

# MECANISMO DE CONTAMINACION SALINA DEL ACUIFERO PROFUNDO DEL BORDE SEPTENTRIONAL DEL DELTA DEL RIO LLOBREGAT (PUERTO FRANCO - BARCELONA)

Por **ANTONIO AGUADO DE CEA**

Ingeniero de Caminos

y **LUCILA CANDELA LLEDO**

Geólogo

Escuela T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.

El presente artículo define el posible mecanismo de contaminación salina del acuífero profundo del delta del río Llobregat en su parte septentrional (Puerto Franco, Barcelona) de acuerdo con los datos obtenidos últimamente.

## 1. INTRODUCCION

El sector de estudio, denominado "POLIGONO INDUSTRIAL DEL CONSORCIO DE LA ZONA FRANCA", está situado en el borde septentrional del delta del río Llobregat, entre éste y la montaña de Montjuich por un lado y la autovía de Barcelona-Castelldefells y el mar Mediterráneo por otro. (Fig. 1)

Este sector está englobado dentro de un marco más general, constituido por el delta y el valle bajo del río Llobregat. En él existen importantes acuíferos aluviales, los cuales están intensamente explotados para:

—Abastecimiento urbano a Barcelona y otras poblaciones limítrofes.

—Abastecimiento a las industrias situadas en este sector, dentro del área de influencia de Barcelona.

—Regadíos de la zona agrícola de Barcelona:

—Regadíos de la zona agrícola existente.

Los importantes intereses existentes y el patente deterioro de los acuíferos (salinización, presencia de cromatos, etc.), han motivado una concienciación a diferentes niveles, reflejada en los numerosos estudios realizados por:

Administración: Comisaría de Aguas del Pirneo Oriental (CAPO) y Servicio Geológico de Obras públicas (SGOP)

mecanismo de contaminación salina.

## 2. GEOLOGIA

### 2.1. Aspectos Generales

El área de estudio está enclavada en el ámbito definido por el Sistema Costero Catalán, en el que se pueden diferenciar distintas unidades.

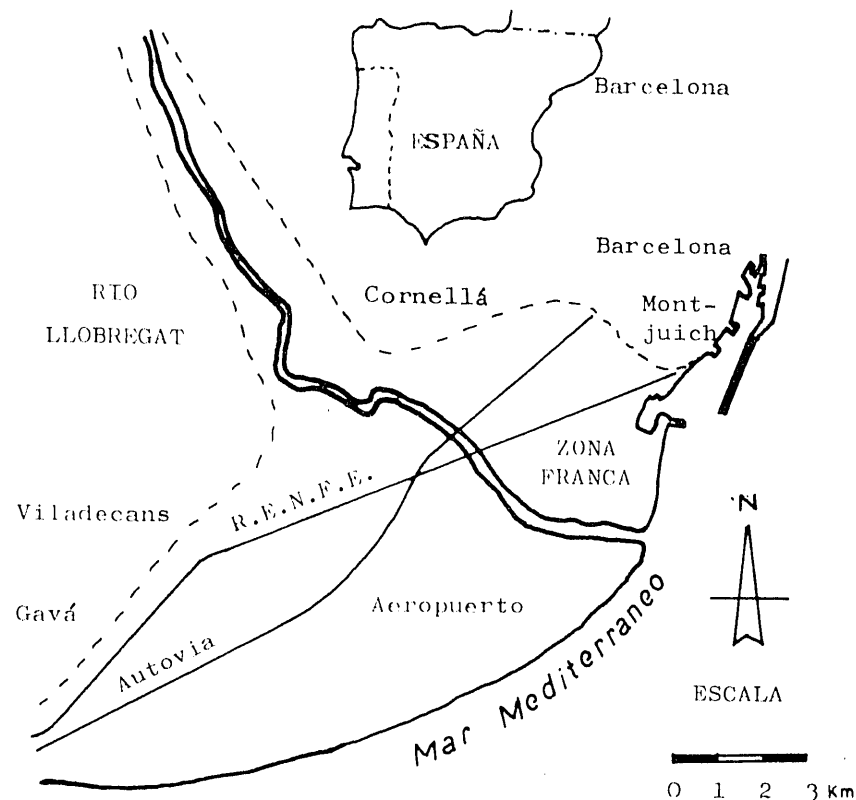


FIG. 1.- MAPA GENERAL DE SITUACION.

—Universidad Politécnica y Central de Barcelona:  
Diversas tesis y curso internacional de Hidrología Subterránea. (CIHS)

—Privado: Consorcio de la zona franca del puerto de Barcelona. (SEAT)

En la (Fig. 2) se muestran los pozos y piezómetros más significativos existentes en la zona, así como el esquema básico del

—Cordillera interior o prelitoral.

