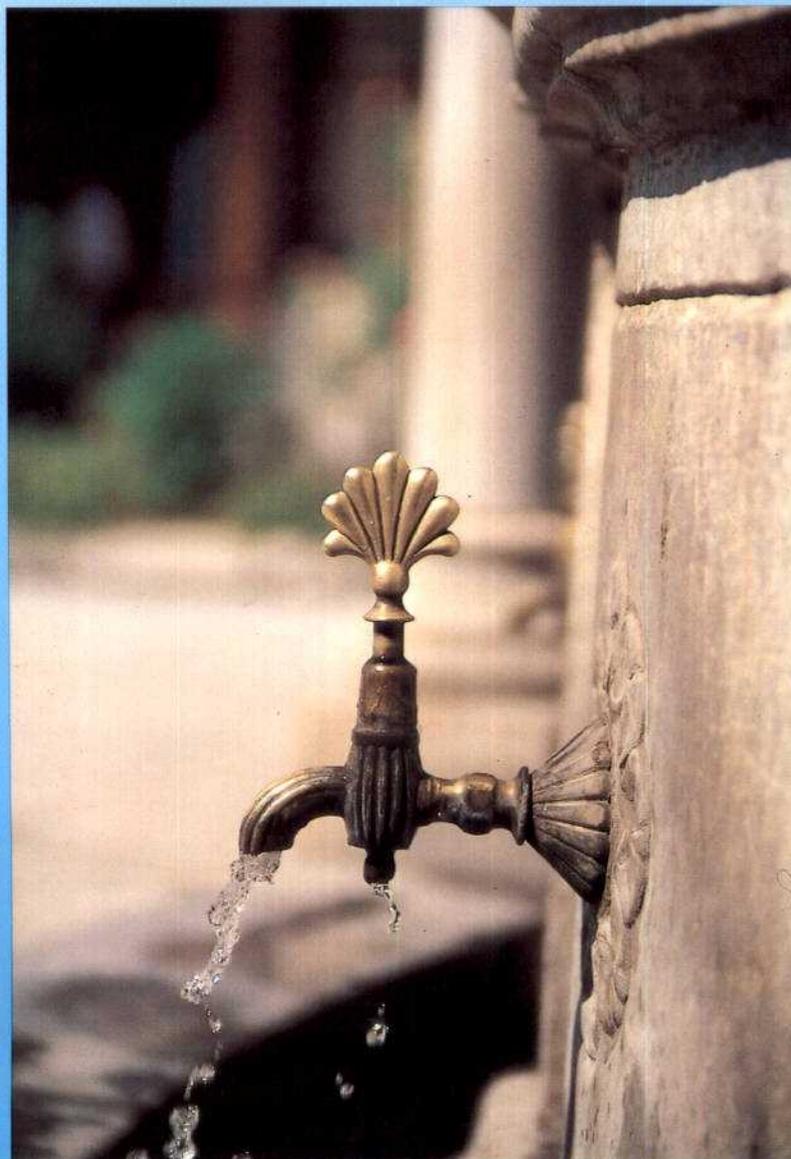


Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

# Guía Metodológica para la Elaboración de Perímetros de Protección de Captaciones de Aguas Subterráneas

Primera Edición



37075

Diciembre 1991

**GUIA METODOLOGICA PARA LA ELABORACION DE PERIMETROS DE  
PROTECCION DE CAPTACIONES DE AGUAS SUBTERRANEAS**

**LUCHA CONTRA LA CONTAMINACION**

**AÑO 1991**

Esta guía ha sido elaborada por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE), interviniendo en su realización el siguiente equipo técnico:

Autores:

Luis MORENO MERINO  
Carlos MARTINEZ NAVARRETE

Con la dirección de:

Juan Antonio LOPEZ GETA  
Paloma NAVARRETE MARTINEZ

También han colaborado:

Juana BAEZA RODRIGUEZ-CARO (ITGE): Legislación  
Juan Carlos RUBIO CAMPOS (ITGE): Dimensionamiento de las instalaciones  
José JUAREZ GARCIA (ITGE): Dimensionamiento de las instalaciones  
Melchor SENENT ALONSO (ITGE): Estudios previos y métodos  
Bruno BALLESTEROS NAVARRO (ITGE): Estudios previos y métodos  
Silverio CASAS RUIZ (ITGE): Métodos  
RAfael NORIEGA FIDALGO (ITGE): Métodos  
Esteban DE LA CRUZ LOZANO (ITGE): Delineación

Diseño, realización y edición: **ITGE**  
Maquetación e impresión: **ReproMarket, S.A.**  
Depósito Legal: **M-41827-1991**  
ISBN: **84-7840-091-5**  
NIPO: **232-91010-0**

Durante el proceso de impresión del presente libro ha sido aprobada la nueva Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de aguas de bebida envasadas, R.D. 1164/1991, de 22 de Julio (B.O.E. de 26 de Julio), que deroga:

- La Sección Segunda, capítulo XXVII, Aguas minerales y de mesa, del Código Alimentario Español.
- Artículos 9, 10 y 11 del Decreto 3069/1972 de 26 de Octubre, por el que se regulan las Aguas de bebida envasadas.
- Decreto 2119/1981 de 24 de Julio, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de aguas de bebida envasadas.
- Artículo 1º del R.D. 1335/1984 de 6 de Junio, por el que se modifica el artículo 22.2 de la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de aguas de bebida envasadas.

Elo afecta únicamente al contenido del capítulo 2. Marco Legal y Anexo 10.2, sin suponer modificación alguna en el resto de la obra.

# INDICE

	Pág.
<b>1. INTRODUCCION</b>	1
<b>2. MARCO LEGAL</b>	2
2.1. Introducción y consideraciones generales	2
2.2. Aguas de abastecimiento a núcleos urbanos	5
2.3. Aguas minerales y termales (balnearios, aguas envasadas)	6
2.4. Procedimiento administrativo	8
2.5. Aspectos referentes a la ordenación del territorio	8
2.6. Competencias del ITGE en la determinación de perímetros de protección	9
<b>3. ZONACION DE LOS PERIMETROS DE PROTECCION Y RESTRICCION DE ACTIVIDADES</b>	11
3.1. Zonación	11
3.2. Restricción de actividades. Análisis comparativo de la legislación española con la de otros países	14
<b>4. ESTUDIOS PREVIOS</b>	22
4.1. Situación actual del abastecimiento	22
4.1.1. Puntos de abastecimiento	22
4.1.2. Conducciones de agua potable	22
4.1.3. Depósitos de regulación y distribución	25
4.1.4. Red de alcantarillado	25
4.1.5. Estaciones depuradoras	25
4.2. Demanda urbana	26
4.2.1. Datos de población y su evolución	26
4.2.2. Volúmenes consumidos	26
4.3. Aspectos económicos	26
4.4. Ordenación del territorio	27

<b>4.5. Marco geológico</b>	27	—
<b>4.5.1. Cartografía</b>	27	—
<b>4.5.2. Litoestratigrafía</b>	27	—
<b>4.5.3. Tectónica</b>	27	—
<b>4.6. Hidrogeología</b>	27	—
<b>4.6.1. Marco hidrogeológico</b>	27	—
<b>4.6.2. Acuíferos captados por los puntos de abastecimiento</b>	27	—
a) Geometría		—
b) Tipo de acuíferos		—
c) Funcionamiento hidrogeológico		—
d) Piezometría		—
e) Hidroquímica		—
<b>4.6.3. Hidrogeología en el entorno de las captaciones</b>	30	—
a) Materiales acuíferos		—
b) Evolución piezométrica		—
c) Flujo subterráneo		—
d) Características hidroquímicas		—
e) Calidad del agua		—
<b>4.7. Vulnerabilidad del acuífero frente a la contaminación</b>	33	—
<b>4.7.1. Inventario de focos contaminantes</b>	33	—
a) Focos de contaminación areales conservativos		—
b) Focos de contaminación areales no conservativos		—
c) Focos de contaminación puntuales conservativos		—
d) Focos de contaminación puntuales no conservativos		—
<b>4.7.2. Vulnerabilidad frente a la contaminación de las diferentes zonas</b>	42	—
<b>5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES DE EXTRACCION DE AGUAS SUBTERRANEAS</b>	47	—
<b>5.1. Selección del tipo de bomba</b>	47	—
<b>5.2. Dimensionamiento del equipo de bombeo</b>	47	—
<b>5.3. Cuantificación de bombeos en pozos mediante el consumo de energía eléctrica: análisis del rendimiento de los mismos y su incidencia en el coste del agua</b>	64	—
<b>5.3.1. Aplicación del método en contadores de baja tensión</b>	66	—
<b>5.3.2. Aplicación del método en contadores de alta tensión</b>	69	—

<b>6. PERDURABILIDAD DE LA CONTAMINACION EN EL AGUA SUBTERRANEA</b>	75
6.1. Contaminación bacteriológica	75
6.2. Perdurabilidad de la contaminación química	90
<b>7. PERIMETROS DE PROTECCION</b>	94
7.1. Protección de la calidad	94
7.1.1. Criterios para la delimitación de perímetros	94
a) Distancia	
b) Descenso	
c) Tiempo de tránsito	
d) Criterios hidrogeológicos	
e) Poder autodepurador del terreno	
7.1.2. Métodos para la delimitación del perímetro	99
a) Radio fijado arbitrariamente	
b) Métodos analíticos	
<b>Analíticos propiamente dichos</b>	99
1) Radio fijo calculado	99
1.1 Función del tiempo de tránsito	100
1.2 Función del descenso	100
2) Método de Hoffman y Lillich	102
3) Método de Wyssling	104
4) Uso de un catálogo de formas simples	106
<b>Métodos gráficos</b>	108
5) Método de Albinet	108
6) Empleo de ábacos para el calculo de isocronas	110
6.1 Método de Jacobs y Bear	111
6.2 Pozo único en un acuífero homogéneo, de extensión semiinfinita situado proximo a un curso de agua que proporciona alimentación lateral	114
6.3 Batería de pozos en línea	128
7) Nomograma de Van Waegeningh y Van Duijvenboden. Cálculo de tiempo o distancia por nomogramas	128
8) Nomógrafo de Pettyjon	130
c) Método de Horsley	130
d) Métodos hidrogeológicos	136
e) Modelos matemáticos de flujo y transporte	137

<b>f) Otros métodos y técnicas complementarias</b>	153
1) Método de Rhese para el cálculo del poder depurador del suelo	153
2) Modificación de Bolsenkötter para medios karsticos y/o fisurados	158
3) Empleo de trazadores	159
4) Datación con tritio	159
<b>7.1.3. Selección del método</b>	163
<b>a) Consideraciones técnicas</b>	
<b>b) Consideraciones económicas</b>	
b1) Coste de la determinación del perímetro de protección según los diferentes métodos	
b2) Impacto socioeconómico de la aplicación del perímetro de protección propuesto	
<b>7.2. Protección de la cantidad</b>	178
<b>7.3. Mecanismos de control de los perímetros de protección</b>	180
<b>7.3.1. Sistema de vigilancia</b>	180
<b>7.3.2. Plan de intervención</b>	184
<b>8. CONCLUSIONES</b>	186
<b>9. BIBLIOGRAFIA</b>	188
<b>10. ANEXOS</b>	192
<b>10.1. Normativa referente al agua</b>	192
<b>10.2. Legislación sobre clasificación, composición, muestreo y análisis de agua</b>	193
<b>10.3. Cálculo del potencial contaminante</b>	210
<b>10.4. Abacos y fichas modelo</b>	238
<b>10.5. Características de los cables conductores</b>	267
<b>10.6. Modelo de informe</b>	279
<b>10.7. Glosario</b>	282

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1: Zonificación de los perímetros de protección.	12
Figura 2: Esquema de abastecimiento urbano a la localidad de Calig (Castellón).	23
Figura 3: Esquema general del abastecimiento urbano a Benisa (Alicante).	24
Figura 4: Bloque diagrama esquemático mostrando el dispositivo hidrogeológico en el sondeo "Monte Hoyo" (Castellón).	28
Figura 5: Mapa hidrogeológico del sector de Benichembla (Alicante).	29
Figura 6: Esquema del sondeo "La Estación" de Almazora (Castellón).	31
Figura 7: Columna litológica y perfil del sondeo de Canor de Benisa (Alicante).	32
Figura 8: Mapa de cultivos. Sector de Benidoleig (Alicante).	34
Figura 9: Mapa de situación de focos potencialmente contaminantes de Orba (Alicante).	35
Figura 10: Mapa de situación de focos potencialmente contaminantes del sector de Benisa (Alicante).	36
Figura 11: Mapa de cultivos y focos potenciales de contaminación, Calig (Castellón).	37
Figura 12: Factores a considerar en el uso de fertilizantes.	39
Figura 13: Focos contaminantes y vulnerabilidad del acuífero de Genovés (Valencia).	44
Figura 14: Mapa de vulnerabilidad a la contaminación. Sector de Benichembla (Alicante).	45
Figura 15: Mapa de vulnerabilidad a la contaminación, Orba (Alicante).	46
Figura 16: Bomba centrífuga vertical sumergida.	48
Figura 17: Ejemplo de instalaciones de bombeo y accesorios requeridos en una captación.	49
Figura 18: Pérdidas de carga en tuberías.	54
Figura 19: Pérdidas de carga en tuberías.	55
Figura 20: Pérdidas de carga en los accesorios de las tuberías.	57
Figura 21: Diagramas para la elección del modelo de bomba.	59

Figura 22:	Curvas características de la bomba tipo 6666-2900 rpm 50 Hz.	60	—
Figura 23:	Curvas características de la bomba tipo 6608-2900 rpm 50 Hz.	61	—
Figura 24:	Cable Eprotenax HM1 para pozos o grandes pendientes.	62	—
Figura 25:	Selección de conductores eléctricos para grupos moto-bomba sumergibles, en función de la intensidad nominal del motor en amperios y la longitud del conductor en metros.	63	—
Figura 26:	Distribución de frecuencias del rendimiento.	71	—
Figura 27:	Relación entre el consumo de energía, volumen de bombeo y altura de impulsión de las captaciones estudiadas.	73	—
Figura 28:	Distribución de frecuencias de la relación "E" entre el volumen de bombeo y el consumo eléctrico.	74	—
Figura 29:	Supervivencia de varios tipos de bacterias ( <i>S. typhimurium</i> , <i>E. Coli</i> y <i>S. fecales</i> ) en aguas subterráneas.	79	—
Figura 30:	Constante de eliminación y eliminación al 99,9% de las principales bacterias y virus en el agua subterránea.	80	—
Figura 31:	Variación del contenido en bacterias y de su tiempo de regeneración en las aguas subterráneas con la distancia desde un foco contaminante.	80	—
Figura 32:	Supervivencia en aguas subterráneas de dos tipos de virus (Poliovirus 1 y bacteriofagos f2).	81	—
Figura 33:	Comparación y tamaño de bacterias, virus y moléculas con diámetros equivalentes de los poros.	83	—
Figura 34:	Distancia recorrida por las bacterias en medio saturado.	86	—
Figura 35:	Supervivencia de <i>Escherichia coli</i> en agua de río.	87	—
Figura 36:	Disminución del número de bacterias ( <i>Escherichia coli</i> y <i>streptococos fecales</i> ) con la profundidad en suelos arenosos y arcillosos.	88	—
Figura 37:	Area de influencia y área de alimentación en un acuífero sin gradiente hidráulico en régimen estacionario y con precipitaciones elevadas.	95	—
Figura 38:	Area de influencia y área de alimentación en un acuífero con gradiente hidráulico en régimen estacionario.	96	—
Figura 39:	Líneas de flujo y cono de descenso en un pozo de bombeo.	100	—
Figura 40:	Determinación de las isocronas por iteración.	103	—

Figura 41:	Esquema del cono de bombeo.	104
Figura 42:	Esquema de un bombeo en medio poroso.	105
Figura 43:	Determinación de isocronas (Método de Wyssling).	105
Figura 44:	Ejemplo de utilización de un catálogo de formas simples.	107
Figura 45:	Curvas de igual descenso.	109
Figura 46:	Curvas distancia descenso.	109
Figura 47:	Determinación de la zona de llamada de una captación.	110
Figura 48:	Líneas de corriente en el entorno de la captación.	111
Figura 49:	Ejemplo de aplicación del método de Jacobs y Bear.	113
Figura 50:	Bombeo en las proximidades de un curso de agua con alimentación de ribera.	115
Figura 51:	Esquemas de principios.	115
Figura 52:	Tasa de agua bombeada proveniente del curso de agua.	116
Figura 53:	Influencia del flujo regional sobre el tiempo de llegada, en función de $Q_r$ y de $\alpha$ .	117
Figura 54:	Captación con alimentación lateral por un río.	119
Figura 55:	Evolución del volumen infiltrado en ausencia de colmatación $A=0$ .	121
Figura 56:	Evolución del volumen infiltrado. Coeficiente de colmatación $A/D = 0,5$ .	122
Figura 57:	Evolución del volumen infiltrado. Coeficiente de colmatación $A/D = 1$ .	123
Figura 58:	Evolución del volumen infiltrado. Coeficiente de colmatación $A/D = 2$ .	124
Figura 59:	Evolución del volumen infiltrado. Coeficiente de colmatación $A/D = 5$ .	125
Figura 60:	Evolución del volumen infiltrado. Coeficiente de colmatación $A/D = 10$ .	126
Figura 61:	Proporción del caudal bombeado proveniente del río en régimen permanente.	127
Figura 62:	Batería de pozos en línea.	128
Figura 63:	Ejemplo de aplicación de los nomogramas de Van Waegeningh y Van Duijvenboden.	129
Figura 64:	Nomogramas para la determinación de la concentración en la línea central de la pluma de contaminación.	131

Figura 65:	Determinación de la divisoria de flujo de la captación aguas abajo de la misma en el sentido del flujo. Aplicación al caso de Cape Cod, Massachusetts.	132
Figura 66:	Determinación de la extensión del perímetro de protección aguas arriba en el sentido del flujo en Cape Cod, Massachusetts. (EEUU).	134
Figura 67:	Determinación del área ocupada por el perímetro de protección de Cape Cod, Massachusetts (EEUU).	135
Figura 68:	Perímetro de protección de una captación situada en la unidad de drenaje de Almedijar-Xovar.	138
Figura 69:	Cartografía hidrogeológica del entorno del acuífero del Cañar.	139
Figura 70:	Aplicación de un modelo de flujo y calidad para la determinación de un perímetro de protección en Troyes y la Mogne (Francia).	142
Figura 71:	Zonas a considerar en el método de Rehse.	153
Figura 72:	Delineación de un perímetro de protección en Kentucky mediante el empleo de trazadores.	160
Figura 73:	Variaciones producidas por efecto del bombeo y/o existencia de captaciones abandonadas en la relación existente entre un acuífero libre y otro confinado.	162
Figura 74:	Area protegida mediante la aplicación de diferentes métodos.	168
Figura 75:	Análisis comparativo de diferentes métodos para distintos tiempos de tránsito en el sureste de Florida, suroeste de Conética y Cape Cod (Massachusetts).	171
Figura 76:	Plan de prevención ante una contaminación del agua de consumo.	185
Figura 77:	Generación de residuos sólidos urbanos.	211
Figura 78:	Evolución de la concentración frente al tiempo de un agente contaminante en inyección breve.	286

## INDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1: Zonación de los perímetros de protección en diferentes países europeos y USA.	15
Cuadro 2: Zonación de los perímetros de protección en la antigua República Federal Alemana.	16
Cuadro 2.1: Regulación de actividades en las diversas zonas en que se dividen los perímetros de protección de captaciones en Alemania.	17
Cuadro 3: Planificación de actividades en los perímetros de protección.	21
Cuadro 4: Relación de microorganismos patógenos y de enfermedades infecciosas que producen, en los que el agua es principal o circunstancial vehículo de transmisión.	76
Cuadro 5: Resumen de los tipos y características de los microorganismos que pueden estar presentes en el agua.	77
Cuadro 6: Valores medios del número de bacterias por gramo de heces humanas y animales.	78
Cuadro 7: Virus humanos susceptibles de ser encontrados en medio hídrico.	78
Cuadro 8: Supervivencia de los virus en las aguas subterráneas y en el suelo.	78
Cuadro 9: Factores que afectan el movimiento y supervivencia de los virus en el suelo.	84
Cuadro 10: Constantes de inactivación de virus en aguas subterráneas a $10 \pm 1$ °C durante un tiempo de observación de 260 días.	85
Cuadro 11: Influencia del contenido en materia orgánica. Adsorción de poliovirus 2 por los suelos y minerales.	89
Cuadro 12: Influencia del tipo de virus, profundidad de infiltración de enterovirus, en una columna de arena 1% de virus recuperados.	89
Cuadro13.1: Persistencia de sustancias orgánicas en el suelo y en el agua subterránea.	92
Cuadro13.2: Componentes y procesos químicos en el suelo.	93
Cuadro 14: Relación entre los criterios que pueden emplearse en la delimitación de perímetros de protección y los procesos físicos que controlan.	94
Cuadro 15: Valoración de los criterios utilizados en la delimitación de los perímetros de protección en función de consideraciones técnicas.	98
Cuadro 16: Principales etapas en la utilización de un modelo matemático.	140
Cuadro 17: Poder depurador del suelo en el recubrimiento (suelo más zona no saturada).	154

Cuadro 18:	Poder depurador del suelo en el acuífero.	157
Cuadro 19:	Poder depurador de las rocas (Bolsenkötter).	158
Cuadro 20:	Criterio empleado por los diferentes métodos de delimitación de perímetros de protección.	164
Cuadro 21:	Características de los tipos básicos de acuíferos carbonatados.	165
Cuadro 22:	Ensayo sobre las diferentes tipologías de acuíferos en rocas carbonatadas de España.	166
Cuadro 23:	Selección del método en base a consideraciones técnicas.	167
Cuadro 24:	Análisis comparativo de los perímetros de protección obtenidos por diferentes métodos.	169
Cuadro 25:	Datos necesarios para poder aplicar los diferentes métodos existentes para la delimitación de los perímetros de protección.	172
Cuadro 26:	Coste de la determinación del perímetro de protección según los diferentes métodos.	174
Cuadro 27:	Sobrecoste potencial en la determinación del perímetro de protección.	175
Cuadro 28:	Algunas características sobresalientes de las aguas residuales de los principales tipos de industrias.	218

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Pérdidas de carga en tuberías.	52
Tabla 2:	Tabla de rendimientos de agua y pérdidas de carga en las tuberías.	53
Tabla 3:	Datos técnicos de la bomba tipo 6666-2900 rpm 50 Hz.	58
Tabla 4:	Datos técnicos de la bomba tipo 6608-2900 rpm 50 Hz.	62
Tabla 5:	Resumen de encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo.	72
Tabla 6:	Tabla de la función del pozo $W(u)$ .	101
Tabla 7:	Modelos de flujo.	143
Tabla 8:	Modelos de calidad.	147
Tabla 9:	Algunos parámetros hidrogeológicos para las rocas de la zona no saturada.	155
Tabla 10:	Algunos parámetros hidrogeológicos para las rocas de la zona saturada (acuífero).	156

Tabla	11: Composición de los residuos sólidos urbanos en diferentes países.	212
Tabla	12: Composición de los residuos sólidos urbanos en diferentes ciudades españolas.	212
Tabla	13: Composición de las aguas residuales urbanas.	213
Tabla	14: Composición típica de las aguas residuales urbanas.	214
Tabla	15: Composición de los lixiviados de vertederos.	215
Tabla	16: Principales parámetros de la contaminación generada por algunas actividades industriales así como el volumen de agua contaminada por vertido unidad.	216
Tabla	17: Carga potencialmente contaminante aportada por la actividad industrial anualmente en la Cuenca Media y Baja del Júcar.	217
Tabla	18: Necesidades medias de abonado.	219
Tabla	19: Recomendaciones de abonado en los principales cultivos de cada zona.	221
Tabla	20: Densidad de población (número de plantas por hectárea) de los cultivos, según su marco de plantación.	228
Tabla	21: Equivalencias de las antiguas medidas superficiales usuales en nuestras provincias relacionadas con la hectárea.	229
Tabla	22: Recomendaciones de abonado de los cítricos.	230
Tabla	23: Recomendaciones de abonado del olivo.	230
Tabla	24: Recomendaciones de abonado del almendro.	231
Tabla	25: Recomendaciones de abonado del viñedo.	231
Tabla	26: Valores del rendimiento y factor de peso para diferentes especies animales (producción de estiércol).	231
Tabla	27: Composición del estiércol en diferentes especies animales.	232
Tabla	28: DBO <sub>5</sub> producido por diferentes especies animales.	232
Tabla	29: Producción de nitrógeno de las distintas especies de ganado.	233
Tabla	30: Cantidad y características del lisier según el tipo de animales.	234
Tabla	31: Composición del lisier.	235
Tabla	32: Variaciones de la carga contaminante según las especies.	236

Tabla	33: Composición química de los residuos de gallina.	236
Tabla	34: Composición físico-química comparada del estiércol y del lisier de bovino.	236
Tabla	35: Características técnicas y de aplicación de los cables.	267

## 1. INTRODUCCION

El continuo incremento de la demanda de agua para abastecimiento urbano, la tendencia a recurrir al agua subterránea como primera fuente para cubrir esa demanda, unidas al impacto que sobre este recurso supone la actividad humana (agricultura, ganadería, industria) implican la necesidad imperiosa del establecimiento de un sistema eficaz de protección de la calidad del agua subterránea.

