmente utilizada.

Desde el punto de vista hidráulico, es lo mismo extraer - que introducir agua en un pozo, por lo que, en teoría, la inyección puede considerarse como la operación inversa de un bombeo, puesto que induce una perturbación teóricamente simétrica en el medio saturado. En estas condiciones, en principio, parecería lícito aplicar las formulaciones clásicas de la hidráulica de pozos. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que no

se pueden aplicar, sin reservas, las ecuaciones de Theis o las derivadas de ellas, aún en el caso de que se cumplan las condiciones de validez, salvo quizás en el caso de mantos cautivos y cuando el domo de inyección es pequeño con respecto a la potencia del acuífero.

En efecto los parámetros T y S pueden considerarse igua--les en un bombeo y en una inyección sólo en un manto cautivo , es decir cuando el acuífero es saturado, porque la transmisividad es igual, en ambos casos, al producto del espesor por la conductividad hidráulica de saturación, y el coeficiente de almacenamiento viene definido fundamentalmente por la compresibilidad del terreno y del agua. No obstante, la introducción de agua en un acuífero, implica introducir perturbaciones quími--cas, térmicas y biológicas, que puedan tener consecuencias sobre el rendimiento de la operación por su influencia en facto--res importantes en el flujo de agua, tales como la viscosidad - del agua y la colmatación del acuífero. Estas circunstancias - son las que explican que, aún en condiciones cercanas a las - ideales, se produzcan desviaciones importantes en los caudales inyectados y volúmenes almacenados.

En un manto libre, el comportamiento hidrodinámico del - agua no es igual en un cono de depresión (bombeo) y en un domo de inyección: en el primer caso, se desatura un volúmen inicialmente saturado mientras que, en el segundo, se satura un volú--men inicialmente no saturado. Dicho de otra forma, se sustituye agua por aire (quedándose un remanente de agua) en el bom--beo, mientras que, en la inyección, se sustituye aire por agua (quedándose un remanente de aire).

Puesto que la dinámica del agua y del aire no son iguales, no tienen por que ser simétricas las dos perturbaciones. De hecho, los estudios llevados a cabo por varios investigadores -

han puesto de manifiesto que el coeficiente de "llenabilidad" S^* tarda mucho tiempo antes de alcanzar el valor de la porosidad - eficaz y que la conductividad hidráulica (y por tanto la transmisividad) varía de forma logarítmica con el grado de saturación - del terreno. En este aspecto, la inyección de agua en manto libre es equivalente a la segunda y tercera fase del esquema hidro dinámico de recarga en balsa, y son aplicables los razonamientos expuestos en el apartado 4.1. acerca de el coeficiente de llenabilidad y la conductividad hidráulica, y su dependencia con el grado de humedad del terreno.

En un acuífero libre, como el caudal específico q es función del espesor saturado, el caudal específico en recarga puede ser notablemente mayor que el de bombeo, debido a que en el primer caso el espesor de flujo (ascenso de inyección) es mayor que el segundo (descenso de bombeo). Este efecto puede llegar a ser espectacular en rocas consolidadas en las que las fisuras o zonas karstificadas principales queden cerca o por encima del nivel - de agua. En general, el caudal de inyección es mayor que el bombeo, cuando al elevarse el nivel se alcanzan tramos más permeables, la curva característica puede presentar tramos con pendientes invertidas. Diversos efectos de colmatación residual e introducción de aire en el terreno son los que pueden explicar en ciertos casos el valor de q sea menor en recarga que en bombeo, agravándose esta situación cuando existe liberación del - gas contenido en el acuífero, que es una circunstancia corriente en los terrenos volcánicos, con, a veces, altos contenidos - CO_2 disuelto.

Al margen de casos especiales, una misma captación, prescindiendo de fenómenos de colmatación, rinde mucho menos en inyección que en bombeo. Es frecuente que el caudal específico de inyección no pase del 50 al 70% del caudal específico de bombeo.

Por lo tanto, a la hora de hacer previsiones sobre el volúmen almacenable de un acuífero y los caudales de inyección, es conveniente actuar con prudencia, incluso en el caso de que se disponga de valores consistentes de T y S.

4.2.- LIMITACIONES HIDROGEOLOGICAS

Las diferencias, mencionadas en el apartado anterior, en los parámetros que gobiernan la hidrodinámica de la extracción por bombeo y la inyección de agua en un acuífero, son más evidentes en el caso de un manto libre, porque tienen un doble origen:

- por un lado, y a diferencia de un manto confinado, la propia naturaleza del manto libre condiciona un espesor saturado diferente en bombeo y en inyección, que da lugar a una diferencia neta en la T en un caso u otro,
- por otro lado, coincidente con el manto cautivo, el impacto causado por el agua de recarga (hidroquímica, temperatura y viscosidad, colmatación,...) tiende a modificar tanto la transmisividad T como la porosidad eficaz m_e del acuífero.

En los acuíferos insulares, en general, y en el sector de Arinaga-Tirajana, en particular, a los factores causantes de las desviaciones se añaden nuevos elementos de desviación e incertidumbre.

En primer lugar, a la influencia del carácter libre del acuífero hay que sumar el hecho de que los pozos son de gran diámetro, el acuífero de muy baja permeabilidad y el esquema global de circulación es tridimensional. Esto da lugar, como se ha explicado en el Anexo 4 de bombeos de ensayo, a una gran dificultad para identificar el esquema de flujo en torno a los pozos

durante el bombeo y, por tanto, a una fuerte limitación e incertidumbre a la hora de determinar los coeficientes de formación del acuífero a partir de bombeos de ensayo. Si esto ocurre así en los bombeos, está claro que en el caso de la recarga por inyección de agua, cuyo hidrodinamismo está poco investigado, - las desviaciones con respecto al comportamiento hidrodinámico que habría según los esquemas clásicos son cuando menos del - mismo rango, lo que quiere decir que es ilusorio hacer especulaciones sobre la recarga tomando como base los parámetros obtenidos en bombeos de ensayo.

En segundo lugar, hay un factor consustancial al acuífero volcánico, que tendrá la consecuencia de establecer mayores desviaciones durante la inyección de agua. Se trata de la presencia de gases disueltos en el agua, especialmente dióxido de carbono, cuya presencia es casi una constante en los pozos de Arinaga-Tirajana, y que dará lugar a un efecto de colmatación, porque en la zona de acuífero situada por encima del nivel de agua, los pozos estarán rellenos de gas liberado.

4.3.- OBJETIVOS Y PLANIFICACION DEL ENSAYO

El cúmulo de limitaciones que concurren en la realización y en la interpretación de cualquier ensayo hidrodinámico en el acuífero situado en el sector costero Arinaga-Tirajana, no permite "a priori" esperar resultados válidos sobre los parámetros hidráulicos que regirían el comportamiento hidrodinámico del - manto durante un ensayo de inyección de agua, de la misma forma que las interpretaciones cuantitativas de los bombeos son poco fiables.

Todo ello parece desaconsejar la realización de un ensayo de recarga en pozo, pero sin embargo, a pesar de todos las diferencias, se pensó que, la única forma de poder tener un cri

terio acerca de la respuesta del acuífero a una eventual recarga por inyección en pozo, era comparar experimentalmente la respuesta de un pozo a un bombeo y a una inyección con el mismo caudal y de la misma duración. En cualquier caso, se tendría como dato de referencia el caudal específico y se podría intentar la identificación de las causas en caso de existir diferencias apreciables, como sería de esperar.

De esta forma, se planteó y realizó, un ensayo doble de inyección y de bombeo, con el objetivo de observar y analizar las diferencias en el comportamiento del acuífero cuando es sometido a las sollicitaciones antagónicas: bombeo e inyección.

La utilidad "a priori", del ensayo, es tener un elemento - de juicio que permita, en función de su comportamiento en bombeo, que es conocido habitualmente, poder evaluar de modo aproximado la respuesta ante una eventual recarga y estar en condiciones de fijar el caudal de inyección.

La planificación teórica del ensayo estaba constituida por cuatro operaciones encadenadas con la siguiente secuencia:

1. Ensayo de inyección de agua a caudal constante con infiltración inducida por gravedad y con la mayor duración posible.
2. Recuperación (descenso) del nivel hasta su posición manteniendo el pozo en reposo el tiempo necesario, como mínimo el doble de la inyección.
3. Bombeo de ensayo a caudal constante con caudal lo más aproximado al de inyección y con la misma duración que la etapa de inyección.

4. Recuperación del nivel hasta su posición inicial antes del bombeo, durante el tiempo necesario para ello.

Este diseño planteaba un primer problema importante: encontrar un pozo con régimen de explotación bajo, que permitiera el periodo de parada necesario para considerar el nivel estabilizado (al menos 24 horas), que estuviera disponible, con garantía de no interferencia, durante 8 a 10 días, que tuviera doble tubería para inyección y bombeo (el agua no se puede introducir por la tubería de impulsión porque invertiría el sentido de giro de la bomba y podría dañarla) y con un depósito de agua cercano conectado con otras conducciones de agua de similar calidad que pudiera ser utilizada en el ensayo de recarga.

El segundo problema, simultáneo con el anterior, era conseguir el agua suficiente para garantizar el suministro durante la primera operación de inyección.

4.4.- DISPOSITIVO DE RECARGA. CARACTERISTICAS

La exhaustiva actualización de inventario de pozos que se realizó durante la fase inicial de mejora del conocimiento hidrogeológico del presente proyecto, facilitó la selección del pozo - que mejor se adaptaba a las necesidades del ensayo enumeradas en el párrafo anterior. Este pozo es el nº de inventario 424330006 , de toponimia Hoja Cabrera, cuya agua, de excelente calidad, se utiliza para el riego de hectáreas de rosales, es propiedad particular de D. Juan Antonio Cuevas que no puso ningún inconveniente en la cesión del pozo para el ensayo, únicamente las condiciones lógicas de no interferir en los riegos y utilizar agua de calidad similar a la del pozo son muy exigentes en lo que respecta al contenido salino del agua.

Para satisfacer la primera condición, el ensayo se llevó a cabo en el mes de julio, dentro del periodo de descanso de los rosales, con la intensidad de bombeos reducida al mínimo, concretamente las pruebas tuvieron lugar entre los días 10 y 15 de julio de 1987.

4.4.1.- Situación

El pozo 424330006 está situado en el borde norte de estudio en la ladera sur del Lomo del Cabezo, 450 m al Norte de la carretera C-815 que une el Cruce de Arinaga y Agüimes, en un punto cuyas coordenadas Lambert son, $X = 424820$; $Y = 332.280$ y cuya altitud es de, aproximadamente 125 m.s.n.m. Se accede al pozo por un camino de tierra que parte de la carretera citada a 1,8 Km del Cruce de Arinaga.

El único punto desfavorable del pozo es su posición hidrogeológica, puesto que se encuentra en una zona del acuífero en la que el manto está muy deprimido por los bombeos. En el ensayo de isopiezas del plano M.7, puede verse que está situado en el borde de un cono de depresión, que sin duda variará en su forma a lo largo del año porque el nivel piezométrico es muy sensible al efecto de los bombeos por la baja permeabilidad general del acuífero, pero que a "grosso modo" se puede decir que tiene un carácter permanente. De las observaciones realizadas durante este proyecto, se deduce una variación de niveles en el pozo, que oscila entre unos -54 m.s.n.m. en periodo de explotación y -33,5 m.s.n.m. en el periodo de menor intensidad de bombeos.

En este estado deprimido del nivel, puede tener influencia, como así fué, en la evolución de niveles, la afección positiva o negativa de las paradas o bombeos en los pozos que explotan el acuífero dentro del ámbito de la misma depresión piezométrica.

La localización geográfica del ensayo en pozo se ha indicado en el plano general A.5.1.

4.4.2.- Elementos de la instalación

El dispositivo para el ensayo de recarga en pozo estaba compuesto por las propias instalaciones de extracción y elevación, a las que se añadió el complemento necesario para el control y conducción del agua de inyección. Los elementos de la instalación y sus principales características fueron las siguientes:

- Un pozo de 175,6 metros de profundidad y 3 metros de diámetro, excavado en su totalidad en basaltos antiguos, protegido por un brocal cuadrado de hormigón y situado en el interior de una construcción, típica en las Islas, que alberga además el Grupo electromotriz autónomo de elevación, constituido por un grupo electrógeno, compuesto por un motor diesel marca ALSTHOM de 54 HP de potencia y un alternador INDAR de 35 KVA y 1.500 rpm, y una bomba eléctrica vertical sumergida situada a 0,5 m por encima del fondo del pozo.
- Un depósito regulador de 325 m³ de capacidad situado a cota 140 m.s.n.m. conectado con el pozo mediante una tubería de impulsión de PVC en la caña del pozo, de 90 mm de diámetro, y metálica entre el pozo y el depósito, de 150 mm de diámetro.
- Una tubería metálica antigua de impulsión que se conserva en la caña del pozo, con la salida en el exterior de la caseta, justo del lado que encara al depósito. Esta tubería ha sido providencial para el ensayo, es el único pozo que la conserva, porque el proyecto sólo ha tenido que instalar una tubería desde la salida del fondo del depósito hasta la salida de la tubería en desuso, que sólo estaba cubierta por escombros por razo-