—Depresión prelitoral.

—Cordillera costera o litoral.

—Plataforma costera.

El interés del presente artículo reside en la última unidad, recubierta por depósitos pliocenos y cuaternarios, en su mayor parte fluviales (terrazas) y fluvio-deltaicos (delta).

## CONTAMINACION SALINA DEL ACUIFERO DEL LLOBREGAT

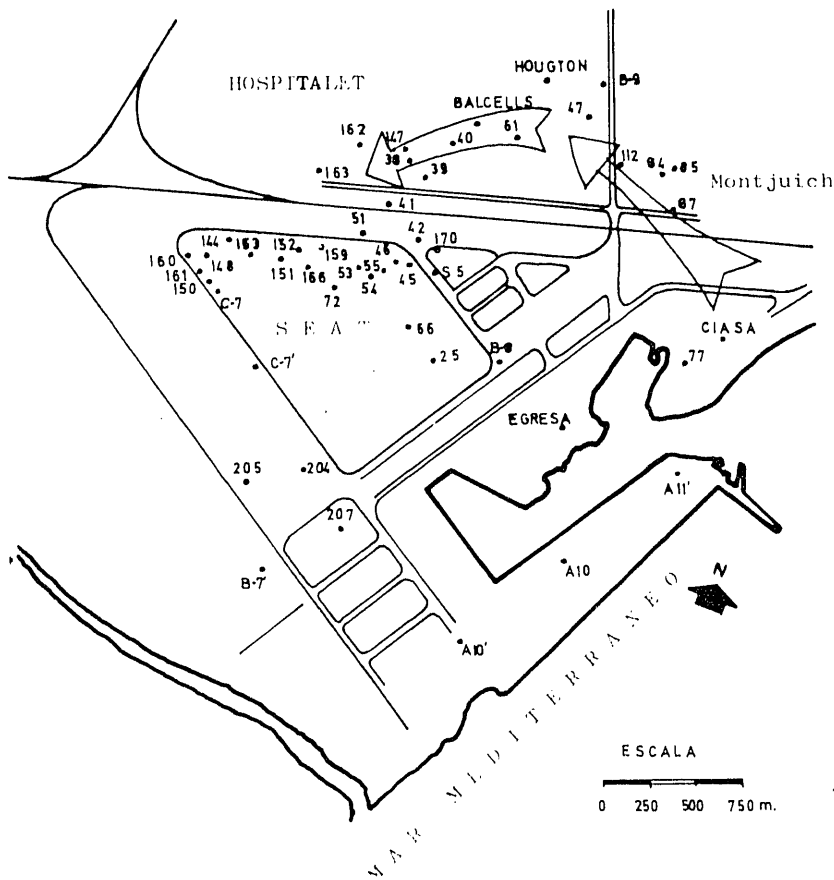


FIG. 1.- SITUACION DE POZOS Y PIEZOMETROS. MECANISMO DE INTRUSION

### 2.2. Estructura geológica del delta

El delta constituye una depresión costera formada por materiales fluvio-marinos pliocenos y cuaternarios, con una potencia superior a los 1.500 m., como lo evidencia el hecho de que a excepción de las zonas marginales del delta ningún sondeo ha atravesado materiales miocenos (Areniscas de Montjuich).

Debido a los constantes cambios de facies laterales y a su complejidad, es difícil establecer una serie representativa; sin embargo, al extrapolar los distintos datos obtenidos en los diversos sondeos realizados por el SGOP, la CAPO y varias empresas privadas (3) (4), podemos definir el siguiente corte geológico.

#### Mioceno de Montjuich

Afloran al Norte del sector y sólo son cortados en el sondeo B-

9 (Fig. 3), donde aparecen discordantes con relación a los materiales deltaicos. Está constituido por una serie de materiales alternantes, limos, arcillas más o menos arenosas y areniscas silíceas de distintas tonalidades. La dirección de fracturación es NE-SO y NO-SE, ésta última en muchos casos es una fuerte diaclasación.

#### Plioceno

Compuesto por margas y arcillas azules. Forman el sustrato impermeable de los materiales deltaicos. Presentan intercalaciones de arena y areniscas de espesor variable. Potencia superior a los 1.000 m.

#### Cuaternario Antiguo

Constituye la denominada serie amarilla. Conjunto de materiales detríticos amarillos; litológica-

mente son areniscas y conglomerados. Sobre estos materiales se puede localizar una capa de arcillas arenosas, con una potencia máxima de 15 m. en algunos sectores. En conjunto la serie alcanza del orden de los 100 m. de potencia.