Consciente de ello, la Ley de Aguas establece la figura del perímetro de protección, que es posteriormente desarrollada reglamentariamente adaptándose en los planes hidrológicos de cuenca, a las circunstancias y problemática particulares de cada zona.

Por otra parte, las aguas minerales han estado siempre protegidas mediante perímetros de protección, insuficientes, no obstante, en la mayor parte de los casos, pues tanto la normativa, como el estado del conocimiento hidrogeológico de la época en que fueron establecidas no permitían su dimensionamiento con la exactitud y rigor con los que actualmente se diseñan.

La mayor parte de los países de la Comunidad Económica Europea, Estados Unidos, URSS, etc, se plantearon esta problemática hace ya algunas décadas, desarrollando una gran variedad de métodos de dimensionamiento que permiten aplicar de forma práctica los distintos criterios de limitación (tiempo, descenso, etc.) habiéndose establecido además, en la mayor parte de esos países, un sistema de zonación de los perímetros, tendente a ocasionar el menor impacto sobre la actividad económica circundante a la captación objeto del estudio, sin provocar en ningún caso una disminución en la protección.

Este trabajo recoge, de forma estructurada, tanto los criterios de establecimiento de perímetros y los métodos para llevarlos a la práctica, como los estudios preliminares necesarios y valoraciones económicas implicadas, apoyándose en ejemplos reales, siempre que ha sido posible. También se incluye la normativa vigente relacionada con el tema, así como la referente a la calidad del agua.

## 2. MARCO LEGAL

### 2.1. Introducción y consideraciones generales

En este capítulo se recogen las consideraciones legales necesarias para enmarcar, dentro de la legislación vigente, los aspectos relacionados con la protección del agua subterránea y más específicamente, con la determinación de perímetros de protección como el sistema más eficaz de salvaguardar el recurso hídrico subterráneo, centrándose principalmente, en aquellos aspectos relacionados con la calidad. Es necesario hacer una clara diferenciación entre las aguas de abastecimiento y las aguas minerales y termales, pues se rigen por una normativa diferente y precisan para la delimitación de sus perímetros, de un procedimiento administrativo distinto, aún cuando, como se verá en los siguientes apartados, las consideraciones técnicas y metodológicas para esta determinación, son generalmente las mismas en ambos casos.

La figura del perímetro de protección para las aguas minerales aparece en nuestra jurisprudencia en el Reglamento Español de 1868. Su artículo 19 prohibía la realización de trabajos dentro del perímetro del establecimiento balneario sin permiso del Ministerio de Gobernación. Mas tarde, el estatuto sobre explotación de aguas minero-medicinales de 1928 fija para los manantiales declarados de utilidad pública una "zona de expropiación forzosa" consistente en un cuadrado de 300 metros de lado, con el fin de proteger la "integridad y pureza" del manantial; posteriormente se hace referencia a un "perímetro de protección variable en cada caso según la constitución del terreno" pero encaminado únicamente a proteger los derechos de explotación del dueño del manantial.

Actualmente la Ley de Aguas (29/1985 de 2 de Agosto) es la norma básica que regula todas las actividades relacionadas con este elemento, esencial no sólo para el mantenimiento de la actividad económica, sino que de su protección, depende la persistencia de la vida sobre el planeta. Es por ello que desde un principio se ha dado una especial relevancia tanto a la protección de su calidad como de la cantidad.

Existen varios aspectos generales que es importante reseñar antes de entrar en consideraciones específicas sobre protección del agua y perímetros de protección:

- **La Ley de Aguas (L.A)** crea la figura del dominio público hidráulico y recoge en ésta la totalidad de las aguas, haciendo ya desde el preámbulo un especial hincapié en la importancia de mantener la calidad: "... consideradas pues como recurso

*no cabe distinguir entre aguas superficiales y subterráneas, .... y en su conjunto deben estar subordinadas al interés general y puestas al servicio de la nación". "... Esta disponibilidad debe lograrse sin degradar el medio ambiente en general, y el recurso en particular,..."*

- La integración del agua en el dominio público hidráulico trae consigo el sometimiento a autorización y concesión de las actividades que afecten al recurso, así como una serie de restricciones en las facultades del propietario del suelo.

**LA Art. 1) 2.** *"Las aguas continentales superficiales, así como las subterráneas renovables, integradas todas ellas en el ciclo hidrológico, constituyen un recurso unitario, subordinado al interés general, que forma parte del dominio público estatal, como dominio público hidráulico".*

**LA Art. 2).** *"Constituyen el dominio público hidráulico del estado con las salvedades expresamente establecidas en esta Ley:*

- Las aguas continentales, tanto las superficiales como las subterráneas renovables con independencia del tiempo de renovación.*
- Los acuíferos subterráneos a los efectos de los actos de disposición o de afección de los recursos hídricos."*

- Desde un principio se hace una clara distinción entre el conjunto general del agua y las aguas minerales y termales, separandó éstas del resto y sometiéndolas a una legislación diferente.

**LA Art. 1) 4.** *"Las aguas minerales y termales se regularán por su legislación específica".*

- Especial relevancia cobra la figura del Organismo de cuenca, Art. 19) *"En las cuencas hidrográficas que excedan del ámbito territorial de una Comunidad Autónoma se constituirán Organismos de cuenca con las funciones y cometidos que se regulan en esta Ley".* Recogiéndose en el artículo 21 las funciones encomendadas al citado Organismo.
- La Ley de Aguas en su Art. 20 señala: *"En la tramitación de concesiones y autorizaciones que afecten al dominio público hidráulico y pudieran implicar riesgos para el medio ambiente, será preceptiva la presentación de una evaluación de sus efectos".*

- El título III de esta Ley regula los temas relacionados con la planificación hidrológica.

**LA Art. 38) 2.** *“La planificación se realizará mediante los Planes Hidrológicos de cuenca y el Plan Hidrológico Nacional. El ámbito territorial para cada Plan Hidrológico se determinará reglamentariamente”.*

Se enumeran posteriormente (Art. 40) los temas que deben ser recogidos obligatoriamente por dichos planes hidrológicos, haciendo frecuente mención a la necesidad de instaurar un sistema de perímetros de protección:

**LA Art. 40).** *“Los Planes Hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente: ... g) los perímetros de protección y las medidas para la conservación y recuperación del recurso y entorno afectados”*

**LA Art. 54) 3.** *“Asimismo podrá determinar perímetros de protección de acuíferos en los que será necesaria autorización del Organismo de cuenca para la realización de obras de infraestructura, extracción de áridos y otras actividades e instalaciones que puedan afectarlo”.*

- De forma general se deja en manos de la futura Planificación Hidrológica de cuenca la determinación de la gestión y protección del recurso; no obstante se prevé que hasta que esta planificación llegue a ser un hecho, la Ley y su reglamento regulen las cuestiones que presenten una mayor importancia, por ejemplo en lo referido al orden de preferencia en cuanto al uso que del agua ha de hacerse:

**LA Art. 58) 2.** *“Toda concesión está sujeta a expropiación forzosa, de conformidad con lo dispuesto en la legislación general sobre la materia, a favor de otro aprovechamiento que le preceda según el orden de preferencia establecido en el Plan Hidrológico de cuenca.*

**3.** *A falta de dicho orden de preferencia regirá con carácter general el siguiente:*

- 1º *Abastecimiento de población, incluyendo en su dotación la necesaria para industrias de poco consumo de agua situadas en los núcleos de población y conectados a la red municipal.*
- 2º *Regadíos y usos agrarios.*
- 3º *Usos industriales para producción de energía eléctrica.*

4º *Otros usos industriales no incluidos en los apartados anteriores.*

5º *Acuicultura.*

6º *Usos recreativos.*

7º *Navegación y transporte acuático.*

8º *Otros aprovechamientos.*

*El orden de prioridades que pudiere establecerse específicamente en los Planes Hidrológicos de cuenca, deberá respetar en todo caso la supremacía del uso consignado en el apartado 1º de la precedente enumeración”.*

- Es necesario hacer mención de la creación del Consejo Nacional del Agua como órgano consultivo superior en la materia, que reúne a la administración del estado, Comunidades Autónomas, Organismos de cuenca, así como a las organizaciones profesionales y económicas más representativas.

- Asimismo reviste una especial relevancia la creación de las comunidades de usuarios, recogida en el capítulo IV de la Ley: Art. 73 *“Los usuarios del agua y otros bienes del dominio público hidráulico de una misma toma o concesión deberán constituirse en comunidades de usuarios”.*

**LA Art. 75) 3.** *“Las comunidades vendrán obligadas a realizar las obras o instalaciones que la administración les ordene a fin de evitar el mal uso del agua o el deterioro del dominio público hidráulico, pudiendo el Organismo de cuenca competente suspender la utilización del agua hasta que aquellas se realicen”.*

- La Ley define los objetivos de la protección del dominio público hidráulico.

**LA Art. 84).** *“Son objetivos de la protección del dominio público hidráulico contra su deterioro:*

- a) *Conseguir y mantener un adecuado nivel de calidad de las aguas.*
- b) *Impedir la acumulación de compuestos tóxicos o peligrosos en el subsuelo capaces de contaminar las aguas subterráneas.*
- c) *Evitar cualquier otra actuación que pueda ser causa de degradación”.*

- Se define también lo que se entiende como contaminación y cabe destacar en esta definición,

no sólo la adición de sustancias exógenas al medio, sino que además, tiene en cuenta la contaminación provocada por introducción de energía en el acuífero.

**LA Art. 85).** *"Se entiende por contaminación a los efectos de esta Ley la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica."*

*El concepto de degradación del dominio público hidráulico a efectos de esta Ley incluye las alteraciones perjudiciales del entorno afecto a dicho dominio".*

- Cabe reseñar a propósito de la protección contra la degradación del dominio público hidráulico la circunstancia recogida en la Ley de que los perímetros de protección no solo pueden ser definidos a fin de proteger aguas de abastecimiento, sino también zonas de especial interés ecológico, paisajístico, cultural o económico (Art. 173.1 del Reglamento).
- Entre las funciones de la policía de aguas se incluye la vigilancia de los perímetros de protección.

**LA Art. 86).** *"La policía de las aguas superficiales y subterráneas y de sus cauces y depósitos naturales, zonas de servidumbre y perímetros de protección se ejercerá por la administración hidráulica competente".*

- Las actividades contaminantes del medio hídrico quedan también reflejadas dentro de la Ley, que desarrolla de forma específica los temas relacionados con el vertido de sustancias extrañas.

**LA Art. 89).** *"Queda prohibido con carácter general y sin perjuicio de lo dispuesto en el artículo 92:*

- a) *Efectuar vertidos directos o indirectos que contaminen las aguas.*
- b) *Acumular residuos sólidos, escombros o sustancias cualquiera que sea su naturaleza y el lugar en que se depositen que constituyan o puedan constituir un peligro de contaminación de las aguas o de degradación de su entorno.*
- c) *Efectuar acciones sobre el medio físico o biológico afecto al agua que constituyan o*

*puedan constituir una degradación del mismo.*

- d) *El ejercicio de actividades dentro de los perímetros de protección fijados en los Planes Hidrológicos cuando pudiera constituir un peligro de contaminación o degradación del dominio público hidráulico".*

**LA Art. 94).** *"Cuando el vertido pueda dar lugar a la infiltración o almacenamiento de sustancias susceptibles de contaminar los acuíferos o las aguas subterráneas, sólo podrá autorizarse si el estudio hidrogeológico previo demostrase su inocuidad".*

**LA Art. 95).** *"El gobierno podrá prohibir en zonas concretas aquellas actividades y procesos industriales cuyos efluentes, a pesar del tratamiento a que sean sometidos, puedan constituir riesgo de contaminación grave para las aguas, bien sea en su funcionamiento normal o en caso de situaciones excepcionales previsibles.*

- **El Reglamento del dominio público hidráulico (RDPH)** (RD 849/1986 de 11 de Abril) recoge en su título V "de las infracciones y sanciones y de la competencia de los tribunales" una serie de infracciones, que clasifica como leves, menos graves, graves y muy graves en función del daño causado al dominio público hidráulico, destacando el Art. 315 cuando señala: *"... la ejecución sin la debida autorización administrativa de obras, trabajos, siembras o plantaciones en los cauces públicos o en las zonas sujetas legalmente a algún tipo de limitación en su uso, ..."*

- No son la Ley de Aguas y su Reglamento las únicas normas que de forma general proclaman y regulan la necesidad de proteger el agua mediante la creación de perímetros de protección; por ejemplo en el **Código Alimentario (CA)** (Decreto 2848/1967 de 21 de Septiembre) se refleja en su capítulo XXVII dedicado a las aguas de consumo:

**CA Art. 3-27-23.** *"Establecimiento de aguas minerales. Se observarán las siguientes prescripciones:*

- a) *Protección del manantial y zona circundante de todo peligro de contaminación ..."*

En esta misma norma se señala el orden de preferencia en la captación de agua para el consumo:

- 3-27-11.** *"El orden de preferencia en la captación de agua para abastecimiento de núcleos urbanos será el siguiente:*

- Aguas de manantiales o fuentes
  - Aguas de pozos artesianos
  - Aguas subalveas
  - Aguas superficiales
- El Reglamento de Actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas (RD 2414/1961 de 30 de Noviembre) indica en su artículo 17: *"Queda prohibido a los establecimientos industriales que produzcan aguas residuales capaces por su toxicidad o por su composición química o bacteriológica, contaminar las aguas superficiales o subterráneas, el establecimiento de pozos, zanjas, galerías o cualquier depósito destinado a facilitar la absorción de dichas aguas por el terreno"... sólo podrá ser autorizado el uso de pozos absorbentes cuando éstos se sitúen a 500 o más metros de todo poblado y un estudio geológico demuestre la imposibilidad de contaminación de las capas acuíferas freáticas y profundas"*.

El decreto 3069/1972 que regulaba las aguas de bebida envasadas, derogado en su totalidad, salvo los artículos 9, 10 y 11 indica en su artículo 10, referido al trámite en la Dirección General de Minas: *"... se acompañará a la instancia los siguientes documentos .... Plano del emplazamiento de la toma de aguas y de las diversas instalaciones a escala uno: cinco mil y perímetro de protección minera que se propone"*.

- La Ley de Minas como se verá en detalle más adelante también trata este tema.
- La actual **Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de la calidad de las aguas potables de consumo público (RTS)** (RD 1138/1990, BOE de 20 de Septiembre de 1990) también considera la necesidad de proteger el agua mediante la creación de un perímetro de protección adecuado:

**RTS Art. 4º.** *"El agua potable de consumo público se obtendrá en lo posible del origen más adecuado, considerando la calidad y cantidad de los recursos hídricos disponibles, así como la garantía de utilización de los mismos. En todo caso, quedará asegurada la adecuada protección unitaria de acuíferos, cauces, cuencas y zonas de captación"*.

**Art. 22.1.1.** *"Todo sistema de abastecimiento de aguas potables de consumo público, y en particular la zona limitada por el perímetro de protección de la captación, se mantendrá con las medidas adecuadas para evitar posibles contaminaciones del agua del sistema"*.

- La Ley de Costas de 28 de Julio de 1988, aunque no menciona la figura del perímetro de protección, sí contempla limitaciones a los vertidos de diferentes clases que afectarían a la regulación de actividades que el perímetro de protección conlleva. Estas restricciones inciden principalmente en la zona de protección contra la intrusión y serán detalladas en el capítulo 3 de esta guía.

Por último no se debe olvidar que España no solicitó moratoria sobre la legislación comunitaria referente al agua, por lo que toda ella es aplicable desde la adhesión en 1986. En el anexo correspondiente a la legislación se recogen las directivas de la Comunidad más importante referidas a las aguas.

## 2.2. Aguas de abastecimiento a núcleos urbanos

En este capítulo se reseña la normativa específica referente a la protección de la calidad del agua empleada en abastecimiento urbano mediante la delimitación de perímetros de protección.

La Ley de Aguas (29/1985 de 2 de Agosto) hace una separación explícita de las aguas minerales y termales al señalar en su artículo 1.4.: *"Las aguas minerales y termales se regularán por una legislación específica"* por lo que todo lo que en este capítulo se indique se refiere exclusivamente a las aguas de abastecimiento y nunca a las minerales o termales.

La tramitación de la concesión de aguas para abastecimiento de poblaciones y urbanizaciones está regulada por la sección 4ª del **Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH)** (RD 849/1986 de 11 de Abril). En su sección 11 relativa al alumbramiento y utilización de aguas subterráneas, se señala a instancia de quién ha de iniciarse un expediente de delimitación de perímetro de protección, quién lo delimita y las restricciones a diferentes actividades dentro del perímetro:

**RDPH Art. 172. 1.** *El Organismo de cuenca podrá determinar perímetros dentro de los cuales no será posible el otorgamiento de nuevas concesiones de aguas subterráneas, a menos que los titulares de las preexistentes estén constituidos en comunidades de usuarios, de acuerdo con lo dispuesto en el capítulo IV del título IV de la Ley de Aguas (art. 54.2 de la LA).*

**2.** *La determinación de estos perímetros se efectuará mediante resolución motivada de la Junta de Gobierno de Organismo. El expediente se incoará, bien de oficio bien a instancia de los*

usuarios que acrediten estar utilizando el 50 por 100 del volumen de agua extraído del acuífero que se pretende proteger. Será preceptiva la audiencia expresa del Consejo del Agua del Organismo de cuenca.

**3.** Constituida la comunidad de usuarios, el Organismo de cuenca le transferirá la titularidad única de todas las concesiones de aguas subterráneas interiores al perímetro.

Las sucesivas concesiones de aguas subterráneas que pudieran producirse se otorgarán, dentro del perímetro, a nombre de la comunidad de usuarios.

**RDPH Art. 173. 1.** El Organismo de cuenca podrá determinar perímetros de protección del acuífero en los que será necesaria su autorización para la realización de obras de infraestructura, extracción de áridos u otras actividades e instalaciones que puedan afectarlo (Art. 54.3. de la LA).

**2.** Los perímetros a los que se refiere el apartado anterior tendrán por finalidad la protección de captaciones de agua para el abastecimiento a poblaciones o de zonas de especial interés ecológico, paisajístico, cultural o económico.

**3.** La delimitación de los perímetros se efectuará por la Junta de Gobierno del Organismo de cuenca, previo informe del Consejo del Agua. El procedimiento se iniciará de oficio en las áreas de actuación del Organismo de cuenca, o a solicitud de la autoridad medio ambiental, municipal o cualquier otra en que recaigan las competencias sobre la materia.

**4.** Dentro del perímetro establecido, el Organismo de cuenca podrá imponer limitaciones al otorgamiento de nuevas concesiones de aguas y autorizaciones de vertido, con el objeto de reforzar la protección de los acuíferos. Dichas limitaciones se expresarán en el documento de delimitación del perímetro y se incluirán en el Plan Hidrológico de cuenca.

**5.** Asimismo podrán imponerse condicionamientos en el ámbito del perímetro a ciertas actividades o instalaciones que puedan afectar a la cantidad o la calidad de las aguas subterráneas. Dichas actividades o instalaciones se relacionarán en el documento de delimitación del perímetro y precisarán para ser autorizadas por el Organismo competente el informe favorable del Organismo de cuenca.

