



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

CAMPAÑA BIANUAL DE MEDIDAS DE
CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA
EN ALMUÑECAR Y CASTELL DE FERRO
(GRANADA)

MODELIZACION E INTERPRETACION

M E M O R I A



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

30670

ÍNDICE.INTRODUCCIONOBJETIVOSCAPITULO I - PROGRAMA DE REVISIÓN, SUSTITUCIÓN Y MANTENIMIENTOI.1 - CIRCUITO ELECTRÓNICOI.1.1 - RECTIFICACIÓN DE PLACA ELECTRÓNICA.-I.1.2 - LISTA DE COMPONENTES.-

Componentes Pasivos.

Componentes Activos.

Componentes Exteriores.

I.2 - CAMPAÑA DE RECOGIDAI.3 - PUESTA A PUNTO Y CALIBRACIÓN.I.3.1 - REVISIÓN DE LOS SENSORES DE T (DESMONTAJE).I.3.2 - SELECCIÓN DE TIPO DE SELLANTE.I.3.3 - PRUEBAS REALIZADAS.I.3.4 - MONTAJE CON CEYS.I.3.5 - MONTAJE CON PERLAS DE PARAFINA.I.3.6 - PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD.I.3.7 - CALIBRACIÓN.I.3.7.1 Calibración de temperatura.

I.3.7.1.1 Calibración de KT1(constante de 00C).

I.3.7.1.2 Calibración de KT2 (constante de
variación de temperatura).

I.3.7.2 Calibración de Conductividad.

I.3.7.2.1 Medida en bidones de calibración

I.3.7.2.2 Cálculo curvas de regresión y KT1, KT2.

I.3.8 - CAMPAÑA DE REIMPLANTACIÓN DE SONDAS.-I.3.9 - RUTINA DE MEDIDA.-

CAPITULO II - ANÁLISIS DE RESULTADOS

II.1 - DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

II.1.1 - SITUACION DE SENSORES

II.1.2 - DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE MEDIDAS

II.2 - RESULTADOS OBTENIDOS.

II.2.1 - CURVAS INDIVIDUALES.

II.2.1.1 Zona de Almuñecar.

II.2.1.1.1 Conductividad.

II.2.1.1.2 Temperatura.

II.2.1.2 Zona de Castell de Ferro.

II.2.1.2.1 Conductividad.

II.2.1.2.2 Temperatura.

II.2.2 - REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL DE RESULTADOS

II.2.2.1 Zona de Almuñecar.

II.2.2.1.1 Conductividad.

II.2.2.1.2 Temperatura.

II.2.2.2 Zona de Castell de Ferro.

II.2.2.2.1 Conductividad.

II.2.2.2.2 Temperatura.

II.3. ANÁLISIS DE MEDIDAS

II.3.1 - METODOLOGÍA DE TRABAJO

II.3.2 - CURVAS TEMPERATURA/TIEMPO DE CADA SONDA

II.3.3 - CURVAS TEMPERATURA/DISTANCIA A CADA ACUÍFERO

II.3.4 - DETERMINACIÓN Y SEGUIMIENTO DE INTERFASE

II.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

II.4.1 HIDROGEOLOGICAS

II.4.2 OPTIMIZACION DE LA RED

II.5. BIBLIOGRAFIA**ANEXOS**

ANEXO 1.- FOTOGRAFIAS DE RECOGIDA DE SONDAS

ANEXO 2.- CURVAS DE REGRESION PARA EL CALCULO DE LAS
CONSTANTES DE CALIBRACION.

ANEXO 3.- FOTOGRAFIAS DE REIMPLANTACION DE SONDAS

ANEXO 4.- DATOS DE CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA

ANEXO 5.- CURVAS DE CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA

ANEXO 6.- SUPERFICIES DE APROXIMACION DE CONDUCTIVIDAD
EN ALMUÑECAR

ANEXO 7.- SUPERFICIES DE APROXIMACION DE TEMPERATURA EN
ALMUÑECAR

ANEXO 8.- SUPERFICIES DE APROXIMACION DE CONDUCTIVIDAD
EN CASTELL DE FERRO

ANEXO 9.- SUPERFICIES DE APROXIMACION DE TEMPERATURA EN
CASTELL DE FERRO

INTRODUCCION

Los trabajos realizados en esta campaña se basan en la red establecida en el proyecto anterior realizado por esta misma Cátedra para el Instituto Tecnológico Geominero de España y titulado "ESTABLECIMIENTO DE UNA RED DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN POR INTRUSIÓN MARINA EN LOS ACUÍFEROS COSTEROS DE GRANADA MEDIANTE TÉCNICAS DE CARÁCTER TERMOMÉTRICO".

En dicho proyecto se buscaron las características técnicas y económicas necesarias para obtener una red adecuada de sensores de Conductividad/Temperatura en sondeos, que definieran con claridad un proceso de intrusión en ese tipo de acuíferos.

Por razones ajenas a nosotros en dicha campaña no se realizaron suficiente número de medidas como para completar la evaluación de la red instalada como la fiabilidad estadística recomienda.

Por ese motivo se ha procedido a la medida de la variación de los parámetros de conductividad y temperatura en la estación otoñal que es cuando, según los datos recogidos de la zona, se produce el avance mas profundo del frente de salinización, y poder realizar además, un estudio de la evolución anual de los parámetros antes citados.

Este proyecto ha sido dirigido por parte del I.T.G.E por Doña Maria Gomez Martos y efectuado por la Cátedra de Geofísica Aplicada de la E.T.S.I de Madrid por D. Jesus Maria Diaz Curiel D. Alfonso Maldonado Zamora, D. Alejandro Rozycky Bochniewicz, y D. Domingo Alfonso Martín Sánchez.

OBJETIVOS

Los objetivos a abarcar dentro de esta campaña son:

- Revisión del circuito electrónico rectificando la placa electrónica para un mejor ajuste a nuestras necesidades.
- Recogida de las sondas para su puesta a punto. Dentro del proceso de puesta a punto, proceder al desmontaje total de cada una de las sondas evaluando el desgaste sufrido en el período de lectura. En función de este análisis intentar sustituir los elementos que fueran fuente de problemas en las sondas.
- Montaje de las sondas con diferentes sellantes (CEYS, Parafina), realizando las pruebas de estanqueidad y su posterior calibración para los dos sensores de que consta la sonda.
- Una vez calibradas las sondas proceder a la reimplantación de las sondas estableciendo una rutina de medida.
- La determinación y seguimiento de la interfase de intrusión marina mediante una red adecuada de control.
- La evaluación de las ventajas de la medida de temperatura en cuanto a su posible antelación respecto a la conductividad.

CAPITULO I.- PROGRAMA DE REVISIÓN, SUSTITUCIÓN Y MANTENIMIENTO.

I.1 - CIRCUITO ELECTRÓNICO.

I.1.1 - RECTIFICACIÓN DE PLACA ELECTRÓNICA.-

El sistema electrónico utilizado como prototipo en el proyecto anterior estaba montado sobre una placa provisional (cableada sin circuitos impresos) de tal forma que se sucedieron una serie de averías cuya reparación fue, costosísima en cuanto a tiempo y dinero se refiere, tanto por los desplazamientos que originaban como por las complicaciones que conllevan este tipo de montajes provisionales. De esta forma, el aumento de operatividad así como de fiabilidad, pasaba por el diseño y ejecución de una placa de circuitos impresos.

Por otro lado, y en relación a todo el montaje electrónico de medida, no se había realizado con éxito la puesta a punto del circuito de conversión exponencial que corrige el efecto logarítmico en la medida de conductividad. Asimismo, se pudo comprobar a lo largo del manejo del equipo algunas deficiencias de cierta importancia en los componentes empleados (como por ejemplo, las ventajas que comportan los transformadores toroidales frente a los rectos).

Por todo ello, se encargó el diseño y la realización de la placa de circuito impreso correspondiente. En ella hubo que rediseñar el circuito de conversión exponencial encontrando un nuevo diagrama cuya puesta a punto (calibración) era mucho mas directa que en el diseño anterior.

Posteriormente y como viene siendo común en este tipo de placas hubo que corregir algunos defectos del diseño, básicamente en la línea de referencia de voltaje ("toma de tierra"). Estas correcciones se hicieron sobre la placa ya realizada, de forma que no supusiera una disminución importante en la fiabilidad de la respuesta.

A continuación se presentan los esquemas electrónicos definitivos, así como las fotografías de la placa que se ha realizado (doble cara) y la lista definitiva de componentes.

I.1.2 - LISTA DE COMPONENTES

Componentes Pasivos

R1	- Res. Carb. 5%	240	Ω
R2	- Res. Carb. 5%	1	K Ω
R3	- Res. p.m. 5%	23.2	K Ω
R4	- Res. Carb. 5%	5.6	K Ω
R5	- Res. Bob.	1	Ω
R6	- Res. P.m.. 5%	23.2	K Ω
R7	- Res. Carb. 5%	100	Ω
R8	- Res. Carb. 5%	10	K Ω
R9	- Res. Carb. 5%	100	Ω
R10	- Res. Carb. 5%	62	K Ω
R11	- Res. Carb. 5%	100	Ω
R12	- Res. Multiv.	1	K Ω
R13	- Res. Carb. 5%	56	K Ω
R14	- Res. Carb. 5%	10	K Ω
R15	- Res. Carb. 5%	100	Ω
R16	- Res. Carb. 5%	100	Ω
R17	-		
R18	- Res. Carb. 5%	100	K Ω
R19	- Res. Carb. 5%	160	K Ω
R20	-		
R21	- Res. Carb. 5%	10	K Ω
R22	-		
R23	-		
R24	-		
R25	- Res. Carb. 5%	10	K Ω
R26	-		
R27	- Res. Carb. 5%	100	K Ω
R28	- Res. Carb. 5%	100	K Ω
R29	- Res. Carb. 5%	1	K Ω
R30	-		
R31	- Res. Carb. 5%	100	K Ω
R32	- Res. Carb. 5%	100	K Ω
R33	- Res. Carb. 5%	9.4	Ω
R34	- Res. Carb. 5%	100	Ω
R35	- Pot. multiv.	50	K Ω
R36	- Res. Carb. 5%	10	K Ω
R37	- Res. Carb. 5%	1.7	K Ω
R38	-		
R39	-		
R40	-		
R41	- Pot. multiv.	100	K Ω
R42	- Res. Carb. 5%	100	Ω
R43	- Res. Carb. 5%	100	Ω
R45	- Res. Carb. 5%	100	Ω
R46	- Res. Carb. 5%	100	Ω

R47 - Res. Carb. 5% 100 Ω
R48 - Pot. multiv. 10 K Ω
R49 - Res. Carb. 5% 9.1 K Ω
R50 - Res. Carb. 5% 910 K Ω
R51 - Res. Carb. 5% 91 K Ω
R52 - Res. Carb. 5% 100 K Ω
R53 - Res. Carb. 5% 100 K Ω
R54 - Res. Carb. 5% 1,5 K Ω
R55 - Res. Carb. 5% 5.6 K Ω
R56 - Res. Carb. 5% 5.6 K Ω
R57 - Pot. Multiv. 100 K Ω
R58 - Pot. Multiv. 100 K Ω
R59 - Pot. Multiv. 20 K Ω
R60 - Pot. Multiv. 2 K Ω
R61 - Pot. Multiv. 10 K Ω
R62 - Pot. Multiv. 1 K Ω
R63 - Pot. Multiv. 10 K Ω
C1 - Cond. elect. 10 μ F/25 V
C2 - Cond. MKS 100 nF/250 V
C3 - Cond. MKS 100 nF/250 V
C4 - Cond. elect. 100 μ F/25 V
C5 - Cond. MKS 100 nF/250 V
C6 - Cond. MKS 1 nF/250 V
C7 - Cond. MKS 330 nF/250 V
C8 - Cond. cer. 27 pF/63 V
C9 - Cond. cer. 1 nF/63 V
C10 - Cond. MKS 1.5 nF/63 V
C11 - Cond. MKS 100 nF/250 V
C12 - Cond. MKS 100 nF/250 V
C13 - Cond. MKS 100 nF/250 V
C14 - Cond. elect. 100 μ F/25 V
C15 - Cond. elect. 220 μ F/25 V
C16 - Cond. elect. 220 μ F/25 V
C17 - Cond. elect. 220 μ F/25 V
C18 - Cond. elect. 4.7 μ F/25 V
C19 - Cond. elect. 220 μ F/25 V
C20 - Cond. elect. 100 μ F/25 V
C21 - Cond. elect. 100 μ F/25 V
C22 - Cond. elect. 2.2 μ F/63 V
C23 - Cond. elect. 100 μ F/16 V
C24 - Cond. elect. 100 μ F/16 V
C25 - Cond. MKS 10 μ F/35 V
C26 - Cond. elect. 33 μ F/16 V
C27 - Cond. elect. 33 μ F/16 V
C28 - Cond. elect. 220 μ F/16 V
C29 - Cond. MKS 47 nF/250 V
C30 - Cond. MKS 47 μ F/250 V
C31 - Cond. elect. 33 μ F/16 V
C32 - Cond. elect. 33 μ F/16 V
JP1 - Conect. pol. m. Amp 10 Vías
JP2 - Conect. pol. m. Amp 8 Vías
JP3 - Conect. pol. m. Amp 8 Vías
JP4 - Conect. pol. m. Amp 8 Vías
JP7 - Conect. pol. m. P.C 8 Vías
JP8 - Conect. pol. m. Amp 8 Vías
T2 - Trans. impl.

Componentes Activos

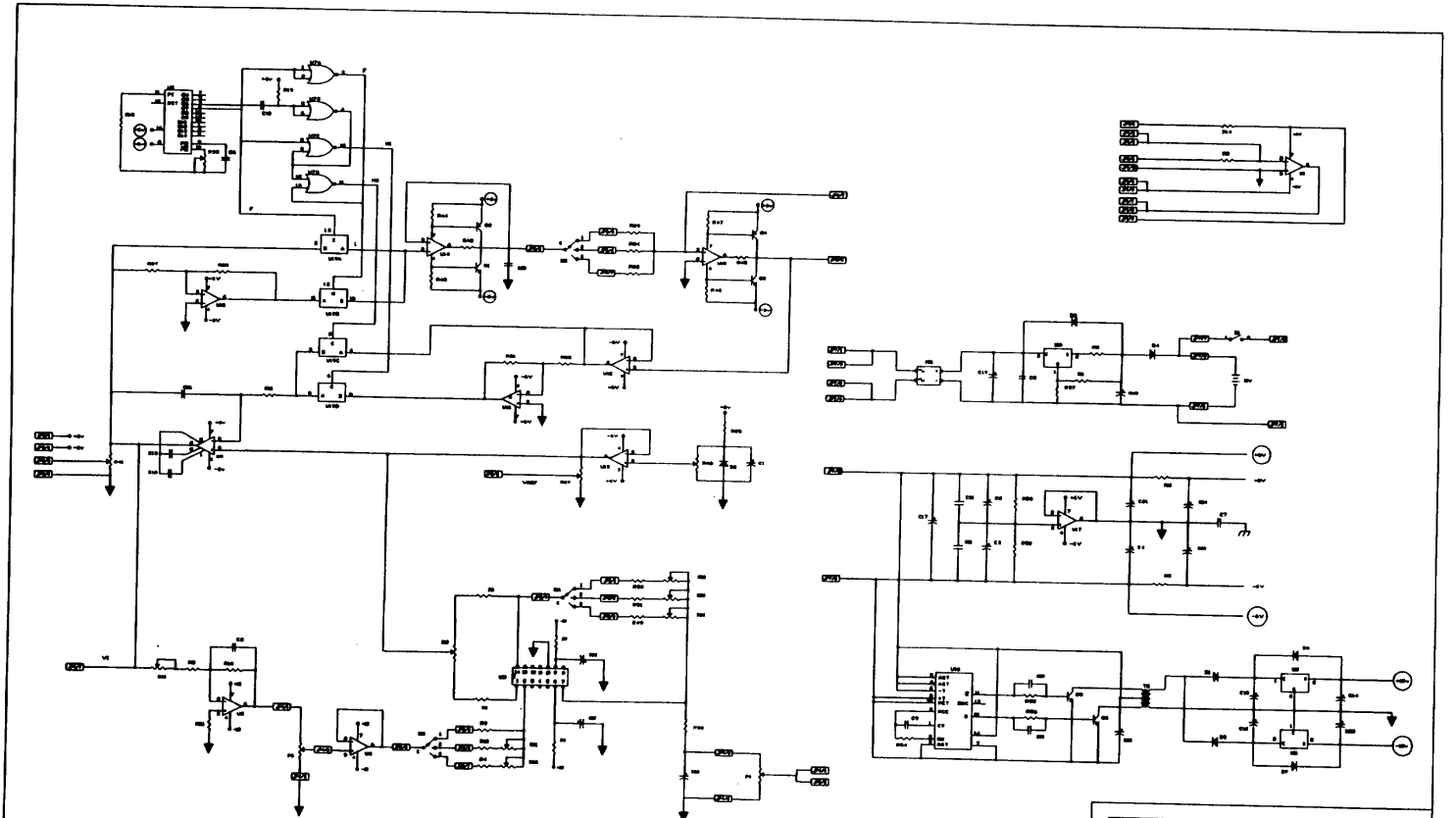
U2 - C.I. OP 07
 U3 - C.I. OP 07
 U6 - C.I. OP 07
 U7 - C.I. MC 4001
 U8 - C.I. MC 4060
 U9 - C.I. Max 420
 U10 - C.I. OP 07
 U11 - C.I. OP 07
 U12 - C.I. OP 07
 U13 - C.I. OP 07
 U14 - C.I. OP 07
 U15 - C.I. OP 07
 U16 - C.I. MC 4047
 U17 - C.I. OP 07
 U18 - C.I. LM 317
 U19 - C.I. MC 4066
 U20 - C.I. LM 7815
 U21 - C.I. LM 7915
 U22 - C.I. LOG 100

Q1 - Trans. npn BD 137
 Q2 - Trans. pnp BD 138
 Q3 - Trans. npn BD 137
 Q4 - Trans. pnp BD 138
 Q5 - Trans. npn
 Q6 - Trans. npn