#### Cuaternario Reciente

Está formado por:

—Gravas gruesas arenosas: Depósito de tipo fluvial en forma de banda continua que cambia lateralmente hacia los bordes en arenas medias. Las gravas son de granulometría variable, con una potencia que oscila entre los 5 y 15 m., con máximos de 20 m. Constituyen el acuífero profundo o nivel B, intensamente explotado en la actualidad. (95% del total de extracción del sector)

—Arcillas limosas y limos arcillosos orgánicos: Depósitos de color negro y gris, intercalados con niveles turbosos y de gas metano. Presentan una potencia máxima de 45 m. en la costa y se acúan hacia los bordes, para pasar lateralmente a arenas finas.

—Arenas: Depósitos de granulometría variable que oscilan desde arenas finas a gruesas, de color gris en su mayor parte y con algunos niveles turbosos. En el centro del sector presentan niveles arcillosos. Tienen un espesor total aproximado de 15 m. y constituyen el acuífero superficial o nivel A.

—Nivel superior: Depósitos de limos y arcillas marrones que disminuyen de espesor hacia los bordes y hacia la costa, donde desaparecen y son sustituidos por arena de playa. Es en este tramo donde se realizan actualmente actividades de excavación y relleno.

### 2.3. Estructura geométrica

A lo largo del valle bajo del río Llobregat no existe más que un acuífero. Sin embargo, a la altura de Cornellá, éste se desglosa en dos niveles principales.

**Nivel A o Acuífero superficial:** Formado por los materiales más modernos del cuaternario, princi-

# CONTAMINACION SALINA DEL ACUIFERO DEL LLOBREGAT

palmente arenas (se comunica de forma continua con el acuífero inferior en los bordes del delta).

**Nivel B o Acuífero profundo:** Depósito fluvial de gravas gruesas cuya granulometría se torna más fina en las zonas próximas al mar. Resulta de la prolongación del acuífero único que existe en el valle bajo. Posiblemente desaparece en la zona de estudio, a la altura del borde oriental de la factoría SEAT y en dirección paralela a la costa, según se deduce de los escasos datos de los sondeos realizados en dicho sector y del mapa de isocloruros.

**Acuitardo:** Depósito situado entre los dos niveles anteriores. Lo constituyen las arcillas limosas y limos arcillosos orgánicos, indicados con anterioridad. Es un lentejón que desaparece hacia los bordes del delta y con espesores máximos de 45 m.

**Nivel C:** Acuífero más profundo que los anteriores, detectado en algunos sondeos de reconocimiento. Por el momento se desconocen sus características.

## 3. HIDROLOGIA

### 3.1. Acuífero superficial

#### 3.1.1. Superficie piezométrica

Las superficies piezométricas, tanto del acuífero superficial

como del acuífero profundo, se han obtenido a partir de los niveles piezométricos actuales de pozos y piezómetros existentes, así como de la altimetría de la zona. (Fig. 4)

Cabe señalar, como recogen los estudios citados en la bibliografía, que se ha producido un descenso de los niveles piezométricos con el tiempo y que esta fase descendente continúa.

### 3.1.2. Parámetros hidráulicos

#### A.— CURVAS DE BREDDIN.

Para calcular los parámetros hidráulicos de los materiales deltáicos, se han aplicado en los 30 primeros metros los gráficos de Breddin a las curvas arano-

$$k_h \text{ (media)} = \frac{\sum k_i \cdot b_i}{H} = \frac{20 \times 9 + 5 \times 10^{-4} + 30 \times 14}{24} = 25 \text{ m/día}$$

siendo:

$K_i$  — permeabilidad horizontal de cada tramo.

$b_i$  — espesor del tramo.

$H$  — espesor total.

De aquí se deduce que la transmisividad,  $T$ , será:

$$T = K_h \cdot L = 600 \text{ m}^2/\text{día}$$

La permeabilidad vertical se considera despreciable frente a la

métricas obtenidas a partir de los sondeos situados en la ampliación del Puerto Interior. (3) (4)

Según se indica en (4), los materiales atravesados se han simplificado en tres tramos distintos.

—Arena fina y media con algunos niveles más limosos y con una permeabilidad horizontal que oscila entre 4 y 30 m/día.

—Arcilla limosa o limo arcilloso, con una permeabilidad horizontal del orden de  $5.10^{-4}$  m/día.