**6.** Las actividades o instalaciones a que se refiere el apartado anterior serán las siguientes:

- a) Obras de infraestructura: minas, canteras, extracción de áridos.
- b) Actividades urbanas: fosas sépticas, cementerios, almacenamiento, transporte y tratamiento de residuos sólidos o aguas residuales.
- c) Actividades agrícolas y ganaderas: depósito y distribución de fertilizantes y plaguicidas, riego con aguas residuales y granjas.
- d) Actividades industriales: almacenamiento, transporte y tratamiento de hidrocarburos líquidos o gaseosos, productos químicos, farmacéuticos y radiactivos, industrias alimentarias y mataderos.
- e) Actividades recreativas: camping, zonas de baños.

**7.** Los condicionamientos establecidos en los perímetros de protección a que se refiere el artículo 54.3 de la Ley de Aguas y este Reglamento deberán ser tenidos en cuenta en los diferentes planes urbanísticos o de ordenación del territorio con los que se relacionen”.

- Así pues el ordenamiento prevé dos posibilidades a la hora de la determinación del perímetro, ya sea a través de los planes hidrológicos (ver Art. 21.a, Art. 24.3, Art. 33, Art. 39.1, Art. 40.g, de la LA), o en su ausencia o para completar sus determinaciones por el Organismo de cuenca (Art. 54.3 de la LA y Art. 173 del Reglamento).

### **2.3. Aguas minerales y termales (Balnearios, aguas envasadas)**

Al constituir las aguas minerales y termales un recurso minero, no son contempladas por la Ley de Aguas (Art. 1.4), siendo la **Ley de Minas (L M) y su reglamento (R L M)** la normativa que regula las actividades relacionadas con ellas.

La Ley de Minas (LM 22/1973 de 11 de Julio) en sus primeros artículos recoge cuales son los objetos por ella regulados, incluyendo entre éstos las aguas minerales:

**LM Art. 1.** “La presente Ley tiene por objeto establecer el régimen jurídico de la investigación y aprovechamiento de los yacimientos minerales, y demás recursos geológicos, cualesquiera que fuere su origen y estado físico”.

**LM Art. 3.1.** "Los yacimientos minerales y demás recursos geológicos se clasifican a los efectos de esta Ley, en las siguientes secciones... B) Incluye, con arreglo a las definiciones que establece el capítulo primero del título IV las aguas minerales, las termales, las estructuras subterráneas y los yacimientos formados como consecuencia de operaciones reguladas por esta Ley".

**LM Art. 23. 1.** "A efectos de la presente Ley las aguas minerales se clasifican en:

- a) *Minero-medicinales, las alumbradas natural o artificialmente que por sus características y cualidades sean declaradas de utilidad pública.*
- b) *Minero-industriales, las que permiten el aprovechamiento racional de las sustancias que contengan.*

**2.** *Son aguas termales aquellas cuya temperatura de surgencia sea superior en cuatro grados centígrados a la media anual del lugar donde se alumbren ...".*

- Cuando las aguas subterráneas vayan a ser aprovechadas como minerales, será necesaria por ley la determinación de un perímetro de protección:

**LM Art. 26. 1.** "Para ejercitar los derechos a que se refiere el artículo anterior, deberá solicitarse la oportuna autorización de la Delegación Provincial correspondiente del Ministerio de Industria y Energía... Se presentará así mismo la designación o justificación del perímetro de protección que se considere necesario indicando el destino que se dará a las aguas.

**2.** *La Delegación Provincial, previa determinación sobre el terreno del perímetro que resulte adecuado para garantizar la protección suficiente del acuífero en cantidad y calidad, elevará el expediente, con la propuesta que proceda, a la Dirección General de Minas, la cual autorizará el aprovechamiento, en su caso, aceptando o rectificando el perímetro propuesto, previo informe del Instituto Geológico y Minero de España y ordenando, si procede, la modificación del proyecto presentado.*

**3.** *Si se trata de aguas minero-medicinales, deberá informar, con carácter vinculante, la Dirección General de Sanidad en orden a la indicación de utilizar las aguas para los fines previstos.*

*Asimismo, en todos los expedientes relativos a aguas minerales y termales, informarán los Ministerios de Obras Públicas y de Agricultura en relación con otros posibles aprovechamientos que se estimen de mayor conveniencia. De no existir conformidad entre los Departamentos citados y el de Industria, se resolverá el expediente por acuerdo del Consejo de Ministros".*

- Se detalla más específicamente dentro del Reglamento el procedimiento a seguir para establecer un perímetro de protección de las captaciones de aguas minerales:

**LM Art. 41. 1.** "Para ejercer los derechos a que se refiere el artículo anterior se presentará la oportuna instancia en la Delegación Provincial correspondiente del Ministerio de Industria y Energía, en la que se hará constar el derecho que asiste el petionario para el aprovechamiento de las aguas, destino que dará a las mismas, la designación del perímetro de protección que considere necesario y su justificación avalada por técnico competente ..."

**2.** *La Delegación Provincial comprobará y examinará la documentación presentada y, de encontrarla conforme, determinará, previa inspección del terreno por cuenta del interesado, el perímetro que resulte adecuado para garantizar la protección suficiente del acuífero en cantidad y calidad, informando al mismo tiempo acerca del proyecto, inversiones y garantías, a que se refieren los documentos b) y c). Remitiendo el expediente, con su propuesta, a la Dirección General de Minas e Industrias de la Construcción; ésta, previo informe del Instituto Geológico y Minero de España, aceptará u ordenará las modificaciones que estime oportunas.*

..... **4.** *De existir conformidad, la Dirección General de Minas e Industrias de la Construcción otorgará la autorización de aprovechamiento, en la que se harán constar los siguientes extremos... d) Designación del perímetro de protección, con plano de situación".*

- La autorización o concesión de aprovechamiento de aguas minerales otorga a su titular ciertos derechos:

**LM Art. 43.1.b)** "A proteger el acuífero en cantidad y calidad ... A este efecto podrá impedir que se realicen dentro del perímetro de protección que se le hubiese fijado, trabajos o actividades que pudieran perjudicar el acuífero o a su normal aprovechamiento. c) El aprovechamiento de aguas

minerales que se encuentren dentro del perímetro de protección y pertenezcan al mismo acuífero”.

- El perímetro protege al titular del derecho de explotación de las aguas contra cualquier tipo de agresión, ya sea contra su calidad como contra la cantidad:

**LM Art. 28.1.** *“La autorización o concesión de aprovechamiento de aguas minerales otorga a su titular el derecho exclusivo de utilizarlas, así como el de impedir que se realicen en el perímetro de protección que le hubiese sido fijado trabajos o actividades que puedan perjudicar el normal aprovechamiento de las mismas. La realización de cualquier clase de trabajos subterráneos dentro del perímetro citado deberá contar previamente con la autorización de la Delegación Provincial del Ministerio de Industria, sin perjuicio de las demás exigibles en cada caso. Si los trabajos afectaran al titular de la autorización o concesión, quienes los realicen estarán obligados a indemnizar a aquel”.*

- Las aguas termales son también objeto de esta protección especial.

**LM Art. 30.** *“Las aguas termales que sean destinadas a usos terapéuticos o industriales se considerarán como aguas minerales a todos los efectos de esta sección primera del Capítulo II”.*

Estableciéndose las indemnizaciones que pudieran resultar del ejercicio del derecho del perímetro de protección:

**LM Art. 106.4.** *“El titular de la autorización o concesión indemnizará, si procede a los propietarios o usuarios de los terrenos que comprendan los perímetros de protección a que se refieren los artículos 26 y 34, párrafo 1”.*

Como se ha visto en apartados precedentes, los propietarios o concesionarios de aguas minerales no sólo tienen el derecho, sino la obligación de establecer un perímetro de protección adecuado para salvaguardar la calidad y cantidad de dichas aguas. No obstante gran parte de los perímetros fueron dimensionados cuando los conocimientos y técnicas hidrogeológicas no eran lo suficientemente precisas como para permitir una adecuada protección o cuando la ley, fijando un perímetro arbitrario (por ejemplo el Real Decreto Ley de 26 de Abril de 1928 dimensiona el perímetro como un cuadrado de 300 metros de lado) intentaba, sin conseguirlo evidentemente, preservar el agua. Es por ello que sería conveniente la revisión de gran número de perímetros de protección a fin de adaptarlos al actual estado del conocimiento.

## 2.4. Procedimiento administrativo

a) *Para las “aguas de abastecimiento”, el procedimiento se iniciará (RDPH Art. 173):*

- De oficio en las áreas de actuación del Organismo de cuenca.
- A solicitud de la autoridad medio ambiental.
- A solicitud de la autoridad municipal.
- A solicitud de cualquier otra autoridad sobre la que recaigan competencias sobre la materia.

La delimitación del perímetro corresponde a la Junta de Gobierno del Organismo de cuenca previo informe al Consejo del Agua.

b) *Para las “aguas minerales y termales” (LM Art. 41.1). Se presentará por parte del interesado instancia en la Delegación Provincial correspondiente del Ministerio de Industria y Energía, en la que se harán constar:*

- 1) Derecho que asiste al peticionario para el aprovechamiento de las aguas.
- 2) Destino que se dará a las aguas.
- 3) Perímetro de protección que se considere necesario y su justificación avalada por técnico competente.

La Delegación Provincial, previo examen de la documentación presentada delimitará el perímetro de protección remitiendo el expediente a la Dirección General de Minas e Industrias de la Construcción; ésta, previo informe del Instituto Geológico y Minero de España aceptará u ordenará las modificaciones que considere necesarias.

Cuando se menciona a las Delegaciones de Industrias hay que considerar que las competencias en materia de aguas minerales y termales referidas previamente están transferidas a las Comunidades Autónomas y por tanto será necesario dirigirse al organismo de éstas que se haya hecho cargo de las mismas, persistiendo no obstante la necesidad del informe preceptivo por parte del ITGE (antiguo Instituto Geológico y Minero de España).

## 2.5. Aspectos referentes a la ordenación del territorio

La regulación y ordenación del aprovechamiento, así como la protección del recurso hídrico subterráneo, ha de estar en todo momento en coordinación con una adecuada gestión y ordenación del territorio, es por ello que la Ley de Aguas en su capítulo IV considera el

principio de compatibilidad con la ordenación del territorio de la gestión pública del agua al señalar "El ejercicio de las funciones del estado en materia de aguas se someterá a los siguientes principios: ... 3º) Compatibilidad de la gestión pública del agua con la ordenación del territorio, la conservación y protección del medio ambiente y la restauración de la naturaleza".

Posteriormente se menciona de nuevo la relación entre ambos conceptos (ordenación del territorio y planificación hidrológica) cuando, tratando del Consejo Nacional del Agua, se señala en el artículo 18.1 "El Consejo Nacional del Agua informará preceptivamente: .... d) los planes y proyectos de interés general de ordenación agraria, urbana, industrial, y de aprovechamientos energéticos o de ordenación del territorio en tanto afecten sustancialmente a la planificación hidrológica o a los usos del agua".

La necesidad de la citada coordinación se manifiesta en el RDPH Art. 173.7.: "Los condicionamientos establecidos en los perímetros de protección a que se refieren el artículo 54.3 de la Ley de Aguas y este reglamento deberán ser tenidos en cuenta en los diferentes planes urbanísticos o de ordenación del territorio con los que se relacionen".

Por último cabe destacar la disposición adicional séptima de la Ley de Aguas: "... las posibles limitaciones en el uso del suelo y reservas del terreno previstas en los artículos 6, 11, 181 d), 41 y 88 de esta Ley se aplicarán sin menoscabo de las competencias que las Comunidades Autónomas puedan ejercer en materia de ordenación del territorio".

## 2.6. Competencias del ITGE en la determinación de perímetros de protección

El ITGE (Instituto Tecnológico GeoMinero de España) (antes Instituto Geológico y Minero de España) tiene atribuidas, entre otras, las funciones de investigación en materia hidrogeológica, RD 2402/1977 de 17 de Junio Art. 4.a) "El estudio del suelo y subsuelo en cuanto sea necesario para el conocimiento y desarrollo de la geología, minería, hidrogeología, geotectónica .... y el estudio de la información sobre trabajos realizados por otros centros, organismos y entidades públicas y privadas".

Parte fundamental de la actividad del ITGE es la labor investigadora y en este contexto, la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica lo reconoce como Organismo Público de Investigación, siendo materia fundamental en sus trabajos el agua subterránea. En la disposición adicional sexta de la Ley de Aguas se incide en esta función del

ITGE: "Sin perjuicio de las competencias en la gestión del agua establecido por esta ley, el Instituto Geológico y Minero de España formulará y desarrollará planes de desarrollo e investigación tendentes al mejor conocimiento y protección de los acuíferos subterráneos, y prestará asesoramiento técnico a las distintas administraciones públicas en materias relacionadas con las aguas subterráneas".

La Ley de Aguas al hablar sobre la planificación hidrológica señala la posibilidad de declarar de utilidad pública los trabajos, estudios e investigaciones requeridas para la elaboración de los Planes Hidrológicos realizados por el ITGE, (artículo 42), en los que se incluye como tema importante la delimitación de perímetros de protección.

Se pueden pues definir las funciones del ITGE en la delimitación de perímetros de protección como:

- Investigación de la metodología de establecimiento de perímetros, adecuación al caso español.
- Asesoramiento a las administraciones públicas y a organismos públicos o privados en materia de aguas subterráneas, figurando entre los temas fundamentales de asesoramiento los relacionados con los perímetros.
- Intervención directa en el dimensionamiento de perímetros para la protección de aguas minero-medicinales al requerir éstos de la supervisión por parte del ITGE.

Complementariamente a estas actividades de investigaciones, asesoramiento y supervisión, cabe destacar otras competencias del ITGE por su posible incidencia en la delimitación de perímetros de protección; así para la declaración de acuíferos sobreexplotados el Reglamento en su artículo 171.3 señala: "El organismo de cuenca elaborará un estudio sobre la situación del acuífero en el que se justifique, en su caso, la procedencia de la declaración; para ello deberá solicitar informe del Instituto Geológico y Minero de España...".

Respecto a los estudios hidrogeológicos en el caso de vertidos contaminantes en el artículo 258 se señala: "El estudio hidrogeológico que se exige en el artículo 256 deberá estar suscrito por técnico competente y será incorporado al expediente para su tramitación, en la que será preceptivo el informe del Instituto Geológico y Minero de España".

Finalmente al considerar la protección contra los procesos de intrusión marina, se establece un procedimiento similar al de declaración de acuíferos sobreex-

plotados para la declaración de acuíferos o zonas en proceso de salinización, Art. 244: "1. La protección de las aguas subterráneas frente a intrusiones de aguas salinas de origen continental o marítimo se realizará, entre otras acciones, mediante la limitación de explotaciones de los acuíferos y, en su caso, la redistribución espacial de las captaciones existentes. Los criterios básicos para ello serán incluidos en los Planes Hidrológicos de cuenca, correspondiendo al Organismo de

cuenca la adopción de las medidas oportunas (art. 91 de la LA)" .... 4. El procedimiento para la adopción del acuerdo y para las subsiguientes actuaciones será similar al que se establece para la declaración de acuíferos sobreexplotados en este Reglamento, con las modificaciones que en cada caso la Junta de Gobierno estime procedentes en lo referente a los efectos de la declaración provisional y a los plazos estipulados para la ejecución del Plan de Ordenación de las extracciones".

### 3. ZONACION DE LOS PERIMETROS DE PROTECCION Y RESTRICCIÓN DE ACTIVIDADES

#### 3.1. Zonación

La mejor forma de conseguir la protección absoluta contra la contaminación de una captación, sería impedir todo tipo de actividad potencialmente contaminante sobre el área de recarga de la misma, pero al ser ésta una medida imposible de llevar a cabo por las implicaciones técnicas y sobre todo económicas que supondría, se considera más adecuado definir los perímetros de protección mediante el establecimiento de un sistema de zonas rodeando la captación (Person, 1983), en el interior de las cuales se restringen o prohíben de forma graduada (en función de la proximidad a la misma) las actividades susceptibles de modificar la calidad del agua subterránea a la misma.

El perímetro de protección debe garantizar que la calidad del agua no se verá afectada, y no sobrepasará en ningún caso los límites establecidos en su composición por la vigente legislación (Anexo 10-2). Una vez producida una contaminación, la consecución de este objetivo se logra mediante tres procesos:

- Dilución. El contaminante al discurrir por el seno del acuífero se diluye al mezclarse con el agua que contiene, pudiendo llegar a ser suficiente para hacer aceptable ese agua para el consumo.
- Degradación o inactivación, ya sea mediante reacciones químicas con el oxígeno disuelto (especialmente en la zona no saturada) o con los materiales del acuífero, o en el caso de bacterias y otros organismos vivos al morir por no encontrarse en un medio adecuado.
- Instalación de un sistema de vigilancia y control que permite tomar medidas ante la contaminación o detener el bombeo de la captación amenazada antes de que llegue a ella el agente contaminante.

Al delimitar un perímetro de protección es necesario encontrar un compromiso entre una protección adecuada y suficiente del recurso y el respeto, en la medida de lo posible, de la actividad socioeconómica de la región circundante.

El sistema más frecuentemente empleado consiste en dividir el perímetro en diversas zonas alrededor de la captación, graduadas de mayor a menor importancia en cuanto a las restricciones de actividad impuesta sobre ellas (figura 1), cuyas principales características son:

- **Zona inmediata o de restricciones absolutas.** Es la más próxima a la captación, su fin primordial consiste en proteger ésta, y sus instalaciones contra las inclemencias climatológicas, animales y desaprensivos; asimismo, impide los vertidos e infiltraciones directas sobre la misma.

El criterio de delimitación suele ser un tiempo de tránsito de 24 horas (ver glosario) o un área fijada de forma arbitraria de pequeña extensión (100-400 m<sup>2</sup>) que comprende: la captación propiamente dicha, la caseta de transformación o del motor, depósitos de agua o combustible, etc. Estará cerrada mediante una valla metálica que impida el acceso a personas no autorizadas.

Las restricciones sobre esta superficie serán absolutas impidiéndose cualquier tipo de actividad.

- **Zona próxima o de restricciones máximas.** Representa el cuerpo principal del perímetro. Comprende un área de extensión variable pero suficiente para proteger el agua contra su contaminación, ya sea asegurando la inactivación, eliminación o dilución del contaminante, ya sea permitiendo una alerta a tiempo para tomar las medidas adecuadas antes de que la sustancia extraña llegue a la captación.

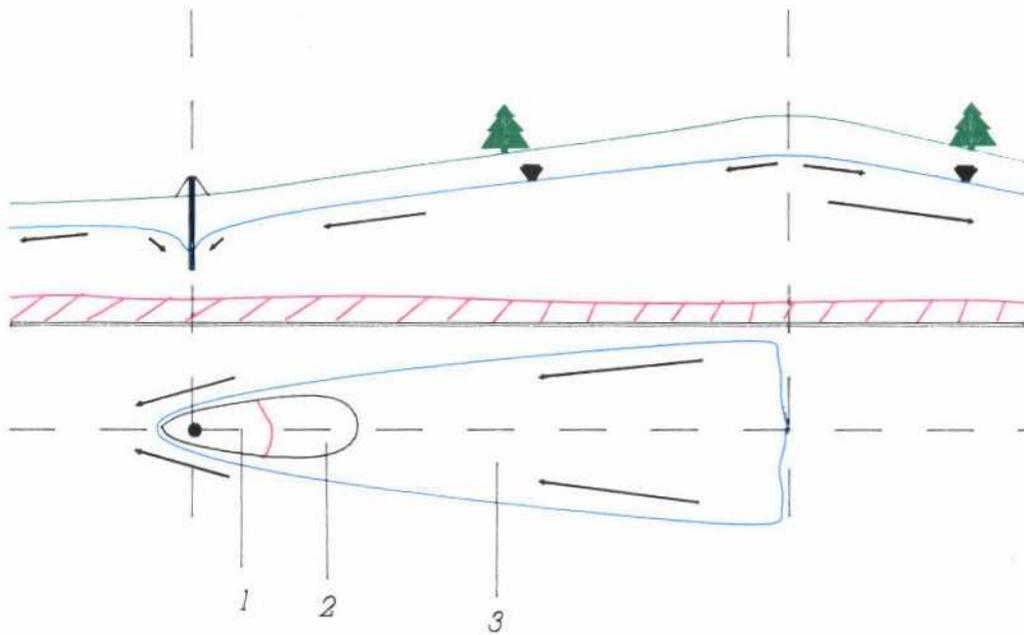
El dimensionado de la zona próxima se hace generalmente en función de un criterio de tiempo de tránsito (50-60 días), pretendiendo con ello proteger totalmente contra la contaminación microbiológica y lo más posible contra la química.

Los diferentes criterios que pueden emplearse para delimitarla, así como la regulación de actividades que implica son analizados detalladamente en otros apartados de esta guía.

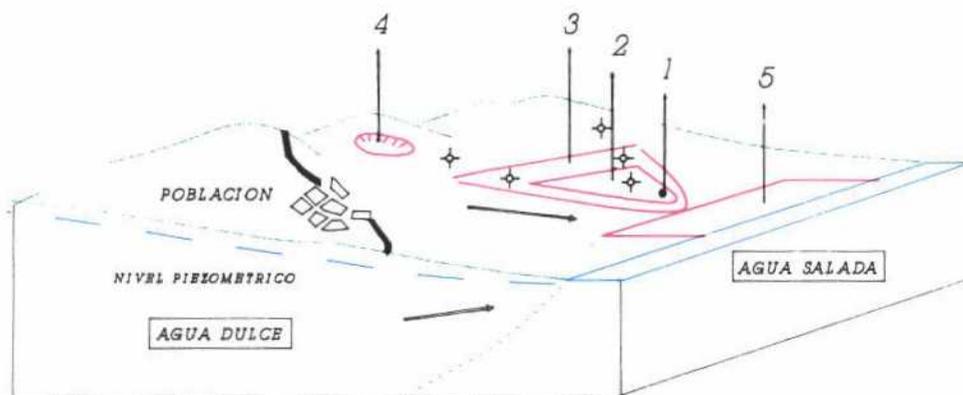
- **Zona alejada o de restricciones moderadas.** Debe proteger la captación frente a contaminantes de larga persistencia, básicamente contaminación química no degradable o difícilmente degradable (metales pesados, hidrocarburos, compuestos orgánicos, etc.). La filosofía de protección en este área se basará, por tanto, en los procesos de dilución o de alarma, además de en los de degradación o inactivación.