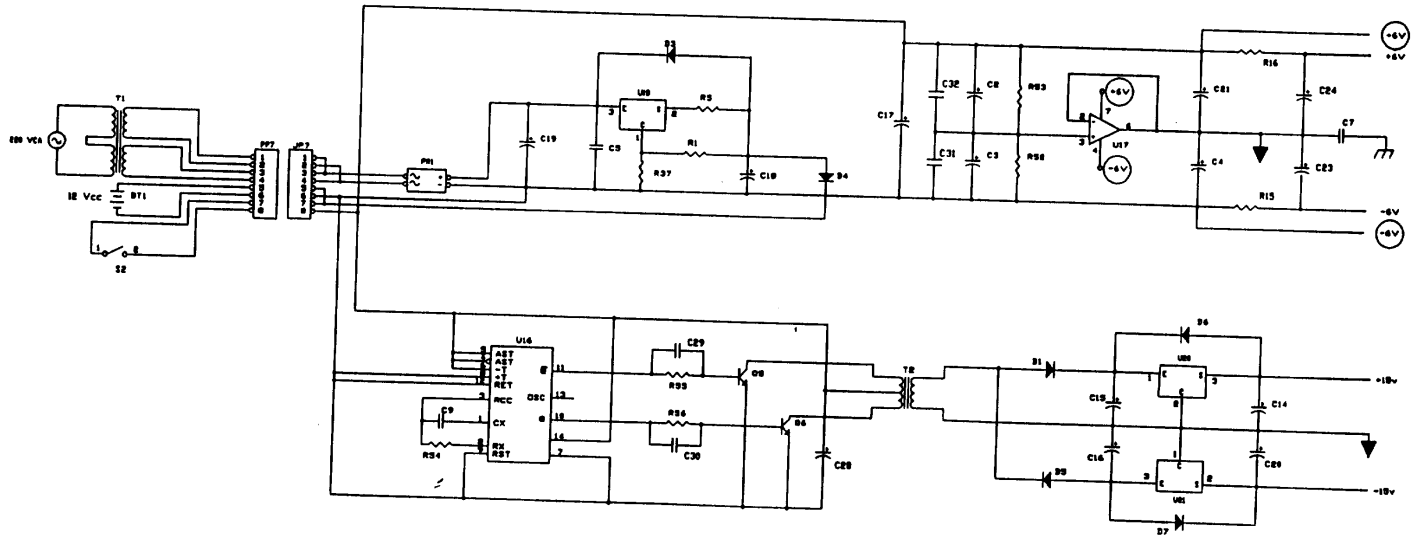
D1 - Diodo señal 1N4148
 D2 - Diodo señal 1N4148
 D3 - Diodo rect. 1N4148
 D4 - Diodo rect. 1N4148
 D5 - Diodo señal 1N4148
 D6 - Diodo rect. 1N4007
 D7 - Diodo rect. 1N4007
 D8 - Diodo

Componentes Exteriores

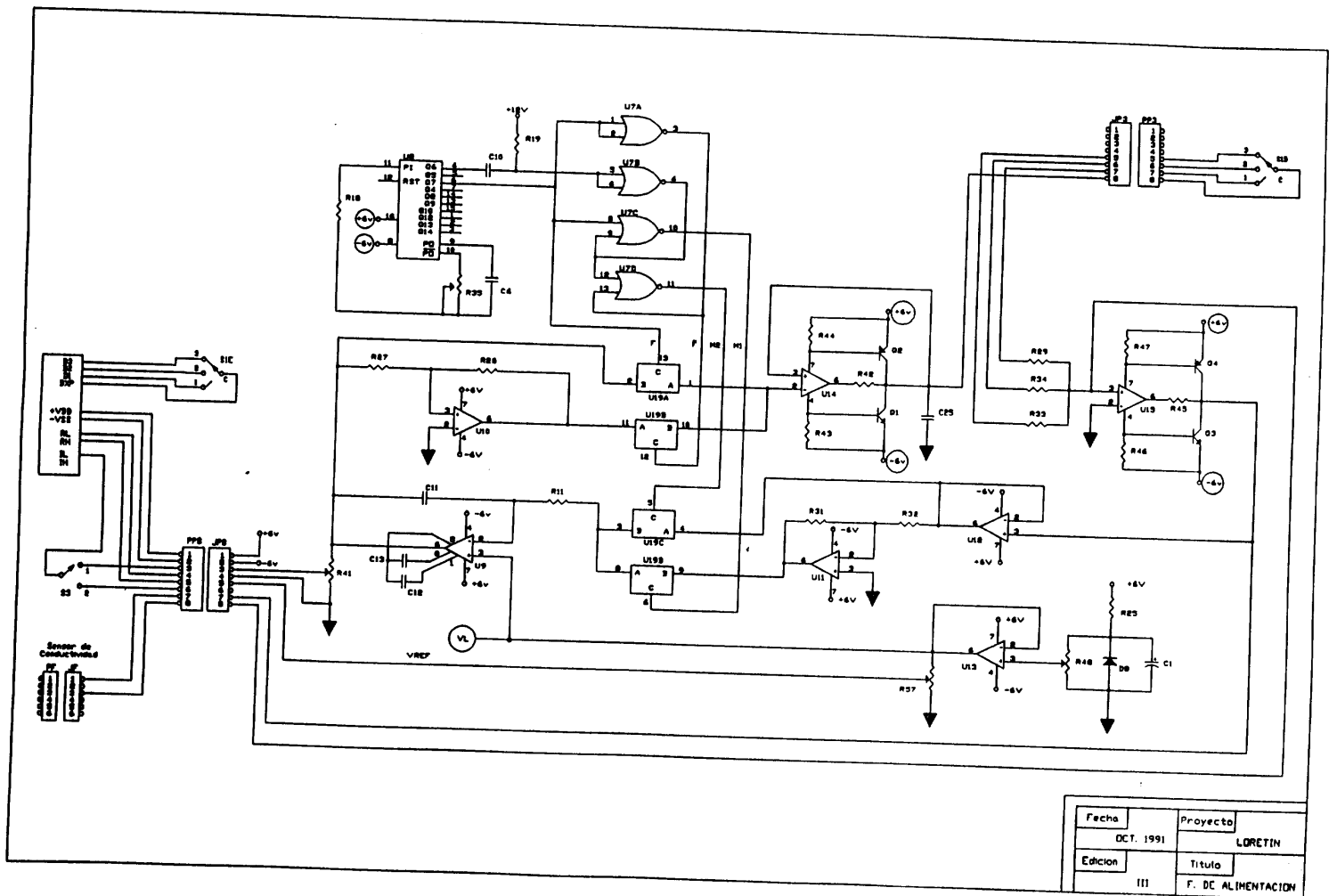
TR1 - Transf. red 110+110 / 12+12 / 30 Va
 S1 - Conmut. rot. 6 circ. 4 pos.
 S2 - Interruptor 1 circ. 2 pos.
 S3 - Micro int. 1 circ. 2 pos.
 PP1 - Conect. pol. h. AMP 10 Vías
 PP2 - Conect. pol. h. AMP 8 Vías
 PP3 - Conect. pol. h. AMP 8 Vías
 PP4 - Conect. pol. h. AMP 8 Vías
 PP5 - Conect. pol. h. P.C. 8 Vías
 PP6 - Conect. pol. h. AMP 8 Vías
 JF - Conect. pol. h. Chasis 6 Vías
 P1 - Potenc. bob. 1 KU
 P2 - Potenc. bob. 100 KU
 P3 - Potenc. bob. 10 KU
 P4 - Potenc. bob. 10 KU