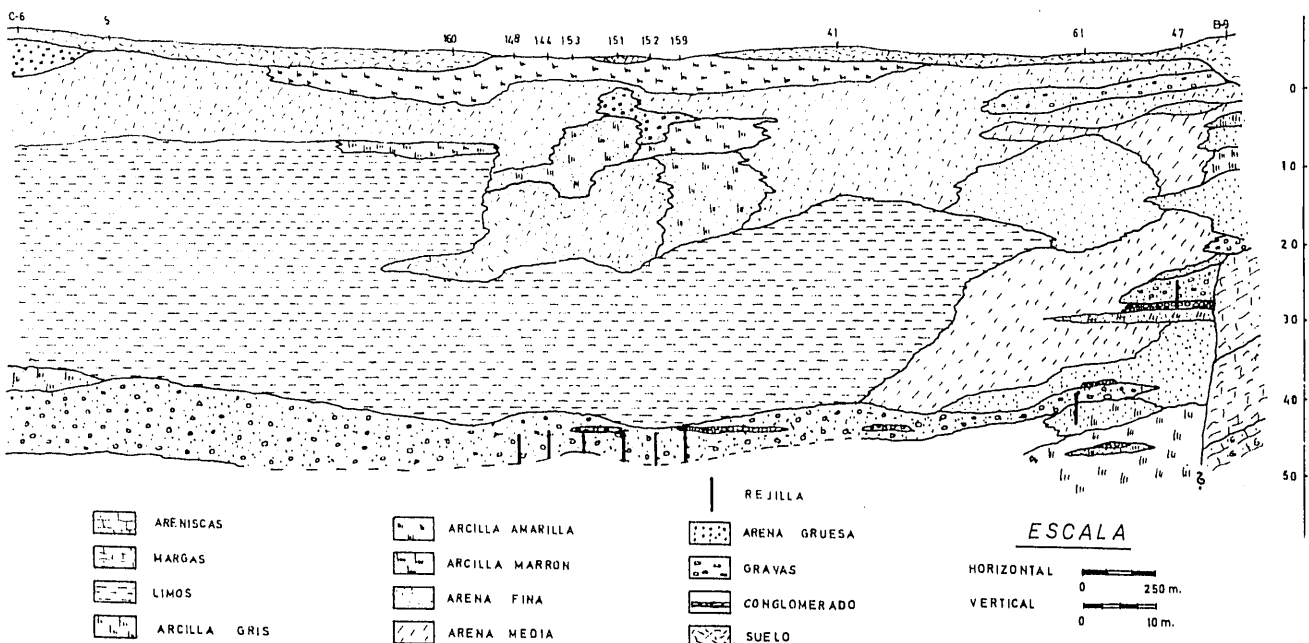
—Arenas medias con una permeabilidad horizontal del orden de 30 m/día.

Con objeto de obtener la transmisividad aproximada consideramos un espesor total de los tramos  $b = 24$  m. y una permeabilidad horizontal media  $K_h$  dada por la expresión:

permeabilidad horizontal, dada la estratificación existente y la presencia de finos estratificados. Esto puede verse con mayor detalle en (1).

#### B. CUÑA DE PENETRACION

A partir de los datos obtenidos anteriormente, se ha calculado la



# CONTAMINACION SALINA DEL ACUIFERO DEL LLOBREGAT

longitud de la cuña de intrusión marina. Para ello consideramos el acuífero superficial como confinado debido a los niveles arcillosos que aparecen en la superficie y calculamos el gradiente hidráulico  $i = 1\text{‰}$

El flujo de agua dulce  $q_0$ , por

$$L = \frac{\beta \cdot K \cdot H_2}{2 \cdot q_0} = \frac{1/40 \times 25 \text{ m}^2/\text{día} \times 576 \text{ m}^2}{2 \times 0,600 \text{ m}^3/\text{día}} \approx 300 \text{ m.}$$

siendo:

$$\beta = \frac{\gamma_s \cdot \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{1}{40}$$

$\gamma_d$  = peso específico del agua dulce.

$\gamma_s$  = peso específico del agua salada.

La longitud de la cuña de agua salada,  $L$ , es evidentemente menor que la existente entre los puntos de máximo contenido en cloruros y la costa; como se deduce de la Fig. 8. Además, la profundidad excavada en la ejecución del puerto interior no alcanza en ningún punto al acuífero inferior.

Estas dos características hacen menos factible la hipótesis relativa a la intrusión marina a través del puerto interior según la dirección NE-SO, tal como se ha mantenido en diversos trabajos (5) (7).