En el capítulo 6 se analiza la persistencia de diferentes contaminantes, que puede llegar a ser muy elevada en algunos casos.

El criterio empleado en su determinación suele ser el tiempo de tránsito (10 años) o más frecuentemente un criterio hidrogeológico, abarcando así toda el área de alimentación de la captación.



A) Caso simple, acuífero homogéneo.



B) Caso complejo con todas las zonas posibles.

- 1 - ZONA INMEDIATA.
- 2 - ZONA PROXIMA.
- 3 - ZONA ALEJADA.
- 4 - ZONA SATELITE DE PROTECCION.
- 5 - ZONA DE PROTECCION FRENTE A LA SALINIZACION.

-  SIMA.
-  SONDEO DE CONTROL.
-  SENTIDO DEL FLUJO.

Fuente: Elaboración propia.

Fig 1: ZONIFICACION DE LOS PERIMETROS DE PROTECCION

La imposición de fuertes restricciones en una superficie de tales características sólo sería viable en acuíferos de muy pequeña extensión, sin actividad económica desarrollada, por ello en esta zona normalmente sólo se regulan actividades que dado su especial impacto o peligrosidad provocarían un proceso contaminante imposible de controlar, aún cuando éste se produjera en un lugar alejado de la captación que se desea proteger.

- En ciertas circunstancias pueden definirse áreas de restricción llamadas "zonas satélite de protección" que delimitan superficies alejadas de la captación y situadas fuera del sistema de protección del perímetro anteriormente descrito, pero que presentan una conexión hidráulica directa o preferente a través de conductos o fisuras con el punto de captación del agua. Estas "zonas satélites de protección" cobran una especial relevancia en acuíferos kársticos y fisurados, donde sus especiales características estructurales facilitan la aparición de estos fenómenos.

Las restricciones en las zonas satélite serán las mismas que las expuestas en la zona próxima. Para su localización es necesario un estudio hidrogeológico en detalle del acuífero.

Conviene recordar la utilidad que presenta en estos casos la realización de estudios mediante trazadores a fin de objetivar esa pretendida conexión hidráulica.

- En regiones costeras, donde los procesos de intrusión marina pueden ser causa de fenómenos de salinización del agua subterránea, el perímetro debería incluir una "**Zona de protección frente a la salinización**" en la cual estarían restringidos los bombeos a un nivel que impidiese una degradación excesiva de la calidad del agua por efecto del avance del frente salino.

Hasta ahora sólo se ha considerado la zonación del perímetro desde el punto de vista de la protección de la calidad, no obstante en el área delimitada por el perímetro de protección deben ser reguladas además



las extracciones de agua del acuífero a fin de garantizar la cantidad del recurso, para lo cual se define la “zona de protección de la cantidad”.

### 3.2. Restricción de actividades. Análisis comparativo de la legislación española con la de otros países.

La legislación española al tratar de la protección del agua mediante perímetros de protección regula, en el artículo 173.6 del reglamento de la Ley de Aguas, las actividades o instalaciones que pudiendo afectar a la calidad o la cantidad de las aguas pueden ser restringidas o prohibidas en el área definida por el perímetro de protección. Dichas actividades son:

- a) *Obras de infraestructura: minas, canteras, extracción de áridos.*
- b) *Actividades urbanas: fosas sépticas, cementerios, almacenamiento, transporte y tratamiento de residuos sólidos o aguas residuales.*
- c) *Actividades agrícolas y ganaderas. Depósito y distribución de fertilizantes y plaguicidas, riego con aguas residuales y granjas.*
- d) *Actividades industriales: almacenamiento, transporte y tratamiento de hidrocarburos líquidos o gaseosos, productos químicos, farmacéuticos y radiactivos, industrias alimentarias y mataderos.*

- e) *Actividades recreativas, camping, zonas de baños.*

Como puede apreciarse, el alcance, extensión e importancia de las restricciones llegaría a impedir prácticamente el desarrollo de cualquier actividad económica si se aplicase a toda la extensión del perímetro. No obstante, el artículo 173.5 del RDPH señala respecto a las actividades ya indicadas: “*Podrán imponerse condicionamientos en el ámbito del perímetro a ciertas actividades o instalaciones que puedan afectar a la cantidad o la calidad de las aguas subterráneas. Dichas actividades o instalaciones se relacionarán en el documento de delimitación del perímetro*”.

Estos condicionamientos no tienen porqué ser similares en toda la extensión del perímetro de protección por lo que aunque no define qué zonas deben considerarse ni en base a qué criterios, sí admite en la práctica la zonación.

Por el contrario la legislación existente en la mayoría de los países europeos establece claramente una zonación del perímetro de protección, definiendo en base a qué criterio debe realizarse y las actividades que quedan reguladas en cada zona (ver cuadro 1).

Se describe como ejemplo, en el cuadro 2, la zonación existente en la antigua Alemania Federal al ser una de las más completas y haber servido de modelo para otros países. En esa legislación el criterio empleado para definir las zonas, varía según el tipo de material y sus características hidrogeológicas.

La regulación de actividades existentes en esas zonas se refleja en el cuadro 2.1.

**Cuadro I. Zonación de los perímetros de protección en diferentes países europeos y U.S.A.**

Alemania	Austria	Finlandia	Holanda	Francia	Suiza	Checoslovaquia
Zona I rodeando el pozo 10-100 m	Zona de protección inmediata	Zona de protección inmediata 20-25 m	Alrededor del sondeo	Protección inmediata 10 a 20 m	Zona I 5-20 m	Zona de protección sanitaria 10-50 m
Zona II 50 días	Zona de protección 50 días	Protección próxima 60 días	Areas de captación > 30 m, 50 a 60 días	Protección próxima	Zona II 10 días > 100 m	2ª Zona de protección sanitaria
Zona III A 2 km	Zona de protección parcial	Zona de protección exterior	Zona de protección 10 años > 800 m Zona de protección 25 años (1200 m)	Zona de protección alejada	Zona III > 200 m Zona A	Zona de protección sanitaria externa
Zona III B			Zona de recarga alejada		Zona B	
	Limite vertiente		Cuenca			

Hungría	Suecia	Gran Bretaña	Noruega	URSS	Bélgica	USA	ESPAÑA
Zona de protección	Zona alrededor del sondeo	Zona de protección inmediata	Zona alrededor del sondeo 10-30 m	Zona I 10-50 m	Zona I 24 horas < 100 m	30 m	Protección del sondeo e instalaciones
60 días	Protección próxima > 60 días > 100 m	No hay zonas fijas, se limita en función de las características del area analizada	60 días	Zona II 100-400 días	Zona II 60 días 100-300 m	50 días 165 m	No hay zonación, perímetro único en función de las circunstancias
Protección hidrogeológica 25-100 m	Zona de protección externa		Zona de infiltración	Zona III en fun- ción del tiempo	Zona III 2000 m	Zona III 15 años mínimo	
Protección regional							

Fuente: Van Waegeningh y Lallemand-Barres, 1989.

**Cuadro 2: Zonación de los perímetros de protección en la antigua República Federal Alemana.**

<b>Zona I</b>	Al menos 10 m, 20 si es necesario, alrededor de la captación			<b>MEDIO POROSO</b>	
<b>Zona II</b>	Profundidad del nivel piezométrico < 4 m	Velocidad eficaz < 10 m/día	El límite de la zona corresponde a un tiempo de tránsito de 50 días extendiéndose aguas arriba de la captación una distancia $\geq 100$ m		
		Velocidad eficaz > 10 m/día:	<b>Zona II A:</b>		El límite de la zona corresponde a un tiempo de tránsito de 10 días. aguas arriba de la captación. Restricciones Zona II
	<b>Zona II B:</b>		El límite corresponde a un tiempo de tránsito de 50 días. Restricciones Zona II salvo para empleo agrícola del suelo. Restricción Zona III A		
	Profundidad del nivel piezométrico > 4 m	Se tiene en cuenta el poder depurador del suelo, por ello puede reducirse la extensión de la zona			
Velocidad efectiva > 10 m/día:		<b>Zona II A:</b>	El límite corresponde a un tiempo de tránsito de 10 días, considerándose el paso a través de la zona no saturada. Restricciones como la Zona II		
	<b>Zona II B:</b>	El límite corresponde a un tiempo de tránsito de 50 días, teniendo en cuenta el paso por la zona no saturada. Restricciones para el uso agrícola del suelo como en la Zona III A, otras restricciones como en la Zona II			
<b>Zona III</b>	Profundidad del nivel piezométrico < 4 m	Áreas de alimentación pequeñas	Extensión lateral de la Zona III hasta los límites de la zona de llamada de la captación, aguas arriba la captación la Zona III se extiende hasta el límite del área de alimentación. Restricciones Zona III		
		Áreas de alimentación grandes:	<b>Zona III A:</b>		Se extiende 2 km aguas arriba de la captación
			<b>Zona III B:</b>		Se extiende hasta el límite del área de alimentación
	Profundidad del nivel piezométrico > 4 m	Se tiene en cuenta el poder autodepurador del suelo			

<b>Zona I</b>	Extensión de 30 m x 30 m. Servidumbres Zona I		<b>MEDIO KARSTICO</b>
<b>Zona II</b>	Comprende todas las superficies con riesgo de polución extensión de 300 m aguas arriba y 1000 m para los manantiales		
	<b>Zona II A:</b>	Como Zona II	
	<b>Zona II B:</b>	Zonas satélites con riesgo: abonos líquidos prohibidos fuera del período de vegetación	
<b>Zona III</b>	Corresponde al límite del área de alimentación si está incluida en el límite correspondiente a 50 días de tránsito debe ser ubicada en la Zona II, puede ser dividida en Zona III A y Zona III B		

Fuente: A. Lallemand-Barres y JC. Roux, 1989.

**Cuadro 2.1: Regulación de actividades en las diversas zonas en que se dividen los perímetros de protección de captaciones en Alemania.**

Actividades	Zona I	Zona II	Zona III A	Zona III B
Circulación peatonal o de otro tipo	Prohibido			
Todo uso agrícola del terreno	Prohibido			
Construcciones, explotaciones industriales y agrícolas	Prohibido	Prohibido		
Silos	Prohibido	Prohibido		
Establos	Prohibido	Prohibido		
Terrenos y almacenes de construcción	Prohibido	Prohibido		
Carreteras, rutas de ferrocarril	Prohibido	Prohibido		
Terrenos de camping y deportivos	Prohibido	Prohibido		
Superficies de agua	Prohibido	Prohibido		
Cementerios	Prohibido		Prohibido o reglamentado	Prohibido o reglamentado
Canteras y excavaciones	Prohibido		Prohibido o reglamentado	
Explotaciones mineras	Prohibido			
Transporte de materiales radiactivos	Prohibido	Prohibido		
Vertido de hidrocarburos	Prohibido	Prohibido		
Pastoraje de animales	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	
Aplicación y utilización no controlada de abonos orgánicos y minerales	Prohibido	Prohibido		
Transporte de aguas residuales	Prohibido	Prohibido		
Zanjas llenas de agua	Prohibido	Prohibido		
Zanjas receptoras	Prohibido	Prohibido		
Estanques	Prohibido	Prohibido		
Aplicación de herbicidas y pesticidas	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamento	
Desagüe de aguas residuales	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	
Depósitos de hidrocarburos	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	Prohibido o reglamentado
Estaciones de servicio	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	
Aeropuertos	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	
Terrenos militares	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	
Vertederos	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	
Estaciones de depuración	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	
Perforaciones petrolíferas o de gas	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	
Canalización de productos tóxicos	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	Reglamentado
Depósitos y productos de desecho químicos o radiactivos	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	Prohibido o reglamentado
Refinerías y fábricas químicas	Prohibido	Prohibido	Prohibido o reglamentado	Prohibido o reglamentado

Fuente: A. Lallemand-Barres y J.C. Roux, 1989

## **PROPUESTA DE ZONACION Y RESTRICCIONES**

Las dimensiones, zonación, características técnicas y restricciones de los perímetros de protección, deben ser consideradas en función de criterios objetivos de protección de la cantidad y calidad del agua y de una compatibilización con la ordenación del territorio y la actividad económica en el entorno de la captación.

En base a estas premisas y en función de las técnicas, metodología y criterios estudiados hasta ahora, se propone la siguiente división en zonas en los perímetros de protección de aguas de abastecimiento y aguas minerales:

### **Zona inmediata o de restricciones absolutas**

- Para su determinación puede emplearse como criterio una distancia establecida arbitrariamente desde la captación, aunque resulta más conveniente un criterio de tiempo de tránsito (1 día).

Su extensión suele ser pequeña (100-400 m<sup>2</sup>), y en ella quedarán incluidas necesariamente las instalaciones de la captación. En el caso de que existan grietas o fisuras por las que pueda circular el agua directamente a la misma, se incrementará su extensión.

Debe reunir unos requisitos muy estrictos, adecuándose en cualquier caso a la legislación vigente, que considera la captación como un elemento más del sistema de abastecimiento, así la Reglamentación Técnico-Sanitaria señala:

**RTS Título III. Art. 8.** *“Todos los elementos integrantes de un sistema de abastecimiento de aguas potables de consumo público estarán contruidos y, en su caso, impermeabilizados o protegidos con materiales que no introduzcan en el agua del sistema sustancias, microorganismos o formas de energía que degraden las condiciones de potabilidad”.*

**RTS Título V. Art. 22.** *Requisitos higiénico-sanitarios de las instalaciones y personal.*

#### **1. De las instalaciones.**

**1.1.** *Todo sistema de abastecimiento de aguas potables de consumo público, y en particular, la zona limitada por el perímetro de protección de la captación, se mantendrá con las medidas adecuadas para evitar posibles contaminaciones del agua del sistema.*

**1.2.** *Las instalaciones destinadas al tratamiento, manipulación y control del agua de un sistema de abastecimiento de aguas potables de consumo público contarán con locales, servicios, defensas y utensilios adecuados en su construcción y emplazamiento para evitar la contaminación del agua del sistema por causa de proximidad o contacto con cualquier clase de residuos o aguas residuales, humo, suciedad y materias extrañas, o por la presencia de insectos, roedores y otros animales.*

**1.3.** *Los locales que alberguen obras e instalaciones integrantes de un sistema de abastecimiento de agua potable de consumo público reunirán las siguientes condiciones:*

- *Deberán ser idóneos para el uso a que se destinen, con emplazamientos y orientaciones adecuados y con accesos fáciles y amplios. Estarán situados a suficiente distancia de cualquier causa de suciedad, contaminación o insalubridad y aislados de cualesquiera otros locales ajenos a su cometido específico.*
- *En su construcción o reparación se emplearán materiales idóneos que en ningún caso sean susceptibles de originar intoxicaciones o contaminaciones. Los pavimentos serán impermeables, resistentes, lavables e ignífugos y estarán dotados de los sistemas de desagüe precisos. Los desagües tendrán cierre hidráulico y estarán protegidos con rejillas o placas metálicas perforadas.*
- *Las paredes, techos, suelos y sus uniones se construirán con materiales y formas que permitan su conservación en adecuadas condiciones de limpieza.*
- *La ventilación e iluminación, naturales o artificiales, serán apropiadas a la capacidad y volumen del local y a la finalidad a que se destine.*
- *Dispondrán, en su caso, de agua potable en cantidad suficiente para la atención de los servicios que presten. El agua que se utilice en generadores de vapor, bocas de incendio y servicios auxiliares podrá ser distinta de la destinada al consumo público, pero en tal caso la red para el suministro de este agua deberá ser totalmente independiente de la red de suministro de agua potable, debiendo estar ambas redes convenientemente señalizadas en todo el recorrido.*
- *Estarán dotados de los servicios higiénicos adecuados, mantenidos en el estado de pulcritud y limpieza necesarios para evitar la contaminación del agua del sistema.*

**1.4.** Las instalaciones integrantes de un sistema de abastecimiento de aguas potables de consumo público deberán contar con los dispositivos adecuados para efectuar la limpieza y desinfección sistemática de las mismas.

**1.5.** Las instalaciones integrantes de un sistema de abastecimiento de aguas potables de consumo público deberán cumplir, además, cualesquiera otras condiciones higiénico-sanitarias establecidas en sus respectivas esferas de competencia por los Organismos de la Administración Pública.

**2.** Del personal. El personal que trabaje en tareas de captación, almacenamiento, conducción y control de las aguas objeto de esta Reglamentación deberá cumplir lo dispuesto en el Real Decreto 2505/1983, de 4 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento de Manipuladores de alimentos.

Para la puesta en práctica de estas premisas sería recomendable el cumplimiento de los siguientes apartados:

- Incidir en la importancia de aislar el área del perímetro inmediato vallando y limitando el acceso únicamente al personal de mantenimiento.
- Este área será minuciosamente limpiada eliminando los restos de suciedad, plantas, y materia orgánica que pudiera descomponerse e infiltrarse en el subsuelo.
- Se realizarán las obras necesarias para evitar que el agua de lluvia se estanque y pueda acceder a las instalaciones, no sólo como medida de seguridad (sería peligrosa una inundación de la caseta de transformación) sino porque en algunos sondeos podría acceder de forma directa al interior de la captación, arrastrando consigo materias extrañas.
- Cuando sea posible se situará el emboquillado del sondeo un poco elevado respecto del terreno circundante.
- El revestimiento del pozo debe sobresalir del terreno y estar rodeado por una superficie impermeable cuyo drenaje en caso de derrame accidental irá fuera del pozo.
- Se impermeabilizará el espacio anular de los primeros metros del sondeo y se cementará y entubará con tubería ciega todos los niveles en los cuales no se vaya a captar el acuífero evitando así la mezcla de aguas.
- Sería muy útil clorar el sondeo tras su construc-

ción pues las obras de perforación introducen gran cantidad de materia extraña.

## **ZONA PROXIMA O DE RESTRICCIONES MAXIMAS**

El criterio idóneo para delimitar esta zona es (siempre que sea posible) el de tiempo de tránsito, considerando suficiente 60 días (ver el capítulo 6 en el que se analiza la perdurabilidad de diferentes contaminantes). Es importante tener en cuenta que las restricciones que se van a imponer sobre cada zona se relacionan directamente con su extensión y, en general, las limitaciones más estrictas serán impuestas en el área de menor extensión (restricciones absolutas).

## **ZONA ALEJADA O DE RESTRICCIONES MODERADAS**

Tiene por objeto proteger frente a contaminantes químicos persistentes o radiactivos. También frente a algunos contaminantes biológicos de alta perdurabilidad en el agua.

El criterio más adecuado para su dimensionado es el de tiempo de tránsito (10 años), aunque para la correcta evaluación de su extensión y forma los criterios geológicos e hidrogeológicos constituyen un importante factor, en especial en el caso de materiales kársticos o fisurados.

## **ZONAS SATELITES DE PROTECCION**

Sus restricciones son iguales a las de la zona próxima. Requieren para su determinación un estudio hidrogeológico en detalle. Su existencia debería considerarse siempre en acuíferos kársticos o fisurados.

Se recomienda el empleo de trazadores como técnica complementaria de elección para comprobar la necesidad de establecer áreas satélites.

## **ZONA DE PROTECCION CONTRA LA INTRUSION**

En su interior se limitarán las extracciones de agua y todas aquellas actividades (drenaje de marjales, rupturas del cordón litoral, drenajes geotécnicos, etc.) que puedan modificar la posición del frente salino. Su determinación se realizará en base a criterios hidrogeológicos.

Esta zona englobará terrenos que están afectados por las regulaciones indicadas en la **Ley de Costas (LC)** y en las cuales deberán superponerse dichas restricciones a las ya señaladas en el perímetro de protección.

Así en el artículo 25 de dicha Ley se señala:

**LC Art. 25) 1.** *En la zona de servidumbre de protección estarán prohibidos:*

- a) *Las edificaciones destinadas a residencia o habitación.*
- b) *La construcción o modificación de vías de transporte interurbanas y las de intensidad de tráfico superior a la que se determine reglamentariamente, así como de sus áreas de servicio.*
- c) *Las actividades que impliquen la destrucción de yacimientos de áridos.*
- d) *El tendido aéreo de líneas eléctricas de alta tensión.*
- e) *El vertido de residuos sólidos, escombros y aguas residuales sin depuración.*
- f) *La publicidad a través de carteles o vallas o por medios acústicos o audiovisuales.*

**2.** *Con carácter ordinario, sólo se permitirán en esta zona, las obras, instalaciones y actividades que, por su naturaleza, no puedan tener otra ubicación o presten servicios necesarios o convenientes para el uso del dominio público marítimo - terrestre, así como las instalaciones deportivas descubiertas. En todo caso, la ejecución de terraplenes, desmontes o tala de árboles deberán cumplir las condiciones que se determinen reglamentariamente para garantizar la protección del dominio público.*

**3.** *Excepcionalmente y por razones de utilidad pública debidamente acreditadas, el Consejo de Ministros podrá autorizar las actividades e instalaciones a que se refieren las letras b) y d) del apartado 1 de este artículo. En la misma forma podrán ser autorizadas las edificaciones a que se refiere la letra a) y las instalaciones industriales en las que no concurren los requisitos del apartado 2, que sean de excepcional importancia y que, por razones económicas justificadas, sea conveniente su ubicación en el litoral, siempre que, ambos casos, se localicen en zonas de servidumbre correspondientes a tramos de costa que no constituyan playa, ni zonas húmedas u otros ámbitos de especial protección. Las actuaciones que se autoricen conforme a lo previsto en este apartado deberán acomodarse al planeamiento urbanístico que se apruebe por las Administraciones competentes.*

En el artículo 23 de dicha Ley se define la zona de servidumbre de protección como *"una zona de 100 m medida tierra adentro desde el límite interior de la ribera del mar"* y que *"la extensión de esta zona podrá ser ampliada por la administración del estado de acuerdo con la de la Comunidad Autónoma hasta un máximo de otros 100 m"*.

Por otra parte el artículo 3 señala que la ribera del mar incluye *"el límite hasta donde alcancen las olas en los mayores temporales conocidos o cuando lo supere el de la línea de pleamar máxima viva equinocial"* extendiéndose también *"por las márgenes de los ríos hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas"* e incluyendo igualmente las marismas, albuferas y marjales.