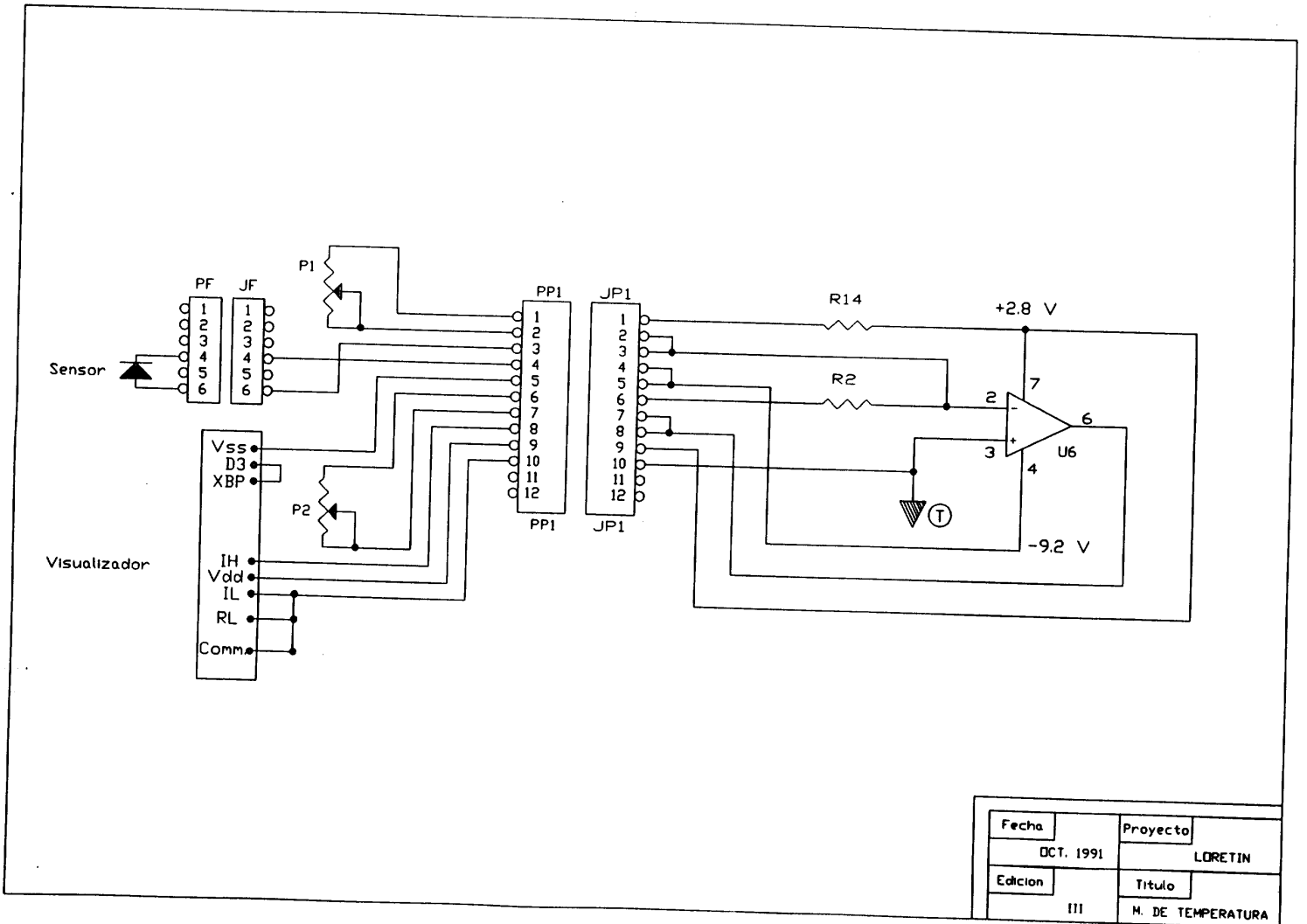


Fecha	Proyecto
DCT. 1991	LORETIN
Edicion	Titulo
III	ESQUEMA GENERAL

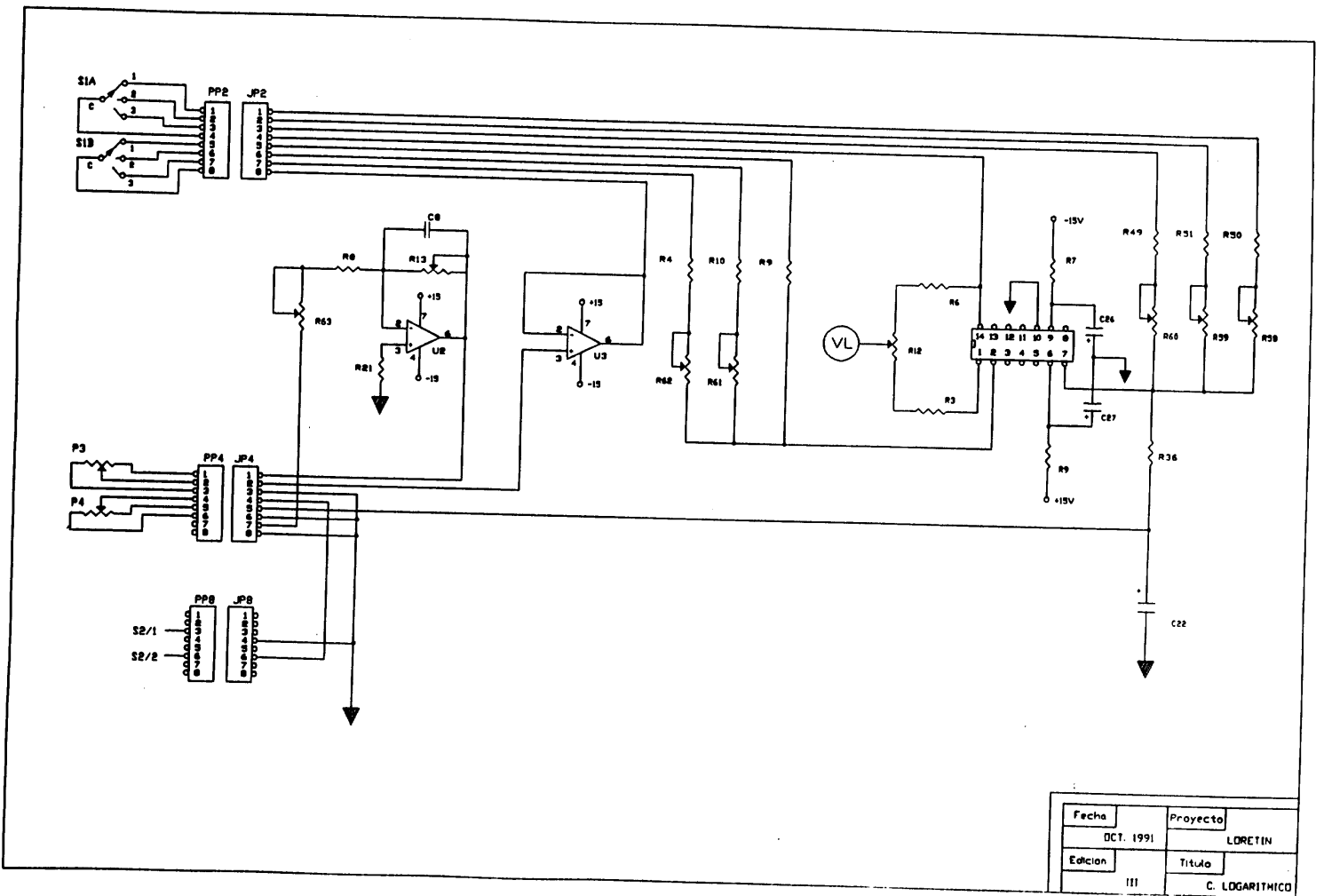


Fecha	Proyecto
OCT. 1991	LORETOIN
Edición	Título
III	F. DE ALIMENTACION



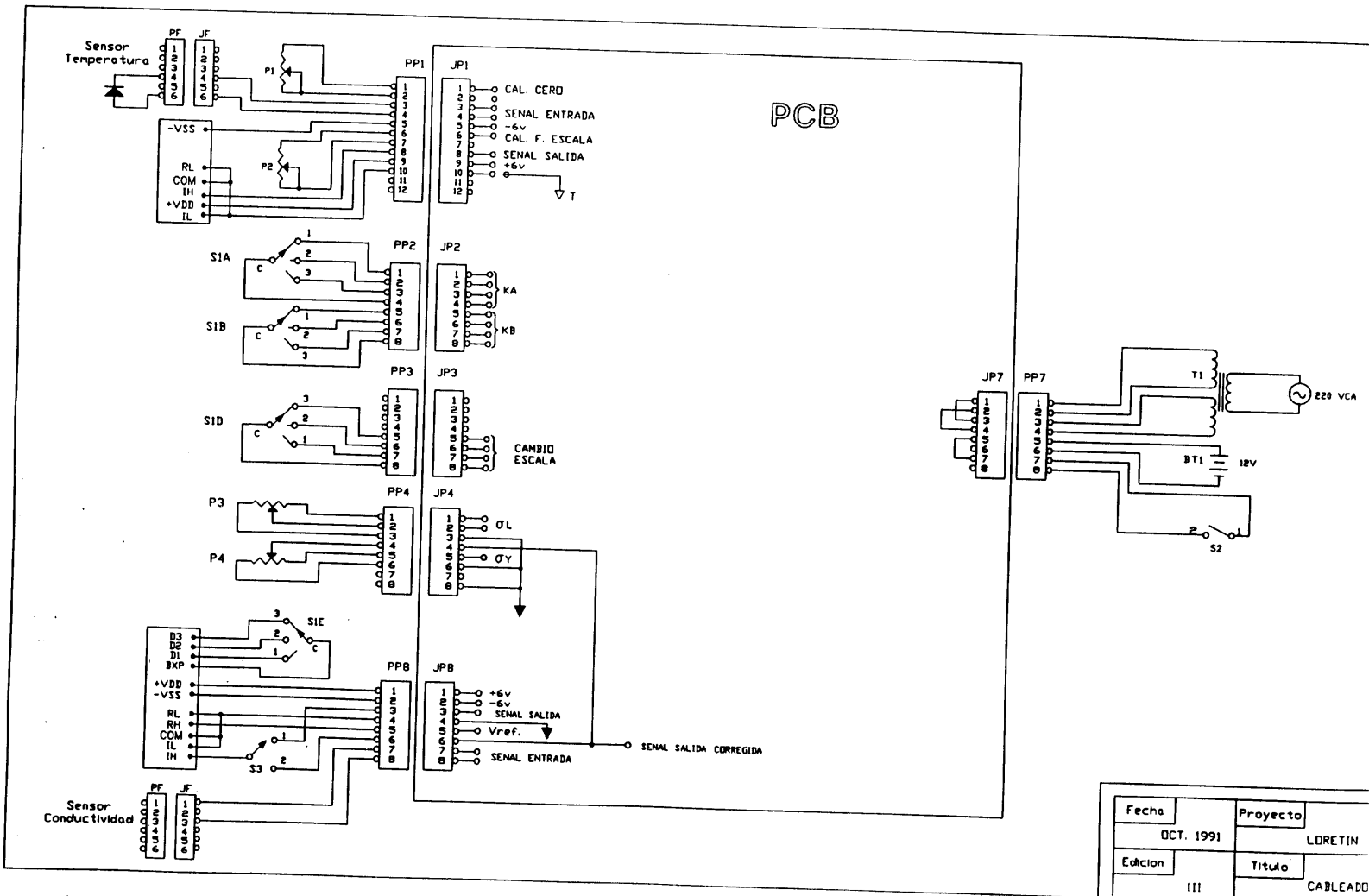


Fecha	Proyecto
OCT. 1991	LORETIN
Edicion	Titulo
III	M. DE TEMPERATURA

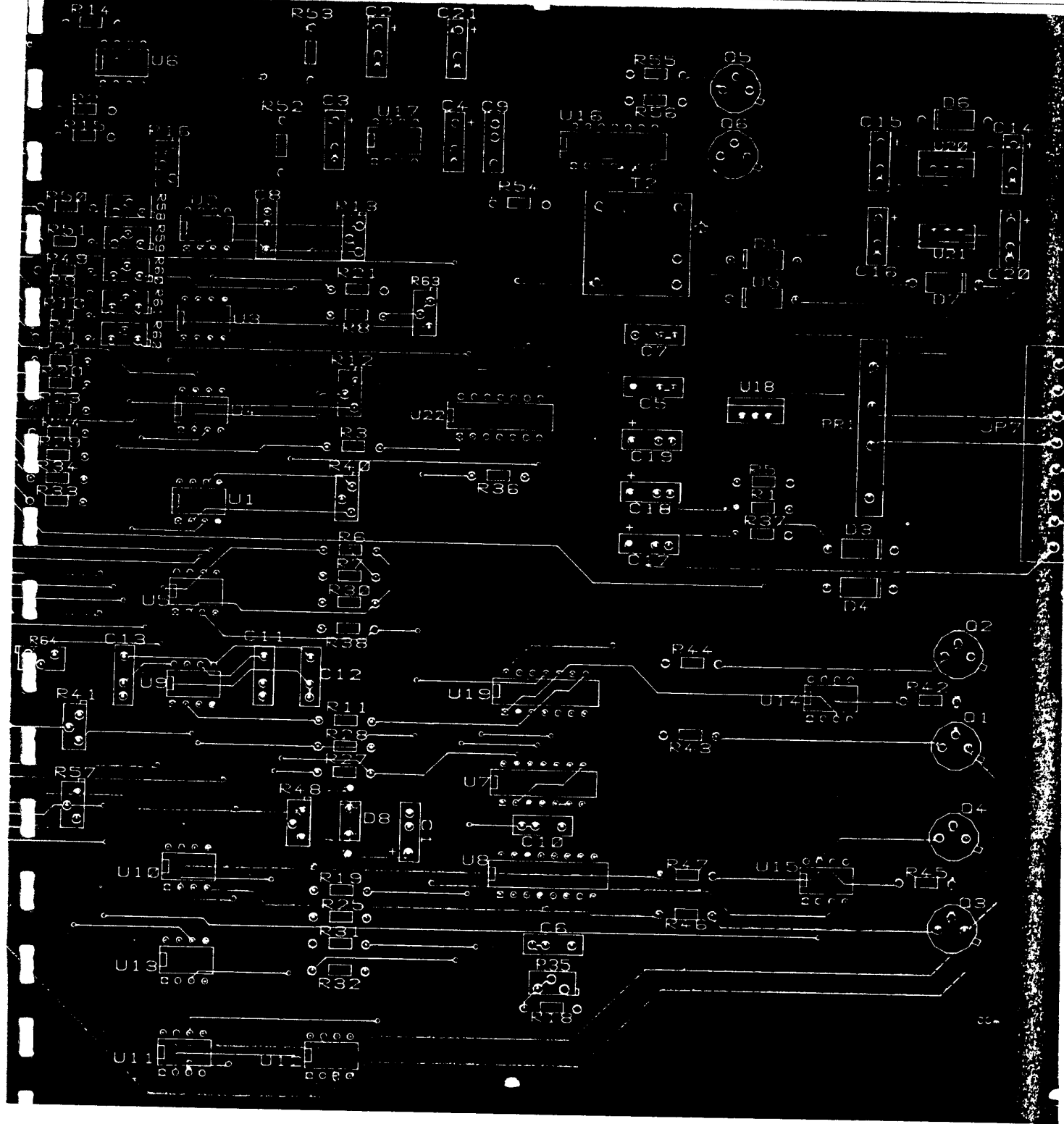


Fecha	Proyecto
OCT. 1991	LORETIN
Edición	Título
III	C. LOGARITMICO

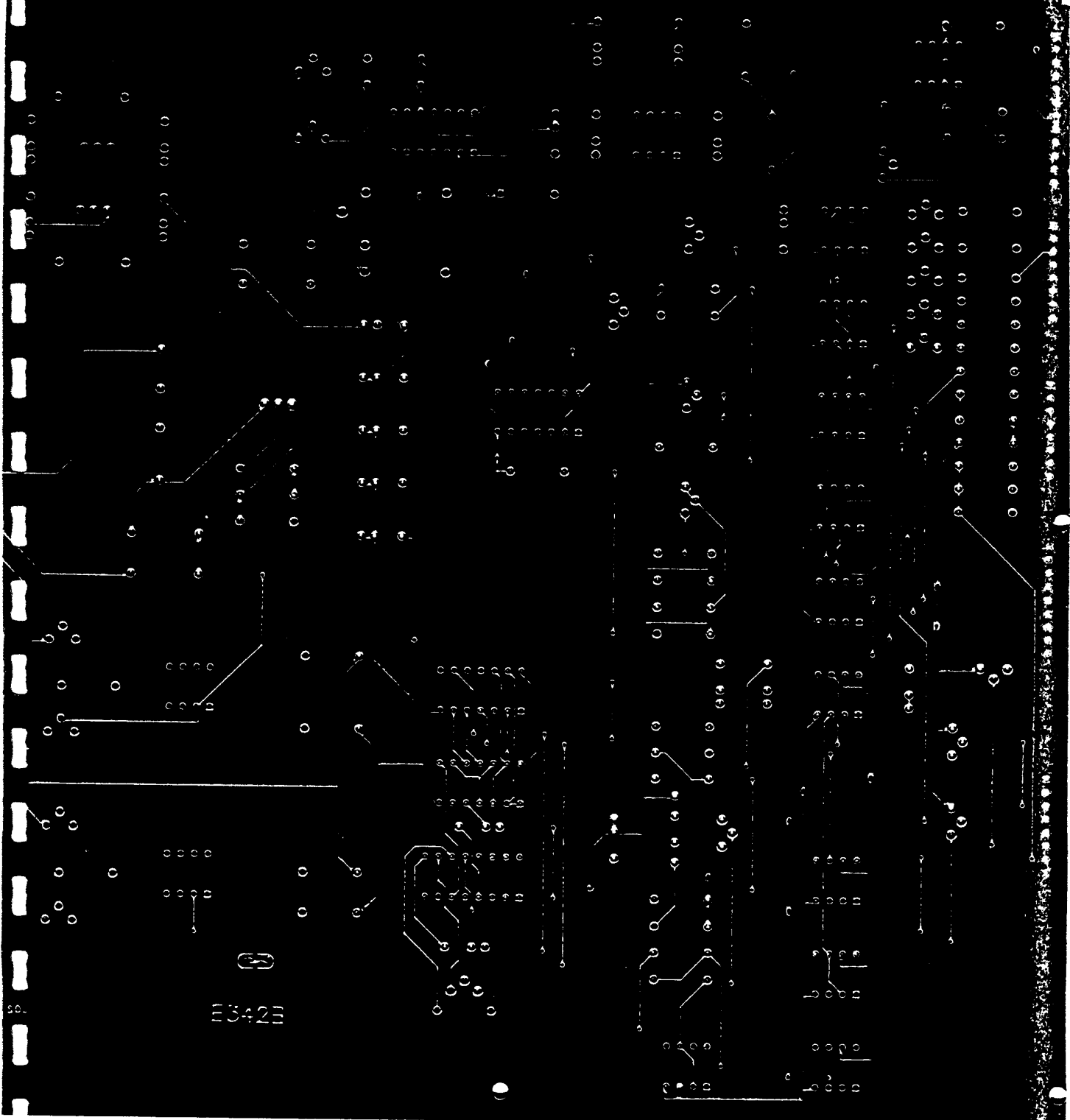
PCB



Fecha	OCT. 1991	Proyecto	LORETIN
Edición	III	Titulo	CABLEADO



Placa de Circuito Impreso. Vista anterior



Placa de Circuito impreso. Vista posterior

I.2 - CAMPAÑA DE RECOGIDA.

Se procedió al desplazamiento de un equipo de personal de la Cátedra de Geofísica hasta las localidades de Almuñecar y Castelldeferro durante seis días. La metodología utilizada fue la siguiente:

- Visita al sondeo.
- Toma de medidas en caso de ser posible.
- Extracción de las sondas.
- Valoración del estado de la sonda.
- Toma de fotos a pie de pozo.
- Limpieza de la sonda
- Comentario sobre el estado de la sonda.

En adelante y en ausencia de unidades, los datos de conductividad se entienden en $\mu\text{mho/cm}$ y los de temperatura en grados centígrados.

La campaña de comprobación y sustitución de las sondas, en campo, llevada a cabo durante el periodo del 15 al 19 de Febrero de 1993 se resume en las siguientes tablas:

COMPROBACION Y SUSTITUCION DE SONDAS EN ALMUÑECAR					
SONDEO	SONDA	COND.	TEMP.	FOTOS	DIA
Piezometro 6	41	1400	-	I, II, IIIA	16/2
Cisterna San Cristobal	39	2200	17	IV, V-A	16/2
Piezometro 5	2	9900	-	VI, VII VIII-A	16/2
Carmen del Pilar	1	4200	-	IX, X-A	16/2
Piezometro 7	4	4200	-	XI, XII XIII-A	16/2
Piezometro 14	8	2700	-	XIV, XV-A	16/2
La Barrosa	14	No	No	XVI, XVIIA	16/2
Braulio Salas	12	No	No	XVIII-A	16/2
Vahemosa	10	No	No	XIX, XX-A	16/2
Piezometro 17	13	1470	-	XXI-A	16/2
Piezometro 16	11	1200	18	XXII XXIII-A	17/2
La Alvina	15	1089	19.2	XXIV, XXVA	17/2
Piezometro 21	17	1725	21.4	XXVI XXVII-A	17/2
San Jose Obrero	16	1095	18.5	III, IV-B	17/2
Piezometro 24	20	915	12.5	I, II-B	17/2
DETALLES TECNICOS					

COMPROBACION Y SUSTITUCION DE SONDAS EN ALMUÑECAR			
SONDEO	EXTRACCION LIMPIEZA	ESTADO SONDA	OBSERVACIONES
Piezometro 6	SI	-	-
Cisterna San Cristobal	SI	BUENO	-
Piezometro 5	SI	-	Alto grado de oxidación
Carmen del Pilar	SI	-	Alto grado de oxidación
Piezometro 7	SI	-	Conector roto
Piezometro 14	SI	-	-
La Barrosa	SI	BUENO	Sonda fuera de su posicion. Estimacion de nueva instalacion
Braulio Salas	Extracción cable.	No existe	Cable cortado sonda desaparecida
Vahemosa	Extracción	-	Sonda atascada no esta en contacto con agua
Piezometro 17	SI	-	-
Piezometro 16	SI	BUENO	-
La Alvina	SI	BUENO	Alto porcentaje de grasa
Piezometro 21	SI	BUENO	-
San Jose Obrero	SI	BUENO	-
Piezometro 24	SI	BUENO	-
OBSERVACIONES			

COMPROBACION Y SUSTITUCION DE SONDAS EN CASTELL DE FERRO					
SONDEO	SONDA	COND.	TEMP.	FOTOS	DIA
Manuel Garcia	24	2910	-	VI,VII-B	18/2
Francisco Moreno	23	7100	23	VIII,IX X-B	18/2
Manuel Gonzalez	25	No	No	XI-B	18/2
Jose Martín	26	5080	28.3	XII,XIIIB	18/2
Manuel Rubiño	27	5160	24.7	XIV-B	18/2
Agrocastell	29	Oscila	21.2	XV,XVI-B	18/2
Virgen Carmen	30	5240	-	XVI,XVIIIB XVIII,XIX	18/2
S. Francisco Asis	32	3830	22.3	XX,XXI-B	18/2
Serafín Galiano	35	No	No	XXII XXIII-B	18/2
San Miguel	33	No	No	-	18/2
San Juan	31	650	-	XXIV XXV-B	18/2
San Isidro	36	2450	-	I,II,IIIC	19/2
El Lance	41	4490	26.8	IV,V-C	19/2
San José	34	1180	Oscila	VI,VII VIII,IX X-C	19/2
DETALLES TECNICOS					

COMPROBACION Y SUSTITUCION DE SONDAS EN CASTELL DE FERRO			
SONDEO	ESTRACCION LIMPIEZA	ESTADO SONDA	OBSERVACIONES
Manuel Garcia	SI	-	-
Francisco Moreno	SI	BUENO	-
Manuel Gonzalez	SI	-	-
Jose Martín	SI	BUENO	-
Manuel Rubiño	SI	-	-
Agrocastell	SI	-	-
Virgen Carmen	SI	-	Atasco de sonda con limnigrafo. Presencia de costras salinas en el cable de sonda.
S. Francisco Asis	SI	BUENO	-
Serafín Galiano	SI	BUENO	Sonda no esta en contacto con agua
San Miguel	SI	-	Atasco de sonda
San Juan	SI	-	-
San Isidro	SI	-	-
El Lance	SI	BUENO	-
San José	SI	BUENO	Atasco de sonda
OBSERVACIONES			

En el Anexo 1 se adjuntan algunos fotos realizadas en esta campaña.

I.3 - PUESTA A PUNTO Y CALIBRACION

Una vez recogidas todas las sondas se procedió a la revisión completa de cada uno de sus componentes. Para ello se procedió a desmontar cada una de las sondas y analizar los problemas mas frecuentes que aparecían.

I.3.1 - REVISIÓN DE LOS SENSORES DE T (DESMONAJE)

Llevando este análisis al terreno estadístico, hay que señalar que las sondas que se encontraron en buen estado representan casi el 50 % frente al 40 % de las sondas que tenían estropeado el medidor de temperatura. El 10 % restante se reparte entre las sondas con medidor de conductividad estropeado, sonda sacada por los propietarios y sondas cortadas.

Del análisis general de los problemas existentes se dedujo que el principal problema ha surgido en la cápsula donde se sitúa el medidor de temperatura (AD590). Debido a esta causa, fué necesario cambiar gran parte de estos componentes, suponiendo esta operación un número considerable de horas y dinero. Además de este problema, muy relacionado a nuestro modo de ver con la vaselina utilizada en el montaje, y mas en concreto, a la pérdida de sus características con el paso del tiempo, pudimos encontrar problemas producidos por la erosión mecánica y química de los componentes. Un ejemplo de ello lo constituye la necesidad de sustituir los cables de conexión y de los conectores en algunas de las sondas.

I.3.2 - SELECCIÓN DE TIPOS DE SELLANTE.

Una vez aislado el problema mas importante que producía el mal funcionamiento en las sondas, se procedió a la selección de otro tipo de sustancia con la que rellenar el interior de la sonda .

Tras el estudio de una gran cantidad de sustancias, se llegó a la conclusión de que la que deberíamos utilizar tendría que tener las siguientes características físico-químicas:

- Debía ser fluido en el momento de su aplicación y solidificarse en un intervalo corto de tiempo. Ello favorecería su aplicación y el rellenado perfecto de cada uno de los huecos existentes.
- Debía tener características sellantes para impedir que el agua salada penetrase en el circuito con los consiguientes deterioros.
- Debía aguantar temperaturas entre 0°C hasta 40°C sin perder sus características. Este punto era importante, además de para simular las condiciones mas desfavorables que encontraríamos dentro del sondeo, para poder llevar a cabo una buena calibración del medidor de temperatura.
- No debía ser conductor eléctrico.

Después de tener en cuenta todos estos condicionantes se eligió un adhesivo termofundible de la casa CEYS. Este adhesivo se aplica con ayuda de una pistola termoenceladora y viene distribuido en barras, por lo que su aplicación es sencilla.

Además, como sustancia alternativa, se pensó en la posibilidad de utilizar perlas de parafina licuefactada para rellenar las sondas, por lo que se realizó un montaje paralelo con dicha sustancia.

I.3.3 - PRUEBAS REALIZADAS

Tras someter las sondas montadas con las dos sustancias a un proceso de envejecimiento dentro de una solución salina muy concentrada, se observó que a priori el montaje con CEYS daba mejor resultado. Por esa razón, a las sondas montadas con perlas de parafina se le añadió adhesivo super glue-3 del tipo Loctite, con el fin de mejorar sus características sellantes para que se ajustasen a nuestras exigencias.

También fué desechado un tipo de silicona sellante dado que hacia el proceso de montaje largo y poco operativo. Este tipo de silicona además sufre un proceso de envejecimiento mas rápido desde un punto de vista químico. A esto hay que añadir que su resistencia a la tracción mecánica era menor.

I.3.4 - MONTAJE CON CEYS

Una vez seleccionado el tipo de sustancia se procedió al montaje en serie de la mayoría de las sondas. Dicho proceso ha conllevado las siguientes operaciones:

- Limpieza cuidadosa de la sonda y de cada uno de sus componentes de todo tipo de sustancia que pudiera posteriormente dificultar la labor del adhesivo CEYS. El principal problema con el que nos encontramos en esta operación fueron los restos de vaselina grasa procedentes del anterior montaje además de las incrustaciones que la sonda traía de su período de medida dentro de los pozos. Para la limpieza de estas impurezas fue necesario la utilización de un disolvente. Durante este proceso fue necesario tener mucho cuidado por el peligro de que esta sustancia pudiera afectarnos en contacto con el PVC a la mayoría de los componentes y al circuitaje de que se compone la sonda.

- Aplicación del adhesivo en los huecos laterales de la sonda justo encima de la conexión entre el electrodo de conductividad y hembrilla que lo conecta al circuitaje. Estos huecos fueron rellenados totalmente y encima se colocó una tapa de PVC especialmente diseñada para esta misión.