## 3.2. Acuífero profundo

### 3.2.1. Termometría

En la Fig. 5 se señalan los registros puntuales de las temperaturas del agua en diferentes pozos y piezómetros del sector realizadas en el presente año por GARCIA, J.L.

El hecho de que el gradiente geométrico estimado en la zona sea de  $0,03^\circ \text{C/m}$ . y que el intervalo máximo de temperaturas, en muestras tomadas a profundidades aproximadamente iguales, sea  $1,5^\circ \text{C}$ . nos indica la posible existencia de dos niveles B1 y B2 en el acuífero profundo. (Fig. 6) Estos dos niveles estarían separados entre sí por los conglomerados de espesor variable

unidad de ancho de costa es:

$$q_0 = T \cdot i = k \cdot H \cdot i = 25 \cdot 24 \cdot 10^{-3} =$$

$$6 \cdot 10 \text{ m}^3/\text{día} =$$

$$= 600 \text{ m}^3/\text{día}/\text{Km. de costa}$$

La penetración de la cuña  $L$ , medida a partir de la costa, viene dada por:

existentes en el acuífero, como refleja en los sondeos de los pozos 72,159.

Según datos de los pozos (archivo CAPO) y temperaturas del agua en ellos, se deduce que el nivel B1 es el que tiene mayor temperatura. Este hecho, contrario a la teoría del gradiente geotérmico, puede explicarse por medio de la existencia de un **flujo hídrico de agua marina**.

Este flujo estaría constituido según indica la fig. 6.

Por el nivel B2 circularía agua del mar Bino, más fría que la continental, que a su vez circula por el nivel B1.

Según esta hipótesis, las temperaturas y contenidos en cloruros en el agua, obtenidos en puntos próximos variarían en función de la posición relativa de la rejilla respecto a la cota de los conglomerados, lo que ha sido confirmado experimentalmente. Pozos 61,72.

Debemos indicar que para estudios posteriores sería necesario determinar las temperaturas del agua a lo largo de los pozos y no solo puntualmente.

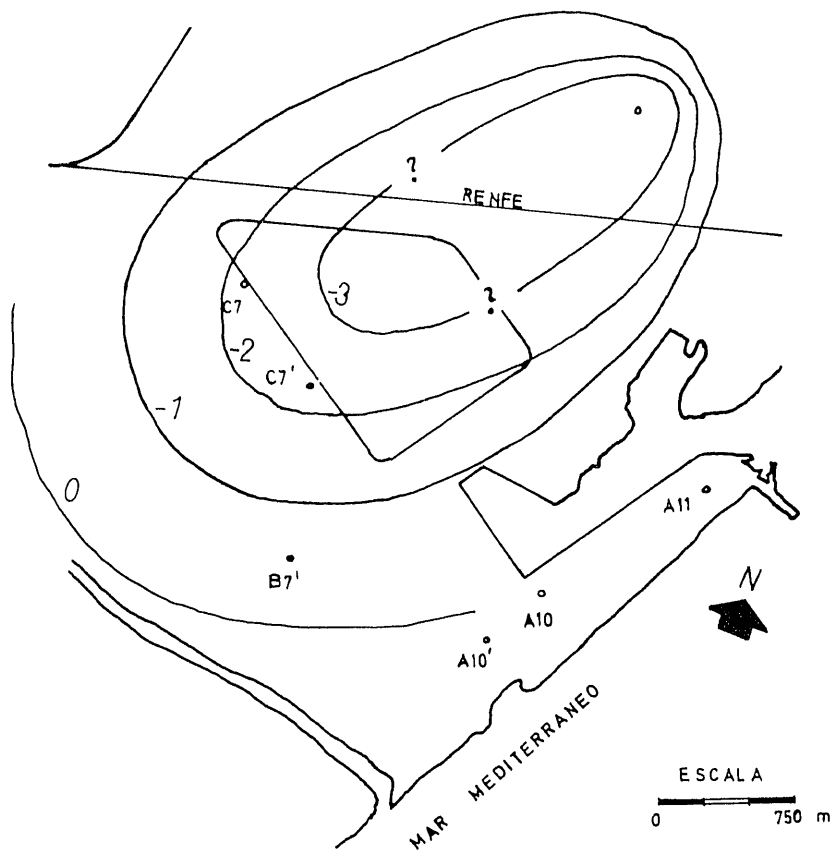
### 3.2.2. Superficie piezométrica

La superficie piezométrica del acuífero profundo se ha obtenido como se indicó en el apartado 3.1.1. y viene reflejado en la fig. 7.