### **ZONA DE PROTECCION DE LA CANTIDAD**

En el informe de delimitación del perímetro de protección habrá de incluirse un estudio sobre el balance hídrico en la unidad hidrogeológica, valorando tanto recursos y reservas como valores de extracciones, drenaje natural y recarga. El estudio permitirá disponer de los mecanismos de actuación a fin de asegurar el caudal asignado al sondeo de abastecimiento, delimitando si es necesaria una zona en la cual se limiten las extracciones.

En el cuadro 3 se detallan las restricciones que se proponen en cada área del perímetro de protección.

**Cuadro 3: Planificación de actividades en los perímetros de protección.**

	Definición de actividades	Zona de restricciones absolutas	Zonas de restricciones máximas y zonas satélites			Zonas de restricciones moderadas			Zona de protección contra la intrusión salina			Zona de protección de la cantidad		
		Prohib.	Prohib.	Condic. *1	Permit.	Prohib.	Condic. *1	Permit.	Prohib.	Condic. *1	Permit.	Prohib.	Condic. *1	Permit.
<b>Actividades Agrícolas</b>	Uso de fertilizantes	x	x				x							
	Uso de herbicidas	x	x				x							
	Uso de pesticidas	x	x				x							
	Almacenamiento de estiércol	x	x				x							
	Vertido de restos de animales	x	x				x							
	Ganadería intensiva	x	x				x							
	Ganadería extensiva	x	x					x						
	Almacenamiento de materias fermentables para alimentación del ganado	x	x				x							
	Abrevaderos-refugios de ganado	x	x				x							
	Silos	x	x				x							
<b>Actividades urbanas</b>	Vertidos superficiales de aguas residuales urbanas sobre el terreno	x	x				x							
	Vertidos de aguas residuales urbanas en pozos negros, balsas o fosas sépticas	x	x			x								
	Vertidos de aguas residuales urbanas en cauces públicos	x	x			x								
	Vertido de residuos sólidos urbanos	x	x			x								
	Cementerios	x	x				x							
<b>Actividades insustanciales</b>	Asentamientos industriales	x	x				x							
	Vertidos residuos líquidos industriales	x	x			x								
	Vertidos residuos sólidos industriales	x	x			x								
	Almacenamiento de hidrocarburos	x	x				x							
	Depósitos de productos radiactivos	x	x			x								
	Inyección de residuos industriales en pozos y sondeos	x	x			x								
	Conducciones de líquido industrial	x	x			x								
	Conducciones de hidrocarburos	x	x			x								
	Apertura y explotación de canteras	x	x				x							
Relleno de canteras o excavaciones	x	x					x							
<b>Otras</b>	Campings	x	x				x							
	Ejecución de nuevas perforaciones o pozos	x	x				x		x			x		
	Acceso peatonal	x			x									
	Drenaje de marjalerías y zonas húmedas								x			x		
	Drenajes geotécnicos								x			x		
Transporte redes de comunicación	x		x			x								

\*1. El proyecto de instalación de actividades deberá incluir informe técnico sobre las condiciones que debe cumplir para no alterar la calidad existente del agua subterránea  
Fuente: Elaboración propia.

## 4. ESTUDIOS PREVIOS

Para la delimitación de un perímetro de protección es necesario, en primer lugar, realizar aquellos estudios previos que proporcionen la información necesaria para poder aplicar posteriormente los diferentes métodos de valoración existentes.

En los siguientes apartados se analizan detalladamente los datos que deben obtenerse.

### 4.1. Situación actual del abastecimiento

Debe conocerse la situación actual en la que se encuentra el abastecimiento a la población, describiendo las características de las captaciones de agua desde las que se realiza, conducciones de distribución del agua potable y alcantarillado, los depósitos de almacenamiento y distribución, así como los sistemas y características de las depuradoras de aguas residuales existentes.

Todos estos elementos quedarán reflejados en un plano que permita obtener una imagen de conjunto. La escala, empleada variará según la complejidad de la población; no obstante, se recomienda la 1:10.000, si bien en determinados casos sea necesario emplear escalas de hasta 1:50.000 dada la gran dispersión de las instalaciones.

En las figuras 2 y 3 se muestran varios ejemplos de esquemas de situación del abastecimiento urbano.

El anexo 10.4 contiene diversos modelos de ficha que permiten sintetizar dicha información de una manera estandarizada.

Los datos que deben ser considerados en cada uno de los elementos de que consta el abastecimiento a una población son los siguientes:

#### 4.1.1. Puntos de abastecimiento

El suministro de agua potable puede realizarse en base a aguas superficiales y/o subterráneas. Como se indica en el apartado 2.1, el Código Alimentario en su artículo 3-27-11 establece que en el orden de preferencia para captaciones de agua para abastecimientos a núcleos urbanos, estarán en primer lugar las aguas de manantiales o fuentes, las procedentes de pozos artesianos, las aguas subálveas y finalmente las aguas superficiales, aunque en la práctica no suele ser así.

En el caso de que el suministro se realice con aguas superficiales se indicará si proceden de un embalse o son extracciones directas de cauces fluviales, señalando asimismo la localización del punto de toma y las características del equipo de bombeo.

Cuando el abastecimiento se realice mediante aguas subterráneas es necesario conocer los siguientes aspectos:

- Número de identificación, según el código del inventario del Archivo Nacional de puntos acuíferos.
- Coordenadas (preferentemente UTM).
- Fecha de realización de la obra de captación.
- Naturaleza de la captación (pozo, sondeo, ...).
- Método de perforación.
- Características técnicas de la obra de captación: profundidad y diámetro, entubación y diámetro, situación de las zonas de rejillas, situación del empaque de gravas y diámetros de éstas, tramos cementados, etc.
- Equipamiento: Tipo de bomba, potencia y profundidad a la que está situada.
- Régimen de explotación: caudal y caudal específico, régimen de bombeo, volumen de extracciones mensuales y anuales, así como los caudales máximos bombeados.
- Características de las instalaciones eléctricas y de bombeo, indicando la existencia de medidas de protección tales como casetas y/o vallado, especificando en este caso sus dimensiones.

En el anexo 10.4 se incluye un modelo de ficha de inventario de puntos de agua en la que pueden reflejarse estos aspectos.

#### 4.1.2. Conducciones de agua potable

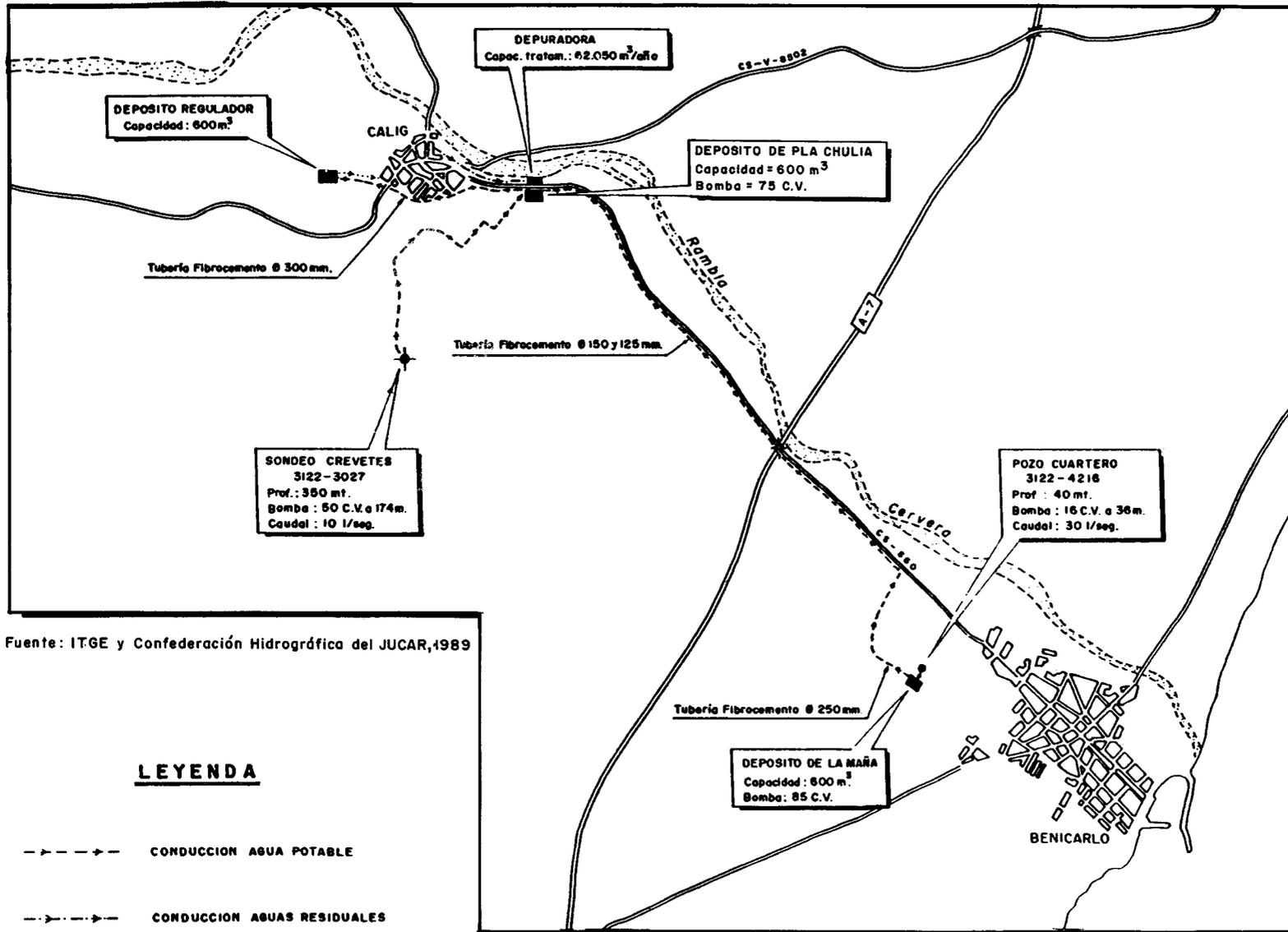
- Red en alta. Está constituida por las conducciones que comunican los puntos de abastecimiento y los depósitos.

Hay que determinar de qué material son, su espesor y longitud, así como la existencia de elementos singulares, por ejemplo las arquetas cortapresiones, etc.

- Red en baja. Es la que distribuye el agua desde los depósitos a los lugares de consumo.

Los datos a recopilar son los mismos que en el caso anterior.

En ambas redes hay que evaluar su estado general, señalando las deficiencias observadas tales como existencia de pérdidas, etc.

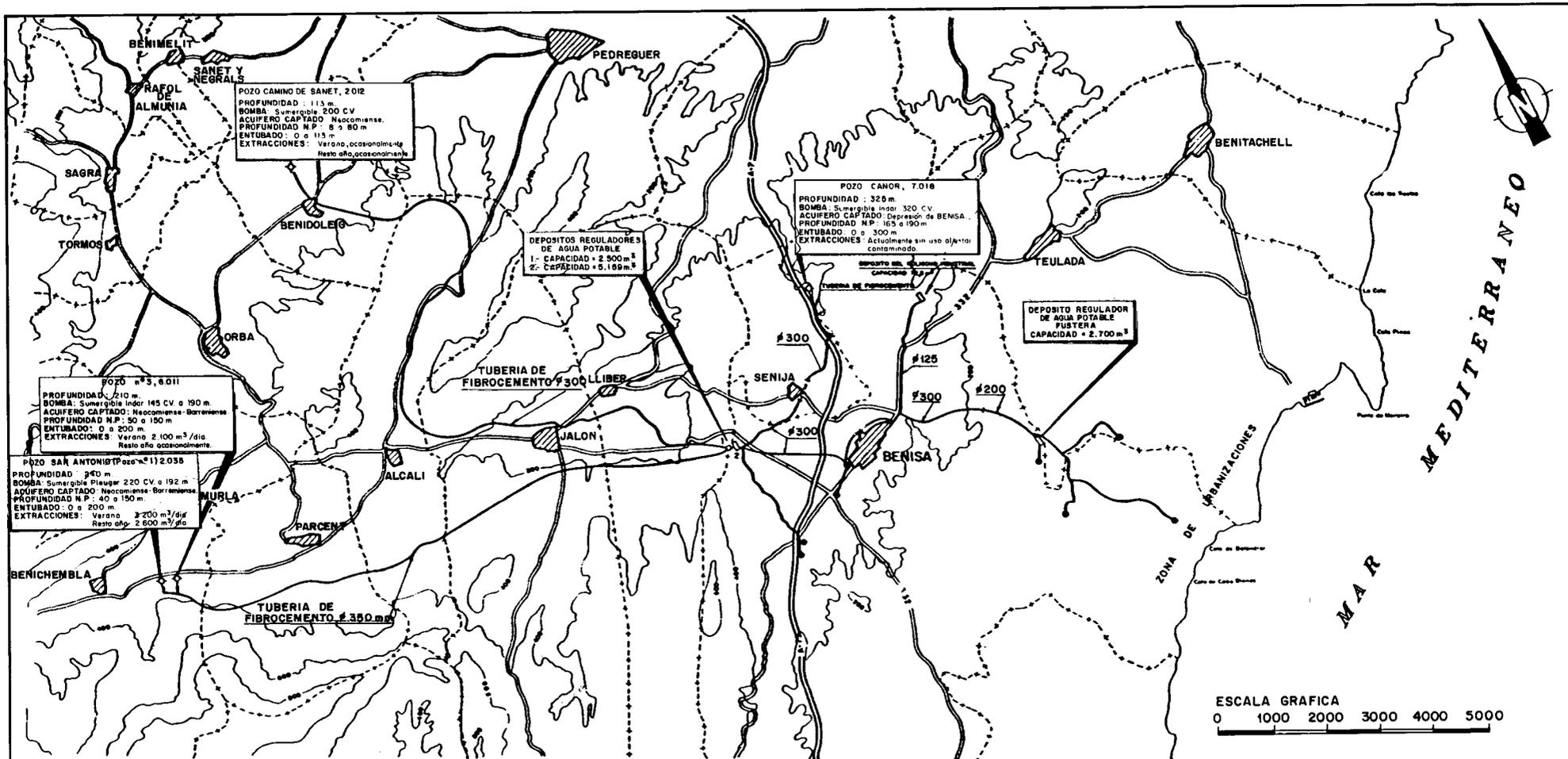


Fuente: ITGE y Confederación Hidrográfica del JUCAR, 1989

**LEYENDA**

- - - - - CONDUCCION AGUA POTABLE
- - - - - CONDUCCION AGUAS RESIDUALES
- - - - - CONDUCCION A LA RED DE DISTRIBUCION

Fig. 2 ESQUEMA DE ABASTECIMIENTO URBANO A LA LOCALIDAD DE CALIG (CASTELLON)



24

Fuente: ITGE y Confederación Hidrográfica del Júcar, 1989

Fig. 3 ESQUEMA GENERAL DE ABASTECIMIENTO URBANO, BENISA (ALICANTE)

ESCALA GRAFICA  
 0 1000 2000 3000 4000 5000

**LEYENDA**

- # 300 Tubería de fibrocemento de 300 m.Ø
- ..... # 200 Tubería metálica de 200 m.Ø
- + - - - + Límite término municipal.
- ◇ Sonda de abastecimiento a BENISA
- Punto de partida de la red en baja del abastecimiento

### 4.1.3. Depósitos de regulación y distribución

Respecto a los depósitos reguladores que existan en el municipio se recabarán los siguientes datos:

- Capacidad
- Características constructivas
- Tipo de válvulas existentes
- Desagües
- Periodicidad con que se limpian
- Tratamientos realizados: cloración, etc.

### 4.1.4. Red de alcantarillado

Es necesario un conocimiento adecuado de dicha red al constituir en la mayoría de los casos, como se analizará en apartados posteriores, un importante foco de contaminación. No obstante, no debe olvidarse que la problemática que dicho estudio conlleva, principalmente en las grandes ciudades, puede hacerlo inabordable en el marco de los estudios de perímetros de protección.

Interesa determinar de qué materiales son las conducciones, su trazado y la profundidad a la que están instaladas.

Finalmente es importante evaluar si presenta pérdidas y su cuantificación.

### 4.1.5. Estaciones depuradoras

Se analizarán los siguientes aspectos:

- Características de los efluentes tratados: vertidos urbanos, industriales o mixtos.

En el caso de que la depuradora reciba aguas residuales de industrias será imprescindible realizar un estudio detallado de cada una de ellas, describiendo la actividad que desarrollan y cuales son las características hidroquímicas de sus vertidos.

Cada instalación fabril es un caso particular y si bien en general no es deseable la incorporación de sus aguas residuales al sistema de depuración general de la población, esta actividad es normalmente tolerada, aunque se exige un tratamiento previo de las mismas. Así por ejemplo los vertidos industriales en los que el contenido de metales pesados (plomo, cobre, cromo, mercurio, etc.) sea importante pueden alterar completamente el funcionamiento de una estación depuradora, convirtiéndola en ineficaz, al intoxicar las colonias bacterianas esenciales en el proceso de depuración.

#### - Tipo de tratamiento

A grandes rasgos una depuradora completa de una cierta entidad mejora la calidad de las aguas mediante las siguientes etapas:

• **Pretratamiento.** Su objetivo es eliminar los sólidos de mayor tamaño que lleva el agua en suspensión. Para ello se utilizan rejillas, depósitos en un desarenador etc.

• **Tratamiento primario.** Consiste en una decantación de las partículas de menor tamaño y que, por tanto, no habían sido suprimidas al finalizar el pretratamiento.

Al concluir esta etapa el líquido residual carece de sólidos en suspensión.

• **Tratamiento secundario.** En el se pretende eliminar la materia orgánica disuelta potenciando un intenso desarrollo bacteriano mediante el aporte de oxígeno (generalmente aire).

Existen diversas líneas de tratamiento con distintos equipos: oxidación total, fangos activados, lechos bacterianos, discos rotatorios, digestión aerobia o anaerobia, etc.

• **Tratamiento terciario.** El efluente resultante al concluir el tratamiento secundario tiene un alto contenido de nitratos y fosfatos y se pretende disminuirlo hasta valores aceptables al finalizar esta última etapa.

Los procesos requeridos son muy costosos, por lo que rara vez se realizan, recurriéndose normalmente a soluciones alternativas, como emplear el agua para agricultura, recarga de acuíferos u otras actividades.

#### - Estado de las instalaciones

Es necesario estimar la eficiencia de la planta depuradora. Para ello se analizarán muestras del efluente a la entrada y salida de dichas instalaciones. Además debe determinarse el porcentaje de su capacidad que se emplea en la actualidad y las previsiones futuras.

#### - Uso de las aguas tratadas

Se debe indicar el destino final de los efluentes depurados, tanto si son destinados para otros usos (por ejemplo regadío), como los cauces y puntos de vertido en caso de no reutilización.

## 4.2. Demanda urbana

### 4.2.1. Datos de población y su evolución

Se recopilará la información sobre la población de hecho, de derecho y la estacional, así como su evolución en los últimos años, realizando previsiones del número de habitantes que tendrá el municipio en el futuro. Además deberá indicarse si existen núcleos de población dispersos y/o urbanizaciones, cuantificando su ocupación.

### 4.2.2. Volúmenes consumidos

En primer lugar se diferenciará la cuantía del volumen consumido que proviene de aguas superficiales y de aguas subterráneas, especificando el tipo de gestión (municipal, concesionario). Se debe describir el método de control existente, determinando el número,

## 4.3. Aspectos económicos

El conocimiento de algunos datos económicos relacionados con la población abastecida con las captaciones que se quiere proteger puede proporcionar una información muy valiosa.

Resulta especialmente interesante conocer el presupuesto municipal y las inversiones realizadas en los últimos años en los siguientes aspectos:

- Captaciones
- Redes y depósitos de agua potable
- Alcantarillado
- Depuradoras
- Residuos sólidos

El presupuesto municipal permitirá determinar la capacidad de la población para hacer frente a los costes



tipo, localización y antigüedad de los contadores, los volúmenes facturados y consumidos, así como su evolución en los últimos años, estimando los consumos futuros.

En base a esta información se calculará la dotación actual, considerando también la que le correspondería teóricamente según el Plan Hidrológico de la zona.

económicos que podrían derivarse de la aplicación del perímetro, así como a las mejoras en las instalaciones que sea preciso realizar.

Las inversiones efectuadas en diferentes aspectos del abastecimiento son útiles para estimar, en una primera aproximación, el estado de conservación de distintas instalaciones. Así es relativamente frecuente,

en especial en pequeñas poblaciones, que dichos gastos sean prácticamente inexistentes, existiendo una clara correlación entre esta ausencia de un adecuado mantenimiento y las deficiencias que el análisis de su situación actual reflejará.

#### **4.4. Ordenación del territorio**

La recopilación de los planes de ordenación del territorio es muy interesante, puesto que permitirá saber la calificación de los terrenos que se verán afectados por la aplicación del perímetro de protección propuesto, así como su precio, se podrá así valorar el impacto socioeconómico que éste producirá.

Debe especificarse si la calificación de los terrenos corresponde al Plan de Ordenación o a las Normas Subsidiarias, su fecha de aprobación y si está prevista su revisión total o parcial próximamente.

Esta información se reflejará en un plano en el que además de la calificación de los diferentes terrenos se indicará la superficie actualmente construida (núcleo urbano, urbanizaciones e industrias).

#### **4.5. Marco geológico**

Hay que establecer el encuadre geológico de la zona estudiada en el contexto regional, analizando con detalle la cartografía, litoestratigrafía y tectónica, como se expondrá en los siguientes apartados.

##### **4.5.1. Cartografía**

Se recopilará la información disponible sobre la zona estudiada, para lo que es fundamental el empleo del mapa geológico nacional a escala 1:50.000 (MAGNA). Se revisarán los datos allí contenidos y se elaborará un mapa geológico a la escala adecuada, complementándolo con los cortes significativos que se consideren necesarios.

##### **4.5.2. Litoestratigrafía**

Se deben estudiar las diferentes formaciones geológicas del sector, describiendo su litología, potencia, análisis sedimentológico (granulometría, tipos de matriz y cemento, etc.) incluyendo asimismo columnas estratigráficas tipo, de las zonas más significativas.

##### **4.5.3. Tectónica**

En primer lugar se debe encuadrar la zona estudiada en el contexto tectónico regional, describiendo posteriormente el tipo de deformación que afecta a los materiales de este área.

En el caso de los acuíferos kársticos se considera especialmente interesante la realización de mapas de fracturación, utilizando cuando sea posible imágenes de satélite.