- Rellenado de la cápsula donde está alojado el termistor cuidando que los cables que de ella salen no se vean dañados al colocar la placa de sujeción. A nuestro juicio la entrada de agua en este compartimento, fue la causa fundamental de que algunas sondas dejaran de medir temperatura en la campaña anterior.

I.3.5 - MONTAJE CON PERLAS DE PARAFINA.

Para un mejor estudio de las características de las distintas sustancias empleadas en el montaje de las sondas se decidió montar algunas sondas con parafina.

La mejor forma de montar la sonda con perla de parafina era llevar a esta sustancia a su estado de licuefacción, para que de esta manera rellene cada uno de los huecos existentes en la sonda.

Antes de aplicar la parafina en los huecos laterales de la sonda se procedió a la aplicación de un adhesivo super glue-3 del tipo loctite en la zona de contacto entre los electrodos y la hembrilla del circuitaje eléctrico. Esta operación se realizó al observar que éste era un punto de entrada de agua, y por lo tanto, causante de la oxidación. Además, existía otro hueco que quedaba en la zona por la que los electrodos medidores de conductividad salían al exterior que también fue rellenado de adhesivo. Este proceso se repitió en los agujeros de salida de cables en la cápsula medidora de temperatura donde se aloja el termistor.

I.3.6 - PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD.

Uno de los principales problemas que se planteó fue la necesidad de conseguir que el compartimento donde van alojadas las conexiones de la sonda estuviera aislado de la entrada de agua. Para conseguirlo era necesario utilizar una sustancia que hiciera este compartimento estanco.

La única forma de conseguir esta peculiaridad era utilizar una sustancia sellante para cerrar esta zona. Como se ha mencionado anteriormente, uno de los factores que se tuvo en cuenta a la hora de elegir la sustancia de relleno fue que tuviera características sellantes para conseguir un compartimento estanco.

Con estas directrices se hicieron una serie de pruebas de comprobación de las características de estanqueidad de las distintas sustancias.

En un principio se eligieron una serie de sondas montadas con adhesivo termofundible y se les sometió durante varias semanas a una solución salina a diferente temperatura. Si algunas de las sondas no superaban esta prueba serían desmontadas por completo procediendo al análisis del montaje.

Después de esta experiencia piloto y al comprobar que algunas de las sondas presentaban fallos de montaje, se sometió cada una de las sondas a similares procesos una vez montadas. De esta forma nos aseguraríamos que cada sonda montada funcionaría dentro del rango de variaciones físico-químicas que habíamos simulado.

En conclusión cada una de las sondas sufrió un control de calidad total en cada paso del montaje y sellado.

I.3.7 - CALIBRACIÓN.

El proceso de calibración fue el mismo proceso utilizado en la campaña anterior, dividido en dos fases:

I.3.7.1 Calibración de temperatura.

I.3.7.1.1 Calibración de KT1 (Constante de 00C)

Para la calibración de esta constante a introducir para cada una de las sondas, en el equipo de lectura. Para ello en un recipiente con agua se consiguió 00C. Se fue introduciendo cada una de las sondas y modificando la posición del KT1 hasta que la lectura en el maletín de lectura coincidió con 00C. Este proceso se repitió para cada una de las sondas.

I.3.7.1.2 Calibración de KT2 (Constante de variación de temperatura).

En este caso se elevó la temperatura del agua hasta una temperatura de 400C y se procedió para cada una de las sondas seleccionando un KT2 distinto.

I.3.7.2 Calibración de Conductividad.

El cálculo de las constantes KC1 y KC2 en el caso de la conductividad es mas complejo. Para este menester fue necesario establecer una medida comparativa entre nuestro registrador y un medidor de conductividad comercial del tipo YSI a una misma temperatura. El desarrollo del proceso ha consistido en:

I.3.7.2.1 Medida en bidones de calibración.

Se prepararon 12 bidones con diferentes concentraciones patrón de sal en los cuales se midió además la conductividad con un conductivímetro de precisión de la casa YSI. Las conductividades y concentraciones obtenidas se reflejan en la siguiente tabla:

Nº Bidón	Concentración gr/l	Conductividad YSI umho/cm
1	0.4	1000
2	1.5	2750
3	3	5000
4	5	8000
5	7	11000
6	10	15500
7	12	19000
8	16	24500
9	19	29000
10	23	35000
11	27	41000
12	32	48500

En cada uno de estos bidones se midió la conductividad con cada una de las sondas teniendo en cuenta la temperatura a la que se realizaba la medida.

I.3.7.2.2 Cálculo de la curva de regresión y del KC1, KC2.

Con los valores de conductividad real medida con el YSI y las medidas de la sonda se intento ajustar a una recta con la siguiente expresión:

$$Y = KC1 * (e^{KC2 * X} - 1) \quad \text{donde} \quad \begin{cases} KC1 = KC1 * 10^4 \\ KC2 = KC2 * 10^5 \end{cases}$$

Con los resultados obtenidos para cada sonda mas los obtenidos en el apartado de calibración de temperatura se confeccionó una tabla que serviría como rutina de medida para cada sonda.

Sonda	Long.	KC1	KC2	KT1	KT2
1	26	1.1	5.8	379	625
2	10	9	8.8	440	280
4	28	1.1	6.1	314	290
8	31	1.7	5.4	340	290
10	32	1.1	7.4	368	380
11	31	8	8.01	350	247
38	36	1	8.94	404	868
13	36	6	1.5	355	535
14	38	8	1.1	308	810
15	40	1.1	8.58	420	120
16	42	1	8.37	395	639
17	36	8	7.3	389	240
20	48	9	7.4	612	630
21	50	8	1.18	395	970
39	8	1.2	6.22	350	670
41	11	1.10	6.62	374	360
23	11	1.1	7.3	368	740
24	13	1.20	9.93	344	7.25
25	20	2	6.50	343	990
26	22	1	9.49	385	328
27	21	2	4.66	326	310
29	34	9	4.24	384	360
30	34	2	6.35	391	645
31	33	9	1.02	386	550
32	40	8	9.72	401	521
33	43	1.30	7.60	353	530
42	41	9	9.36	388	312
36	46	8	8.33	393	470
34	47	7	1.35	670	762
35	47	1	9.35	360	670

Las curvas de regresión utilizadas para calcular cada constante de conductividad en cada sonda aparecen en el Anexo 2.

I.3.8 - CAMPAÑA DE REIMPLANTACION DE SONDAS.

Un equipo de la Cátedra de Geofísica se desplazó a las zonas de estudio para proceder a la reinstalación de las sondas.

La metodología de trabajo fue la siguiente:

- Acondicionamiento del sondeo.
- Instalación de la sonda.
- Realización de fotografías.
- Lectura de datos.

La campaña se realizó durante los días 1 al 5 de julio de 1992 y la distribución de trabajo fue la que se refleja en las siguientes tablas:

REIMPLANTACION DE SONDAS EN ALMUÑECAR					
SONDEO	SONDA	COND.	TEMP.	FOTOS	DIA
Piezometro 6	41	1300	17.6	III-D	2/7
Cisterna San Cristobal	39	1410	19.5	I,II-D	2/7
Piezometro 5	2	4000	17.6	IV-D	2/7
Carmen del Pilar	1	7700	26.1	V-D	2/7
Piezometro 7	4	3630	16.3	VI-D	2/7
Piezometro 14	8	3100	18.3	XIX,XX-D	3/7
La Barrosa	14	800	21.1	XV-D	2/7
Piezometro 19 (San Isidro)	21	893	19.9	XVII-D	3/7
Braulio Salas	38	5200	17.4	XII,XIII XIV,XXII XXIII-D	2/7
Vahemosa	10	1270	19.2	XXI-D	3/7
Piezometro 17	13	730	17.2	XVIII-D	3/7
Piezometro 16	11	1110	16.3	X,XI-D	2/7
La Alvina	15	891	21.3	IX-D	2/7
Piezometro 21	17	1320	17.1	VIII-D	2/7
San Jose Obrero	16	926	17.6	XVI-D	3/7
Piezometro 24	20	827	16.9	VII-D	2/7
DETALLES TECNICOS					

REIMPLANTACION DE SONDAS EN ALMUÑECAR				
SONDEO	CEYS	LASTRE	PARAFINA	OBSERVACIONES
Piezometro 6	SI	-	-	-
Cisterna San Cristobal	SI	-	-	-
Piezometro 5	SI	-	-	-
Carmen del Pilar	SI	-	-	-
Piezometro 7	SI	-	-	-
Piezometro 14	SI	-	-	-
Piezometro 19	SI	-	-	-
La Barrosa	SI	SI	-	-
Braulio Salas	-	SI	SI	-
Vahemosa	SI	-	-	-
Piezometro 17	SI	-	-	-
Piezometro 16	SI	-	-	-
La Alvina	-	-	SI	-
Piezometro 21	SI	-	-	-
San Jose Obrero	SI	SI	-	-
Piezometro 24	SI	-	-	-
OBSERVACIONES				

REIMPLANTACION DE SONDAS EN CASTELL DE FERRO					
SONDEO	SONDA	COND.	TEMP.	FOTOS	DIA
Manuel Garcia	24	2360	18.9	XXII XXIII-D	4/7
Francisco Moreno	23	3670	19.2	XXIV, XXVD	4/7
Manuel Gonzalez	25	2800	20.7	XI, XII-E	4/7
Jose Martín	26	2060	20.1	XXVI-D	4/7
Manuel Rubiño	27	3140	34.4	-	4/7
Agrocastell	29	9100	34.3	XXVII-D I-E	4/7
Virgen Carmen	30	3700	18.2	II-E	4/7
S. Francisco Asis	32	3350	20	III-E	4/7
Serafín Galiano	35	2450	21.9	XI, XII-E	4/7
San Miguel	33	2900	19	IV-E	4/7
San Juan	31	5100	18.2	VIII-E	4/7
San Isidro	36	2300	18.9	VII-E	4/7
El Lance	41	3300	20.3	-	4/7
San José	34	1260	19.3	V, VI-E	4/7
DETALLES TECNICOS					

REIMPLANTACION DE SONDAS EN CASTELL DE FERRO				
SONDEO	CEYS	LASTRE	PARAFINA	OBSERVACIONES
Manuel Garcia	SI	-	-	-
Francisco Moreno	SI	-	-	-
Manuel Gonzalez	SI	-	-	-
Jose Martín	SI	-	-	-
Manuel Rubiño	SI	-	-	-
Agrocastell	SI	-	-	-
Virgen Carmen	SI	-	-	Nuevo edificio
S. Francisco Asis	SI	-	-	-
Serafín Galiano	SI	-	-	-
San Miguel	SI	SI	-	-
San Juan	SI	-	-	Motor funcionando
San Isidro	SI	-	-	-
El Lance	SI	-	-	Comunidad de regantes
San José	SI	SI	-	-
OBSERVACIONES				

En el Anexo 2 se adjuntan algunos fotos realizadas en esta campaña.

I.3.9 - RUTINA DE MEDIDA.

Una vez instaladas todas las sondas se indicó al operador de campo la rutina de trabajo en campo para la lectura. Este operador procedería a la lectura semanal desde el momento de la implantación de las sondas.

Además de realizar la lectura en las distintas sondas este operador debería informarnos del estado de conservación de las sondas procurando subsanar los pequeños problemas que pudieran aparecer. En el informe anterior dentro del tomo III en el apartado III.3.1 Características generales Pag 14, se describe detalladamente la rutina de trabajo empleada.

CAPITULO II - ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

II.1 - DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

II.1.1 - SITUACION DE LOS SENSORES.

Los trabajos realizados en esta campaña se basan en la red establecida en el proyecto anterior realizado para el Instituto Tecnológico Geominero de España titulado "ESTABLECIMIENTO DE UNA RED DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN POR INTRUSION MARINA EN LOS ACUÍFEROS COSTEROS DE GRANADA MEDIANTE TÉCNICAS DE CARÁCTER TERMOMÉTRICO". En dicho proyecto se buscaron las características técnicas y económicas necesarias para obtener una red adecuada de sensores de Conductividad/Temperatura en sondeos, que definieran con claridad un proceso de intrusión en ese tipo de acuíferos.

Con estas consideraciones y con los conocimientos sobre la geometría del sustrato impermeable y de la interfase, aportados por los trabajos de Geofísica de superficie realizados en esa zona por esta Cátedra (Domínguez de la Rasilla, Díaz Curiel, et al. TIAC'88) se adoptaron las siguientes profundidades para los sensores:

SONDAS INSTALADAS EN ALMUÑECAR. CAMPAÑA 1992-1993					
Nº	SONDEO	DIST. EJE	DIST. MAR	COTA SONDEO	COTA SENSOR
1	Carmen del Pilar	-150	150	4	-21
2	Piezómetro 5	110	200	4	-6
4	Piezómetro 7	-40	450	7	-20
8	Piezómetro 14	-250	1000	10	-20
10	Vahemosa (San José)	-30	1250	10	-22
11	Piezómetro 16	340	1250	10	-21
38	Braulio Salas	130	1300	14	-20
13	Piezómetro 17	-125	1570	15	-21
14	La Barrosa	125	1600	16	-21
15	La Alvina	490	1680	18	-20
16	San José Obrero	60	2060	20	-22
17	Piezómetro 21	300	2050	15	-21
20	Piezómetro 24	-350	2500	29	-19
21	Piezómetro 19	200	1720	16	-31

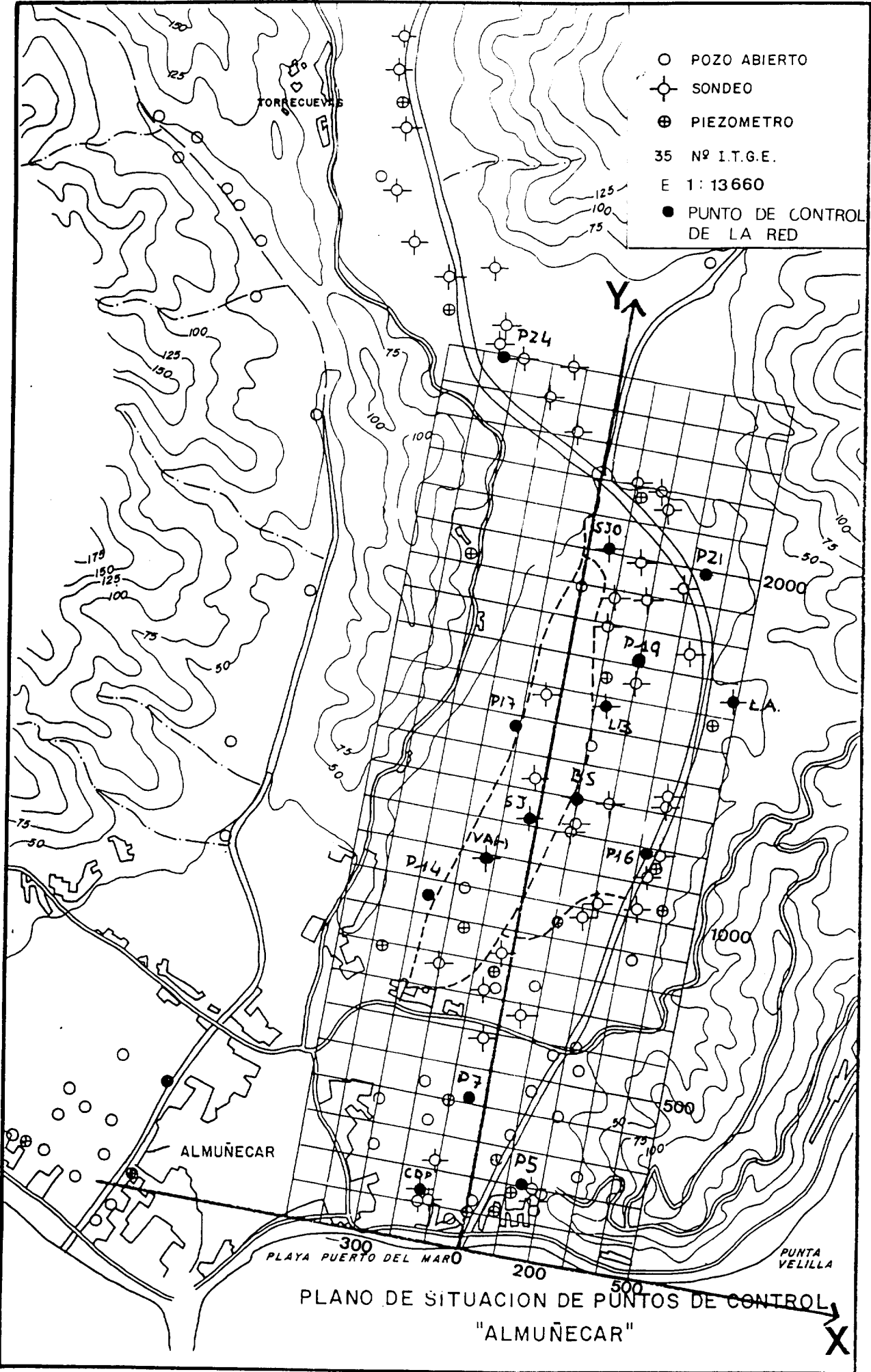
Las cotas a las que se alude en estas tablas estan referidas al nivel del mar en metros.

SONDAS INSTALADAS EN CASTELL DE FERRO. CAMPAÑA 1992-1993					
Nº	SONDEO	DIST. EJE	DIST. MAR	COTA SONDEO	COTA SENSOR
23	Francisco Moreno	-60	230	5	-4
24	Manuel García (Hotel)	-90	380	10	-3
25	Manuel Glez. Montes	60	550	12	-6
26	José Martín	125	750	14	-5
27	Manuel Rubiño	-80	790	16	-4
29	Ayto (Agro Castell)	20	1080	27	-5
30	Virgen del Carmen	40	1220	29	-3
31	San Juan	180	1260	30	-2
32	San Francisco de Asís	70	1330	33	-5
33	San Miguel	120	1570	36	-4
42	El Lance	275	1610	36	-3
34	San José	140	1780	40	-2
35	Serafín Galiano	460	1660	40	-4
36	San Isidro	270	1720	40	-3

El eje sobre el que se ha definido la distancia al centro de cada cuenca es intermedio entre la perpendicular a la línea de costa y la mediana de la misma. Se presentan los croquis de situación de los sondeos así como de dichos ejes. Como puede verse hemos tomado una profundidad media de -20 metros para los sondeos de Almuñecar y de -2 metros en Castell de Ferro.