Dos hechos nos indican la conexión existente entre el acuífero superficial y el acuífero profundo. Estos son:

—Conos de depresión semejantes, localizados en el mismo sector, de los acuíferos mencionados anteriormente. (Fig. 4 y 7)

—Presencia de tritio en las aguas del acuífero profundo. Este



# CONTAMINACION SALINA DEL ACUIFERO DEL LLOBREGAT

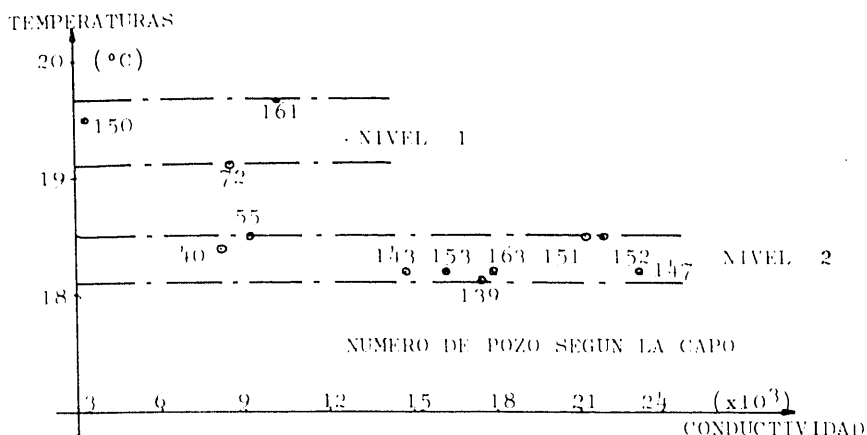


FIG. 5.- NIVELES DE TERMOMETRIA

elemento sólo aparece en aguas modernas (aproximadamente unos 20 años de edad), mientras que las del acuífero profundo son aguas antiguas.

Estos hechos los explicamos por medio de posibles fallos de construcción de los pozos o bien deterioro de los mismos con el tiempo. Esta conexión es cuantitativamente pequeña. (1)

Otra característica de la superficie piezométrica del acuífero profundo es la determinación de la dirección principal de flujo, según la recta NE-SO.

### 3.2.3. Mapa de isocloruros

Se ha construido mediante la determinación del contenido en cloruros, (Cl), de determinadas muestras de agua (Archivo CAPO) y de la medida "in situ" de conductividad (c). (Fig. 8).

En nuestro caso, los dos parámetros anteriormente citados vienen relacionados por medio de la recta:

$$C (\mu\text{mhom./cm.}) = 2,4862 \text{ Cl} - (\text{ppm}) + 1660$$

obtenida mediante un ajuste por mínimos cuadrados de 15 datos puntuales. El coeficiente de correlación  $r = 0,99$ , demuestra la buena precisión de esta relación, al menos para valores comprendidos entre 500 y 1.000 p.p.m. (Fig. 9)

Al analizar el mapa de isocloruros obtenemos las conclusiones siguientes:

—Avance de la intrusión marina en dirección NE-SO y sentido SO.

—Existencia de un área con

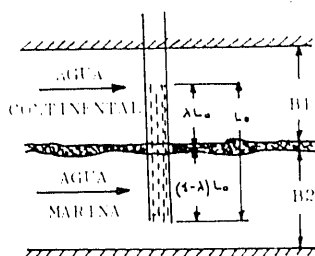


FIG. 6.- ESQUEMA DEL FLUJO HÍDRICO EN LOS SUBNIVELES DEL ACUIFERO PROFUNDO

bajo contenido en cloruros con respecto al resto del sector. Es una zona de pequeña transmisividad y coincide aproximadamente con el área donde desaparece el acuífero profundo.

En los análisis químicos se observan anomalías en el contenido en cloruros (Cl<sup>-</sup>) en muestras de agua de pozos relativamente próximos. Este hecho puede explicarse por medio de:

—La situación de la rejilla con respecto a los niveles B1 y B2 del acuífero profundo. Pozos n.º 72, 150 y 161.

—La explotación de un acuífero diferente al acuífero profundo. P. ej. Balcells y Houghton.

### 4. HIPOTESIS SOBRE EL PROCESO DE INTRUSION MARINA

El posible mecanismo de intrusión marina en el sector de estudio es el siguiente.

—Penetración de agua marina por la zona de contacto entre los materiales deltaicos y las areniscas de Montjuich, o bien a través de éste.