#### **4.6. Hidrogeología**

##### **4.6.1. Marco hidrogeológico**

El área objeto de estudio debe ubicarse en el sistema, subsistema y acuífero que le corresponda, indicando a qué unidad hidrogeológica pertenecen y sus principales características.

Posteriormente deberá realizarse un mapa hidrogeológico del sector en el que se encuentran las captaciones; en él se incluirán cortes hidrogeológicos y/o bloques diagramas que incluyan las captaciones que se pretende proteger.

En las figura 4 y 5 se muestran varios ejemplos de los mismos.

##### **4.6.2. Acuíferos captados por los puntos de abastecimiento**

El análisis detallado de los diferentes acuíferos contemplará los siguientes aspectos:

###### **A. Geometría**

Hay que conocer sus dimensiones, para ello será útil la realización de un mapa de isopacas en base a la información de los sondeos existentes.

###### **B. Tipo de acuífero**

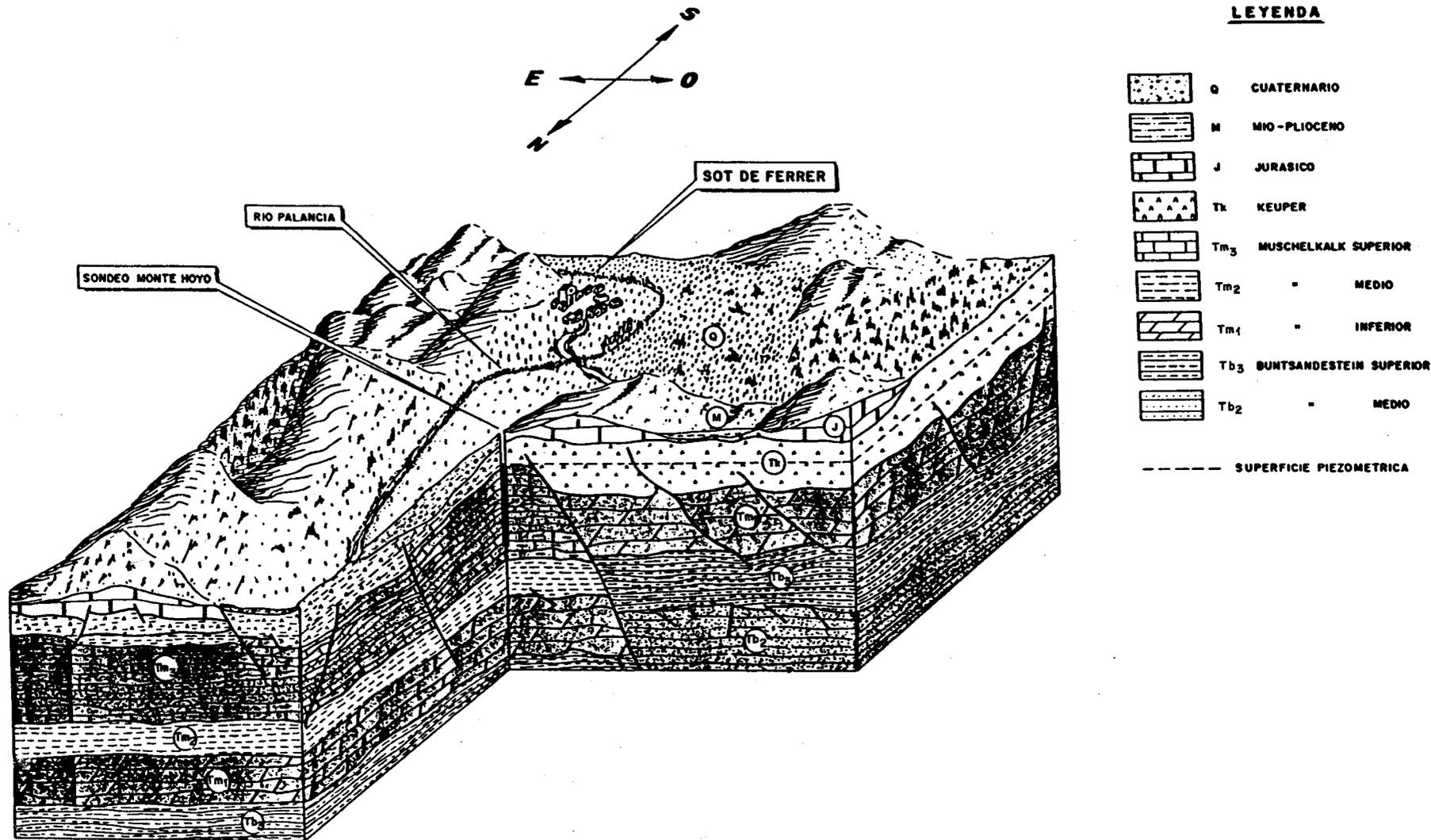
Se especificará su naturaleza: libre, confinado, semiconfinado, diferenciando los tramos permeables e impermeables y su potencia.

###### **C. Funcionamiento hidrogeológico**

Es imprescindible conocer el tipo de alimentación (infiltración de la lluvia, aportes laterales, retorno de regadíos, recarga por ríos) así como las salidas que se producen (bombeos, drenaje por ríos y manantiales, aportes laterales a otros acuíferos o al mar), cuantificándolas para un período representativo.

Se prestará especial atención a la posible conexión que presente con otros acuíferos por las repercusiones que puede tener en la delimitación del perímetro.

Respecto a las extracciones por bombeos se debe especificar su uso (abastecimiento urbano, agricultura, industria) y qué volúmenes representan. En el caso de



**LEYENDA**

- Q CUATERNARIO
- M MIO-PLIOCENO
- J JURASICO
- Tr KEUPER
- Tm<sub>3</sub> MUSCHELKALK SUPERIOR
- Tm<sub>2</sub> " MEDIO
- Tm<sub>1</sub> " INFERIOR
- Tb<sub>3</sub> BUNTSANDESTEIN SUPERIOR
- Tb<sub>2</sub> " MEDIO
- SUPERFICIE PIEZOMETRICA

Fuente: ITGE y Confederación hidrográfica del Júcar, 1989

Fig.4 BLOQUE DIAGRAMA ESQUEMATICO MOSTRANDO EL DISPOSITIVO HIDROGEOLOGICO EN EL SONDEO "MONTE HOYO" (CASTELLON)



utilización agrícola hay que conocer las hectáreas regadas y los cultivos existentes, señalando sus dotaciones. Cuando las extracciones se destinen al abastecimiento urbano interesará detallar las poblaciones que cubren su suministro en base a las aguas subterráneas, indicando su número de habitantes.

#### **D. Piezometría**

El análisis de la piezometría existente en la zona y su evolución permite definir las principales líneas de flujo y las áreas singulares (conos de bombeo, etc.).

#### **E. Hidroquímica**

Es preciso identificar las diferentes facies hidroquímicas existentes, especificando la concentración de los diferentes iones, siendo muy conveniente realizar mapas de isocontenidos de las principales especies (cloruros, sulfatos, nitratos, etc.).

Finalmente, hay que considerar con especial cuidado la posible existencia de metales pesados, dado su elevado poder contaminante.

### **4.6.3. Hidrogeología en el entorno de las captaciones.**

#### **A. Materiales acuíferos**

Se describirá la columna litológica de cada una de las captaciones que se pretende proteger, diferenciando los tramos productivos, si existen niveles colgados, así como las principales características de la perforación.

Estos datos aparecerán reflejados en un croquis.

En las figuras 6 y 7 se muestran algunos ejemplos.

#### **B. Evolución piezométrica**

Es preciso conocer el nivel piezométrico estático y dinámico en las captaciones, así como las oscilaciones estacionales anuales e interanuales.

#### **C. Flujo subterráneo**

Dada la gran importancia que para los objetivos perseguidos presenta el conocer con precisión el flujo subterráneo, es imprescindible realizar una campaña "flash" de medidas piezométricas, nivelando los puntos utilizados en el entorno de las captaciones.

Con estos datos puede obtenerse un mapa de isopiezas de detalle y en base a él definir la dimensión

y sentido del flujo y el gradiente hidráulico, así como si se produce recarga inducida de cauces superficiales y otras características importantes que faciliten la delimitación del perímetro de protección.

Cuando la escasez o ausencia de otras captaciones haga imposible trazar con exactitud el mapa de isopiezas, se recomienda, entre otros métodos para definir el flujo, el empleo de trazadores.

#### **D. Características hidrodinámicas**

Se debe reunir la información existente sobre los principales parámetros, permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, caudal específico, detallando las características del ensayo de bombeo del que se obtuvieron.

Si no existieran dichos datos o se dudara de su fiabilidad, por no haberse realizado con el debido control, sería imprescindible la ejecución de un ensayo de bombeo de larga duración. Se considera adecuado un tiempo de bombeo cercano a las 72 horas con medida de descensos, siempre que sea posible, en la propia captación y en algún otro punto utilizado como piezómetro y tomar muestras de agua al bombear.

El objetivo que se pretende es conocer con fiabilidad los valores de la transmisividad, coeficiente de almacenamiento y radio de influencia así como definir la posible existencia de barreras y/o bordes de recarga, que deben ser considerados para delimitar el perímetro de protección.

La velocidad del agua en el entorno de las captaciones se cuantificará mediante métodos analíticos (Ley de Darcy) o usando trazadores.

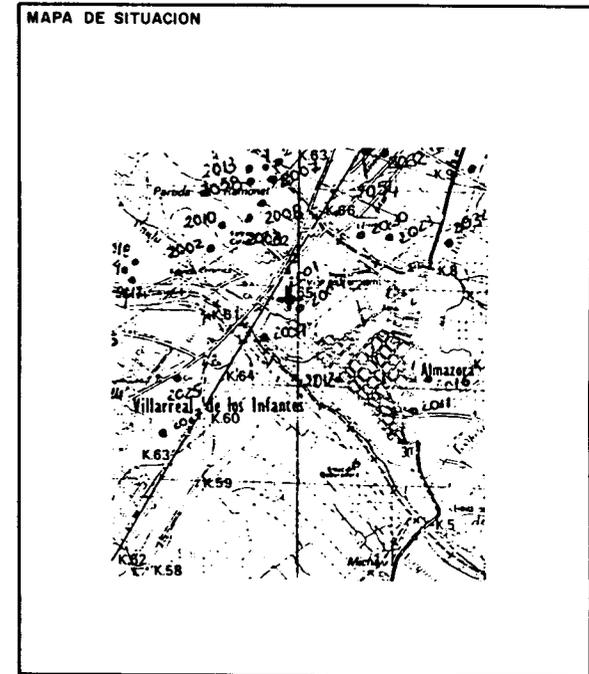
Finalmente, cabe señalar, que en algunos casos la existencia de una fuente de contaminación que haya afectado a alguna captación permite estimar el valor de la velocidad del agua, siempre que se conozca la distribución espacial y temporal del vertido contaminante y el momento en que comienza a afectar a la calidad del agua de la misma.

#### **E. Calidad del agua**

Hay que recopilar la información disponible sobre análisis químicos y bacteriológicos. Si se trata de proteger una captación que ya está siendo utilizada para abastecimiento urbano deben existir análisis con la periodicidad indicada en la actual reglamentación técnico sanitaria (recogida en el Anexo 10-2).

En cualquier caso se recomienda tomar alguna muestra de agua cuando el pozo esté bombeando y

CONSTRUCCION Y ACONDICIONAMIENTO DEL SONDEO				PERFIL LITOESTRATIGRAFICO							
PROFUNDIDAD (m)	DIAMETROS		ESQUEMA MECANICO DEL SONDEO	RESUMEN DE EJECUCION	MODO DE PERFORAR	NIVEL ESTATICO	EDAD	FORMACION	COLUMNA LITOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCION DE LA COLUMNA INTERPRETADA
	ENTUBACION	PERFORACION									
0	SIN ENTUBAR	Ø 250 mm.	 NE = 46 m (X1-89)		EXCAVACION	NE	CUATERNARIO				NO EXISTE UNA COLUMNA LITOLOGICA DE DETALLE. ALTERNANCIA DE GRAVAS, ARCILLAS CON PASADAS DE ARENAS.
20											
40											
60					PERCUSION						
80											
90											



POZO DE LA ESTACION (AYUNTAMIENTO Nº 2)

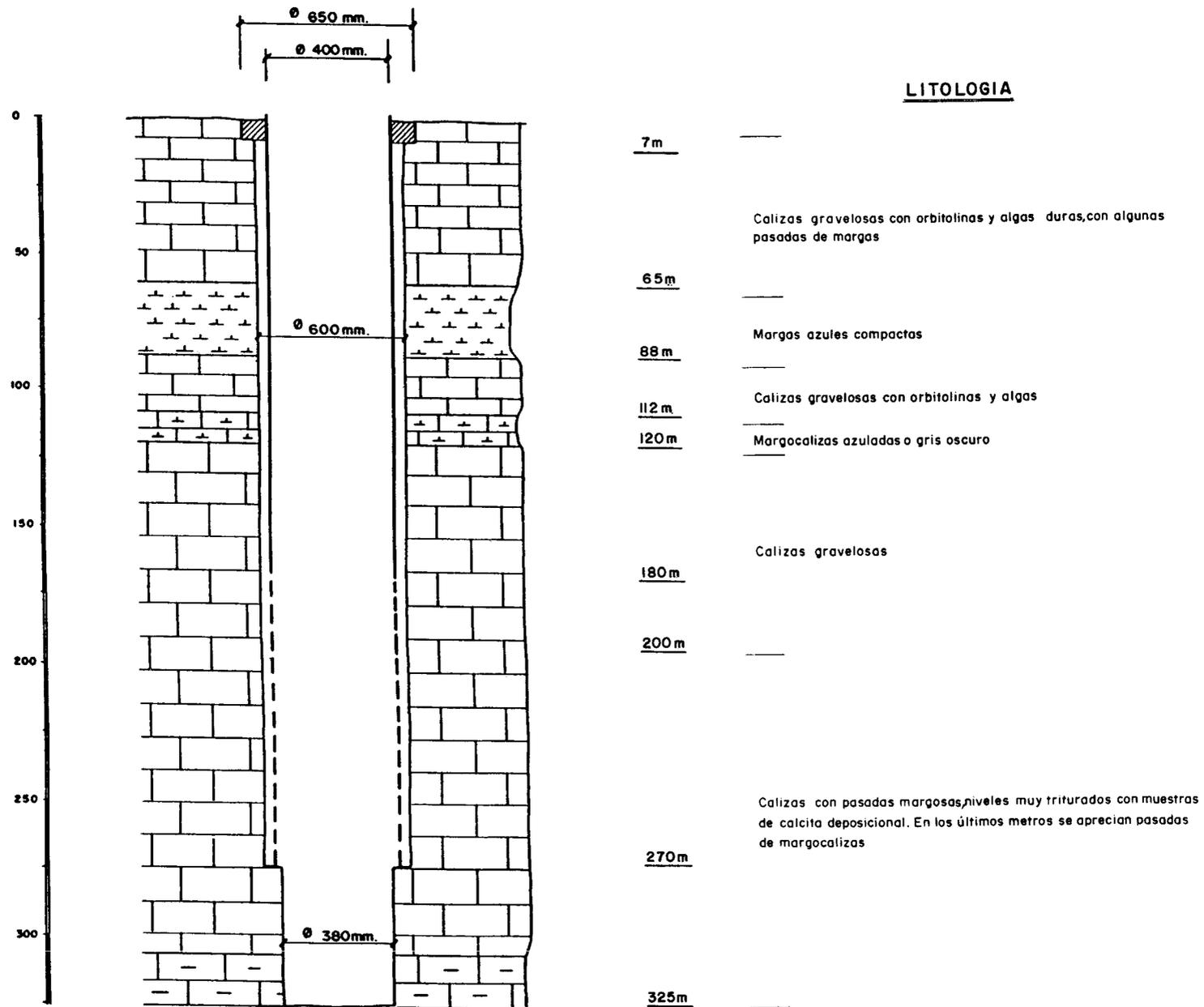
PROVINCIA CASTELLON Tº MUNICIPAL ALMAZORA

PARTIDA PLA DEL CALVARI POLIGONO Nº7

PARCELA XII

COORDENADAS U.T.M. { X = 749.950  
Y = 4.427.150 Z: (m.s.n.m.) 48

Fig.6 ESQUEMA DEL SONDEO DE LA ESTACION. (ALMAZORA)



Fuente: ITGE y Confederación hidrográfica del Júcar, 1989

**Fig.7 COLUMNA LITOLOGICA Y PERFIL DEL SONDEO DE CANOR, BENISA (ALICANTE)**



realizar un análisis completo, prestando especial atención a las características bacteriológicas, ya que aunque no alcancen el máximo permitido pueden señalar indicios de una posible contaminación grave.

Estos análisis deben compararse con la calidad natural que presente el acuífero o acuíferos captados, que ya ha sido estudiada en el apartado 4.6.2.E., determinando la existencia de elementos contaminantes.

#### **4.7. Vulnerabilidad del acuífero frente a la contaminación**

##### **4.7.1. Inventario de focos contaminantes**

Se han clasificado los posibles focos de contaminación existentes, a efecto de delimitación de perímetros de protección, en:

- Areales conservativos
- Areales no conservativos
- Puntuales conservativos
- Puntuales no conservativos

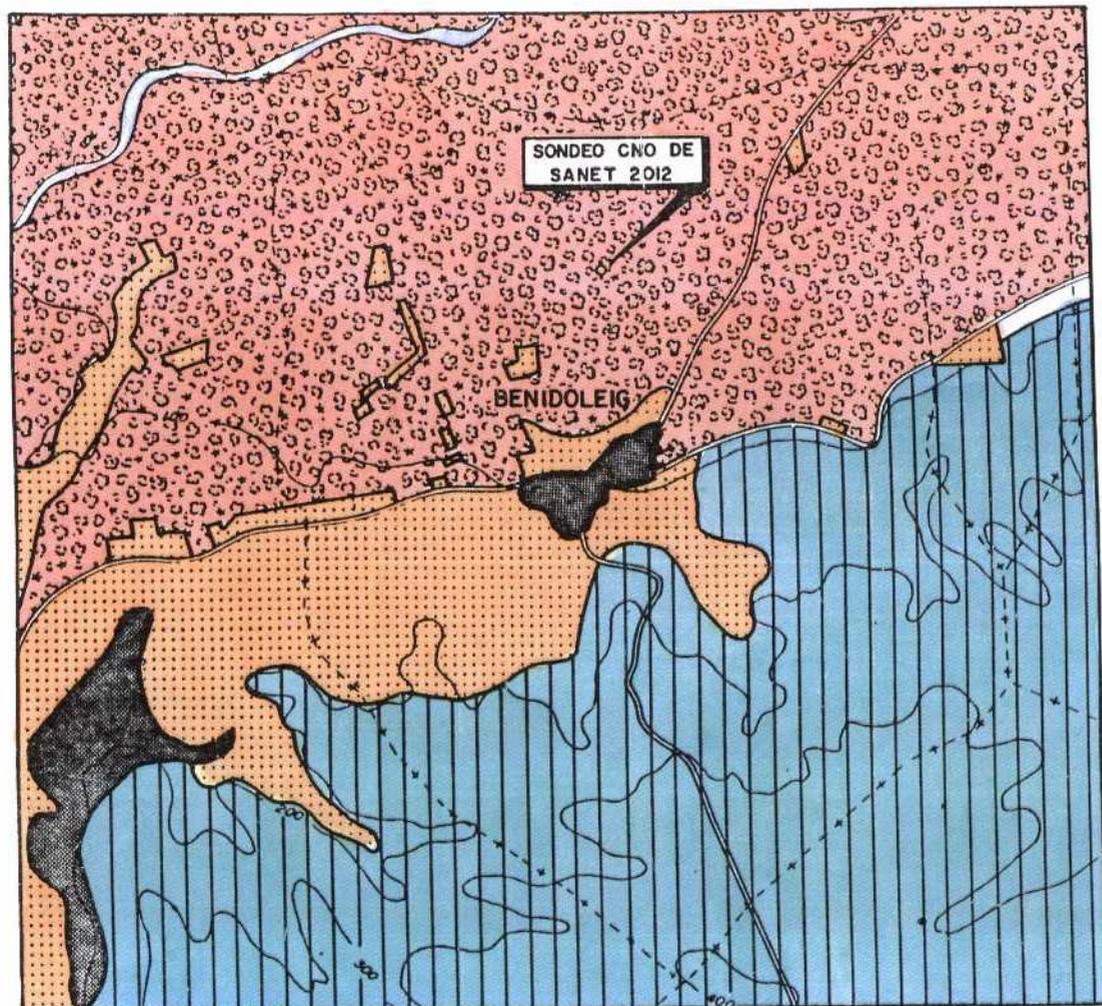
Esta diferenciación se basa en el carácter (degradable o no) de la contaminación y la zona afectada. A este respecto cabe indicar que la perdurabilidad y las variaciones que se producen en los diferentes tipos de contaminantes será analizada con mayor detalle en el capítulo 6 y en el 7.1.1.

La zona a cubrir será diferente en cada caso. Aunque algunos autores consideren como hipótesis adecuada de trabajo un área de 4 km de radio en base al estudio hidrogeológico previo.

Es conveniente reflejar los resultados en mapas, cuya escala puede ser muy variable, aunque es recomendable la 1:10.000, si bien en casos de escasa complejidad puede ser hasta de 1:50.000. En dichos mapas podrán agruparse o no los diferentes focos contaminantes en función de las características del área estudiada.

En las figuras 8, 9, 10 y 11 se indican diferentes ejemplos de inventario de focos contaminantes.

En el anexo 10-4 se incluyen diversos modelos de fichas que permiten reflejar la información sobre estos procesos.