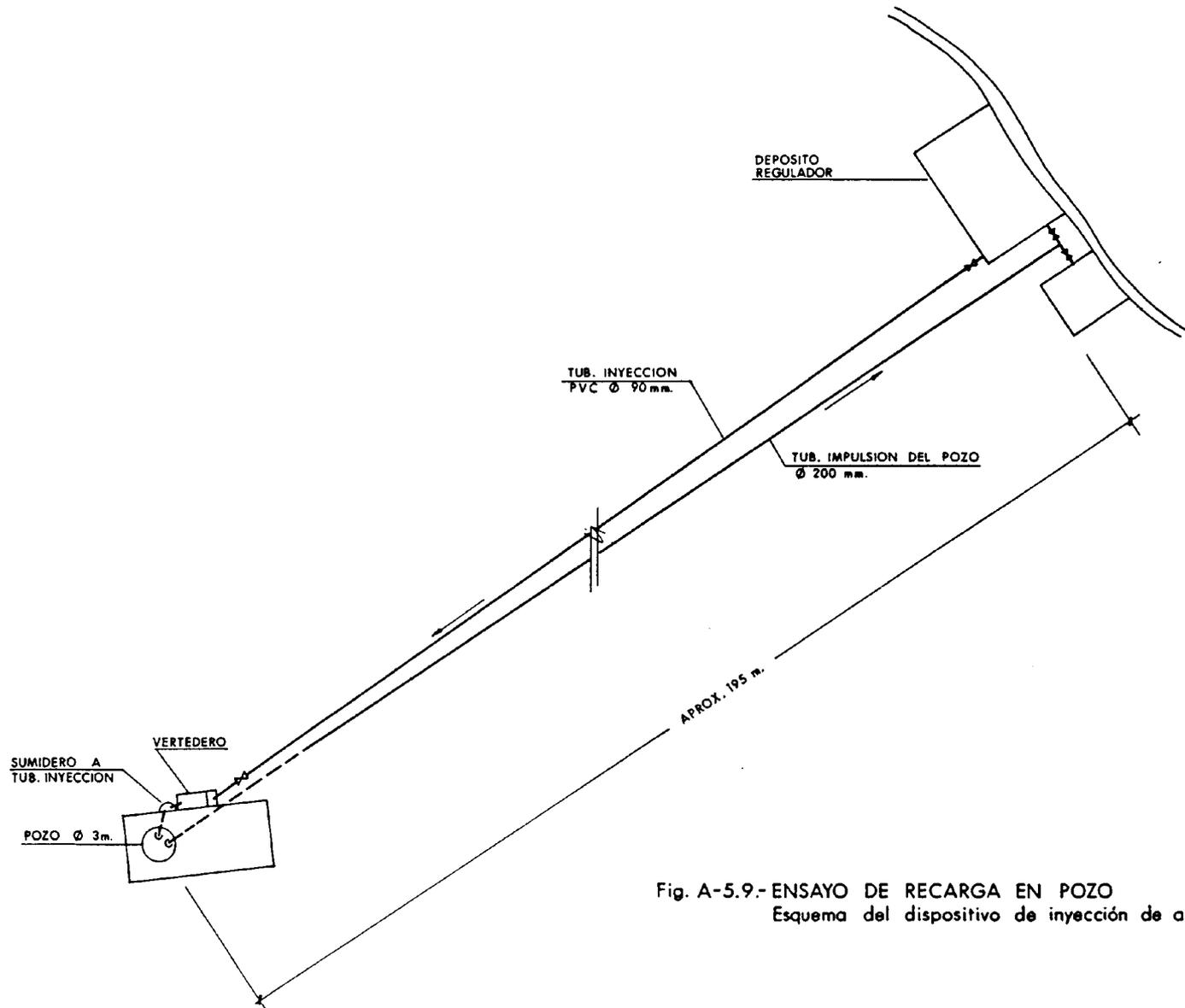


Fig. A-5.9.- ENSAYO DE RECARGA EN POZO
Esquema del dispositivo de inyección de agua

nes de seguridad. La tubería termina, en el interior del pozo, a unos 5 metros por encima del nivel.

- Una tubería de PVC de 90 mm de diámetro y 195 metros de longitud, para conducir el agua de inyección desde el depósito hasta la embocadura del vertedero construido para la medida del caudal; 1 metro antes se colocó una válvula para regular el caudal de entrada.
- Un vertedero triangular, gemelo del construido para el ensayo en balsa. Igualmente, se hizo de obra, pegado a la pared exterior de la caseta del pozo. El desague del vertedero se hizo directamente a la tubería abandonada, a través de la cual el agua entraba en el pozo.

En la Fig. A.5.9. se adjunta un croquis del dispositivo, que se ilustra con las fotografías del Apéndice.

4.4.3.- Suministro de agua

Para eliminar cualquier posibilidad de alteración en la calidad de agua del pozo, principal preocupación del propietario, se optó por la solución más sencilla, consistente en realizar el ensayo de recarga con agua del propio pozo. Ello implicaba disponer al 100% del depósito regulador y anular la posibilidad de un eventual riego por compromisos con otros cultivos, durante el periodo de inyección y recuperación subsiguiente. Para solventar esta eventualidad, se acordó, con otro grupo explotador del agua subterránea, la posibilidad de disponer de 5 a 10 horas de agua (180 a 360 m^3) para hacer frente a cualquier imprevisto sin alterar el desarrollo del ensayo.

Esta solución garantizaba, a su vez, el mínimo de interferencias químicas y biológicas en el resultado de la inyección, y la ausencia de aporte de sólidos en suspensión, limitándose al aire disuelto en el agua de inyección las aportaciones externas de elementos que pudieran interferir en el desarrollo del ensayo.

Las características químicas del agua del pozo se adjuntan en el cuadro siguiente (A.5.7.) que recoge el resultado del análisis de agua realizado en una muestra tomada en los momentos finales del ensayo de inyección, cuando el agua estaba ya cerca del fondo del depósito y podía ser la única posibilidad de deterioro en la calidad del agua.

Como elemento de comparación, se adjuntan también análisis de agua muestreada en épocas de bombeo del pozo.

Se observa que el agua no presenta diferencias sensibles entre los periodos de explotación y de parada, sobre todo en las determinaciones (Cl^- , conductividad) y relaciones ($r \text{Cl}^- / r \text{CO}_3\text{H}^-$) que reflejan la intrusión salina. En este caso, y a pesar de la profundidad del pozo no hay indicios de intrusión.

En total se disponía del depósito completo con una capacidad útil estimada en algo más de 9 horas de agua, es decir, de unos 325 m^3 .

CUADRO A.5.7.- ENSAYO DE RECARGA EN POZO CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA DE INYECCION

CONDUCTIVIDAD	1.740
pH	7,71
S.R.C.	2,80
S.A.R.	4,42
S.T.D.	1.348
Residuo Seco (110°C)	1.044
Ca ⁺⁺	18,83
Mg ⁺⁺	85,21
Na ⁺	202,86
K ⁺	21,89
CO ₃ H ⁻	656,90
SO ₄ ⁼	101,82
NO ₃ ⁻	0,00
Cl ⁻	170,75
SiO ₂	89,50
Fe	0,00

Unidades en p.p.m. excepto conductividad en mhos/cm.

4.5.- DESARROLLO DEL ENSAYO

4.5.1.- Previsión

Tomando como base que el caudal de bombeo del pozo es del orden de 4,5 a 5,5 l/s (en este pozo se había realizado un bombeo de ensayo con caudal constante de 5 l/s) y que se disponía de un volumen de agua de 325 m³, equivalentes a unas 9 horas de agua de 10 l/s ó unas 18 horas de agua de 5 l/s y contando con

la seguridad de tener un remanente externo de agua para cubrir eventualidades inaplazables, se diseñó el siguiente programa - para la prueba:

1. Ensayo de inyección de agua a caudal constante de 5 l/s durante 18 horas (máximo posible) con control de niveles en el pozo con la misma secuencia que en un bombeo de ensayo. El caudal de entrada se controlaría en el vertedero y, en teoría, estaba garantizada porque la diferencia de cota entre el depósito y el pozo era suficiente para mantener la carga hidráulica necesaria.
2. Ensayo de recuperación (en realidad de descenso) del nivel durante un periodo de tiempo doble, como mínimo, al de inyección, con el mismo seguimiento de evolución del nivel.
3. Bombeo a caudal constante de 5 l/s ($\pm 0,5$ l/s) durante un tiempo igual al de inyección, es decir, 18 horas. Evidentemente se trata de un bombeo de ensayo clásico con control de niveles y caudales sistemático.
4. Ensayo de recuperación, una vez cumplido el bombeo previsto, extendido a un periodo de tiempo, acotado como mínimo, en el doble que en el bombeo, pero sin fijar el límite máximo de control, que quedaría condicionado a la necesidad ulterior de extraer agua para riego.

4.5.2.- Cronología del ensayo

El calendario y las especificaciones del programa de trabajos previsto, se cumplieron prácticamente en su totalidad. La única desviación se produjo en el caudal de bombeo, que fué de 5,5 l/s frente a los 5 l/s del caudal de inyección.

El desarrollo cronológico del ensayo fue el siguiente:

1. El ensayo de inyección de agua en el pozo comenzó el día 10 de julio de 1987 a las 7,10 horas con el nivel situado a 157,10 m de profundidad. Previamente, el pozo había parado en el mediodía del día 7 y no había vuelto a bombear. Para tener una idea de la evolución del nivel en el pozo se realizaron dos medidas previas, los días 7 y 8, registrándose una profundidad de nivel respectiva de 157,86 m y 157,56 m. Desde la tarde del día 8 hasta la mañana del día 10, el nivel había subido solamente 5 centímetros, es decir, inicialmente el nivel del manto estaba estabilizado en el entorno del pozo.

De acuerdo con la tabla altura-caudal del vertedero, la altura de lámina se graduó con la válvula de forma que el caudal circulante fuera de 5 l/s con un error de $\pm 5\%$. El caudal se mantuvo constante sin necesidad de ajustar la válvula, hasta una hora antes de cumplirse las 18 horas programadas, dándose entrada en el depósito al agua auxiliar para evitar pérdidas de caudal. Al cumplirse las 18 horas programadas, es decir a las 1,10 horas del día 11, se cortó la alimentación de agua en el pozo; por tanto el tiempo de inyección fué exactamente de 1.080 minutos.

En el instante final del ensayo, el nivel estaba a 156,19 - metros de profundidad, es decir, se registró un ascenso de 1,32 metros. El volúmen total de agua introducida fué de 324 m^3 .

2. Sin solución de continuidad, se pasó a controlar el descenso del nivel (equivalente a la recuperación), que se prolongó hasta las 13,10 horas del día 12, cuando habían transcu-

rrido 2.160 minutos, o sea, un tiempo doble del de inyección. El nivel había descendido hasta los 156,50 metros de profundidad, con descenso de 0,31 m, lo que quiere decir que aún quedaba una sobrepresión residual de 1,01 m. A pesar de ello, se cortaron las medidas porque, a partir del minuto 800 el nivel comenzó a ascenden en vez de bajar como consecuencia de la penetración del agua en la zona no saturada del acuífero.

3. A las 13,10 horas del día 12 empezaron las operaciones simétricas de las anteriores, con un bombeo de ensayo, que duró exactamente 1.080 minutos (iguales que la inyección), a caudal constante de 5,5 l/s, ligeramente superior al de inyección que se controló mediante 3 aforos volumétricos realizados con un recipiente calibrado. El nivel de agua descendió desde 156,5 m (profundidad al comienzo del ensayo) hasta 157,595 m a profundidad del nivel a las 19 horas del día 13, momento en que se detuvo el bombeo y se comenzó a controlar la recuperación del nivel.
4. Desde las 7,10 horas del día 13, se midió la recuperación del nivel hasta las 15,50 horas del día 15. Es decir el tiempo de recuperación fué de 3.400 minutos, más del triple de la duración del bombeo, al cabo de los cuales el nivel había ascendido hasta alcanzar la profundidad de 156,78 metros, persistiendo una depresión residual de 0,27 metros.

La evolución del nivel piezométrico en las cuatro operaciones, se controló con medidas de profundidad del nivel en el pozo realizadas con sonda eléctrica bipolar y según una secuencia temporal logarítmica para facilitar la representación gráfica de los esquemas clásicos de interpretación de bombeos de ensayo.

4.6.- INTERPRETACION

Las reservas expuestas en los apartados 4.1. a 4.3. sobre las posibilidades de obtener información cuantitativa, únicamente fiable, a partir de un ensayo de inyección de agua en un pozo del sector acuífero de Arinaga-Tirajana, se han visto plenamente ratificadas por los resultados que se deducen del ensayo realizado.

A todas las circunstancias limitantes mencionadas anteriormente hay que añadir el carácter incompleto del ensayo, que lo fué por dos razones:

- la primera, es la duración limitada del ensayo, que condiciona unos tiempos, de inyección y de bombeo, inferiores al tiempo necesario para superar el efecto de capacidad del pozo, como demuestran las evoluciones rectilíneas depresión (o ascenso)-tiempos en coordenadas aritméticas, y
- la segunda, es que los puntos de partida y de final de las pruebas realizadas no corresponden a un régimen no influenciado del acuífero, sino a un estado hidrodinámicamente muy alterado por las explotaciones.

A pesar de todo, las deficiencias del ensayo eran un hecho perfectamente asumido y no son impedimento para obtener las informaciones deseadas, incluso más amplias de lo que cabía esperar, puesto que, no sólo se han obtenido conclusiones satisfactorias, en el orden práctico, sobre las diferentes respuestas del acuífero sometido a depresión o a sobrepresión, sino que también se ha mejorado el conocimiento del funcionamiento del acuífero cuando se lo somete a un régimen de extracciones tan intenso como el vigente en esa zona.

El análisis de las pruebas se ha efectuado globalmente, contemplando en conjunto la inyección y el bombeo, y se puede dividir en dos partes, una el estudio de la evolución del nivel a lo largo del ensayo y otra el estudio comparativo de inyección y bombeo, que se describen en los dos apartados siguientes junto con las conclusiones que se han deducido.

4.6.1.- Evolución de niveles

El estudio de la evolución del nivel en el pozo se ha basado en la representación, en coordenadas aritméticas, continua del nivel en función del tiempo, desde los controles previos hasta la terminación del ensayo de recuperación final (Fig. A.5.10).

Además se han dibujado las gráficas semilogarítmicas clásicas en las Figs. A.5.11 (depresiones-logaritmo de tiempo, ascensos o sobrepresiones-logaritmo de tiempo) y A.5.12 (recuperaciones positivas o negativas, según se refieran a bombeo inyección previa, tanto de alturas (o descensos) recuperados-logaritmo de tiempo, como depresiones residuales o ascensos residuales-logaritmo de $t + t'/t'$, donde t es el tiempo de bombeo o de inyección y t' el tiempo de recuperación).

Desde una perspectiva general hay dos cosas que resaltan en el hidrograma de la Fig. A.5.10.