—Desvío de la corriente de agua de mar en la dirección NE-SO, como respuesta a la llamada

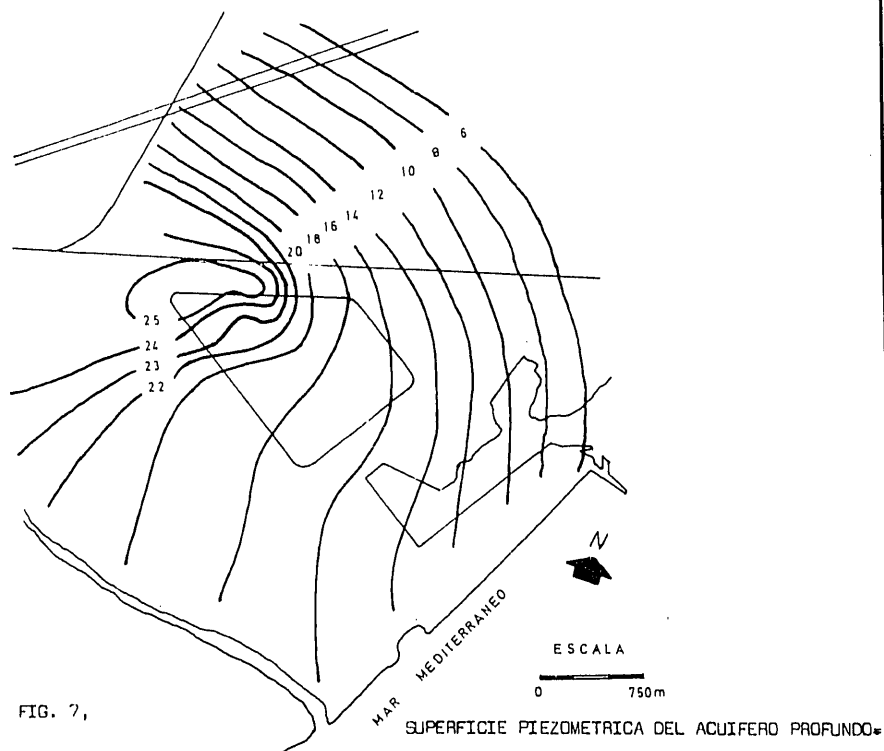


FIG. 7,

JUNIO 1977

## CONTAMINACION SALINA DEL ACUIFERO DEL LLOBREGAT

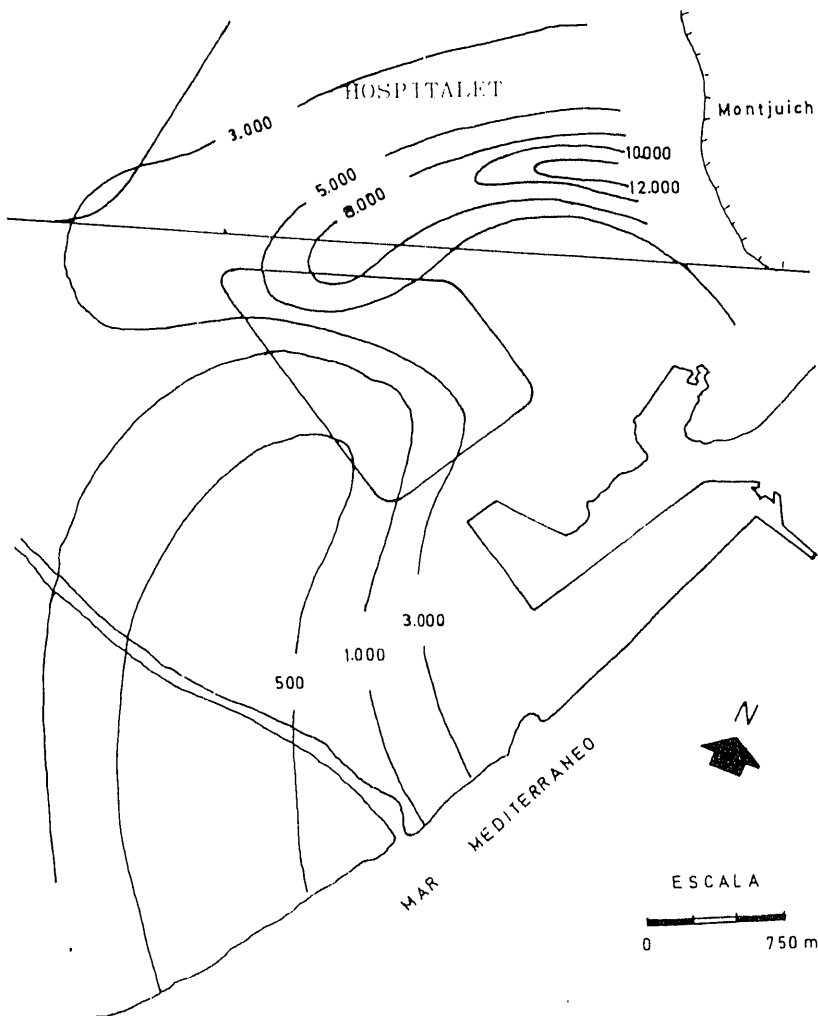


FIG. 8.- MAPA DE ISOCLORUROS. ACUIFERO PROFUNDO. JUNIO 77

de los fuertes bombeos existentes en la zona. (Fig. 2)