**LEYENDA**

- CULTIVOS DE SECANO**
  -  Olivos + Alendros.
- CULTIVOS DE REGADIO**
  -  Naranjos.
- SIN CULTIVAR**
  -  Monte bajo.
  -  Suelo urbanizado
  -  Pozo de abastecimiento de BENISA

Fuente: ITGE y Confederación hidrográfica del Júcar, 1989

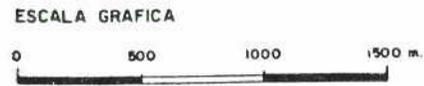
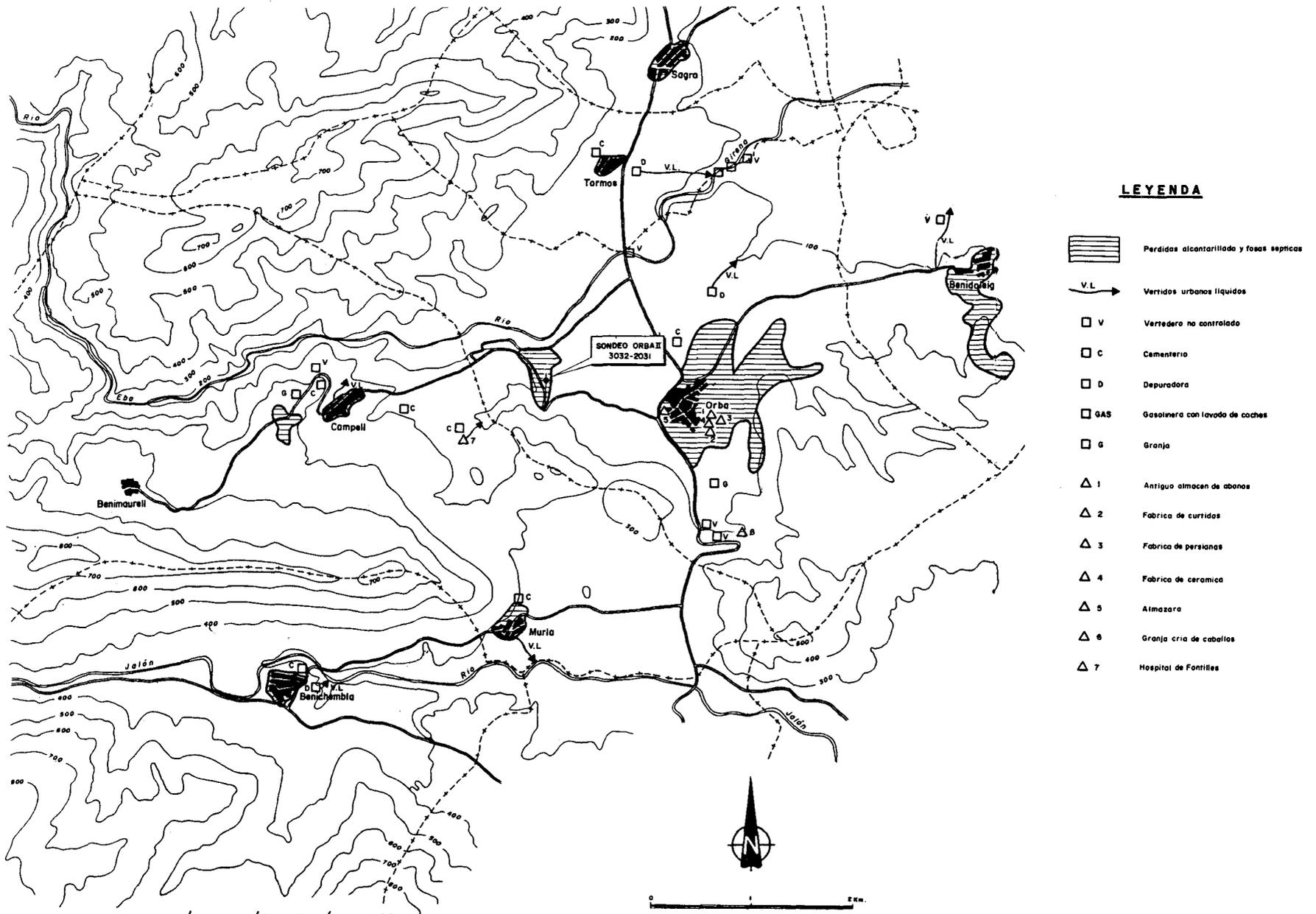
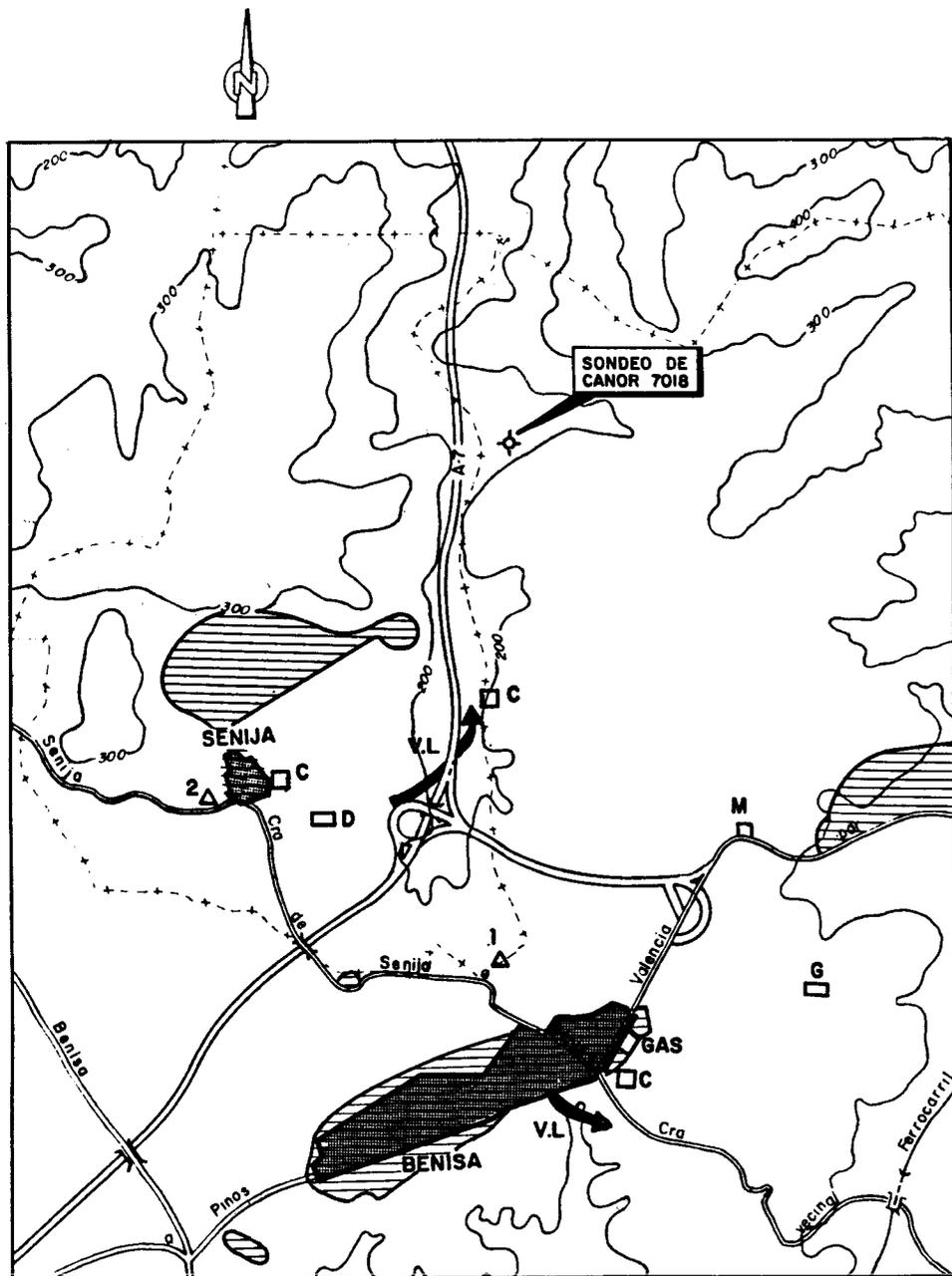


Fig. 8 MAPA DE CULTIVOS. SECTOR DE BENIDOLEIG (ALICANTE)



Fuente: ITGE y Confederación Hidrográfica del Júcar, 1989

Fig.9 MAPA DE SITUACION DE FOCOS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES (ORBA)



Fuente: ITGE y Confederación hidrográfica del Júcar, 1989

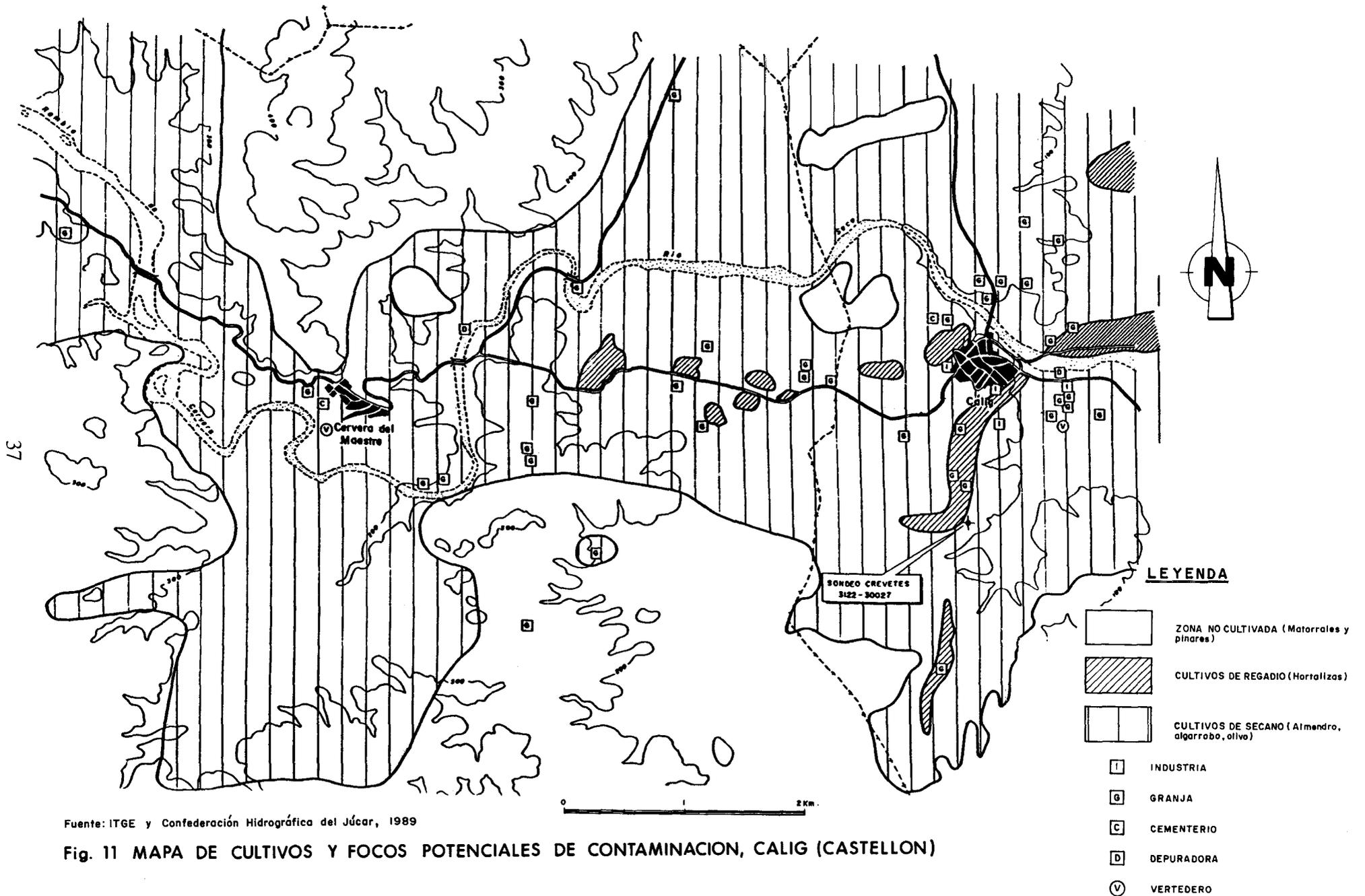
ESCALA GRAFICA



## LEYENDA

	Perdidas alcantarillado y fosas sépticas.
	Cementerio.
	Depuradora.
	Granja.
	Matadero.
	Gasolinera
	Vertidos líquidos.
	Fabrica de alfombras y moquetas.
	Lavandería.

Fig. 10 MAPA DE SITUACION DE FOCOS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES. SECTOR DE BENISA (ALICANTE)



Fuente: ITGE y Confederación Hidrográfica del Júcar, 1989

Fig. 11 MAPA DE CULTIVOS Y FOCOS POTENCIALES DE CONTAMINACION, CALIG (CASTELLON)

Los factores a considerar en los diferentes focos de contaminación son:

### **A. Focos contaminantes areales conservativos**

Están constituidos por las prácticas que afectan a amplias zonas y cuyos agentes contaminantes no se destruyen ni se modifican, por lo que su concentración solo disminuye por dilución.

Cuando alcanzan el acuífero se desplazan a la misma velocidad que el agua subterránea y puede permanecer mucho tiempo en ella.

El principal foco de contaminación de este tipo es el debido al uso abusivo de fertilizantes en las prácticas agrícolas, que produce la incorporación al acuífero de diferentes sustancias, principalmente nitrógeno y también aunque en menor proporción, fósforo y potasio.

En la figura 12 se esquematizan los diversos factores que influyen en la cantidad de dichos compuestos que es asimilada por la planta y la que se incorpora a las aguas subterráneas.

El clima del lugar, a través del régimen de las precipitaciones, insolación, humedad, así como el tipo de riego son alguno de los aspectos que influyen en esa asimilación.

Las características físicas del suelo: textura, permeabilidad, humedad; químicas: acidez, composición, ...; biológicas: diversidad y densidad de flora y microfauna, así como las necesidades propias de la planta para su óptimo desarrollo son igualmente de gran importancia. Del análisis de esos factores puede deducirse qué nutrientes es conveniente aportar artificialmente, en qué momento de la vida de la planta y la cantidad adecuada.

Sin embargo, no siempre se realiza estos estudios con la precisión requerida, y su uso incorrecto, puede provocar la contaminación de las aguas subterráneas.

En cada caso la evaluación de la contaminación requiere disponer de una cartografía de los diferentes cultivos (de secano y regadio) existentes.

Los resultados se plasmarán en mapas a escala apropiada, recomendándose la 1:10.000, si bien en zonas con poca complejidad pueden admitirse escalas de hasta 1:50.000.

Es imprescindible conocer la cantidad y tipo de

abonos que se aplican. Dicha información puede obtenerse de las cámaras agrarias y de la realización de encuestas directas.

Finalmente, todos estos datos se plasmarán en cuadros en los que se detalle el tipo de cultivos, número de hectáreas y el total de abonos aplicados, comparando dicha cantidad con la que sería necesaria en función de los factores comentados previamente.

En el apartado 5 del anexo 10-3, figuran algunas tablas indicativas del abonado de diferentes cultivos, aunque son valores meramente orientativos, que hay que adecuar a la diversas áreas geográficas.

Un importante foco de contaminación en las zonas costeras es el constituido por la intrusión marina. Para evaluar su importancia es fundamental utilizar los datos de las redes de control de la intrusión marina instaladas en las diferentes regiones españolas por el ITGE y otros organismos.

El análisis de dichos datos indica la evolución que ha tenido el contenido de cloruros en los últimos años.

### **B. Focos contaminantes areales no conservativos**

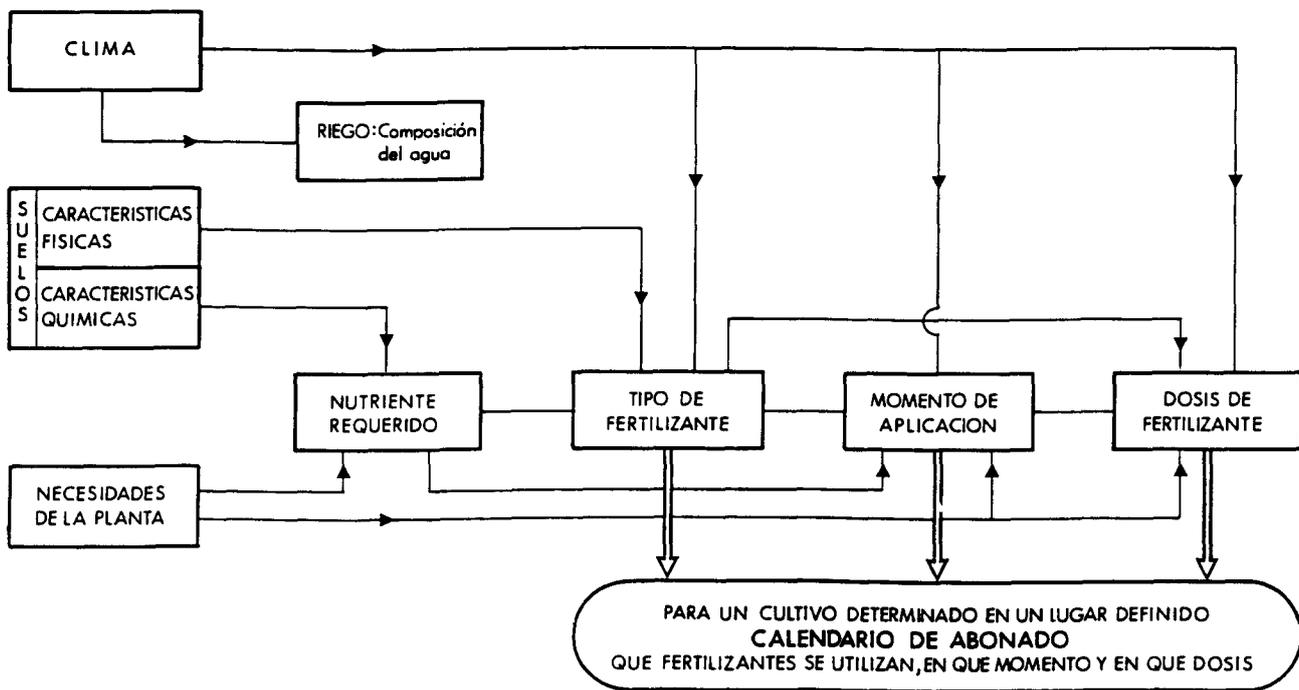
Son aquellos que, como en el caso anterior, afectan a amplias zonas, pero en los cuales su composición química varía con el tiempo.

El más importante foco de este tipo lo constituye el uso de pesticidas. Bajo esta denominación se incluyen todos aquellos productos utilizados para prevenir y luchar contra las plagas, animales y vegetales, que afectan a los cultivos: fungicidas, herbicidas, insecticidas, rodenticidas... La gran mayoría son compuestos químicos orgánicos sintéticos de elevada toxicidad.

Se tienen pocos datos sobre su presencia en las aguas subterráneas, en especial por la dificultad y elevado coste que conlleva su análisis. La contaminación debida a los pesticidas puede agravarse por sus métodos de aplicación (atomización, etc) y por la eliminación de sus envases.

El carácter no conservativo de los pesticidas tiene la particularidad de que los productos resultantes de las transformaciones que pueden sufrir (biodegradación, descomposición, transformaciones redox,...), pueden ser más nocivos que los productos de los que proceden.

Es muy interesante valorar la vulnerabilidad del acuífero a estas contaminantes a fin de adecuar el diseño del perímetro a dicha circunstancia.



Fuente: ITGE, 1989

FIG.12 FACTORES A CONSIDERAR EN EL USO DE FERTILIZANTES

La metodología que se describe seguidamente pondera la vulnerabilidad en función de siete parámetros (EPA 1985, Aller, L et al, 1986), se denomina sistema CRIPTAS; es un método normalizado, que permite evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación por pesticidas, de forma homogénea para los distintos tipos de acuífero.

Los factores a tener en cuenta son:

- 1- Conductividad hidráulica del acuífero [C].
- 2- Recarga neta del acuífero [R].
- 3- Impacto de la zona no saturada [I].
- 4- Profundidad del nivel del agua [P].
- 5- Topografía (pendiente) [T].
- 6- Roca del acuífero [A].
- 7- Tipo de Suelo [S].

Aún cuando no es una relación exhaustiva de todos los parámetros que afectan a la dinámica del pesticida, si permite conocer con gran aproximación el impacto que la acción de estos productos puedan tener.

Los factores se evalúan unos respecto a los otros, para determinar su importancia relativa, asignando a cada uno de ellas un peso relativo, de 2 a 5; este peso se determinó por consenso en una reunión de expertos.

FACTOR	C R I P T A S.
PESO	2 4 4 5 3 3 5.

A su vez, cada factor se mueve en un rango de valores, asignándose a cada segmento de este rango un valor de 1 a 10.

El sistema permite determinar numérica y globalmente, para cada sistema acuífero, o unidad hidrogeológica, un índice relacionado con la vulnerabilidad a la contaminación por pesticidas, utilizando un modelo aditivo. La ecuación para determinar el índice CRIPTAS es:

$$I = a_C P_C + a_R P_R + a_I P_I + a_P P_P + a_T P_T + a_A P_A + a_S P_S.$$

donde  $a_i$  son los valores dentro de cada rango y  $P_i$  los pesos relativos de cada factor, (en el anexo 10-3 se incluye el valor que se asigna a cada factor en los diferentes rangos considerados).

Una vez que se ha calculado el índice CRIPTAS, es posible identificar áreas que son más susceptibles a la contaminación de sus acuíferos por pesticidas:

Cuanto mayor sea el índice, más lo es la vulnerabilidad.

Todos los valores CRIPTAS interactúan entre sí, es decir, son en realidad variables dependientes. Su elección como variables a tener en cuenta en el modelo se ha hecho en base a datos cuantitativos de los acuíferos, fácilmente obtenidos y accesibles, que se pueden conseguir en poco tiempo y con bajo coste.

### **C. Focos contaminantes puntuales conservativos**

Están constituidos por aquellas actividades de ámbito muy localizado y que producen contaminantes que no se destruyen ni se modifican. Su concentración únicamente disminuye mediante dilución.



Un caso muy particular es la posible existencia de ríos o ramblas conectadas al acuífero. Dichos cauces fluviales pueden ser los receptores finales de los vertidos líquidos procedentes de las poblaciones existentes aguas arriba e infiltrarse en este área.

En este caso de ríos afluentes, es imprescindible analizar sus aguas para evaluar su potencial contaminante.

Finalmente, se debe incluir en este apartado la ganadería trashumante realizando un censo de las especies ganaderas existentes en el área.

En este grupo cabe destacar los vertidos industriales. Hay que prestar especial atención a las industrias de cerámica, vidrio, galvanotécnica y curtidos, pues pueden producir contaminación por metales pesados (plomo, cromo, cadmio, mercurio, etc.). Su presencia supone un importante riesgo, dado su carácter tóxico incluso a bajas concentraciones.