La primera de ellas, es el carácter rectilíneo, simple o múltiple, que tienen las evoluciones durante la inyección y durante el bombeo, menos acusado en el bombeo. Ello es una manifestación patente del efecto de capacidad del pozo que, sin duda, es superior a las 18 horas que duraron las pruebas de extracción e inyección. En realidad, este aspecto era conocido y esperado, pero no es evitable porque, como ya se ha comentado, no hay posi

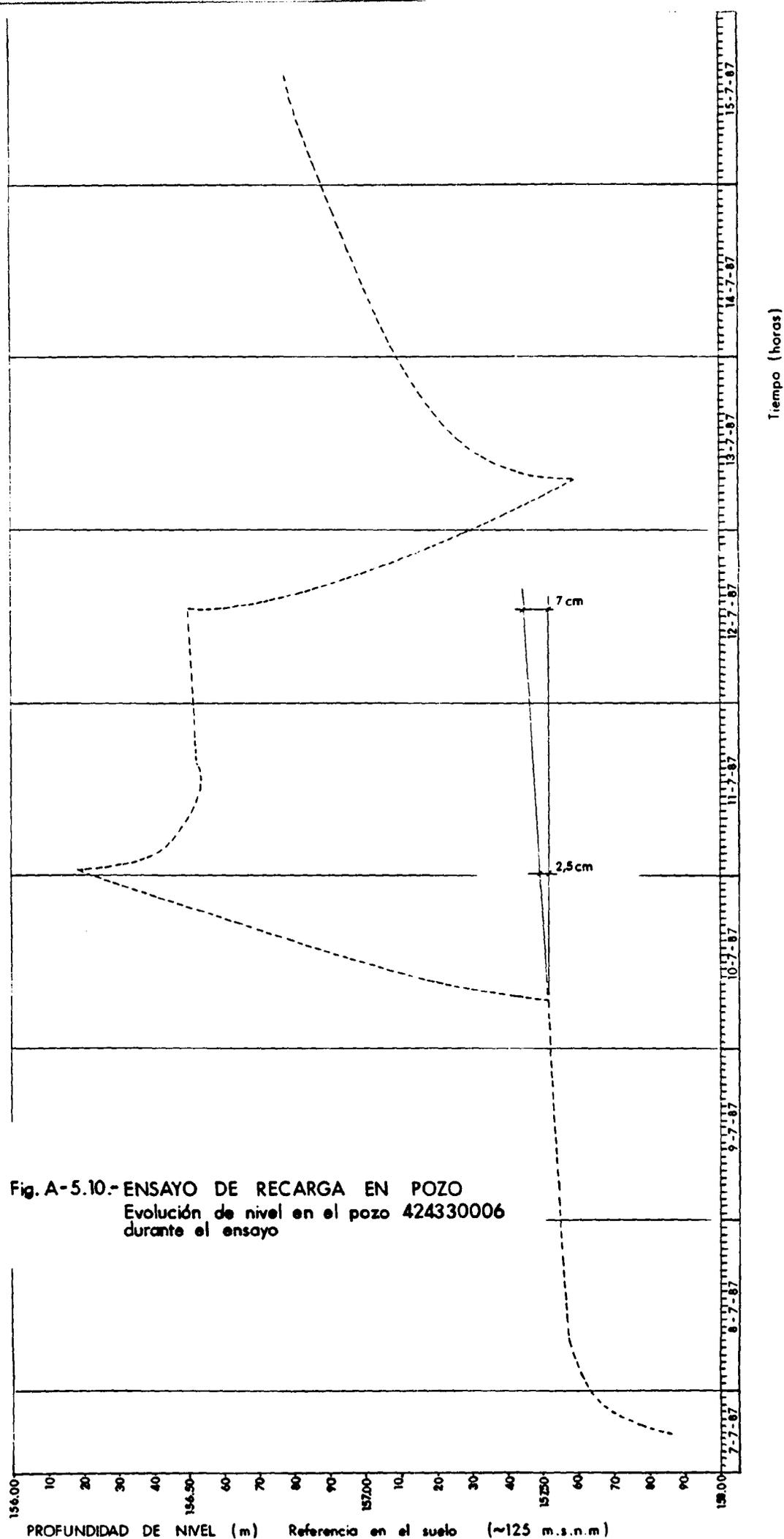
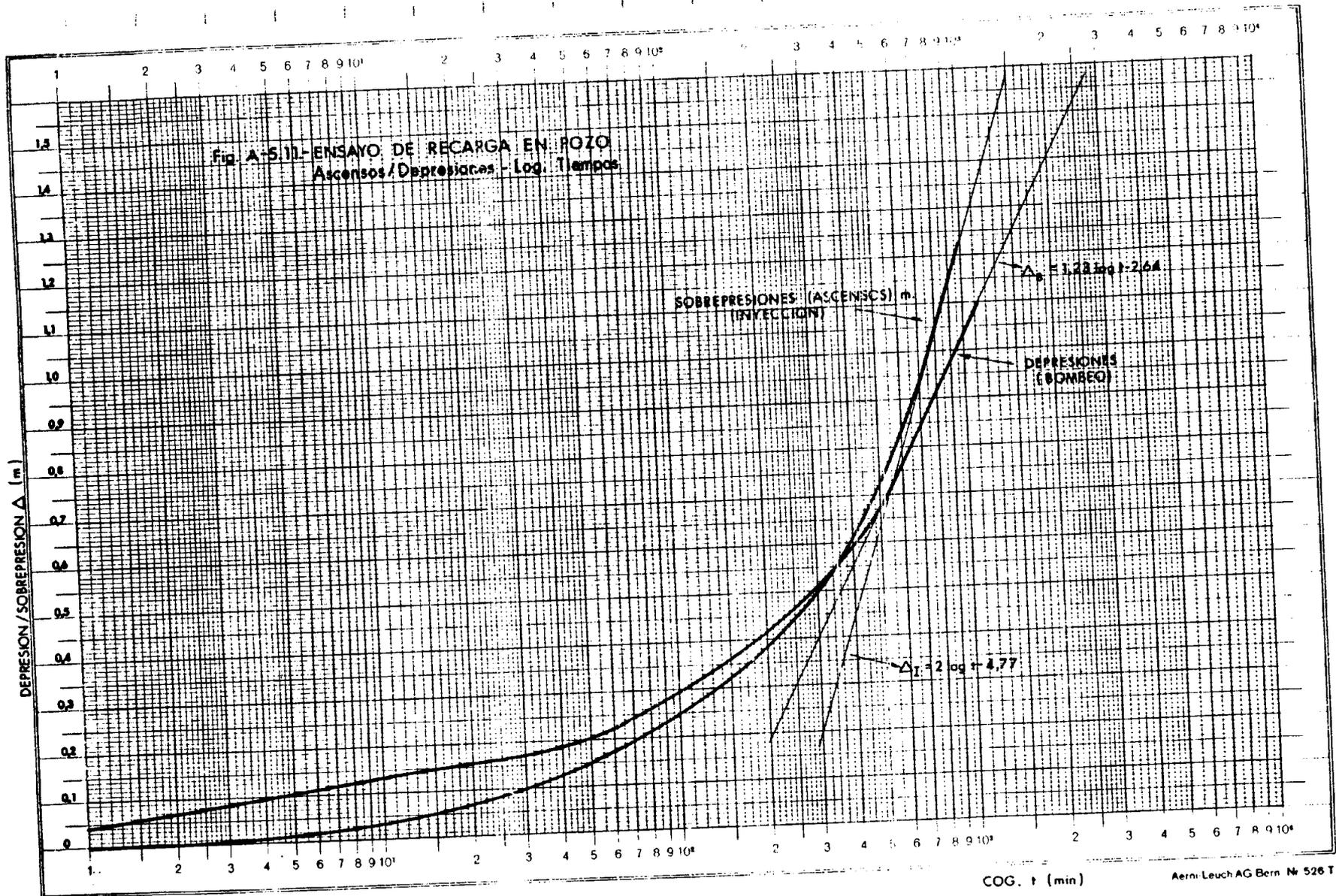


Fig. A-5.10.- ENSAYO DE RECARGA EN POZO
Evolución de nivel en el pozo 424330006
durante el ensayo

PROFUNDIDAD DE NIVEL (m) Referencia en el suelo (~125 m.s.n.m)



Logar. Teilung } 1:10000 Einheit } 82.5 mm
Division } Unité }

Aerni-Leuch AG Bern Nr. 526 T

DESCENSO RECUPERADO

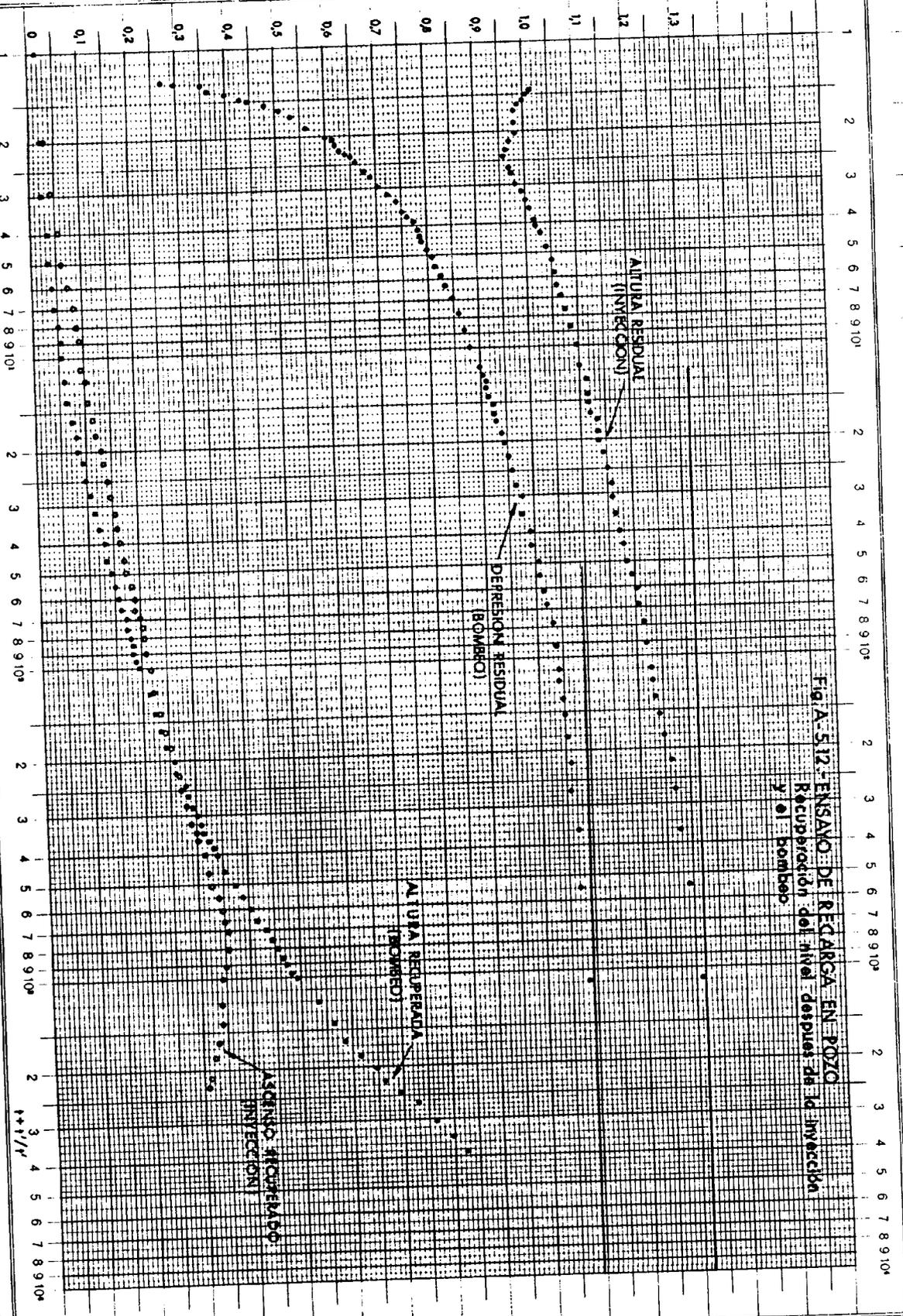


FIG. A-5.12. ENSAYO DE RECARGA EN POZO
Recuperación del nivel después de la inyección
y el bombeo

Logar. Tealung | 1-100000
Unite | 825 mm

Aerri-Lauch AG Bern Nr. 526 T

bilidad de reunir todos los elementos necesarios para acometer un ensayo en condiciones que se aproximen a la idealidad.

El segundo efecto interesante es la forma de la curva que representa la asimilación, por parte del acuífero, de la sobrepresión causada por la inyección del agua a caudal constante. La evolución debería ser un descenso continuo hasta anularse - la sobrepresión, sin embargo, no ocurre así, sino que, por el contrario, a partir del minuto 800, la curva cambia de pendiente y comienza un ascenso de nivel que tiene la misma pendiente que tenía la evolución del nivel en el ensayo de reposo anterior al inicio del ensayo de inyección.

En realidad, el efecto es como si la curva de recuperación antes de la inyección, hubiera sido interrumpida en el nivel - 157,51 m a las 7,10 h del día 10/7/87, trasladada hasta las - 14,30 h del día 11/7/87 y se hubiera reiniciado en ese momento con el nivel a 156,545 metros de profundidad.