Las cotas a las que se alude en estas tablas están referidas al nivel del mar en metros.

- POZO ABIERTO
- ⊕ SONDEO
- ⊕ PIEZOMETRO
- 35 Nº I.T.G.E.
- E 1:13660
- PUNTO DE CONTROL DE LA RED

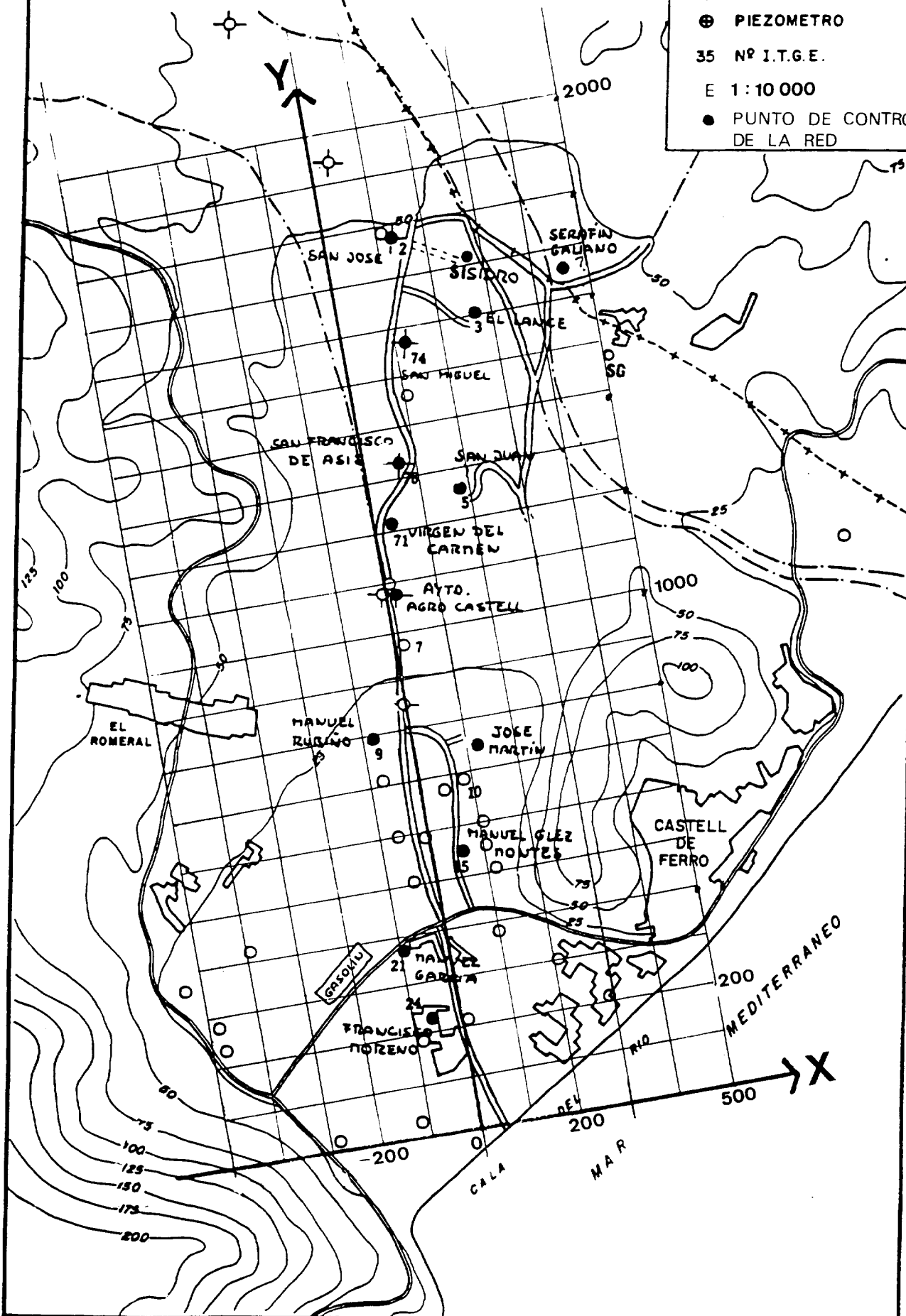


PLANO DE SITUACION DE PUNTOS DE CONTROL
"ALMUÑECAR"

PLANO DE SITUACION - PUNTOS DE CONTROL

"CASTELL DEFERRO"

- POZO ABIERTO
- ⊕ SONDEO
- ⊗ PIEZOMETRO
- 35 Nº I.T.G.E.
- E 1 : 10 000
- PUNTO DE CONTROL DE LA RED



II.1.2 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE MEDIDAS.

Una vez realizada la nueva instalación de las sondas, tras el proceso de reparación y calibración, se procedió a establecer un régimen de medidas semanal durante un período de un año, esto es, desde finales de Junio de 1992, fecha en que concluyó el montaje de las sondas, hasta Junio de 1993.

De esta forma mediríamos las variaciones de los parámetros (σ) y (T) en la estación otoñal que es cuando, según los datos recogidos de la zona, se produce el avance mas profundo del frente de salinización y, al mismo tiempo, se podría hacer un estudio de la evolución anual de los parámetros antes citados.

Esta elección del intervalo de medidas en semanas se ha realizado con un criterio mas bien estricto, es decir, el menor posible dentro de las consideraciones económicas, con el fin de evaluar el período óptimo para la ejecución de futuras campañas.

Una vez elegido dicho intervalo, los valores de cada acuífero debían registrarse en un mismo día para no producir pequeños desplazamientos temporales entre los datos de cada cuenca. Con este fin se decidió la contratación de un operador que, una vez puesta en marcha la rutina de medida, realizara éstas con ese intervalo y en la forma descrita en el tomo anterior.

No obstante, este intervalo no se cumpliría de forma exacta cada siete días por razones de disponibilidad del operador contratado para este servicio, lo cual no supone una alteración importante. De esa forma el programa de medidas realizado aparece en la siguiente tabla:

MEDIDAS REALIZADAS DURANTE 1992				
orden	FECHA		orden	FECHA
1	2 Julio		15	10 Octubre
2	12 Julio		16	17 Octubre
3	19 Junio		17	24 Octubre
4	26 Junio		18	30 Octubre
5	1 Agosto		19	6 Noviembre
6	6 Agosto		20	12 Noviembre
7	13 Agosto		21	19 Noviembre
8	20 Agosto		22	26 Noviembre
9	27 Agosto		23	4 Diciembre
10	3 Septiembre		24	11 Diciembre
11	10 Septiembre		25	18 Diciembre
12	17 Septiembre		26	24 Diciembre
13	24 Septiembre		27	31 Diciembre
14	1 Octubre			

MEDIDAS REALIZADAS DURANTE 1993				
orden	FECHA		orden	FECHA
28	7 Enero		39	26 Marzo 1993
29	15 Enero		40	1 Abril 1993
30	22 Enero		41	8 Abril 1993
31	29 Enero		42	16 Abril 1993
32	5 Febrero		43	23 Abril 1993
33	12 Febrero		44	1 Mayo 1993
34	19 Febrero		45	9 Mayo 1993
35	26 Febrero		46	15 Mayo 1993
36	6 Marzo		47	22 Mayo 1993
37	13 Marzo		48	1 Junio 1993
38	16 Marzo		49	5 Junio 1993

No obstante, las medidas no están completas en todos los sondeos. En primer lugar, las medidas de temperatura han ido anulándose en bastantes de las sondas instaladas. Por otro lado algunos de los sondeos no tienen continuidad debido, en la mayoría de los casos, a la eliminación del permiso (o de la llave de acceso).

El esquema de incidencias en las sondas de Almuñecar aparece en la siguiente tabla:

EVOLUCION DE SONIDAS EN ALMUÑECAR. CAMPAÑA 1992-1993		
Nº	SONDA	INCIDENCIAS
1	Carmen del Pilar	No acceso siempre. Sin acceso desde 26/03/93
2	Piezómetro 5	Sin temperatura desde 08/04/93
4	Piezómetro 7	Sin temperatura entre 10/10/92 y 18/12/92 y desde 26/02/93
8	Piezómetro 14	Sin temperatura desde 13/03/93
10	Vahemosa (San José)	Sin temperatura desde 23/04/93
11	Piezómetro 16	Sin temperatura desde 26/03/93
38	Braulio Salas	No mide desde 22/05/93
13	Piezómetro 17	Sin temperatura desde 23/04/93
14	La Barrosa	No mide desde 23/04/93
15	La Alvina	Temperatura dudosa
16	San José Obrero	Sin temperatura desde 26/02/93
17	Piezómetro 21	Sin temperatura desde 26/03/93
20	Piezómetro 24	Sin temperatura desde 23/04/93
21	Piezómetro 19	Mide sin problemas

Como puede apreciarse, al cabo de un año han resultado imperecederos sólo un 15% de los sensores de temperatura en las sondas instaladas en Almuñecar, mientras que los sensores de conductividad no parecen presentar problemas de importancia. No obstante, debemos señalar que se aprecia una ligera variación de

las lecturas después de un período de salinización, como si los electrodos hubieran quedado recubiertos con algo de dicha sal, aumentando entonces la lectura de conductividad.

En cambio en Castell de Ferro durante el mismo período han resultado fiables un 50% de los sensores de temperatura no produciéndose de nuevo deficiencias en las lecturas de conductividad (Algunas sondas simplemente no miden por descender en el momento de la medida, el nivel del agua en el sondeo por debajo de la cota a la que se encuentran). El esquema de incidencias en las sondas de Castell de Ferro es el siguiente:

EVOLUCION DE SONDAS EN CASTELL DE FERRO. CAMPAÑA 1992-1993		
Nº	SONDA	INCIDENCIAS
23	Francisco Moreno	Mide sin problemas
24	Manuel García (Hotel)	Mide sin problemas
25	Manuel Glez. Montes	Sin Temperatura desde 24/10/92
26	José Martín	Sin acceso desde 06/11/92 (*)
27	Manuel Rubiño	No mide desde 24/09/92
29	Ayto (Agro Castell)	Sin Temperatura desde 08/04/93
30	Virgen del Carmen	No acceso siempre
31	San Juan	Mide sin problemas
32	San Francisco de Asís	Temperatura dudosa desde 26/02/93
33	San Miguel	Sin temperatura desde 12/02/93
42	El Lance	No acceso siempre (*) Sin acceso desde 10/10/92
34	San José	Sin conductividad desde 19/11/92 Temperatura no siempre
35	Serafín Galiano	Sin temperatura desde 09/05/93
36	San Isidro	Mide sin problemas

Esta diferencia no parece tener ninguna explicación razonable, salvo el hecho de encontrarse las sondas en Almuñecar a una mayor profundidad y producirse por ello una mayor presión que pueda provocar la entrada de agua en las sondas.

También debemos señalar que el número de puntos de control que pueden perderse por causas ajenas al funcionamiento del equipo o los sensores es pequeño, lo que no implica que puedan surgir más imprevistos en redes análogas situadas en otras cuencas.

II.2. RESULTADOS OBTENIDOS.

Los valores obtenidos en cada uno de los días de medida se presentan en el Anexo 4 con los datos de conductividad corregidos a 25 grados centígrados.

II.2.1 - CURVAS INDIVIDUALES

Con el fin de mejorar la comprensión de los resultados se han incluido en el Anexo 5 las curvas de temperatura resultantes a lo largo del período de registro, en cada uno de las sondas instaladas .

A continuación comentaremos dichas curvas atendiendo a características comunes con respecto a su comportamiento ante la intrusión en función además, de su posición dentro de la cuenca.

Esta revisión ha sido realizada por separado para las dos zonas de estudio, Almuñecar y Castell de Ferro y en apartados distintos para los parámetros de conductividad y temperatura.

II.2.1.1 Zona de Almuñecar.

II.2.1.1.1 Conductividad.

Si nos fijamos en los valores máximos y mínimos de esta zona veremos que los valores oscilan entre 38.000 para el sondeo más próximo al mar (Carmen del Pilar) y de 1000 para el más distante (Piezómetro 24). Los valores de los máximos dependen muy directamente de su posición dentro de la cuenca y de la explotación de la zona donde se encuentren. Así, tendremos que los piezómetros 21 y 19 y el sondeo San José Obrero poseen máximos similares en torno a 3000. El piezómetro 17 y el sondeo Vahemosa se sitúan en la parte izquierda de la cuenca con máximos de 4.000, el sondeo la Alvina se encuentra a la derecha del eje con valores máximos de 1.500.

Otro factor que merece la pena destacar es la situación en el tiempo del fenómeno de intrusión en cada una de las sondas. De esta forma, dentro de nuestro período de medida (de Julio/1992 hasta Junio/1993) y para este acuífero, consideraremos tres intervalos para la situación de dichos máximos de intrusión. Si el máximo se encuentra entre Julio y Octubre de 1992 diremos que el máximo está desplazado a la izquierda, si el máximo se encuentra entre Octubre de 1992 y Febrero de 1993 el máximo estará centrado y por último, si el máximo se encuentra entre Febrero y Junio de 1993 estará desplazado a la derecha.

Con esos intervalos definidos, se observa que los sondeos de Braulio Salas, La Barrosa y San José Obrero poseen un máximo centrado. En el caso de los piezómetros 5 y 14 se encuentran desplazados hacia la izquierda (la intrusión llega antes). Por último, los Piezómetros 7, 17 y 21 poseen un máximo desplazado hacia la derecha es decir, la intrusión tarda mas tiempo en hacerse medible.

Otra característica interesante a tener en cuenta es la anchura de los picos máximos. En un principio, para un acuífero homogéneo e isótropo, dicha anchura debería ser muy similar. Sin embargo y como veremos, resulta ser función directa de las condiciones de explotación del sondeo donde se encuentra el sensor, junto con los que le rodean.

En este sentido, los sondeos Braulio Salas, La Barrosa y San José Obrero, que son sondeos explotados de forma continua, tienen máximos muy anchos llegando a ocupar, como es el caso de Braulio Salas, un período de tiempo que va desde Septiembre de 1992 hasta Febrero de 1993. Este fenómeno también se aprecia en piezómetros cercanos como el 16.

Por último, señalamos que en todas las sondas se refleja el aumento característico de la intrusión excepto en el piezómetro 24, además, claro esta, de las sondas que no funcionan por problemas de medida.

II.2.1.1.2 Temperatura.

En relación a los valores de temperatura se puede decir que los rangos de variación son muy elevados, obteniéndose valores entre 16 y 25 °C.

Además en todos ellos aparece una distribución de máximos y mínimos a lo largo del tiempo, que no parece presentar un criterio o ley determinado.

II.2.1.2 Zona de Castell de Ferro.

II.2.1.2.1 Conductividad.

Los valores de conductividad oscilan entre 33.000 y 6.000 que son valores más elevados que en Almuñecar. Ello puede deberse, entre otros motivos, al hecho de ser todos sondeos explotados.

Además, esta disminución no se produce de forma tan gradual sino que parece existir una zona intermedia con valores superiores a los valores próximos a la costa. De esta forma, en un primer examen podemos distinguir tres zonas distintas dentro de este acuífero:

1a - Compreendida por sondeos situados desde el mar hasta el centro casi de la zona de estudio, con valores intermedios: Francisco Moreno Puertas (13.000), Manuel García Cruz (16.000) y Manuel González Montes (12.000) José Martín (8.000) Manuel Rubiño (8.000)

2a - Situada en el tercio central y con los valores mas altos. Se encuentran en esta zona los sondeos Ayto. Agro Castell (33000), Virgen del Carmen (27.000), San Juan (15.000), San Francisco de Asís, (33.000) y San Miguel (16.000) . Los sondeos subrayados se alejan hacia el norte del eje de la cuenca.

3a - La mas alejada de la costa y con los valores mas bajos en casi todos los sondeos (El Lance, San José y Serafín Galiano 6.000), salvo en el de San Isidro (19.000) cuyo valor máximo se encuentra muy aislado y estrecho dentro del período anual.

Otro aspecto a comentar sobre las curvas de conductividad obtenidas, es si individualmente éstas reflejan intrusión o por el contrario no muestran relación alguna con ese fenómeno. En ese sentido vemos que los sondeos Manuel García Cruz, Agro Castell, Virgen del Carmen, San Juan, San Francisco de Asís (que es muy estrecha en el tiempo), San Miguel y San Isidro si presentan los máximos típicos. En cambio Francisco Moreno Puertas y Manuel González Montes muestran valores ligeramente altos durante todo el período de medida.

Con respecto a la situación en el tiempo del máximo de intrusión se aprecia una mayoría de curvas coincidentes (Agro Castell, Virgen Carmen, San Juan, San Francisco, San Miguel, San Isidro) algunas que se anticipan al ciclo promedio en el que se produce la intrusión como Manuel García Cruz y otras que se retrasan como Manuel González Montes.

Por último, también cabe señalar la existencia de un segundo máximo, aunque de amplitud menor, situado en torno al mes de abril en algunos de los sondeos: Manuel García Cruz, Ayto. Agro Castell, Virgen del Carmen, San Francisco, y San Isidro, en el que este máximo se muestra muy claramente.

II.2.1.2.2 Temperatura.

De los valores de temperatura se puede decir que los rangos de variación son algo mas elevados, obteniéndose valores entre 14 y 28 °C.

Tambien se puede destacar la tendencia plana de alguna de las curvas comprendidas en un intervalo de 4 °C (próximo a los 18 °C) como son Manuel García Cruz, Manuel Rubiño, Ayto. Agro Castell, Virgen del Carmen, San Miguel, El Lance.

Ademas, tenemos tendencias de temperatura distintas como en los sondeos San Juan, San Francisco, San José en donde la temperatura presenta máximos de 23 °C con tendencias hacia temperaturas altas. En los sondeos San Isidro y Manuel González Montes la temperatura presenta mínimos de 14 °C y las tendencias son a la baja.

II.2.2 - REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL DE RESULTADOS

Para tener una imagen global del proceso definido por las variaciones de conductividad y temperatura hemos representado dichos valores en tres dimensiones mediante un programa comercial las gráficas resultantes aparecen en los Anexos 6 a 9.

En ellas podemos comprobar que tanto la conductividad como, en menor medida, la temperatura reflejan las fases de avance y regresión del frente marino.

Ademas también se aprecia la variación de la concavidad de los planos de aproximación para los valores de temperatura, tal y como se modelizó en el tomo II del proyecto anterior.