Las razones en que se basa esta hipótesis son de dos tipos, unas apoyan la existencia de un flujo de agua marina y otras indican la dirección y sentido de avance.

1.º las zonas de contacto son normalmente vías de penetración preferentes.

2.º Existencia de una banda de pequeña transmisividad anteriormente descrita, que dificulta el posible flujo en dirección NO-SE.

3.º La superficie piezométrica del acuífero profundo define la dirección NE-SO como la de máximo contenido en cloruros.

4.º Evolución en el tiempo del contenido en cloruros de las aguas de los pozos situados en la dirección NE-SO. Según los datos

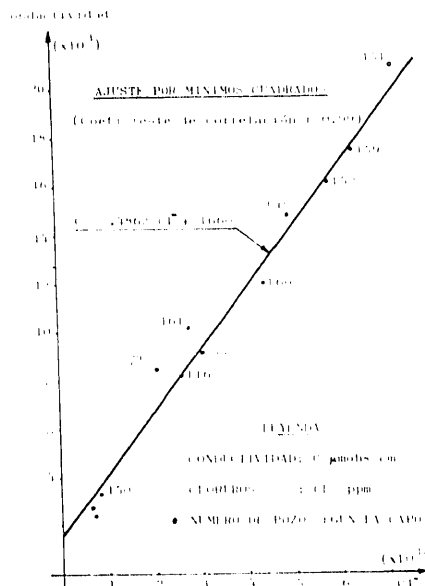


FIG. 9. RECTA DE CORRELACION C, Cl<sup>-</sup>

existentes (Archivo CAPO), el primer pozo con alto contenido en Cl fue el n.º 61 (en la actualidad es del orden de 13.000 p.p.m. en cloruros. (Fig. 8)

5.º La termometría constata la posible existencia de un flujo de agua marina en el acuífero profundo. (Ver Fig. 6)

### 5. CONCLUSIONES

A continuación se expresan las conclusiones que, a nuestro juicio se desprenden de este artículo. Se resaltan aquellas que implican puntos de vista diferentes respecto a trabajos anteriores.

1.º El mecanismo de intrusión marina, descrito en el apartado 4.

2.º Posiblemente la construcción del puerto interior no ha sido hasta el momento actual, un factor contaminante de primer orden, debido a:

- Longitud de la cuña de penetración del acuífero superficial (del orden de 300 metros).
- Profundidad de excavación (14 m., no alcanza en ningún punto al acuífero profundo).
- Baja permeabilidad barrera de baja transmisividad;

- Baja permeabilidad vertical del acuitardo.

3.º Presencia de una barrera de baja transmisividad; donde suponemos acaba el acuífero profundo.

### BIBLIOGRAFIA

- Aguado, A. y Candela, L. (1977) *Estudio de la evolución de la contaminación marina de los acuíferos del borde septentrional del delta del Río Llobregat. Puerto Franco - Barcelona*. C.I.H.S.
- Archivo C.A.P.O.
- Centro de estudios y experimentación de obras públicas (1972): *Informe sobre el muelle de containers. Barcelona*.
- Cimentaciones especiales S. A. (1975): *Muelle Principe de España*.
- Custodio, E., Cacho, F., Pelaez, M. D. y García, J. L. (1976): *Problemática de la intrusión marina en los acuíferos del delta del Llobregat. II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Sección de Ciencias Hidrológicas. Barcelona. 13 17 12 1976*.
- Marques, M. A. (1975). *Sedimentología y estratigrafía del delta del río Llobregat*. Tesis Doctoral.
- Nicolescu, T., Jaen, M. y Von Borries, F. (1975): *Evolución de la salinización de las aguas subterráneas en el Polígono Industrial del Consorcio de la Zona Franca*. C.I.H.S. Barcelona.
- Popa, S. y Hernández, J. (1974): *Análisis de la sequía de 1973 en las captaciones de agua (cantidad y calidad) existentes en la Zona Franca*. C.I.H.S. Barcelona.