¿A qué es debido este hecho?. La explicación es puramente teórica, porque faltan observaciones reales en piezómetros auxiliares, pero lógica:

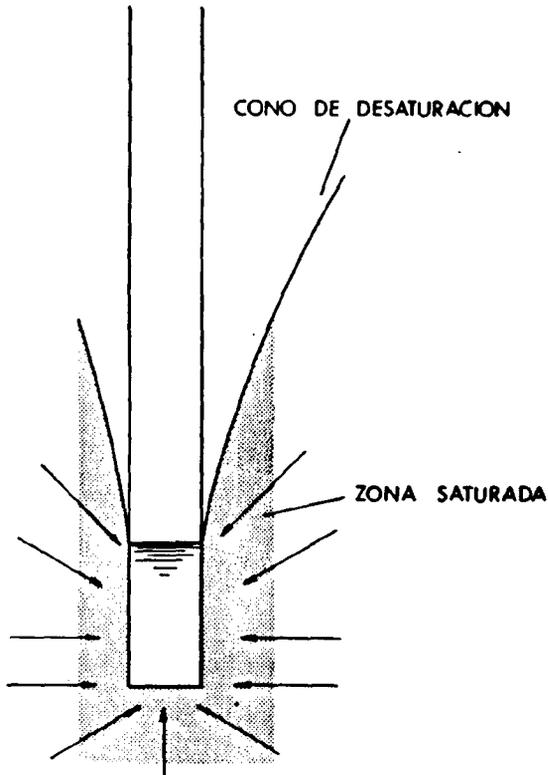
- en primer lugar, el manto está en plena recuperación, que se produce con una elevación de nivel a un ritmo observado de 3 cm/día,
- posiblemente, esa tendencia sea generalizada en todo el acuífero de la zona del Estudio porque en verano se aprecia una disminución de los bombeos,
- el agua suministrada al pozo durante la inyección, un volúmen de 324 m³, se infiltra por diferencia de presión sólo en par

te, porque en realidad no se crea un domo de agua en el acuífero, sino solamente en el pozo,

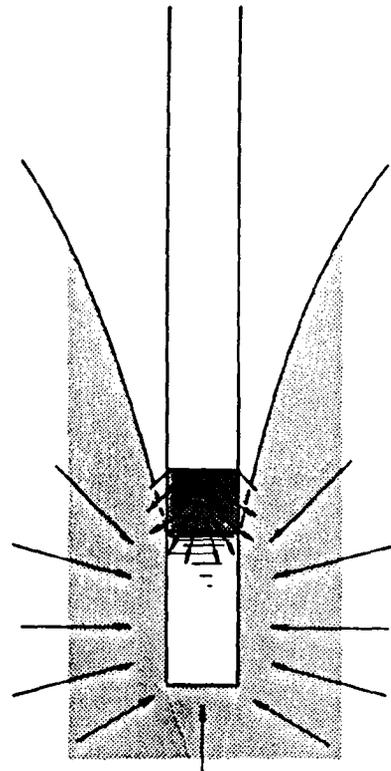
- el agua, del domo creado, tiene dificultad para sumarse al agua del pozo y penetrar en el acuífero a través de la zona saturada por la inercia del manto en recuperación, reforzada por los gases liberados que tienden a dificultar el teórico movimiento descendente del agua;
- por el contrario, la zona desaturada en torno al pozo (de forma de anillo cónico) está muy desarrollada por el bombeo continuo, facilitando que el agua inyectada penetre en la roca y sature en parte esa franja desaturada, hasta llegar a coincidir con la superficie del manto,
- según lo observado, este proceso de "llenado" de la zona vacía creada al avanzar el cono de desaturación como consecuencia del bombeo, es rápido, a pesar del efecto perturbador del gas y del aire disuelto en el agua inyectada, porque al cabo de un tiempo menor de la mitad del de inyección, la sobrepresión es asimilada por el manto, y continúa la recuperación como si no hubiera pasado nada.

Este mecanismo descrito, permite obtener una conclusión importante, evidentemente a nivel cualitativo, que confirma, a su vez, una presunción anterior lógica que no había podido comprobarse. Se refiere a que, necesariamente, el cono de desaturación del pozo es muy poco extendido en sentido lateral y muy profundo, como si fuera un sumidero puntual, porque su reacción ha sido muy rápida para un volumen discreto de inyección.

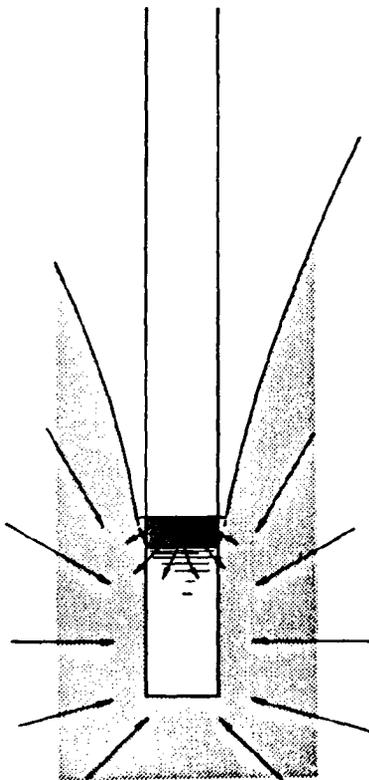
Lo descrito se ha ilustrado de forma teórica en la Fig. A.5.13. en la que se diferencian los cuatro estados elementales que pueden constituir la esencia del mecanismo.



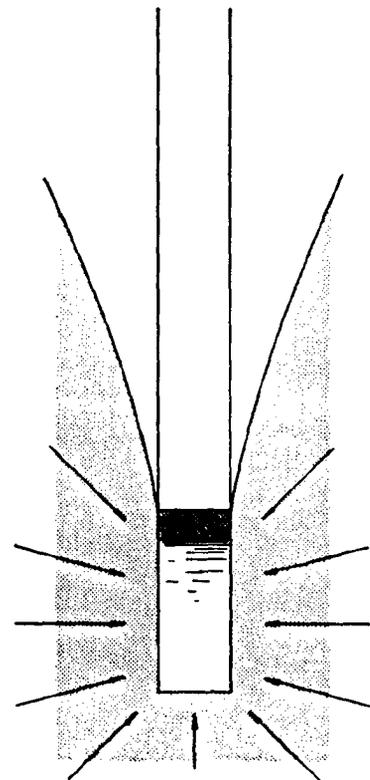
1. ESTADO INICIAL



2. ESTADO INTERMEDIO DE SOBREPRESION



3. DEPRESION ABSORBIDA



4. ESTADO FINAL

A-5.13.-ENSAYO DE RECARGA EN POZO.-
REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL MECANISMO DE INFILTRACION DE AGUA POR SOBRECARGA EN EL POZO 424330006

4.6.2.- Comparación inyección-bombeo

De los dos parejas de procesos simétricos bombeo-inyección, recuperación-infiltración, sólo tiene utilidad la comparación - entre el bombeo y la inyección, porque el descenso ligado a la filtración tras la inyección no es comparable con la curva de recuperación del manto después del bombeo.

A lo largo de este proyecto se han explicado profusamente las razones por las que no se puede recurrir a esquemas clásicos de interpretación para obtener los coeficientes de formación (en este caso sería sólo la T), por lo cual, no tiene objeto insistir de nuevo en ello.

La observación de las representaciones de depresiones y sobrepresiones, tanto en el gráfico con abscisas aritméticas (Fig. A.5.10) como con abscisas logarítmicas (Fig. A.5.11) pone de manifiesto, a primera vista, un comportamiento hidrodinámico del acuífero diferente en bombeo y en inyección, de cuyo estudio se obtiene la información a dos niveles:

- un primer nivel, que puede denominarse pseudocuantitativo, porque consiste en caracterizar los efectos diferenciales de los dos comportamientos con los valores de los caudales específicos y/o depresiones específicas; no llega a tener una validez cuantitativa porque los valores inicial y final del nivel no corresponden a estados del manto en reposo y, por lo tanto, las referencias son sólo relativas, y
- un segundo nivel, de carácter cualitativo, consistente en identificar las posibles causas inductoras de la diferente respuesta del acuífero.

4.6.2.1.- Diferencias

Las dos curvas semilogarítmicas depresión/sobrepresión log. de tiempo tienen una forma similar con un aumento progresivo de pendiente, más acusado en la inyección que en el bombeo. Al final, el mayor ritmo de crecimiento de Δ en inyección se tradujo en una depresión total de 1,32 m con un caudal de inyección de 5 l/s, mientras que en el bombeo, realizado con un caudal superior de 5,5 l/s, la depresión total fué de 1.095 metros, para una misma duración de ambas pruebas.

Para calcular los caudales específicos relativos de los dos casos y poder compararlos, la sobrepresión se ha corregido restando la contribución del ascenso general del mano, que se ha valorado (ver Fig. A.5.10) en 3 cm. Por tanto, la sobresión fué de 1,29 m.

Por lo tanto, los CAUDALES ESPECIFICOS son:

- INYECCION

$$\Delta = 1,29 \text{ m}$$

$$Q = 5,0 \text{ l/s}$$

$$Q/\Delta = 3,88 \text{ l/s/m}$$

- BOMBEO

$$\Delta = 1,095 \text{ m}$$

$$Q = 5,5 \text{ l/s}$$

$$Q/\Delta = 5,02 \text{ l/s/m}$$

Es decir, en términos generales puede decirse que el caudal específico en inyección es el 77% del caudal específico en bombeo.

Si se utilizan, las DEPRESIONES ESPECIFICAS, como elemento de comparación, la diferencia es:

- INYECCION : $\Delta / Q = 0,258$ (m/l/s)
- BOMBEO : $\Delta / Q = 0,199$ (m/l/s)

O sea, la depresión específica es un 30% mayor cuando se inyecta agua que cuando se extrae por bombeo.

Estos resultados, concretamente el caudal específico, son coherentes con la experiencia general, según la cual el caudal específico en inyección es de un 50 a un 70%, como máximo, del caudal específico en bombeo, sobre todo si se tiene en cuenta - que la diferencia, entre los caudales específicos observados en el ensayo, aumenta con el tiempo porque las curvas $\Delta - \log t$ se separan progresivamente a medida que aumenta el tiempo.

Utilizando los tramos finales de las evoluciones, las ecuaciones de las rectas, en coordenadas semilogarítmicas, son:

$$\Delta_I = 2 \log t - 4,77 \quad \text{para la inyección, y}$$

$$\Delta_B = 1,23 \log t - 2,64 \quad \text{para el bombeo}$$

Aunque no es muy riguroso porque los caudales de bombeo e inyección no fueron exactamente iguales, con las dos ecuaciones puede obtenerse una expresión aproximada de la ley de variación de la diferencia entre las depresiones y sobrepresiones - que se han medido en el ensayo, resultando:

$$\Delta_I - \Delta_B = 0,77 \log t - 2,13$$

Esta expresión permite estimar la sobrepresión total (ascenso de nivel) que se producirá en un pozo en el que se infiltrase un caudal sensiblemente igual al de bombeo, conociendo el régimen de bombeo habitual del pozo, es decir, caudales de extracción y depresiones totales para tiempos de bombeo dados.

Por último, aún se puede hacer otra valoración, de carácter ilustrativo, basada en una especulación, poco rigurosa, hecha a partir de las representaciones semilogarítmicas $\Delta - t$. Se trata de suponer válidas las rectas que se pueden ajustar a los tramos finales de las gráficas y, a partir de ellas, deducir la diferencia entre las transmisividades con que "funciona" el acuífero en bombeo y en inyección. Con las rectas representadas en la Fig. A.5.11 se obtienen, aplicando la formulación de Jacob, los siguientes valores de transmisividad:

$$T_I = 1,97 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$T_B = 2,72 \text{ m}^2/\text{h}$$

Haciendo abstracción de los dos valores de T , y considerándolos solamente a efectos comparativos, se puede decir que la transmisividad en inyección es aproximadamente el 70-75% de la transmisividad en bombeo.

4.6.2.2.- Causas

Los factores causantes del menor rendimiento del pozo en la inyección que durante el bombeo en condiciones normales, ya mencionados anteriormente, son los siguientes:

- En primer lugar, el estado general de recuperación del manto, que minimiza la infiltración, porque la sobrepresión creada, - 1,3 metros, es mucho menor que la depresión permanente a que - está sometido el manto, que, como poco, se puede estimar en - algunas decenas de metros si se tiene en cuenta que el nivel deprimido está habitualmente a cotas negativas comprendidas - entre 30 y 80 bajo el nivel del mar.

- En segundo lugar, la colmatación aparente que produce el efecto combinado del aire disuelto que aporta el agua de inyección y del gas que se libera en el acuífero por la agitación causada y por la elevación general de la superficie del manto. La liberación de gas durante la prueba fué realmente intensa, - hasta el punto de que era observable visualmente su salida - por la boca del pozo además de su efecto sobre el nivel de - conciencia de los técnicos que controlaron el ensayo.

A.5.8.- ENSAYO DE RECARGA EN POZO

Ensayo de inyección: Ascensos

DIA	HORA	t (min.)	PROF. NIVEL (m)	DEPRESION
10/07/87	7,10	0	161,68	0,00
		2	161,68	0,00
		3	161,68	0,00
		4	161,67	0,01
		5	161,67	0,01
		6	161,66	0,02
		7	161,65	0,03
		8	161,65	0,03
		9	161,65	0,03
		10	161,64	0,04
		12	161,63	0,05
		14	161,63	0,05
	16	161,62	0,06	
	18	161,61	0,07	
	20	161,61	0,07	
	22	161,60	0,08	
	25	161,59	0,09	
	28	161,58	0,10	
	32	161,57	0,11	
	36	161,56	0,12	
	40	161,55	0,13	
	45	161,54	0,14	
	50	161,53	0,15	
	55	161,51	0,17	
8,10	60	161,50	0,18	
	65	161,49	0,19	
	70	161,48	0,20	
	75	161,47	0,21	
	80	161,46	0,22	
	90	161,45	0,23	
9,10	100	161,43	0,25	
	120	161,40	0,28	

CUADRO A.5.8.- CONTINUACION

DIA	HORA	t (min.)	PROF. NIVEL (m)	DEPRESION
11/07/87	9,10	160	161,35	0,33
	10,10	180	161,32	0,36
		200	161,295	0,385
		220	161,26	0,42
	11,20	250	161,23	0,45
	11,50	280	161,19	0,49
	12,30	320	161,15	0,53
	13,10	360	161,10	0,58
	13,30	400	161,06	0,62
	14,40	450	161,00	0,68
	15,30	500	160,95	0,73
	16,20	550	160,89	0,79
	17,10	600	160,85	0,83
	18,00	650	160,80	0,88
	18,50	700	160,74	0,94
	19,40	750	160,69	0,99
	20,30	800	160,63	1,05
	21,20	850	160,595	1,085
	22,10	900	160,54	1,1
	23,10	960	160,48	1,20
0,25	1035	160,39	1,29	
1,10	1080	160,36	1,32	

CUADRO A.5.9.- ENSAYO DE RECARGA EN POZO

Ensayo de inyección: Descensos

DIA	HORA	t' (min.)	$\frac{t^* + t'}{t'}$	PROF. NIVEL (m)	DEPRESION RESIDUAL (m)	ALTURA RECUPERADA (m)
11/07/87	1,10	0	∞	160,36	1,32	0,00
		1	1081	160,375	1,31	0,015
		2	541	160,39	1,29	0,03
		3	361	160,405	1,275	0,045
		4	271	160,415	1,265	0,055
		5	217	160,42	1,26	0,06
		6	181	160,43	1,25	0,07
		7	155	160,44	1,24	0,08
		8	136	160,445	1,235	0,085
		9	121	160,45	1,23	0,09
		11	109	160,455	1,225	0,095
		12	91	160,46	1,22	0,10
		14	78	160,465	1,215	0,105
		16	68,5	160,475	1,205	0,115
		18	61	160,48	1,20	0,12
	20	55	160,49	1,19	0,13	
	22	50	160,475	1,185	0,135	
	25	44	160,50	1,18	0,14	
	28	40	160,51	1,17	0,15	
	32	35	160,515	1,165	0,155	
	36	31	160,52	1,16	0,16	
	40	28	160,525	1,155	0,165	
	45	25	160,53	1,15	0,17	
	50	22,6	160,535	1,145	0,175	
	55	20,6	160,545	1,135	0,185	
	60	19	160,55	1,13	0,19	
	65	17,6	160,55	1,13	0,19	
	70	16,4	160,56	1,12	0,20	
	75	15,4	160,565	1,115	0,205	
	80	14,5	160,565	1,115	0,205	
90	13,0	160,57	1,11	0,21		
100	11,8	160,58	1,10	0,22		
3,10	120	10,0	10,0	160,585	1,095	0,225

CUADRO A.5.9.- CONTINUACION.