II.2.2.1 Zona de Almuñecar.

II.2.2.1.1 Conductividad.

En primer lugar, y de forma general se observan las siguientes características:

- Se produce un cono de intrusión en los datos de conductividad aproximadamente en el centro de la cuenca, aunque éste pueda deberse a datos aislados de dicha zona.
- La forma de la cuña de la interfase marina durante el período de intrusión no es del todo paralela a la línea de costa sino que se encuentra ligeramente mas elevada hacia el Sur.

En detalle y del estudio de las superficies de aproximación de conductividad en la zona de Almuñecar podemos diferenciar cuatro períodos de evolución de las curvas:

- 1) Período comprendido entre Julio y Septiembre de 1992 se caracteriza por una débil bajada en los valores de conductividad en Julio seguido de un aumento progresivo a lo largo de Agosto y Septiembre. En este tramo la superficie del perfil según la distancia al mar es ligeramente convexa con valores más altos en la zona más próxima al mar.
- 2) Período comprendido entre Octubre y Diciembre se caracteriza por una subida brusca, en cuanto a conductividad, manteniéndose dicho valor durante los meses de Noviembre y Diciembre. La tendencia de estas curvas es a volverse mas convexas a medida que aumenta la intrusión.
- 3) Período que transcurre desde Enero hasta Abril de 1993 caracterizado por una bajada progresiva de los valores. Pasamos gradualmente de curvas convexas a cóncavas.
- 4) Débil aumento de la conductividad desde Abril hasta Junio de 1993. En este período se aprecia una estabilización de la concavidad.

En los cuatro períodos definidos tanto respecto a los valores de intrusión como a la concavidad de la curva hemos de resaltar un ligero máximo situado entre 900 y 1.000 metros desde el mar y un mínimo situado a 450 metros al sur del eje de la cuenca.

Otra característica a señalar es que los sondeos que se encuentran situados al sur de dicho eje tienen valores mas bajos de conductividad.

Por último, se aprecia que los máximos y mínimos locales se acentúan según aumenta la intrusión y se suavizan a medida que el fenómeno de intrusión disminuye.

II.2.2.1.2 Temperatura.

En cuanto a las superficies de aproximación de temperatura en la zona de Almuñecar podemos diferenciar los siguientes aspectos morfológicos a grandes rasgos:

- Existe un máximo en la zona norte según el eje de la cuenca el cual desaparece en el mes de Marzo de 1993. Este máximo se encuentra a 1.500 metros del mar.
- A partir de Agosto las superficies empiezan a hacerse convexas con máximos en la parte central de la cuenca y apareciendo máximos en Noviembre y Diciembre. Después de este período se produce un enfriamiento durante los meses de Enero a Mayo.

II.2.2.2 Zona de Castell de Ferro.

II.2.2.2.1 Conductividad.

A grandes rasgos podemos destacar en relación a las superficies de Castell de Ferro que se produce un fuerte cono de intrusión en los datos de conductividad aproximadamente en el centro de la cuenca y durante el período de intrusión.

En un estudio mas pormenorizado de estas superficies de aproximación de conductividad podemos diferenciar tres períodos de evolución de las curvas:

- 1) Período comprendido entre Julio y Septiembre de 1992 que se caracteriza por una débil bajada en los valores de conductividad en Julio seguido de un aumento progresivo a lo largo de Agosto y Septiembre.
- 2) Período comprendido entre Octubre y Diciembre que se caracteriza por una subida de la conductividad, manteniéndose dicha subida durante los meses de Noviembre y Diciembre.

3) Período que transcurre desde Diciembre hasta Junio de 1993 caracterizado por una bajada progresiva de los valores.

Al igual que en la zona de Almuñecar, los máximos y mínimos locales se acentúan según aumenta la intrusión y se suavizan a medida que el fenómeno de intrusión disminuye. A diferencia de la zona anterior, estos máximos mencionados enmascaran la tendencia de la curva a la concavidad o convexidad.

II.2.2.2.2 Temperatura.

La forma de las curvas de temperatura refleja mucho mejor la convexidad esperada según el modelo obtenido por elementos finitos en el informe anterior (Tomo II). Atendiendo a este fenómeno se pueden diferenciar los siguientes períodos:

- 1) Desde Julio hasta Agosto, donde la tendencia a la convexidad es poco marcada.
- 2) Desde Agosto hasta Febrero donde la curva es claramente convexa con máximos de convexidad durante los meses de Octubre y Noviembre.
- 3) Desde Febrero a Junio durante el cual se aprecia un decrecimiento de la convexidad en las curvas.

Al igual que en las demás superficies antes descritas, existen fenómenos locales que varían puntualmente según se modifica la intrusión dependiendo del régimen de explotación o de fenómenos más locales como se comentó anteriormente.

II.3 - ANÁLISIS DE MEDIDAS.

II.3.1 - METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Los objetivos finales de este proyecto eran dos:

- 1.- La determinación y seguimiento de la interfase de intrusión marina mediante una red adecuada de control.
- 2.- La evaluación de las ventajas de la medida de temperatura en cuanto a su posible antelación respecto a la conductividad.

Como se observó en el estudio anterior antes reseñado (Tomo II), las variaciones de temperatura no sólo se producen por efectos macroscópicos debidos al movimiento del frente marino, sino también por otros factores más locales tales como:

- Variaciones de transmisividad térmica en las proximidades de cada sondeo
- Existencia de otros focos térmicos: humanos, de vegetación, evapotranspiraciones, conos de eyección...etc.
- Influencia del funcionamiento de la bomba en los sondeos explotados.

Estos efectos son prácticamente imposibles de filtrar o eliminar, más aún si consideramos la no existencia del estado hidro-estacionario. Por este motivo, y tal como se verá mas adelante, el estudio de las medidas de temperatura debe hacerse de manera global, a través de un conjunto estadístico de medidas que nos permitan eliminar efectos indeseados como los anteriormente citados.

Al contrario que en la campaña realizada en 1990, en este período se ha obtenido una población suficiente de datos. Por lo tanto, es de esperar que los valores de conductividad y temperatura a lo largo del tiempos, obtenidos individualmente para cada sonda si

tengan fiabilidad estadística.

Para la consecución de los objetivos planteados se han creado varios programas de ordenador en lenguaje Basic que realizan los procesos que describimos a continuación:

- 1 - Grabación de datos de calibración
- 2 - Obtención matemática de curvas de calibración
- 3 - Grabación de datos de campo
- 4 - Corrección de dichos datos
- 5 - Elaboración y análisis de resultados

De estos programas, tanto el 1º como el 3º y el 4º no suponen ninguna peculiaridad reseñable. A continuación vamos a destacar los puntos fundamentales de los otros dos:

- 2 - Obtención de las curvas de calibración

Para la obtención de los valores paramétricos de dichas curvas se ha partido de los datos de lectura del equipo frente a los valores de conductividad obtenidos con el conductivímetro de laboratorio marca YSI para una serie de soluciones descritas en el apartado I.3.7. Dichos datos se han aproximado siguiendo un método de mínimos cuadrados a una función del tipo:

$$\text{Conductividad(YSI)} = KT1 * (e^{KT2 * Lectura} - 1)$$

donde las constantes $KT1$ y $KT2$ son las que posteriormente habrá que introducir en el equipo de medida para obtener directamente el valor de conductividad real (o casi real).

- 5 - Elaboración y análisis de resultados

Este programa realiza los siguientes procesos:

- I) Estudio de las curvas de temperatura en función de la fecha de medida para cada sonda.

- II) Estudio de las curvas de temperatura en función de la distancia a la línea de costa para cada acuífero.
- III) Estudio de las curvas de conductividad en función de la distancia a la línea de costa para cada acuífero.

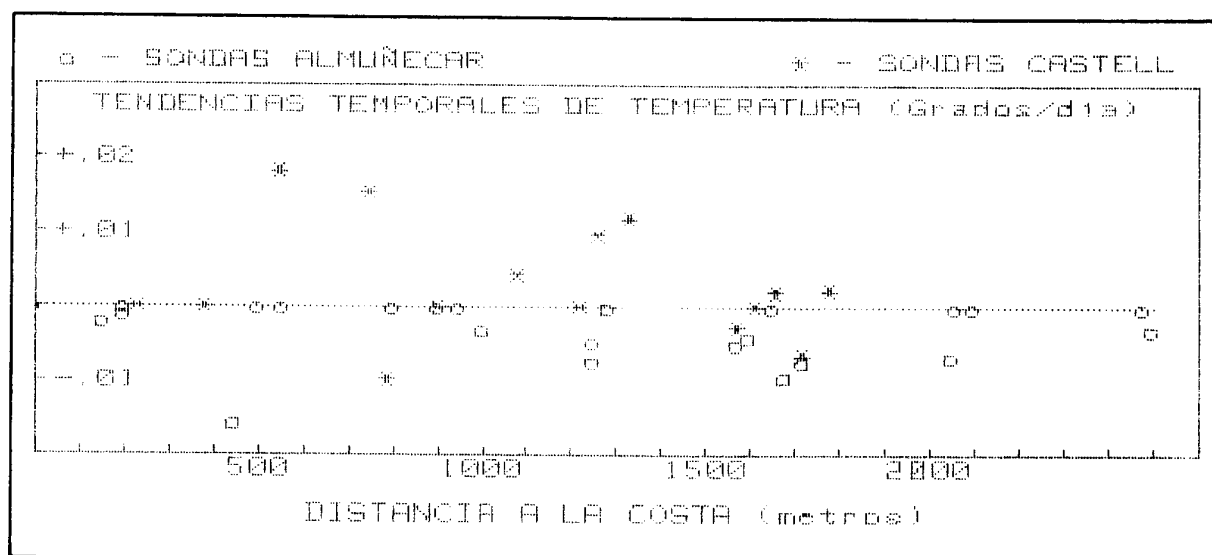
La descripción detallada de estos procesos se realiza en los siguientes apartados II.3.2. a II.3.4.

II.3.2 - CURVAS DE TEMPERATURA/TIEMPO DE CADA SONDA

En el análisis de visu que se ha realizado en el apartado II.2.1. se infería que esas curvas no mostraban variaciones que fueran representativas del fenómeno de avance/regresión de la interfase marina.

Con el fin de comprobar matemáticamente la poca representatividad de dichas curvas se realizó en primer lugar un análisis de las tendencias de dichas curvas cuyo resultado aparece a continuación:

CAMPAÑA 1992/93



En este gráfico, dichas pendientes no parecen mostrar a primera vista ningún efecto medible. No obstante, se ha realizado un estudio n/sigma para comprobar si matematicamente tiene sentido el cálculo de dichas pendientes. A continuación se representan (Tablas 1 y 2) los resultados de dicho estudio:

T A B L A 1				
ESTUDIO N-SIGMA PARA LAS CURVAS DE TEMPERATURA DE ALMUÑECAR				
SONDEO	PTE(t)	DELTA(t)	SIGMA(t)	D/S
Carmen del Pilar	-0.002	0.7	0.9	0.7
Piezómetro 5	-0.001	0.3	1.2	0.3
Piezómetro 7	-0.016	5.3	0.7	7.3
Piezómetro 14	-0.003	1.0	0.6	1.7
Vahemosa	-0.007	2.4	0.6	4.2
Piezómetro 16	-0.005	1.6	0.6	2.7
Piezómetro 17	-0.005	1.6	0.5	3.5
La Barrosa	-0.004	1.4	0.5	2.5
La Alvina	-0.009	3.2	1.2	2.7
San José Obrero	+0.000	0.0	0.9	0.0
Piezómetro 21	-0.007	2.2	1.0	2.3
Piezómetro 24	-0.003	1.0	0.7	1.4
Piezómetro 19	-0.007	2.4	0.9	2.9
Braulio Salas	-0.003	1.1	0.6	1.8
Cisterna S.Cristobal	+0.045	9.9	0.1	9.9
Piezómetro 6	+0.017	5.9	0.4	9.9

T A B L A 2				
ESTUDIO N-SIGMA PARA LAS CURVAS DE TEMPERATURA DE CASTELL				
SONDEO	PTE(t)	DELTA(t)	SIGMA(t)	D/S
F. Moreno Puertas	+0.001	0.2	0.7	0.3
M.García Cruz (hotel)	-0.001	0.3	0.5	0.7
M. González Montes	+0.018	6.1	1.3	4.7
José Martín	+0.015	5.2	0.7	7.9
M.Rubiño (A. Valle)	-0.010	3.3	0.4	7.5
Ayto (Agro Castell)	+0.004	1.4	0.5	3.1
Virgen del Carmen	+0.002	0.7	0.7	1.0
San Juan	+0.010	3.2	1.5	2.2
San Francisco de Asis	+0.012	4.0	1.8	2.3
San Miguel	-0.003	1.0	0.4	2.4
San José	+0.002	0.7	1.3	0.5
Serafín Galiano	+0.002	0.6	0.5	1.3
San Isidro	-0.007	2.2	1.1	2.1
El Lance	+0.019	6.5	0.5	9.9

Como puede verse, el valor D/S se mantiene muy bajo en la mayoría de los sondeos (salvo en aquellos donde se interrumpe la medida) por lo que matemáticamente esta aproximación lineal carece de sentido.

Por esta razón, se decidió realizar un análisis de las frecuencias de dichas curvas para ver si mostraban alguna periodicidad que coincidiera con los intervalos de intrusión.

Para ello se definió un algoritmo mixto entre el Teorema de Euler

para coeficientes del desarrollo en armónicos y un proceso numérico iterativo. Además, dado que la discontinuidad de las curvas podía suponer alteraciones sobre los resultados, se añadió la posibilidad de comparar con funciones periódicas definidas por el usuario.

De esta forma, los períodos encontrados matemáticamente, al no tener criterios de peso estadístico sobre un intervalo determinado, pueden presentar diferencias con otros períodos obtenidos gráficamente que, aún no siendo el de error mínimo, puedan acoplarse a la curva de temperatura/tiempo y tener mas sentido físico.

A continuación se presenta una tabla con los períodos principales encontrados para cada una de las sondas.

SONDAS INSTALADAS EN ALMUÑECAR. CAMPAÑA 1992-1993			
Nº	SONDEO	PERÍODO MATEMÁTICO	PERÍODO GRÁFICO
1	Carmen del Pilar	70	300
2	Piezómetro 5	259	-260-
4	Piezómetro 7	91	250
8	Piezómetro 14	245	-240-
10	Vahemosa (San José)	189	338
11	Piezómetro 16	63	260
38	Braulio Salas	154	-160-
13	Piezómetro 17	154	290
14	La Barrosa	154	338
15	La Alvina	168	300
16	San José Obrero	98	200
17	Piezómetro 21	119	320
20	Piezómetro 24	126	280
21	Piezómetro 19	168	50

Como puede verse los períodos determinados analíticamente y los definidos de forma gráfica no coinciden en general, salvo los

piezómetros 5 y 14 junto con el sondeo Braulio Salas.

También puede observarse un período medio en torno a 154 días (22 semanas) en un buen número de los sondeos. A la vista de los resultados observamos la diferencia que existe entre el período medio y el período matemático observado en cada sondeo:

1) En el caso de los sondeos Carmen del Pilar, piezómetro 7, piezómetro 16 y San José Obrero vemos que el período matemático medio es de 80 días (11 semanas).

2) En el caso de piezómetro 5 y piezómetro 14 vemos que el período matemático es de 252 días (36 semanas)

La diferencia existente en estos casos entre el período medio matemático y el período medio en cada caso puede justificarse en base a la variación que existe en la frecuencia de muestreo.

SONDAS INSTALADAS EN CASTELL DE FERRO. CAMPAÑA 1992-1993			
Nº	SONDEO	PERÍODO MATEMÁTICO	PERÍODO GRÁFICO
23	Francisco Moreno	82	150
24	Manuel García (Hotel)	406	200
25	Manuel Glez. Montes	196	-190-
26	José Martín	287	160
27	Manuel Rubiño	105	-100-
29	Ayto (Agro Castell)	119	-110-
30	Virgen del Carmen	42	230
31	San Juan	98	300
32	San Francisco de Asís	175	90
33	San Miguel	70	-70-
42	El Lance	175	-170-
34	San José	98	200
35	Serafín Galiano	154	260
36	San Isidro	42	180

Como puede verse los períodos determinados analíticamente y los definidos de forma gráfica muestran un mayor grado de similitud, llegando a coincidir en los sondeos Manuel González Montes, Manuel Rubiño, Ayto. (Agro Castell), San Miguel y El Lance.

Por otro lado se observa un período medio en torno a 98 días (14 semanas) en los sondeos Francisco Moreno Puertas, Manuel Rubiño, Ayto. (Agro Castell), San Juan, San Miguel y San José.

A la vista de los resultados observamos la diferencia que existe entre el período medio y el período matemático observado en cada sondeo:

1) En el caso de los sondeos Virgen del Carmen y San Isidro el período matemático medio es de 42 días (6 semanas).

2) En el caso de los sondeos Manuel González Montes, San Francisco de Asís, El Lance, Serafín Galiano el período matemático es de 175 días (25 semanas)

3) En el caso de los sondeos Manuel García (Hotel) y José Martín el período matemático es de 346 días (49 semanas).

La diferencia existente en estos casos entre el período medio matemático y el período medio en cada caso puede ser justificable en base a la variación que existe en la frecuencia de muestreo.

II.3.3 - CURVAS DE TEMPERATURA/DISTANCIA EN CADA ACUÍFERO

En primera aproximación, decidimos intentar ajustar las curvas de temperatura en relación con la distancia a la línea de costa, para cada fecha de medida, a una función del tipo:

$$T(X) = T_0 - \Delta T * \left(\frac{X}{\Delta X}\right)^n$$

que tiene más parecido con la expresión polinómica utilizada en la modelización teórica realizada en el Tomo II del estudio

anterior reseñado y cierto sentido físico si consideramos los parámetros que intervienen como:

T_0 = Temperatura del frente subterráneo en la línea de costa.

ΔT = Gradiente de temperaturas entre el agua subterránea marina y continental.

ΔX = Distancia máxima de avance de la cuña marina en su parte más inferior.

n = Exponente que indicaría el grado de intrusión (de 0 a 1) o el grado de regresión (de 1 a ∞) de la interfase.