DIA	HORA	t' (min.)	$\frac{t^* + t'}{t'}$	PROF. NIVEL (m)	DEPRESION RESIDUAL (m)	ALTURA RECUPERADA (m)
11/07/87		140	8,7	160,595	1,085	0,235
		160	7,75	160,605	1,075	0,245
	4,10	180	7,0	160,615	1,065	0,255
		200	6,4	160,62	1,06	0,26
		220	5,9	160,625	1,055	0,265
	5,20	250	5,3	160,63	1,05	0,27
	5,50	280	4,9	160,64	1,04	0,28
	6,30	320	4,4	160,65	1,03	0,29
	6,50	340	4,2	160,66	1,02	0,30
	7,10	360	4,0	160,66	1,02	0,30
	7,50	400	3,7	160,675	1,005	0,315
	8,40	450	3,4	160,68	1,00	0,32
	9,30	500	3,2	160,69	0,99	0,33
	10,20	550	3,0	160,70	0,98	0,34
	11,10	600	2,8	160,705	0,975	0,345
	12,00	650	2,7	160,71	0,97	0,35
	12,50	700	2,5	160,715	0,965	0,355
	14,30	850	2,35	160,71	0,965	0,355
	16,10	900	2,2	160,71	0,97	0,35
	17,50	1000	2,08	160,70	0,98	0,34
21,10	1200	1,9	160,70	0,98	0,34	
12/07/87	0,30	1400	1,77	160,70	0,98	0,34
	3,50	1600	1,67	160,69	0,99	0,33
	7,10	1800	1,6	160,685	0,995	0,325
	11,15	2045	1,53	160,675	1,005	0,315
	13,10	2160	1,5	160,67	1,01	0,31

CUADRO A.5.10.- Ensayo de recarga en pozo.

Bombeo de ensayo: descenso.

DIA	HORA	t (min.)	PROF. NIVEL (m)	DEPRESION (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
12/07/87	13,10	0	160,67	0,00		Tuberia descargada al inicio
		0,05	160,68	0,01		Medida real, restar - 4,17 m.
		1	160,705	0,035		
		2	160,735	0,065		
		3	160,75	0,08		
		4	160,76	0,09		
		5	160,77	0,10		
		6	160,78	0,11		
		7	160,785	0,115		
		8	160,79	0,12		
		9	160,795	0,125		
		10	160,80	0,13		
		12	160,805	0,135		
		14	160,81	0,14		
		16	160,82	0,15		
	18	160,825	0,155			
	20	160,83	0,16			
	22	160,835	0,165			
	25	160,84	0,17			
	28	160,845	0,175			
	32	160,85	0,18			
	36	160,855	0,185			
	40	160,86	0,19			
	45	160,865	0,195			
	50	160,87	0,20			
	55	160,88	0,21			
	14,10	60	160,895	0,225		
65		160,90	0,23			
70		160,905	0,235			
75		160,915	0,245			
80		160,92	0,25			

CUADRO A.5.10.- Continuación.

DIA	HORA	t (min.)	PROF. NIVEL (m)	DEPRESION (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
12/07/87	14,10	85	160,93	0,26		
		90	160,94	0,27		
		95	160,95	0,28		
		100	160,96	0,29		
	15,10	120	160,99	0,32		
	15,30	140	161,02	0,35		
	15,50	160	161,045	0,375		
	16,10	180	161,065	0,395		
	16,30	200	161,085	0,415		
	16,50	220	161,11	0,44		
	17,10	240	161,13	0,46		
	17,30	260	161,145	0,475		
	17,50	280	161,16	0,49		
	18,10	300	161,18	0,51		
	18,30	320	161,20	0,53		
	18,50	340	161,22	0,55		
	19,10	360	161,245	0,575		
	19,30	380	161,27	0,60		
	19,50	400	161,29	0,62		
	20,40	450	161,325	0,655		
21,30	500					
22,20	550	161,41	0,74			
23,10	600	161,44	0,77			
24,00	650	161,49	0,82			
13/07/87	0,50	700	161,52	0,85		
	1,40	750	161,56	0,89		
	2,30	800	161,60	0,93		
	3,20	850	161,62	0,95		
	4,10	900	161,66	0,99		
	5,00	950	161,69	1,02		
	5,50	1000	161,72	1,05		
	7,10	1080	161,765	1,095		

Q = 5,6 l/s

Q = 5,48 l/s

CUADRO A.5.11.- Ensayo recarga en pozo.

Bombeo de ensayo: recuperación.

DIA	HORA	t' (min.)	$\frac{t + t'}{t'}$	PROF. NIVEL (m)	DEPRESION RESIDUAL (m)	ALTURA RECUPERADA (m)
13/07/87	7,10	0		161,765	1,095	0,0
		1	1081	161,75	1,08	0,015
		2	541	161,745	1,075	0,02
		3	361	161,74	1,070	0,025
		4	271	161,73	1,06	0,035
		5	217	161,73	1,06	0,035
		6	181	161,725	1,055	0,04
		7	155	161,72	1,05	0,045
		8	136	161,715	1,045	0,05
		9	121	161,71	1,04	0,055
		10	109	161,71	1,04	0,055
		12	91	161,705	1,035	0,06
		14	78	161,70	1,03	0,065
		16	68,5	161,69	1,02	0,075
		18	61	161,685	1,015	0,08
		20	55	161,68	1,01	0,085
		22	50	161,675	1,005	0,09
		25	44	161,665	0,995	0,10
		28	40	161,66	0,99	0,105
		32	35	161,65	0,98	0,115
		36	31	161,645	0,975	0,12
		40	28	161,635	0,965	0,13
		45	25	161,63	0,96	0,135
		50	22,6	161,62	0,95	0,145
		55	20,6	161,615	0,945	0,15
		8,10	60	161,61	0,94	0,155
8,05	65	161,60	0,93	0,165		
8,10	70	161,595	0,925	0,17		
8,15	75	161,595	0,925	0,17		
8,20	80	161,585	0,915	0,18		
8,25	85	161,58	0,91	0,185		
8,30	90	161,58	0,91	0,185		
8,35	95	161,575	0,905	0,19		

CUADRO A.5.11.- Continuación.

DIA	HORA	t' (min.)	$\frac{t + t'}{t'}$	PROF. NIVEL (m)	DEPRESION RESIDUAL (m)	ALTURA RECUPERADA (m)
13/07/87	8,40	100	11,8	161,57	0,90	0,195
	9,10	120	10	161,55	0,88	0,215
	9,20	140	8,7	161,54	0,87	0,225
	9,40	160	7,75	161,53	0,86	0,235
	10,10	180	7	161,52	0,85	0,245
	10,20	200	6,4	161,505	0,835	0,26
	10,40	220	5,9	161,50	0,83	0,265
	11,10	240	5,5	161,485	0,815	0,28
	11,20	260	5,2	161,48	0,81	0,285
	11,40	280	4,9	161,47	0,80	0,295
	12,10	300	4,6	161,46	0,79	0,305
	12,20	320	4,4	161,455	0,785	0,31
	12,40	340	4,2	161,45	0,78	0,315
	13,10	360	4,0	161,44	0,77	0,325
	13,20	380	3,8	161,43	0,76	0,335
	13,50	400	3,7	161,425	0,755	0,34
	14,40	450	3,4	161,41	0,74	0,355
	15,30	500	3,2	161,39	0,72	0,375
	16,20	550	3,0	161,375	0,705	0,39
	17,10	600	2,8	161,36	0,69	0,405
	18,00	650	2,7	161,35	0,68	0,415
	18,50	700	2,5	161,33	0,66	0,435
	19,40	750	2,44	161,32	0,65	0,445
20,30	800	2,35	161,31	0,64	0,455	
21,20	850	2,30	161,30	0,63	0,465	
22,10	900	2,1	161,29	0,62	0,475	
23,00	950	2,1	161,285	0,615	0,48	
23,50	1000	2,08	161,27	0,60	0,495	
14/07/87	3,10	1200	1,9	161,23	0,56	0,535
	6,30	1400	1,77	161,20	0,53	0,565
	9,50	1600	1,67	161,18	0,51	0,585
	13,10	1800	1,6	161,15	0,48	0,615
	16,30	2000	1,54	161,115	0,445	0,65

CUADRO A.5.11.- Continuación.

DIA	HORA	t' (min.)	$\frac{t + t'}{t'}$	PROF. NIVEL (m)	DEPRESION RESIDUAL (m)	ALTURA RECUPERADA (m)
14/07/87	19,50	2200	1,5	161,10	0,43	0,665
	23,10	2400	1,45	161,07	0,40	0,695
15/07/87	02,30	2600	1,4	161,035	0,365	0,73
	09,10	3000	1,36	161,00	0,35	0,765
	12,30	3200	1,33	160,975	0,295	0,80
	15,50	3400	1,3	160,95	0,27	0,825

5.- APENDICE

DOCUMENTACION GRAFICA

5.1.- INSTALACIONES DE RECARGA
ACTUALES

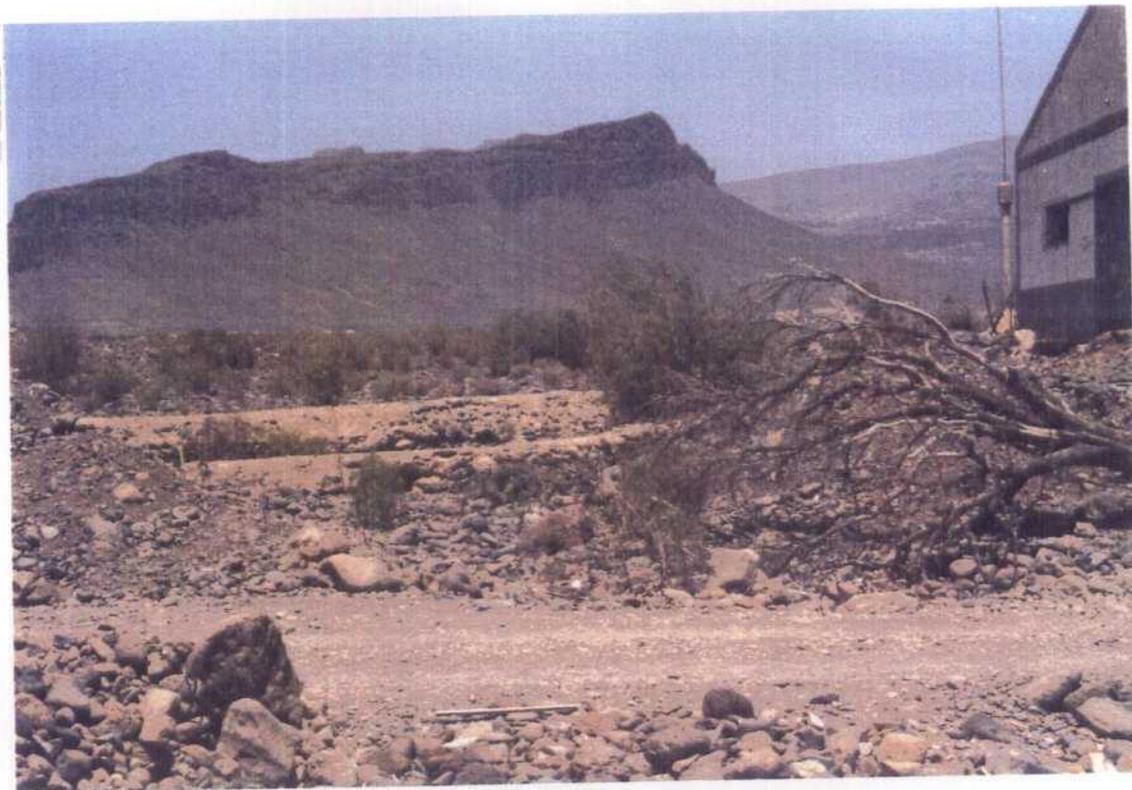


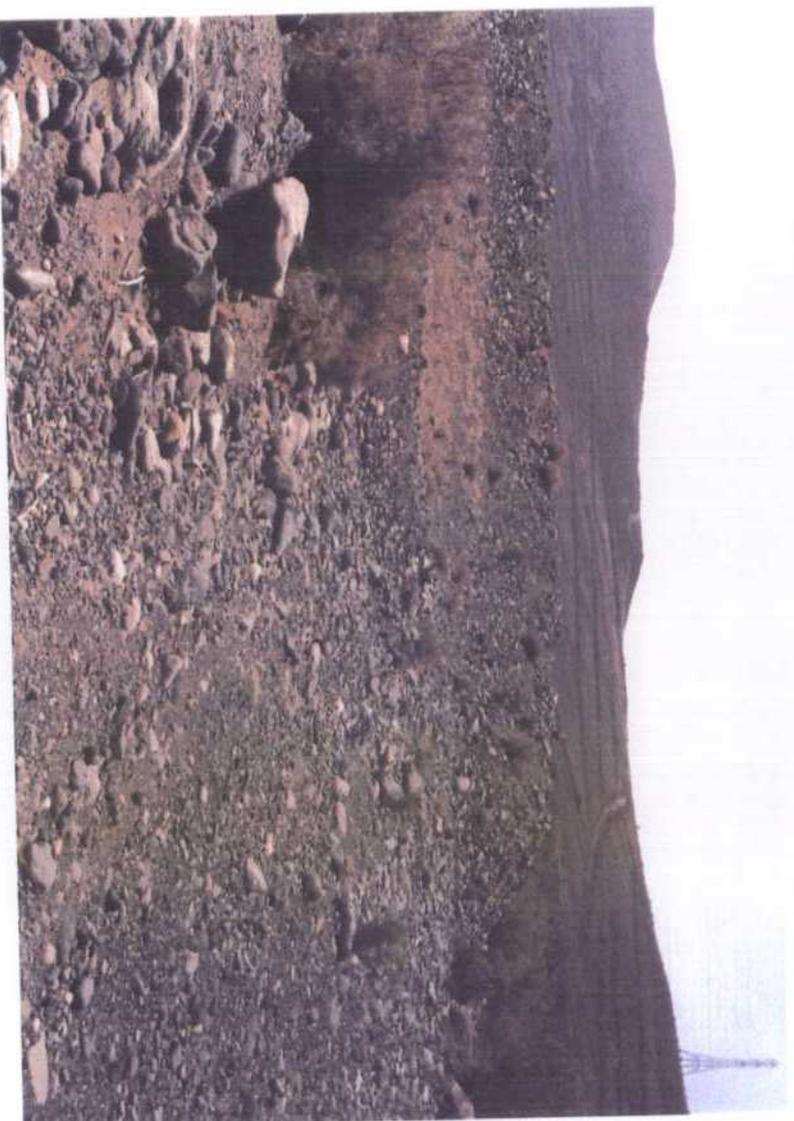
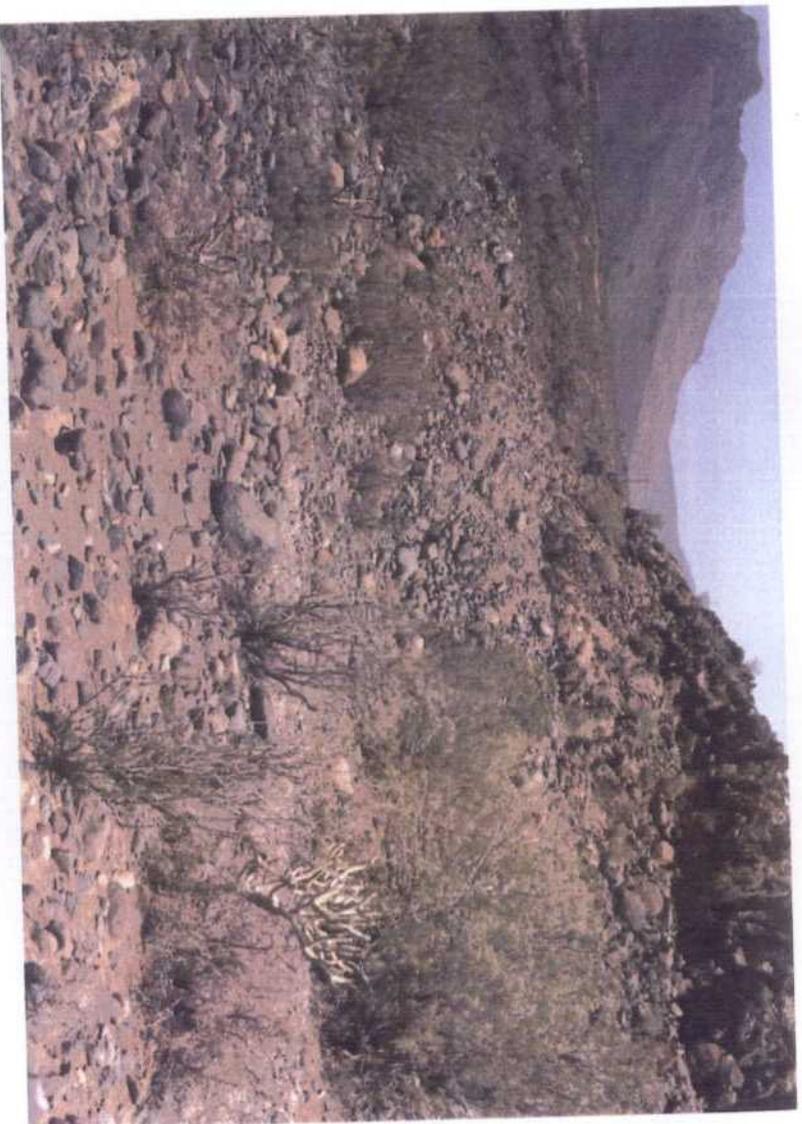
FOTO 5.1.1.- Instalación de recarga en el pozo nº 424330025.
Vista frontal de los diques y caseta del pozo (a
la derecha).



FOTO 5.1.2.- Instalación de recarga en el pozo nº 424330025.
Vista lateral de los diques desde el pozo.



FOTOS 5.1.3 y 5.1.4.- Instalación de recarga en el pozo 424330025.
Vista de detalle de los diques desde aguas -
arriba (superior) y desde aguas abajo (inferior).

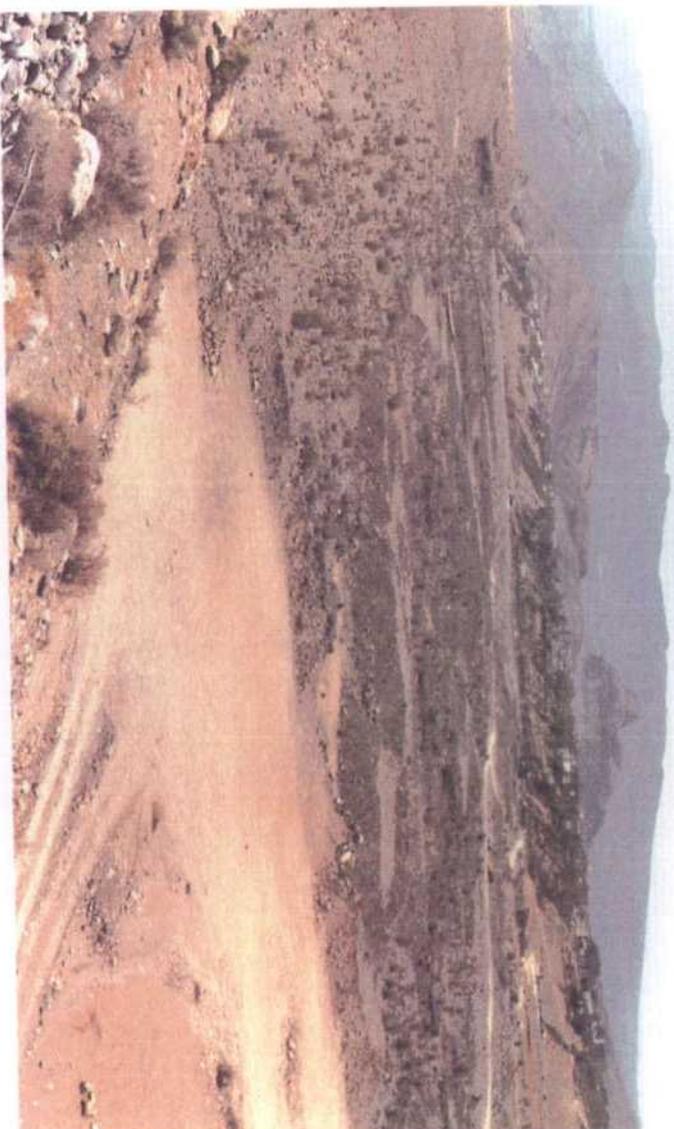


FOTOS 5.1.5. y 5.1.6.- Dique de retención en el Barranco de Balos.
Vista desde el exterior (arriba) y del interior (abajo) de la cuenca de infiltración limitada por el dique.



FOTOS 5.1.7. y 5.1.8.- Acondicionamiento del barranco de Tirajana. Vistas en el sentido de aguas abajo (inferior). Detalle de diques y zonas de embalsamiento.

(Superior) Vista general con graveras actuales en primer plano y diques al fondo.



FOTOS 5.1.9. Y 5.1.10.- Acondicionamiento del Bco. de Firaajana.
Detalle de las explotaciones de grava,
espesor de acarreo y suelo residual.



FOTO 5.1.11.- Acondicionamiento del Bco. de Tirajana. Vista en el sentido aguas arriba. Diques a la altura de la población de Sardina (a la izquierda el pozo 424330068).



FOTO 5.1.12.- Acondicionamiento del Barranco de Tirajana. Detalle de los diques situados al fondo en la foto anterior. Al otro lado del barranco pozos nos 424330059 y 30060, y el pueblo de Sardina.

5.2.- ENSAYOS DE RECARGA EN Balsa



FOTO 5.2.1.- Ensayo de recarga en balsa. Vista general de zona superior de los Llanos y situación del ensayo.

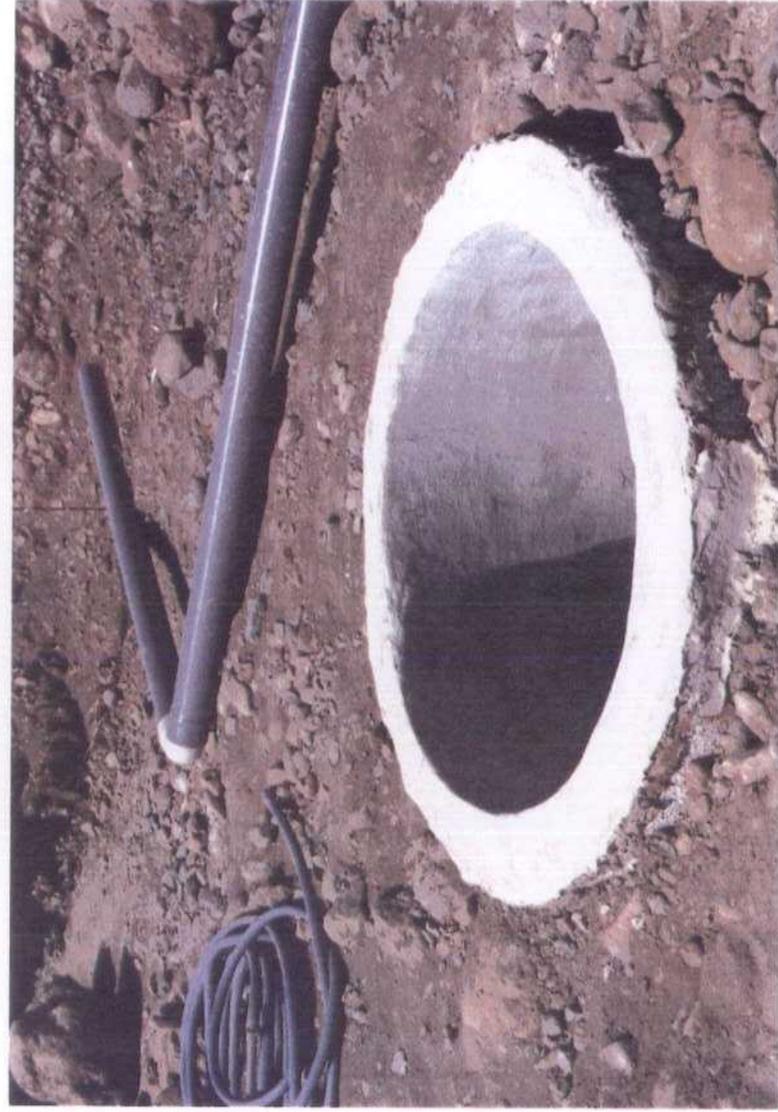
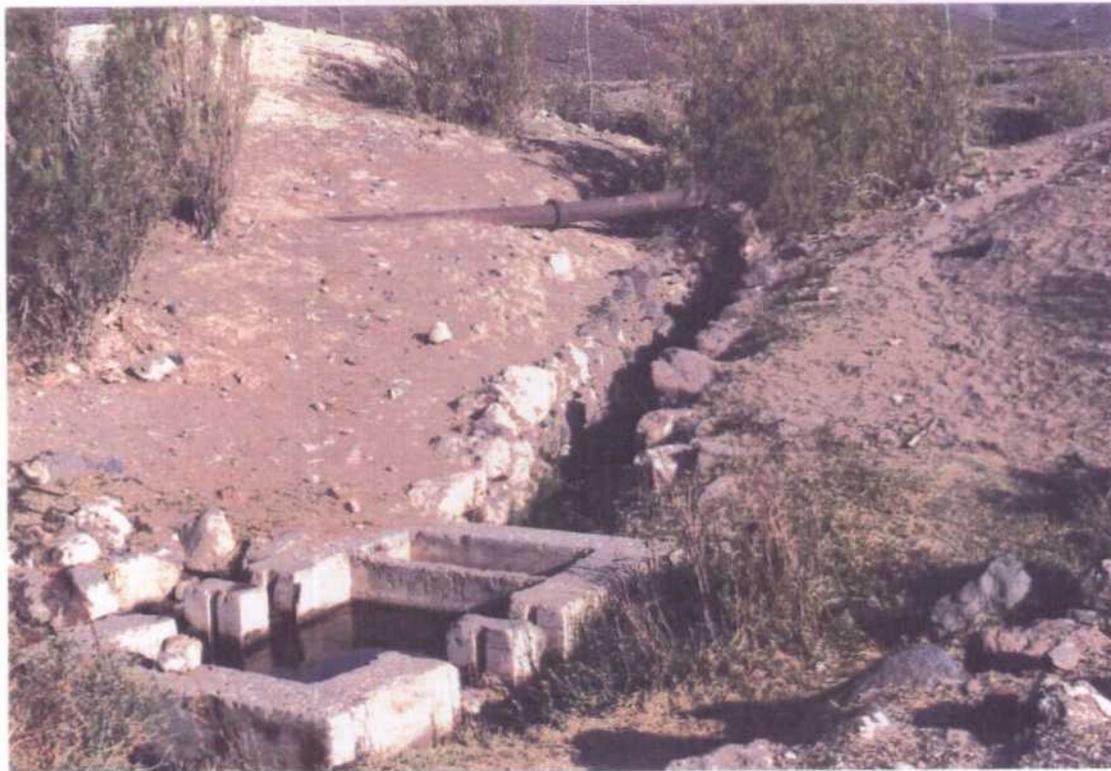


FOTO 5.2.4. y 5.2.5.- Ensayo de recarga en balsa. Detalle de tanque evaporimétrico y tubería de conducción de agua en la balsa.



FOTOS 5.2.6. y 5.2.7.- Ensayo de recarga en balsa. Vistas del estanque superior con detalle de válvula de salida.



FOTOS 5.2.8. y 5.2.9.- Ensayo de recarga en balsa. Vistas del es tanque intermedio, canal de salida y ar queta de distribución.