Al representar los valores que dicho exponente tomaba a lo largo del tiempo, se observó que éstos no mostraban variaciones significativas, por lo que se analizó con más detalle qué otro estudio analítico podía reflejar ciertos factores de estas curvas relacionados con el fenómeno de movimiento de la interfase salina.

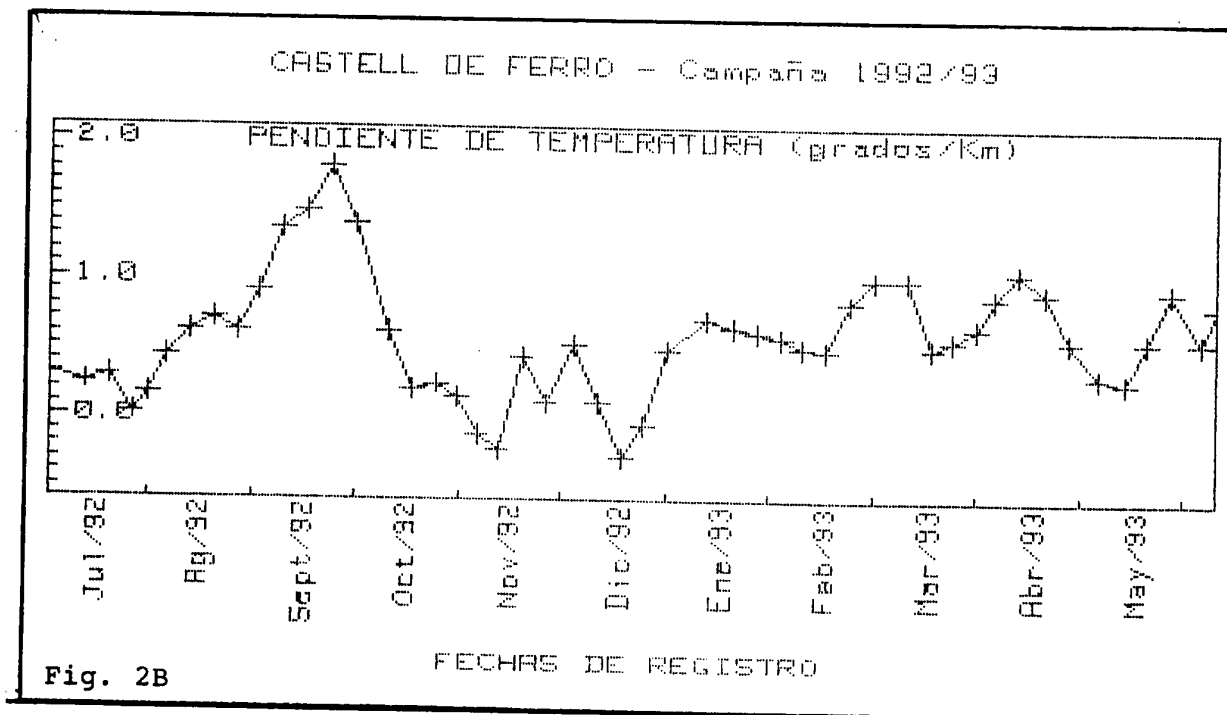
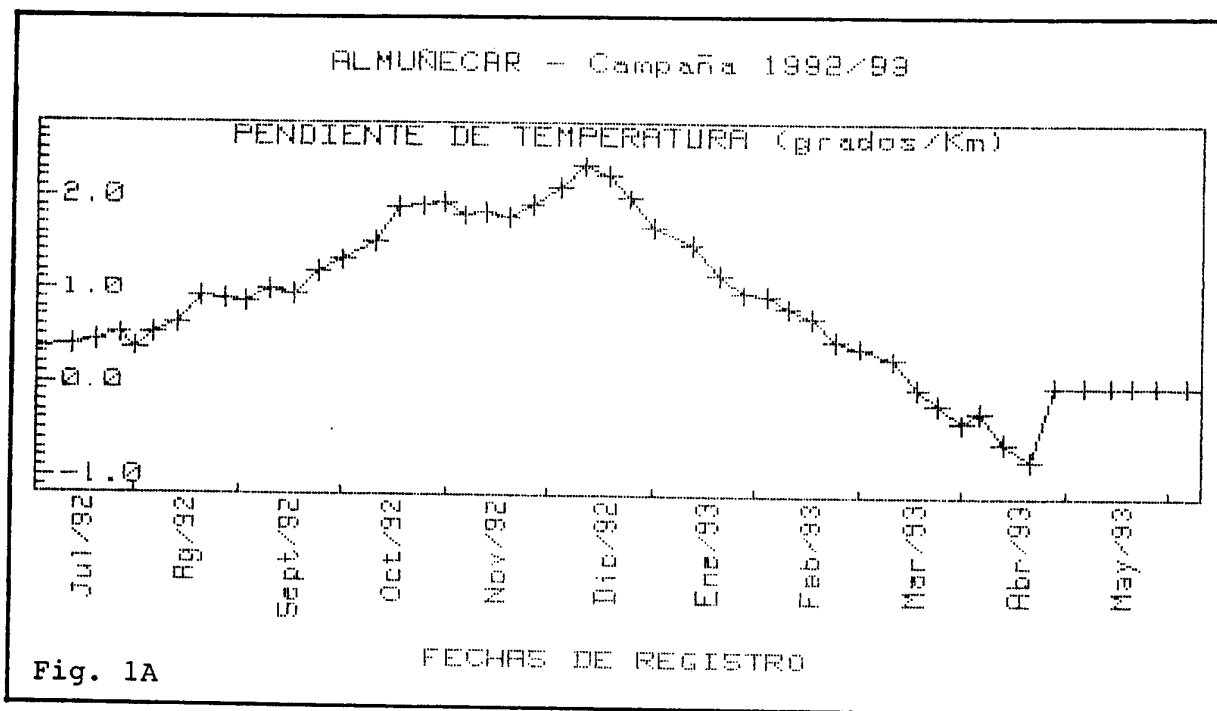
En esta línea, se llegó a la conclusión de que la superficie de intersección de las isotermas de la interfase con el plano que representan las cotas donde se encuentran situados los sensores podría aproximarse en 2D a una recta. En este caso, las pendientes de estas rectas nos informarían de las variaciones que sufriera la distribución de dichas isotermas.

De esta forma, en los momentos de avance del frente marino (isotermas convexas) dicha superficie mostrarían pendientes más altas que en las etapas de regresión (isotermas cóncavas).

Dichas rectas se han obtenido mediante el método de mínimos cuadrados resultando:

- Por un lado, que las ordenadas en la línea de costa y al final de la cuenca oscilan 3 o 4 grados, según el acuífero estudiado, y de forma inversa; esto es, en los momentos en los que dicha ordenada es mayor en la línea de costa, es menor al final de la cuenca.

- Por otra parte, se obtuvo que las pendientes de dichas rectas si reflejaban un fenómeno de intrusión tal y como aparece en las siguientes curvas:



CURVAS DE PENDIENTES DE TEMPERATURA: EN ALMUÑECAR (Fig. 1A);
EN CASTELL DE FERRO (Fig. 2B)

Como puede verse dichas curvas reflejan claros períodos de aumento del valor de la citada pendiente que son para cada acuífero:

- Almuñecar: de 1.15 a 2.4 °/Km entre Octubre y Diciembre.
- Castell: de 0.4 a 1.85 entre Septiembre y Octubre.

II.3.4 - DETERMINACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA INTERFASE.

Aunque en menor medida que la temperatura, la medida de conductividad también se ve alterada por efectos parecidos, pero esas modificaciones afectan además a un menor número de sondeos, por lo que su influencia en el análisis de un conjunto suficientemente elevado de sondeos es fácil de eliminar.

Este estudio se basa en la elección de una distribución óptima de sensores junto con un análisis de los parámetros que influyen en el fenómeno de la intrusión. En un primer esbozo los factores que influyen principalmente en este fenómeno son el coeficiente de transmisividades del acuífero, el gradiente vertical de presiones (o concentraciones) del agua del mar y la recarga de agua dulce.

Si consideramos una recarga determinada y dos puntos del acuífero a la misma profundidad (bajo el nivel del mar), uno cerca de la costa con alta concentración salina, C_A , y otro alejado hacia el interior con una concentración menor, C_B , la variación de concentración en función de la distancia, X , a la línea de costa viene dada por:

$$dC = \mu (C_A - C_B) dx$$

Siendo μ el coeficiente de transmisividad del acuífero. Esta ecuación tiene una solución general de la forma:

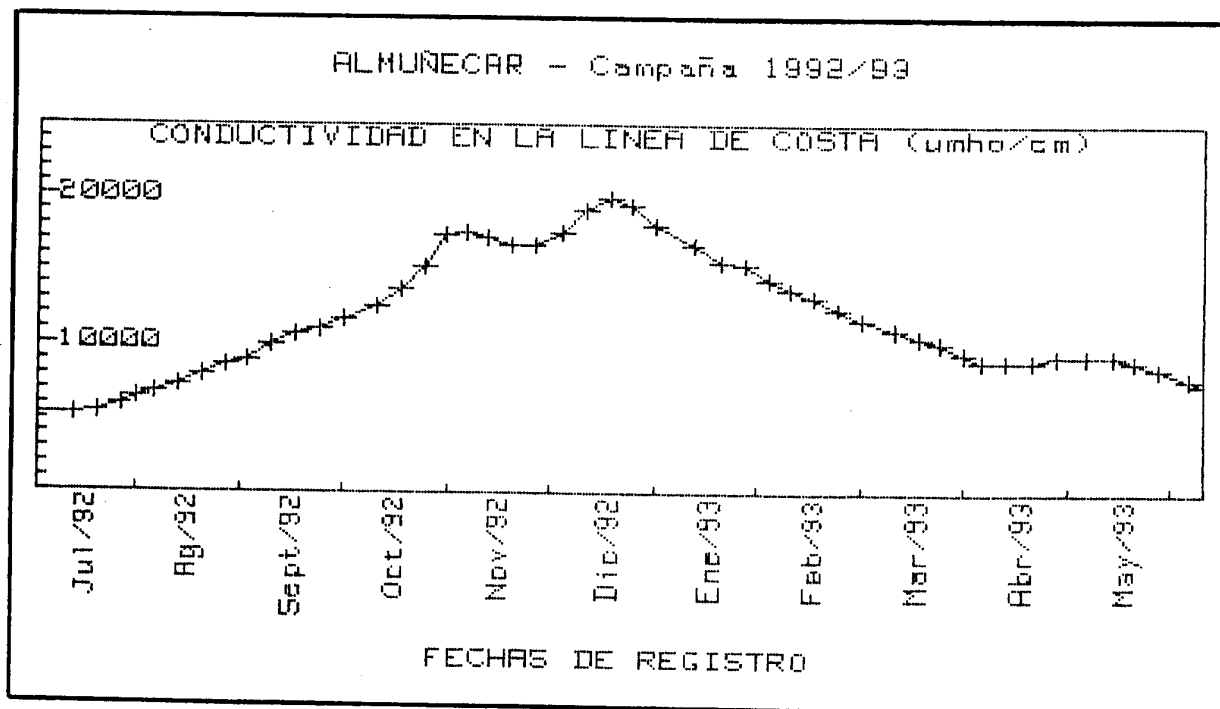
$$C(x) = K e^{-\mu x}$$

En donde K es la concentración inicial de sal. De esta manera, el

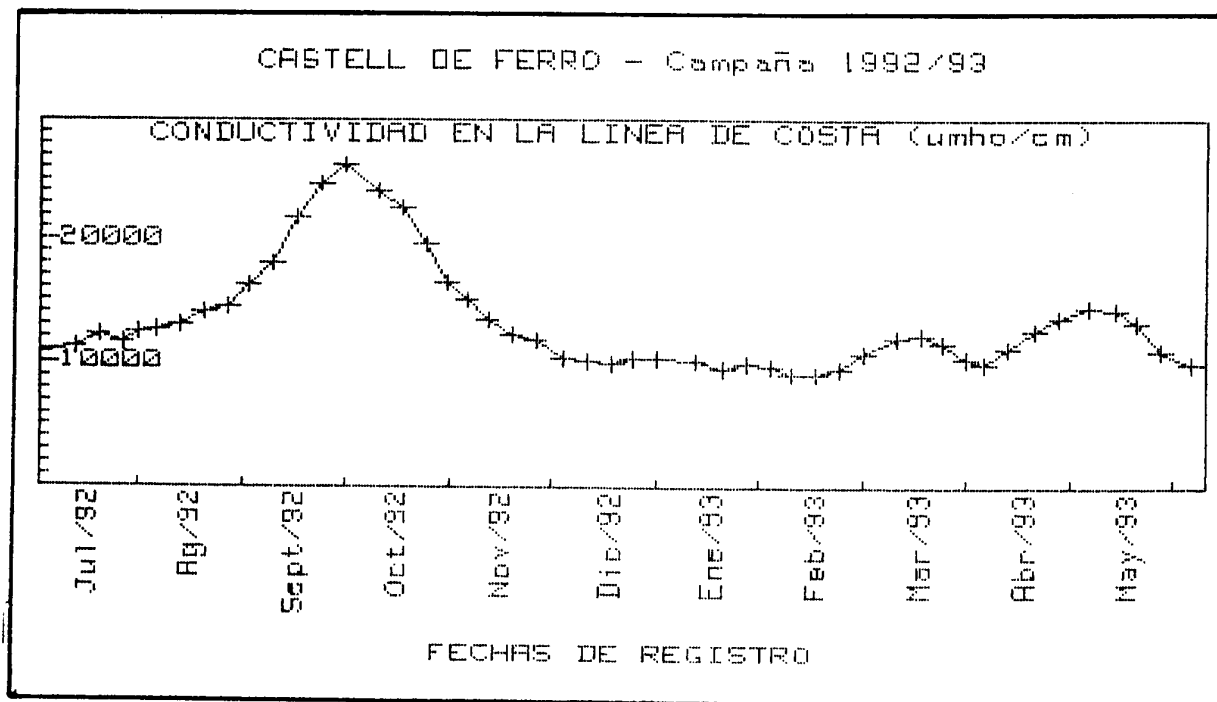
análisis de los datos de conductividad es una serie de puntos, alejándose de la costa y a una misma profundidad (bajo el nivel del mar) y representa un método muy válido para el estudio del acuífero.

En estas expresiones será el parámetro K el que va a representar de forma numérica el estado de avance o regresión del frente salino. De esa forma un valor de K mas elevado representará un mayor grado de intrusión y viceversa.

Con este fin, hemos representado los gráficos de variación de dicho parámetro a lo largo del tiempo en cada uno de los acuíferos (Ver Fig 1B y 2B). En ellos podemos ver como queda perfectamente representado el fenómeno de intrusión en el período estudiado.



Curvas de conductividad en Almuñecar
Fig. 1B.



Curva de conductividad en Castell de Ferro
Fig. 2B

En estos gráficos se aprecia un claro avance del frente marino tanto en Almuñecar como en Castell de Ferro, pero con una diferencia tanto en el tiempo durante el que se produce como en la intensidad de la misma.

Para el estudio final del avance, hemos representado en las tablas siguientes (Tablas 3, 3A, 4 y 4A), la situación de la interfase de conductividad de $1000 \mu\text{mho/cm}$ en función de la distancia a la línea de costa.

T A B L A 3				
SITUACION DE LA INTERFASE - ALMUÑECAR 1992/93				
FECHA	Cond(X=0)	X (C=5750)	X (C=2875)	X (C=1000)
02/07/92	5168	0	544	1544
12/07/92	5291	0	569	1569
19/07/92	5447	0	594	1594
26/07/92	5924	19	669	1669
1/08/92	6450	106	756	1744
06/08/92	6748	144	794	1794
13/08/92	7258	219	869	1856
20/08/92	7928	294	944	1944
27/08/92	8533	369	1019	2019
03/08/92	8966	406	1069	2056
10/09/92	9997	519	1169	2169
17/09/92	10558	569	1219	2219
24/09/92	10994	606	1256	2256
01/10/92	11537	644	1306	2294
10/10/92	12386	719	1369	2369
17/10/92	13612	806	1456	2456
24/10/92	15109	906	1556	2494
30/10/92	17336	1031	1681	2494
06/11/92	17526	1044	1694	2494
12/11/92	17127	1019	1681	2494
19/11/92	16647	994	1644	2494
26/11/92	16697	994	1656	2494
04/12/92	17533	1044	1694	2494
11/12/92	19033	1119	1769	2494
18/12/92	19821	1156	1819	2494

T A B L A 3A				
SITUACION DE LA INTERFASE - ALMUÑECAR 1992/93				
FECHA	Cond(X=0)	X (C=5750)	X (C=2875)	X (C=1000)
24/12/92	19320	1131	1794	2494
31/12/92	17918	1069	1719	2494
07/01/93	16555	994	1644	2494
15/01/93	15512	931	1581	2494
22/01/93	15237	906	1569	2494
29/01/93	14317	856	1506	2494
05/02/93	13641	806	1456	2456
12/02/93	13100	769	1419	2419
19/02/93	12357	719	1369	2356
26/02/93	11588	656	1306	2306
06/03/93	10979	606	1256	2256
13/03/93	10482	556	1206	2206
19/03/93	10032	519	1169	2169
26/03/93	9365	456	1106	2106
01/04/93	8948	406	1069	2056
08/04/93	8855	406	1056	2044
16/04/93	8861	406	1056	2044
23/04/93	9192	431	1094	2081
01/05/93	9545	456	1106	2094
09/05/93	9308	444	1106	2094
15/05/93	9003	419	1069	2069
22/05/93	8445	356	1006	2006
01/06/93	7811	281	931	1931
05/06/93	7436	231	894	1881