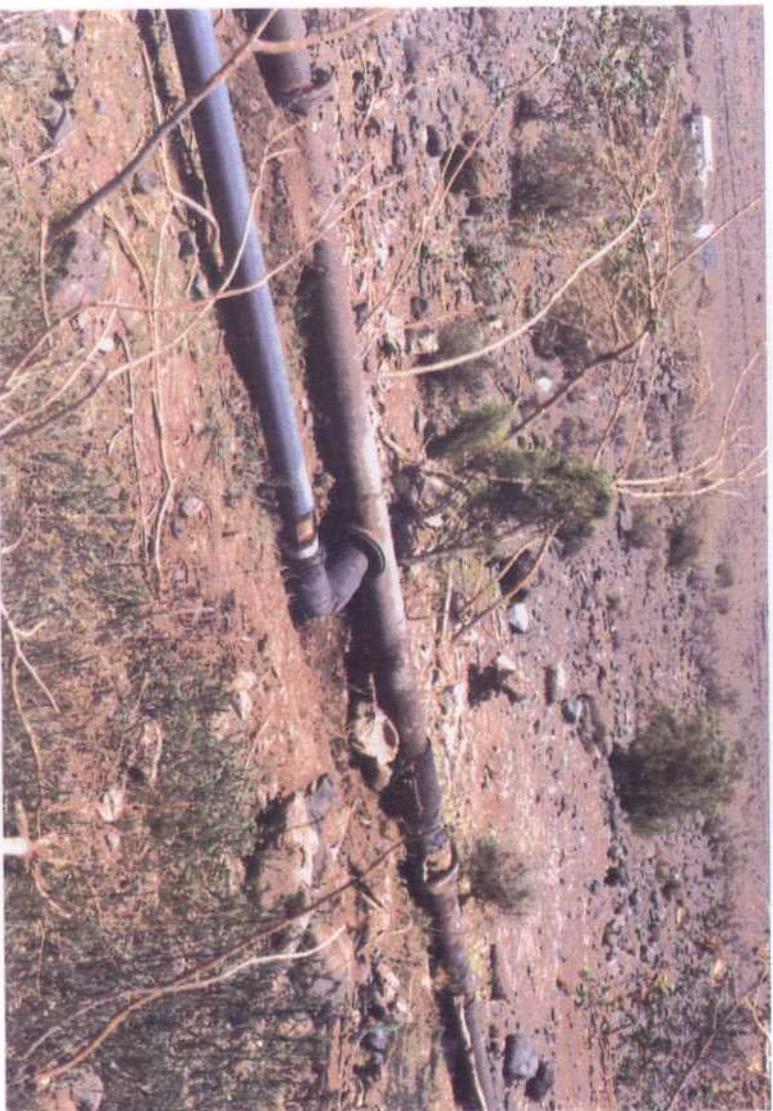


FOTO 5.2.10.- Ensayo de recarga en balsa. Derivación de tubería de conducción. Codo y válvula de regulación de caudal.



FOTO 5.2.11.- Ensayo de recarga en balsa. Conducción hasta el vertedero y arqueta de salida.



FOTO 5.2.12.- Ensayo de recarga en balsa. Detalle del limnigrafo.



FOTO 5.2.13.- Ensayo de recarga en balsa. Conducción desde el vertedero hasta la balsa. A la dcha. tubería de suministro y al fondo caseta del pozo 424330028.



FOTO 5.2.14.- Ensayo de recarga en balsa. Vista de la balsa durante el llenado. Día 6/7/87.

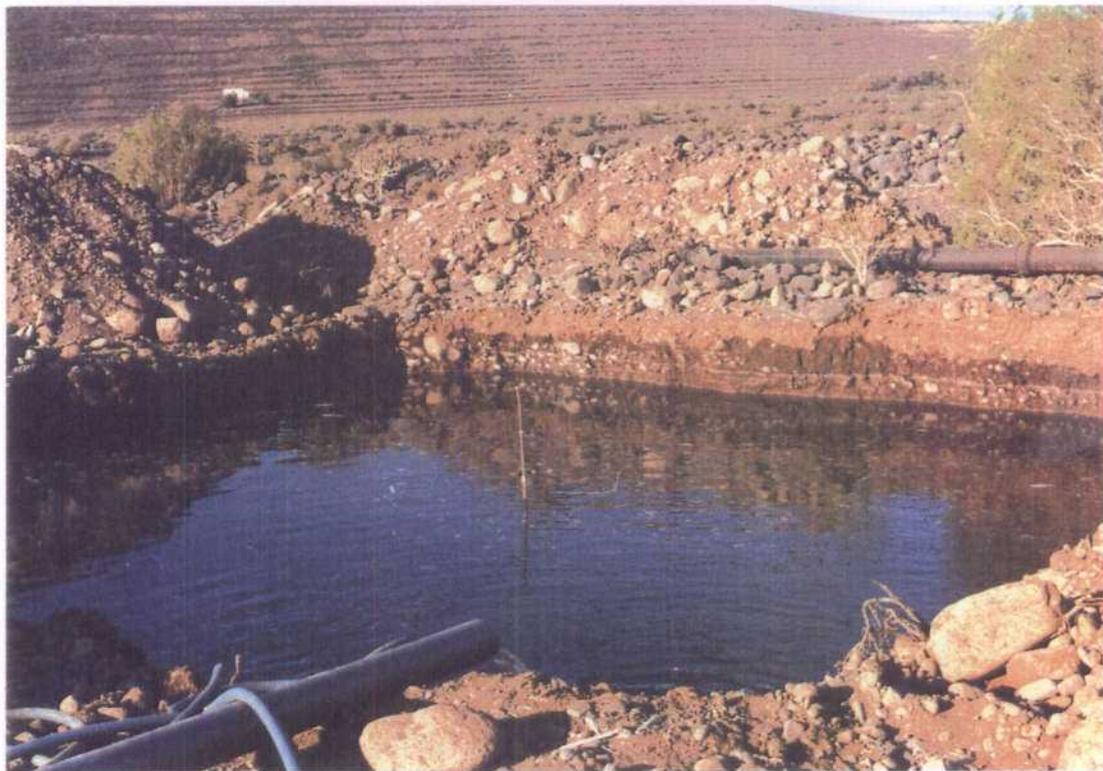


FOTO 5.2.15.- Ensayo de recarga en balsa. Estado a las 9,00 horas del día 7/7/87 con una carga de agua de 0,90 m.



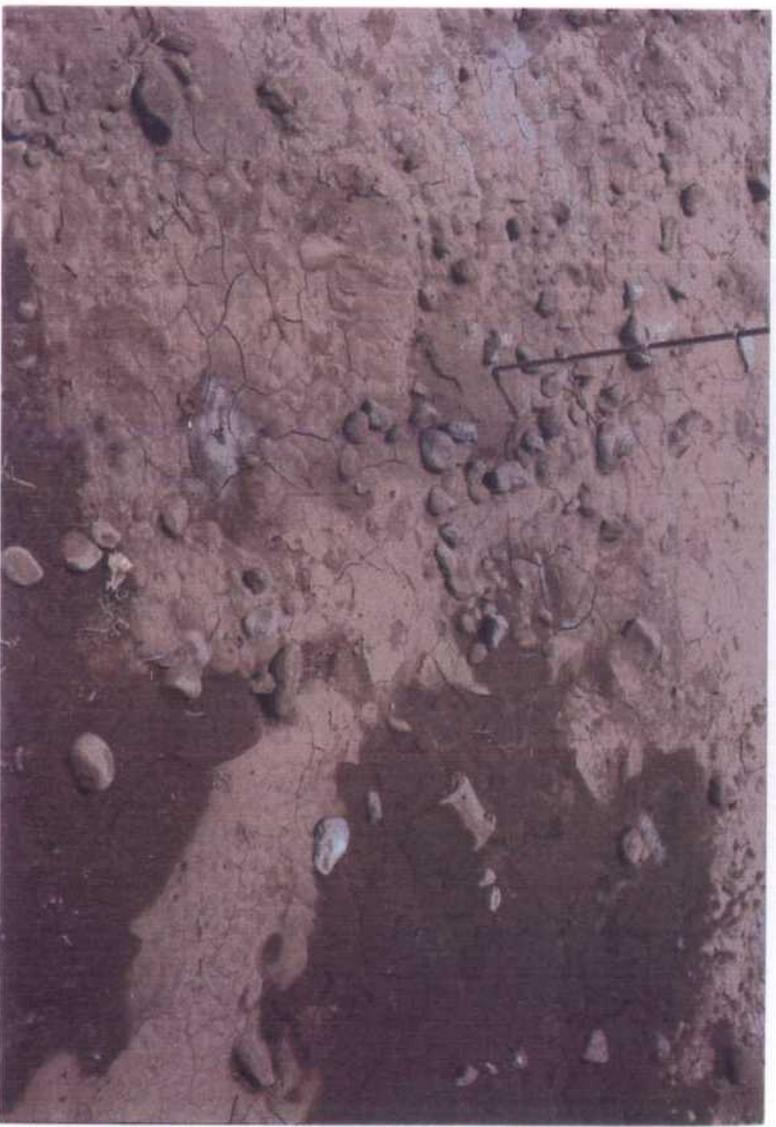
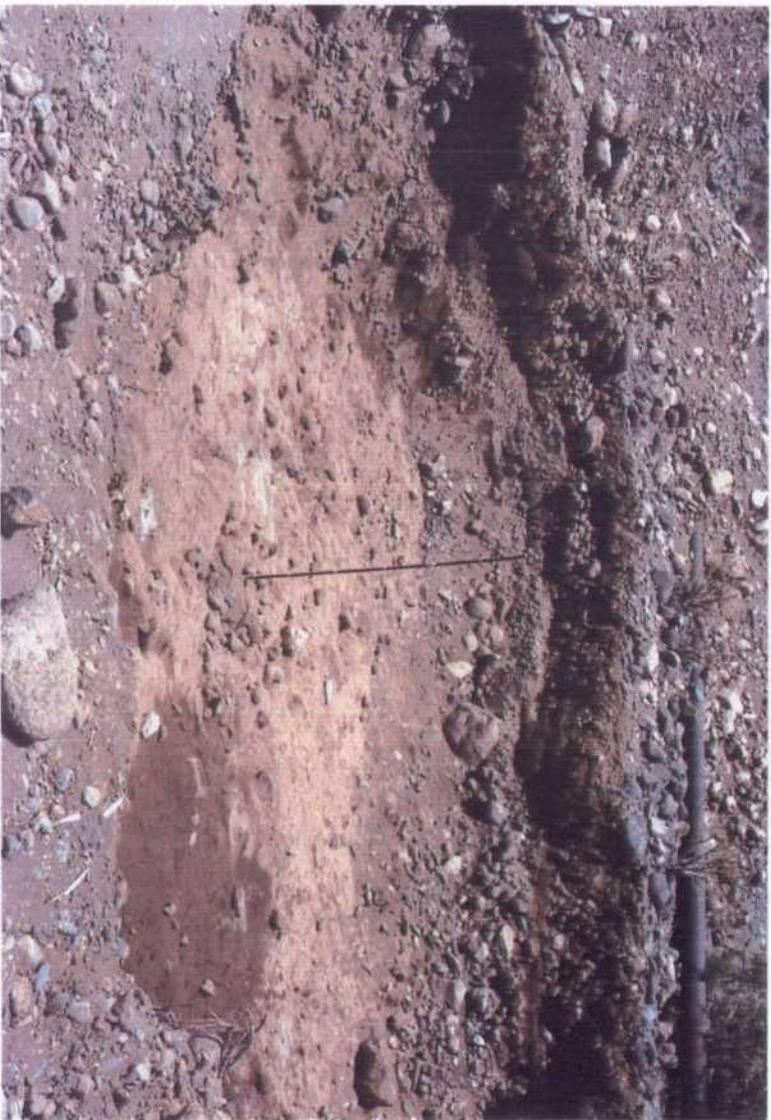
FOTO 5.2.16 y 5.2.17.- Ensayo de recarga en balsa. Vista del tan- que evaporimétrico y balsa al alcanzar la carga de 0,75 m en la balsa durante el en- sayo de vaciado.



FOTO 5.2.18.- Ensayo de recarga en balsa. Vista al alcanzar la carga de 0,50 m durante el ensayo de vaciado (7/7/87).



FOTO 5.2.19.- Ensayo de recarga en balsa. Vista de la balsa el día 19/7/87, con zonas de fondo aún húmedas.



FOTOS 5.2.20 Y 5.2.21.- Ensayo de recarga en balsa. Estado final (10/7/87) y detalle del fondo colmatado por deposición de limos removidos por el agua en la propia balsa.

5.3.- ENSAYO DE RECARGA EN POZO



FOTO 5.3.0.- Ensayo de recarga en Pozo. Vista general desde las proximidades de Agüimes. En primer término a la izquierda el pozo 424330006 y al fondo (de trazos) el cauce del Bco. de Balos.



FOTO 5.3.1.- Ensayo de recarga en pozo. Vista general de la instalación desde el depósito. A la izqda. caseta del pozo e invernaderos.



FOTO 5.3.2.- Ensayo de recarga en pozo. Vista General.



FOTO 5.3.3.- Ensayo de recarga en pozo. Vista general desde el nivel del pozo.



FOTO 5.3.4.- Ensayo de recarga en pozo. Tubería y válvula de alimentación, vertedero y sumidero de entrada a la tubería de inyección.

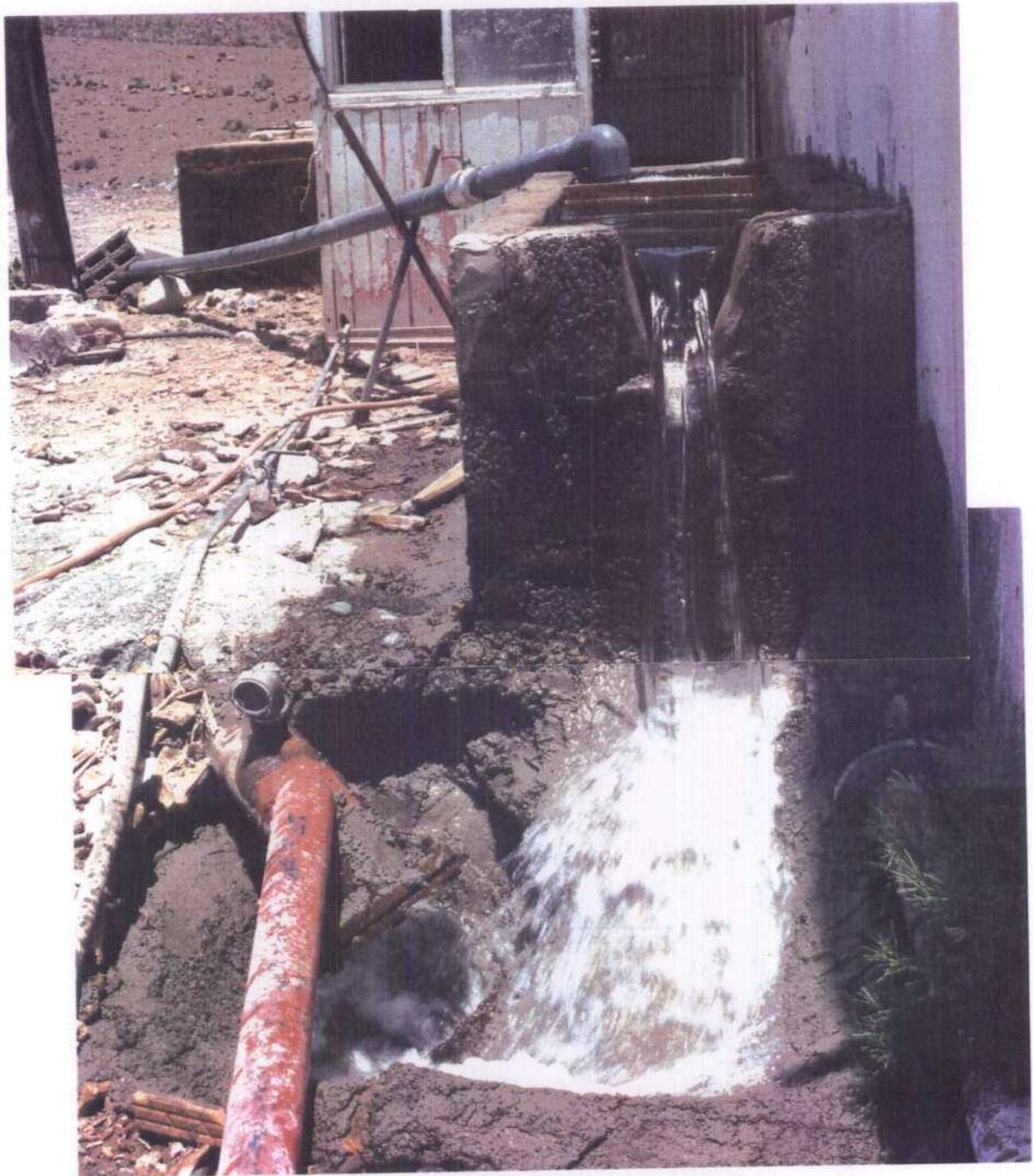


FOTO 5.3.5.- Ensayo de recarga en pozo. Detalle de la entrada de agua al pozo.

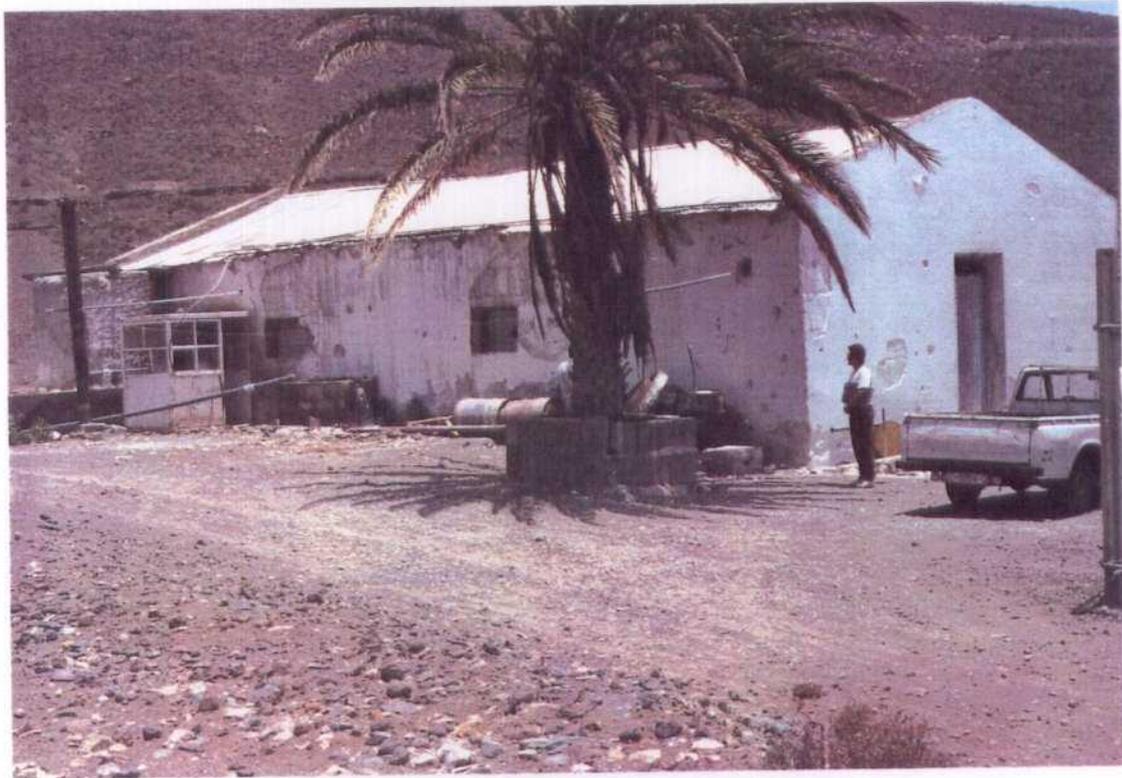


FOTO 5.3.6.- Ensayo de recarga en pozo. Vista de la caseta del pozo.

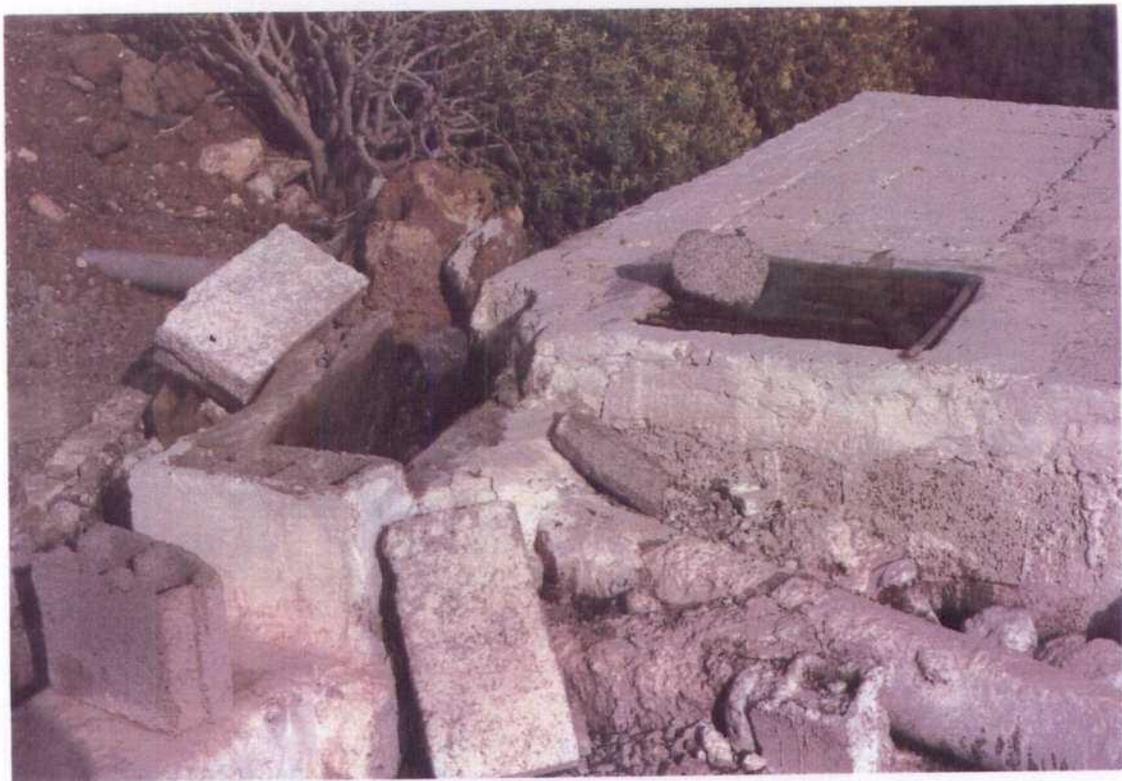
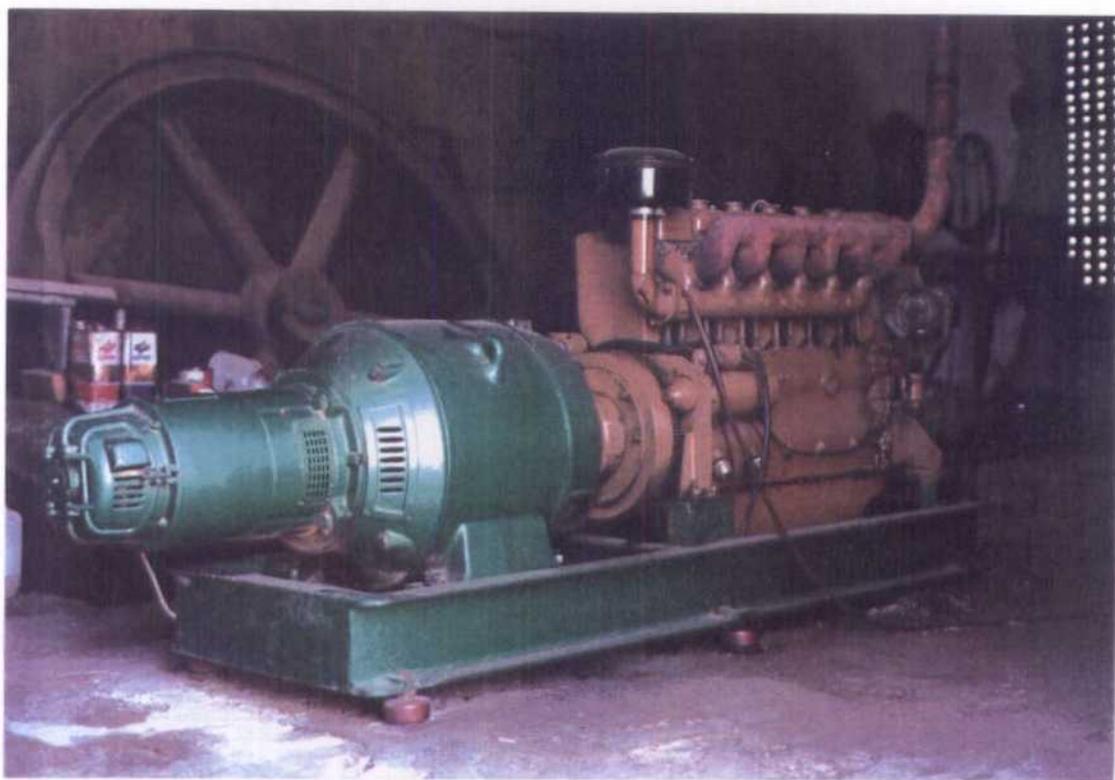
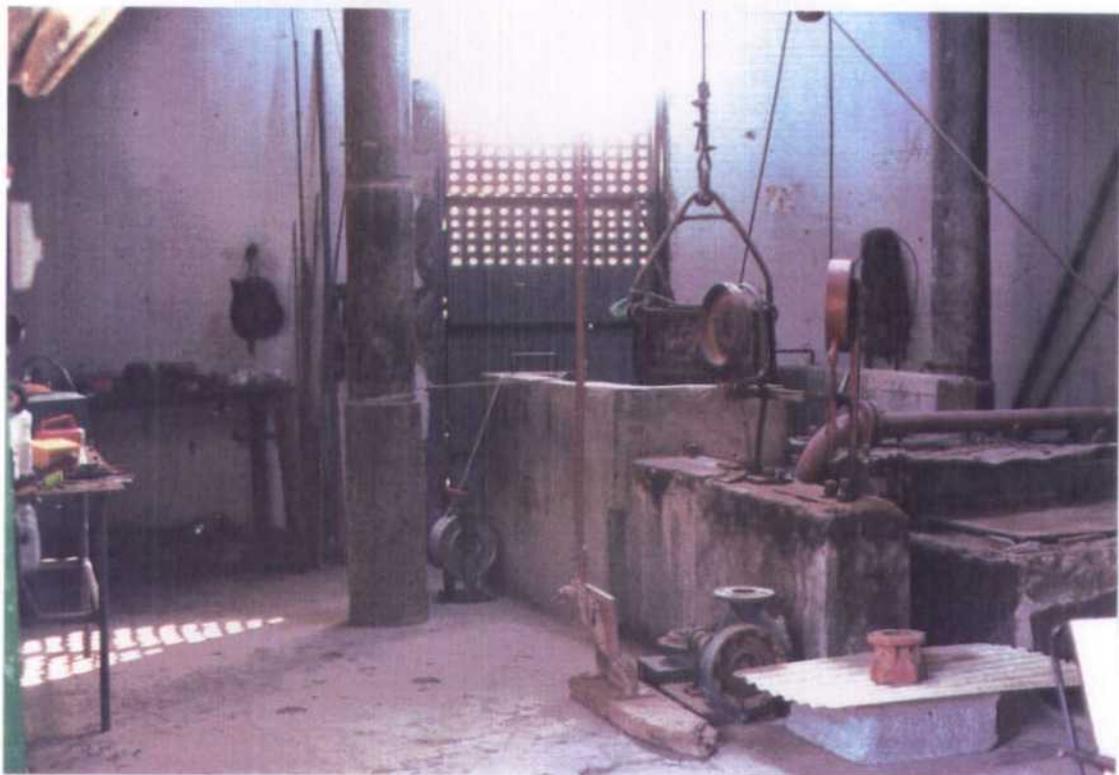


FOTO 5.3.7.- Ensayo de recarga en pozo. Salida de la tubería - de impulsión en el depósito.



FOTOS 5.3.8. y 5.3.9.- Ensayo de recarga en pozo. Equipamiento -
del pozo: brocal y cabrestante (superior)
y grupo electrógeno (inferior).