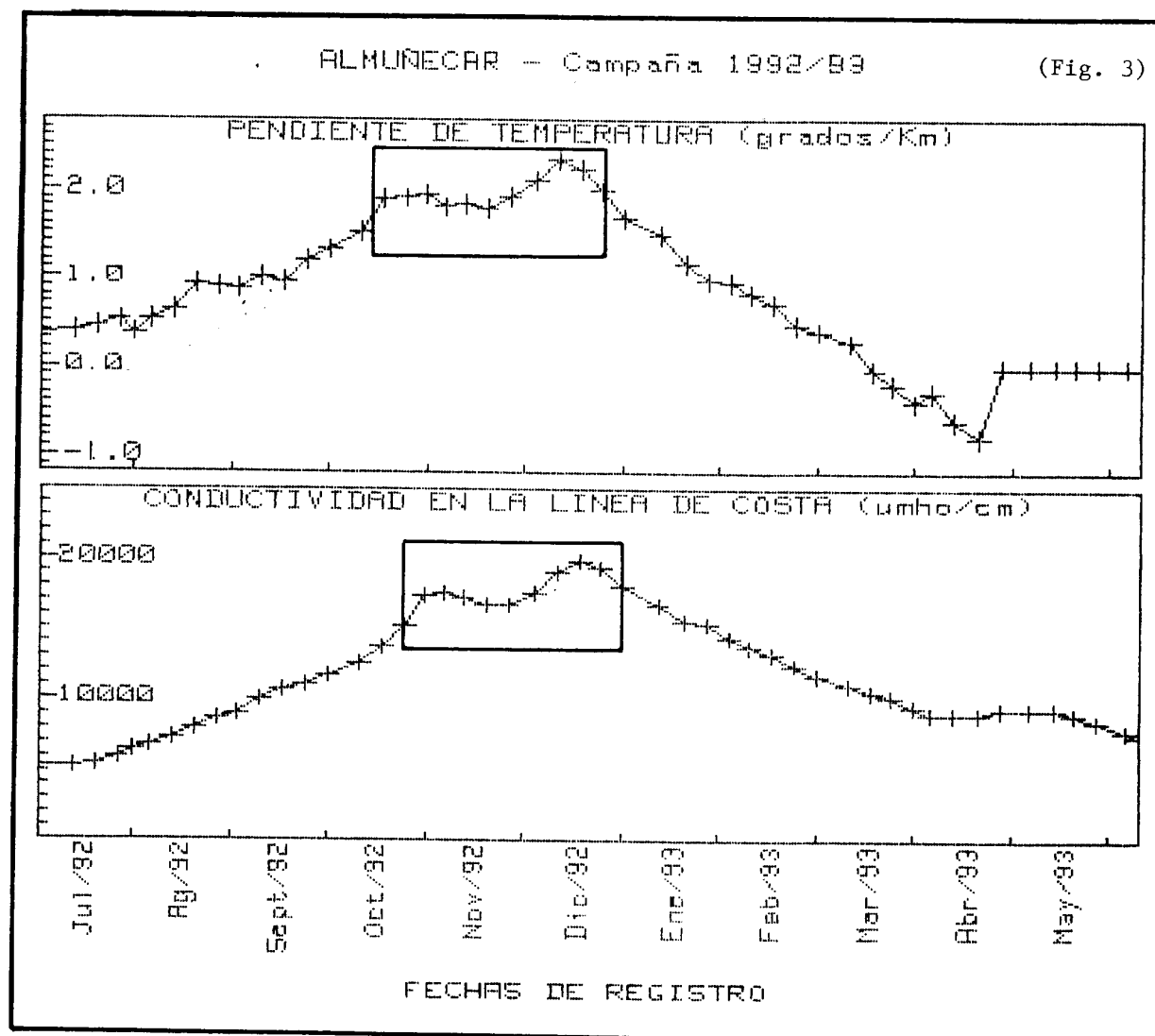
T A B L A 4				
SITUACION DE LA INTERFASE - CASTELL DE FERRO 1992/93				
FECHA	Cond(X=0)	X (C=5750)	X (C=2875)	X (C=1000)
02/07/92	10651	606	1469	2494
12/07/92	11052	656	1519	2494
19/07/92	12100	769	1631	2494
26/07/92	11586	706	1569	2494
1/08/92	12347	794	1656	2494
06/08/92	12588	819	1681	2494
13/08/92	12977	856	1719	2494
20/08/92	13909	944	1806	2494
27/08/92	14316	969	1831	2494
03/08/92	16220	1131	1994	2494
10/09/92	17908	1256	2119	2494
17/09/92	21732	1494	2356	2494
24/09/92	24624	1644	2494	2494
01/10/92	26101	1719	2494	2494
10/10/92	24022	1619	2481	2494
17/10/92	22458	1531	2394	2494
24/10/92	19573	1369	2231	2494
30/10/92	16400	1144	2006	2494
06/11/92	14923	1031	1894	2494
12/11/92	13275	881	1744	2494
19/11/92	12214	781	1644	2494
26/11/92	11811	731	1794	2494
04/12/92	10357	569	1431	2494
11/12/92	10021	531	1394	2494
18/12/92	9908	519	1381	2494

T A B L A 4A				
SITUACION DE LA INTERFASE - CASTELL DE FERRO 1992/93				
FECHA	Cond(X=0)	X (C=5750)	X (C=2875)	X (C=1000)
24/12/92	10271	556	1419	2494
31/12/92	10241	556	1419	2494
07/01/93	10106	544	1406	2494
15/01/93	9561	469	1331	2494
22/01/93	9969	531	1381	2494
29/01/93	9616	481	1344	2494
05/02/93	9074	406	1269	2494
12/02/93	9050	406	1269	2494
19/02/93	9559	469	1331	2494
26/02/93	10727	619	1481	2494
06/03/93	11925	744	1606	2494
13/03/93	12099	769	1631	2494
19/03/93	11444	694	1556	2494
26/03/93	10400	581	1444	2494
01/04/93	9871	519	1369	2494
08/04/93	11067	656	1519	2494
16/04/93	12444	806	1656	2494
23/04/93	13564	906	1769	2494
01/05/93	14261	969	1831	2494
09/05/93	14170	956	1819	2494
15/05/93	13162	869	1731	2494
22/05/93	10893	631	1494	2494
01/06/93	9868	519	1369	2494
05/06/93	9673	519	1369	2494

II.4 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

II.4.1 HIDROGEOLOGICAS

El estudio y análisis en detalle de los gráficos finales de conductividad y temperatura en Almuñecar y Castell de Ferro (Fig 3 y 4) han permitido conocer la dinámica del proceso en ambos acuíferos.



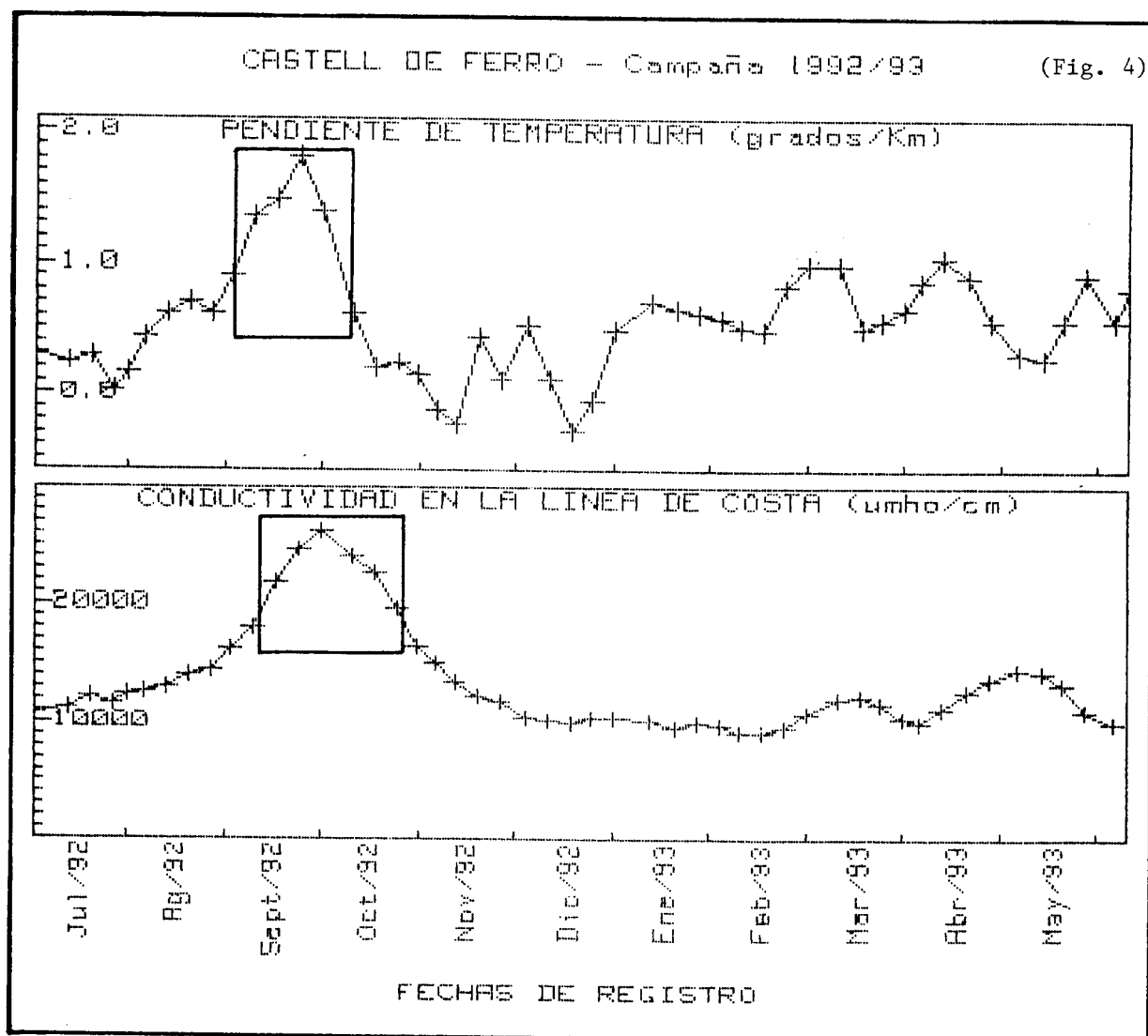
Almuñecar

El intervalo de valores máximos marcados en la curva de temperatura muestra una antelación media de **NUEVE** días sobre la etapa marcada en la curva de conductividad.

Asimismo, se aprecia una ligera distinción, dentro del citado intervalo, de dos máximos menores correspondientes el primero, al periodo comprendido entre el 15 de Octubre a 15 de Noviembre de 1992 y el segundo, al mes de Diciembre del mismo año.

En términos generales, dentro de este acuífero, podríamos hablar de un período de intrusión de aproximadamente CINCO meses de duración, abarcando prácticamente las estaciones de Otoño e Invierno.

También cabe señalar el gran parecido en el trazado de las dos curvas, mostrando ambas una suavidad similar a lo largo de todo el tiempo de medida.



Castell de Ferro

El intervalo de valores máximos marcados en la curva de temperatura muestra una antelación media de DOCE días sobre la etapa marcada en la curva de conductividad.

De forma esquemática, podemos considerar que el período de intrusión se produce en la estación otoñal, con una duración aproximada de TRES meses.

En este acuífero, a diferencia de Almuñecar, no se aprecia una similitud considerable las dos curvas; la curva de conductividad se muestra mucho mas suave que la curva de temperatura.

Ademas en la curva de temperatura, se pueden distinguir una serie de máximos y mínimos de orden menor, durante los meses de Diciembre de 1992 y Enero de 1993 y sin correspondencia con la curva de conductividad.

Tambien se aprecia la existencia de máximos menores durante los meses de Marzo y Mayo para la curva de conductividad y durante Marzo y Abril en la de temperatura. Estos máximos, situados fuera del intervalo definido, presentan una antelación del mismo orden que la mencionada anteriormente.

Todo ello implica que existe una clara diferencia en el comportamiento de los dos acuíferos. El fenómeno de la intrusión en Almuñecar parece mucho mas gradual, sin muchas variaciones en el tiempo reflejando un período mucho mayor que en Castell de Ferro.

Por tanto y en base a lo expuesto, podemos concluir que:

- 1 - Si se desea realizar un estudio de variaciones de temperatura en acuíferos libres detríticos es necesario establecer una red apropiada que permita realizar una interpretación conjunta global

dado que las variaciones individuales en un sondeo no son representativas para un fenómeno de tan poca influencia térmica como es el proceso de intrusión marina.

2 - En una red bien definida de sensores de temperatura se puede obtener la determinación de la intrusión marina con una antelación de aproximadamente dos semanas tal y como se aprecia en las figuras 3 y 4.

3 - La variación media de la temperatura con la distancia y la conductividad extrapolada en la línea de costa, para un conjunto de sensores, son parámetros definitorios en el análisis del movimiento de la interfase salina. De esta forma, en cualquier momento puede evaluarse el sentido de avance o regresión de dicho fenómeno analizando los valores que alcanzan dichos parámetros en el conjunto de los sondeos, y por lo tanto, en la cuenca.

4 - Mediante una red adecuada de sensores de conductividad es posible determinar una interfase pseudo-estacionaria que defina la posición aproximada del frente de intrusión marina respecto a la línea de costa y en profundidad.

II.4.2 - OPTIMIZACIÓN DE LA RED

Por todo lo expuesto en los apartados anteriores podemos concluir que el número de sondeos elegido para la red de control es próximo al mínimo necesario para alcanzar un análisis de detalle en una cuenca del tipo de las aquí estudiadas.

Esto es, aunque el límite encontrado para obtener aproximaciones matemáticas adecuadas ha sido de siete sondeos por cuenca, las pérdidas de puntos de medida que puede producirse y la obligada distribución de los sondeos, hacen prudente considerar siempre un número mayor (aunque no elevado).

El intervalo de tiempo entre medidas se muestra, en cambio, distinto en cada uno de los acuíferos estudiados. Así, mientras en Almuñecar el período de intrusión es mas amplio, y por lo tanto, quedaría definido con menos datos, en Castell de Ferro el intervalo de semanas es el apropiado para la definición de dicho período dado que éste es mucho menor en este acuífero.

La pérdida de las medidas de temperatura debido, tal y como hemos comentado, a la posible falta de estanqueidad de los sensores, hace recomendable la sustitución de éstos por otros de la misma precisión pero con un aislamiento de mayor calidad, aunque ello pueda parecer menos económico.

II.5 .- BIBLIOGRAFIA.

ALDAYA, F. (1981)

Mapa geológico de España. Albuñol (Granada). (1056).
ITGE, 36 págs. Madrid.

ALDAYA, F. (1986).

"Los mantos Alpujarrides al Sur de Sierra Nevada".
Tesis Doctoral Univ. de Granada (inédita), 527 p. Granada.

AL NIAMI, A.N.S., and RUSHTON, K.R. (1977)

"Analysis of flow against dispersion in porous media".
Journal of Hydrology, 33, 87-89.

BEAR, J. and DAGAN, G. (1964)

"Moving interface in coastal aguifers".
J. Hydraul. Div., ASCE, 90(HY4),193-216.

BENAVENTE HERRERA J. (1987)

"Consecuencia de la sobreexplotación en el acuífero costero de la
rambla de los Gualchos (Granada)"
IV Simp.Nac. Hidrogeología (685-698). Palma de Mallorca.

BENAVENTE HERRERA, J. et al (1988)

"Hidrogeología de los acuíferos del sector Oriental de la Costa
de Granada".
Tomo II (171-208). TIAC`88 - Almuñécar (Granada).

BENAVENTE, J. Y CAVACHE; A. (1981)

"Aspectos hidrogeoquímicos de algunos acuíferos costeros en la
provincia de Granada".
I. Simp. Agua Andalucía (731-754). Granada.

BENAVENTE HERRERA J. y TERRON GOMEZ, E. (1983)

"Características hidroquímicas del acuífero aluvial litoral de
Castell de Ferro (Granada)".
Hidrog. y Recursos Hidr., VII (229-238). Madrid.

- CARRASCO SANTOS, F. y GUZMAN DEL PINO, J.L. (1988)
"Los acuíferos costeros de la Cuenca del Sur. Síntesis del Plan Hidrogeológico".
Tomo III (491-504). TIAC`88 - Almuñécar (Granada).
- CASTILLO, E. et al (1986)
"Investigación sobre la cuantía y distribución de los déficits de agua para abastecimiento público en la comarca de la Contraviesa (Granada)".
I Simp. Agua Andalucía. 471-482. Granada.
- CHARMONAMAN, S., (1965)
"Solution of the pattern of fresh water flow in an unconfined coastal aquifer".
J. Geophys., RES., 70, 2815.
- DOMINGUEZ DE LA RASILLA; s. et al (1988)
"El método de polarización inducida como técnica de apoyo al estudio de las intrusiones marinas. Aplicación a los acuíferos de Almuñécar y Castell de Ferro (Granada).
Tomo III (361-373) TIAC`88 - Almuñécar (Granada).
- ESTEVEZ, A. et al (1985)
"Los Alpujárrides al Sur de Sierra Nevada. Una revisión de su estructura Rev. Mediterránea.
Serv. geol. nº 4 (5-32).
- ISASCS, LT. (1985)
"Estimating interface advance due to abrupt changes in replenishment in unconfined coastal aquifers".
J. Hydrol., 78, 279-289.
- I.T.G.E (1985)
"Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Guadalfeo y sectores adyacentes".
Informe (inédito). Málaga.

I.T.G.E (1987 a)

"Análisis de limnigramas en los acuíferos de Gualchos y Almuñécar".

Nota técnica nº 292 y 311. Málaga.

I.T.G.E (1987 b)

"Análisis de las explotaciones en los acuíferos de Gualchos y Almuñécar".

Nota técnica nº 293. Málaga.

I.T.G.E (1987 c)

"Control de la intrusión en los acuíferos de Gualchos y Almuñécar".

Nota técnica nº 291. Málaga.

I.T.G.E (1987 d)

"Control de calidad en los acuíferos de Gualchos, Almuñécar y la Herradura".

Nota técnica nº 296. Málaga.

SA DA COSTA, A. and WILSON, J. (1971)

"A numerical model of seawater intrusion in aquifers".

Tech. Rep. 247, R. M. Parsons Lab, for Water Resour, an Hydrodyn., Mass. Inst. of Technol., Cambredge, Mass.,

SHAMIR, U. and DAGAN, G. (1971)

"Motion of the sea water interface in coastal aquifers: a numerical solution, water resour. Res., 7(3) 644-657.

TERRON, E. (1983)

"Estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico de las ramblas Ancha y de Gualchos (Granada)".

Tesis de Lic. Univ. de Granada (inédita), 237 pp. Granada.

VAPPICHA, V.N. and NAGARAJA, SH. (1975).

"Steady state interface in an unconfined aquifer with a vertical outflow face".

In: Proc. Natl. Symp. on Hydrology, Roorkee, India.

VAPPICHA, V.N. and NAGARAJA, SH. (1976).

"An approximate solution for the transient interface in a coastal aquifer".

J. Hydrol., 91, 161-173.