Otras actividades industriales que pueden repercutir en la calidad de las aguas subterráneas son las siderometalúrgicas, químicas, alimentación, textil, muebles, papel, etc.

En el apartado 4 del anexo 10-3 figura una estimación del potencial contaminante de las principales actividades industriales. Dichas tablas son meramente orientativas y dada la variación de la problemática en

los diferentes casos se recomienda un análisis individualizado de cada una de las industrias presentes en el área estudiada.

Debe realizarse un inventario detallado especificando el tipo y sistemas de vertido (fosas sépticas, inyección en sondeos profundos, alcantarillado, etc.).

El almacenamiento y transporte de sustancias industriales debe ser tenido en cuenta desde la óptica

suspensión y frecuentemente concentraciones bajas de cianuros y otros iones procedentes de los reactivos que se utilizan en los procesos de flotación.

Especialmente peligrosas son las aguas ácidas de drenaje de minas que se producen en aquellas zonas en las cuales las actividades mineras intersectan el nivel freático y las rocas contienen sulfuros.



de la protección de las aguas subterráneas, siendo especialmente peligrosos los tanques de almacenamiento de hidrocarburos, oleoductos y gasolineras.

Asimismo, la actividad minera supone en ocasiones un peligro de gran magnitud para la calidad del agua subterránea.

Las labores de extracción de mineral producen residuos sólidos y líquidos. Los residuos sólidos acumulados en las escombreras provienen de materiales situados sobre la mena explotada, de la ganga y los debidos a los procesos de concentración de mineral.

El lavado de estos materiales por el agua de lluvia produce lixiviados con altos contenidos en sólidos en

Se recomienda realizar análisis que comprendan los siguientes parámetros:

- Temperatura
- Sólidos en suspensión y en disolución
- pH
- Dureza
- Iones metálicos en solución
- Contenido en sales
- Silice
- NH<sub>4</sub>
- Aceites y grasas
- Radiactividad

## **D. Focos contaminantes puntuales no conservativos**

Se engloban en este apartado aquellas actividades que son de ámbito localizado y producen sustancias degradables.

Los residuos urbanos (sólidos y líquidos) son los más frecuentes focos contaminantes de este tipo por lo que es imprescindible estudiar los asentamientos urbanos presentes en la zona, indicando el modo de eliminación de sus vertidos y evaluando el riesgo que suponen respecto a la calidad de las aguas subterráneas.

La composición de los residuos urbanos es muy heterogénea. Además del número de habitantes influyen otros factores, como el clima, la ubicación geográfica, el nivel de vida, los hábitos culturales, etc. Cabe destacar que incluso una misma población genera diferentes residuos según la estación del año, especialmente si está en zona turística. Estas variaciones son más significativas en los residuos sólidos.

En los apartados 1 y 2 del anexo 10-3 se adjuntan algunas estadísticas españolas y extranjeras que indican cifras medias de producción y composición de los residuos, que pueden ser muy útiles en una primera etapa de estimación de su potencial contaminante.

Respecto a los residuos sólidos se especificará si se depositan en vertederos controlados o incontrolados y cuales son las características de dichos emplazamientos o si son transportados a otros lugares ajenos al área de estudio.

La posible existencia de plantas de tratamiento y/o reciclado, de compost, etc., tiene que considerarse como otro posible foco contaminante.

En cuanto a los vertidos líquidos se debe estimar su volumen y definir las características de sus depuradoras, especificando el tipo de tratamiento y el estado de conservación de sus instalaciones.

Los fangos residuales que produce dicha depuración pueden suponer un riesgo para la calidad de las aguas, por lo que es muy importante conocer qué se hace con ellos, si son empleados como abono o se almacenan, etc.

Es recomendable analizar una muestra de agua a la salida de la depuradora para comprobar la eficacia del tratamiento e investigar el posible reciclado de los vertidos líquidos para regadío u otras actividades.

También es necesario conocer con exactitud el

número y ubicación de los pozos negros existentes en el núcleo urbano, urbanizaciones y asentamientos dispersos, cuantificando su potencial contaminante (mediante estudios de detalle o usando las tablas reflejadas en el anexo 10-3).

Otro aspecto que conviene estimar son las pérdidas en la red de alcantarillado, si bien la experiencia demuestra que en algunas ocasiones su gran extensión y deficiente estado de conservación hace que deban tratarse como focos areales no conservativos más que como puntuales.

Los cementerios existentes en el área estudiada suponen también un posible foco de contaminación, siendo necesario un estudio en profundidad de sus características, emplazamiento, tipo de enterramientos, etc.

Por otra parte, la actividad ganadera intensiva debe ser considerada como un posible foco contaminante de primera magnitud.

Se realizará un censo del ganado que se asiente en el área, número y situación de las granjas, almacenes de abonos, etc; la ganadería trashumante ya fue considerada como un foco contaminante areal no conservativo.

En base a las tablas reflejadas en el apartado 6 del anexo 10-3 puede evaluarse el potencial contaminante que suponen las prácticas ganaderas.

Un último aspecto a considerar son las características de los mataderos, especificando el destino de sus residuos sólidos y líquidos. (Ver apartado 3 del anexo 10-3).

### **4.7.2. Vulnerabilidad frente a la contaminación de las diferentes zonas**

Es preciso analizar la vulnerabilidad de los acuíferos existentes en las proximidades de las captaciones frente a las actividades potencialmente contaminantes descritas en el apartado anterior.

En un primer paso y como información básica puede emplearse los mapas de vulnerabilidad realizados por el ITGE, adaptándolos a los objetivos propuestos en este trabajo.

Se estudiará las características de la zona no saturada, analizando la textura y estructura del suelo, su litología y la permeabilidad vertical que presentan. En el caso de acuíferos aluviales hay que determinar además el grado de colmatación que presenta el lecho del río.

Por otra parte deben considerarse las características del acuífero (litología, aspectos hidrodinámicos). Se pretende así evaluar el poder autodepurador de los terrenos atravesados.

En base a ello se diferenciarán zonas con diferente vulnerabilidad.

Aunque la problemática de cada caso puede hacer que se consideren áreas diferentes, es corriente la distinción en los cuatro grupos siguientes:

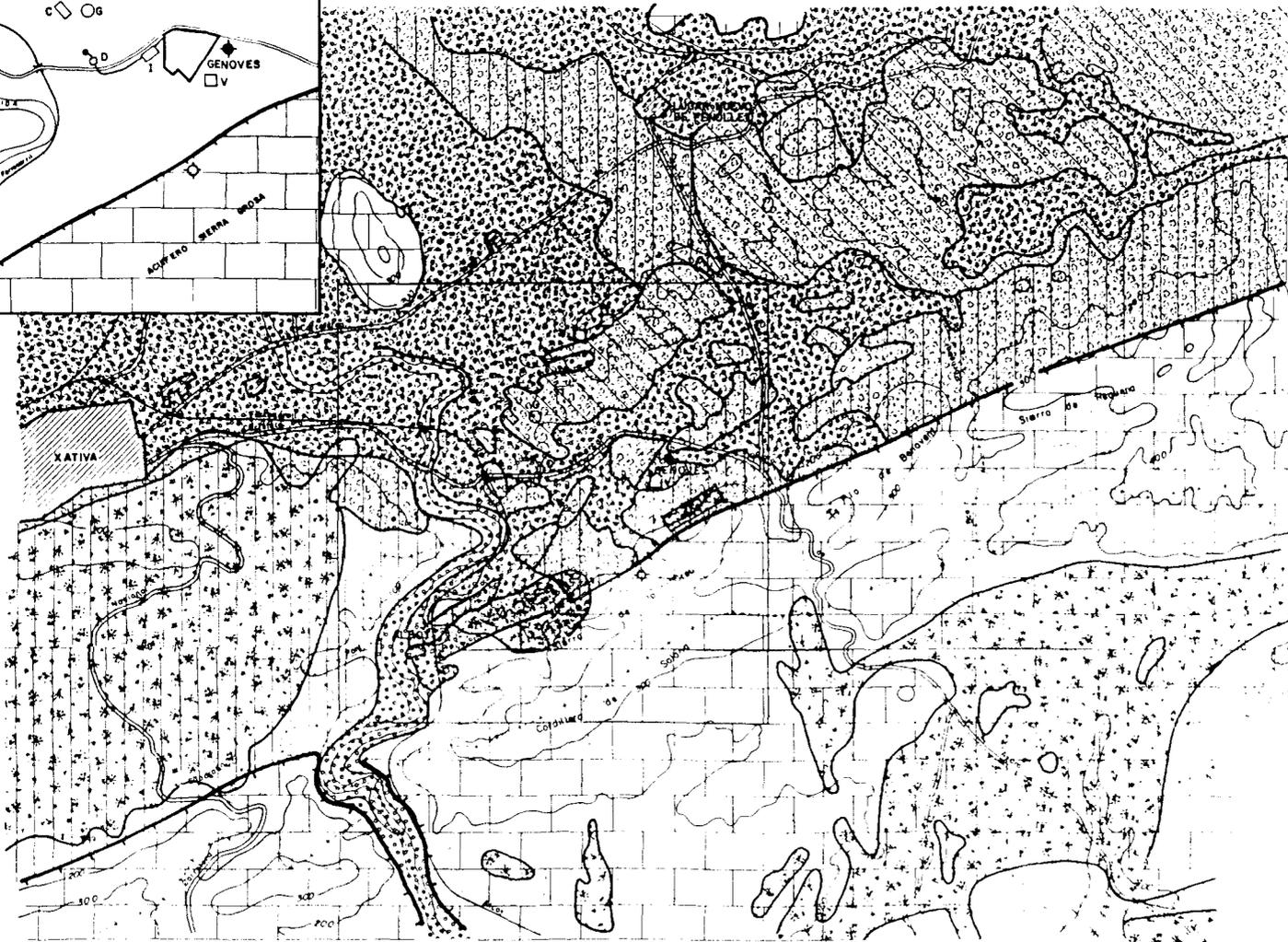
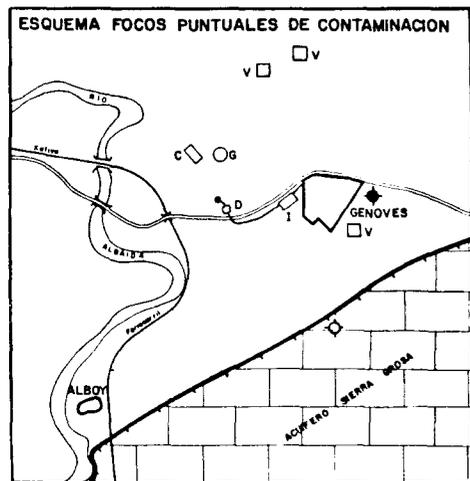
- Terrenos muy vulnerables por presentar alta permeabilidad por porosidad y carecer de protección. Normalmente corresponden a materiales detríticos cuaternarios.
- Terrenos muy vulnerables al tener una alta permeabilidad por fisuración y karstificación, careciendo de protección.
- Terrenos poco vulnerables debido a la baja permeabilidad. Estarían aquí considerados los materiales que presenten una baja permeabilidad por

porosidad gracias a la abundancia de materiales arcillosos que contienen. Debido a estas características su interés como acuífero es muy reducido. Aún así la instalación de cualquier actividad contaminante sobre ellos requiere un análisis detallado que permita evaluar con rigor el posible riesgo que represente para la calidad de las aguas subterráneas.

- Terrenos no vulnerables. Están aquí englobados los materiales que presentan un carácter impermeable. Aunque no constituyen acuífero es conveniente evaluar particularmente el riesgo que pudiera suponer la instalación de actividades contaminantes en ellos.

Es conveniente realizar un mapa en el que se señale la extensión que presentan dichas zonas. A este mapa se le puede superponer el inventario de focos potencialmente contaminantes que han sido previamente analizados y cuantificados con detalle.

En las figuras 13, 14 y 15 se muestran ejemplos de mapas de vulnerabilidad frente a la contaminación.



**LEYENDA**  
**FOCOS POTENCIALES DE CONTAMINACION**

- Depurador
- Saneamiento
- Industria
- Vertedero R.S.U.
- Cementero
- Granja
- Cantina
- Zona de mayor concentración de viviendas dispersas
- Uso forestal del suelo
- Zona de cultivo de secano (olivos, viñas y almendros)
- Zona de cultivo de riego (cítricos y huerto en los márgenes del Albalde)

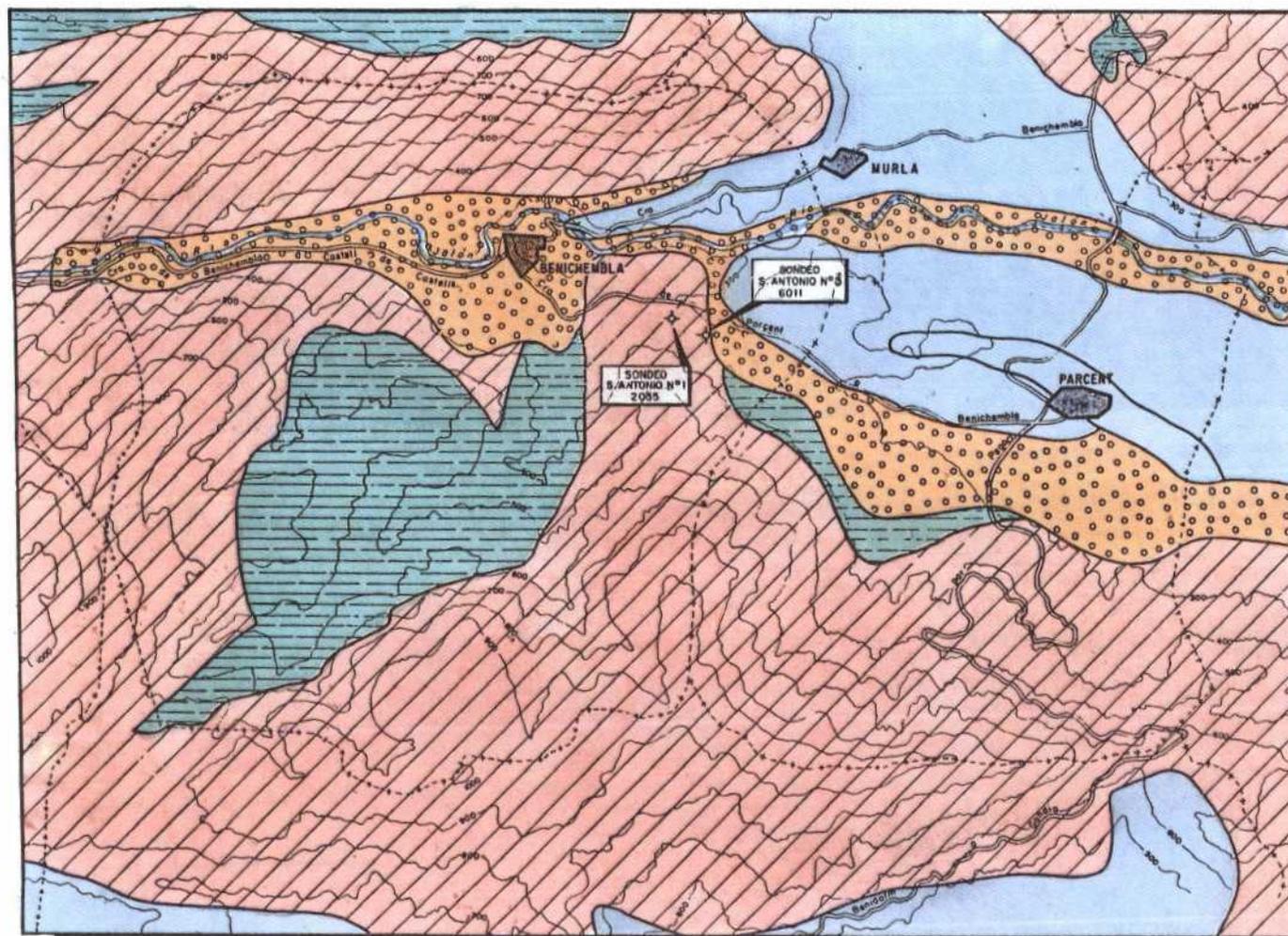
**VULNERABILIDAD DE LOS TERRENOS A LA CONTAMINACION**

- Vulnerable debido a la alta permeabilidad por porosidad intergranular
- Vulnerable debido a la alta permeabilidad por fisuración y karstificación
- Poco vulnerable debido a la baja permeabilidad de los materiales aluviales
- Invulnerable
- Límite del acuífero
- Sondeo nuevo de abastecimiento
- Sondeo actual de abastecimiento
- Isopropfundidad del nivel piezométrico (JUNIO DE 1989)

• La calificación de vulnerabilidad señalado es orientativa. Los vertidos de cualquier naturaleza contaminados en los áreas invulnerables o poco vulnerables precisan de estudios de detalle.

Fuente: ITGE y Confederación hidrográfica del Júcar, 1989

**Fig.13 FOCOS CONTAMINANTES Y VULNERABILIDAD DEL ACUIFERO, GENOVES**



### LEYENDA

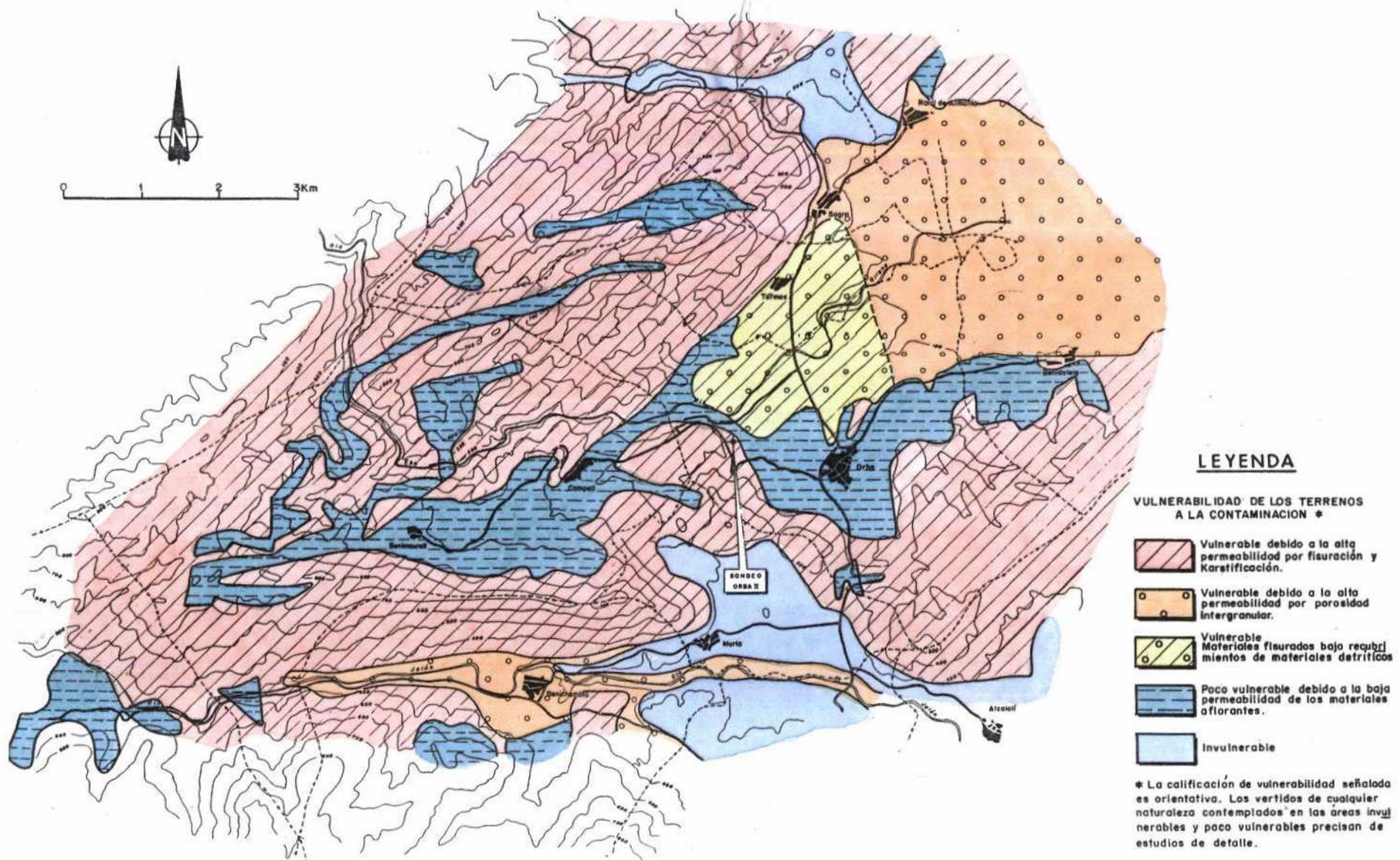
#### VULNERABILIDAD DE LOS TERRENOS A LA CONTAMINACION \*

-  Vulnerable debido a la alta permeabilidad por porosidad intergranular.
-  Vulnerable debido a la alta permeabilidad por fisuración y Karstificación.
-  Poco vulnerable debido a la baja permeabilidad de los materiales aflorantes.
-  Invulnerable.

\* La calificación de vulnerabilidad señalada es tentativa. Los vertidos de cualquier naturaleza contemplados en las áreas invulnerables y poco vulnerables precisan de estudios de detalle.

Fuente: ITGE y Confederación hidrográfica del Júcar, 1989

Fig.14 MAPA DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION. SECTOR DE BENICHEMBLA (ALICANTE)



Fuente: ITGE y Confederación Hidrográfica del Júcar, 1989

Fig. 15 MAPA DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION EN ORBA (ALICANTE)

## 5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El dimensionar correctamente las instalaciones de extracción de aguas subterráneas tiene una gran importancia por su directa repercusión en el rendimiento de los equipos y por tanto, en el coste del agua bombeada.

Para ello se expondrán los factores que deben ser considerados en la selección del tipo de bomba (apartado 5.1) y en su dimensionado, exponiéndose un ejemplo práctico de como realizarlo (apartado 5.2).

Por último en el apartado 5.3. se expone una metodología que permite cuantificar los bombeos en captaciones mediante el consumo de energía eléctrica, así como analizar el rendimiento que éstos presentan y su incidencia en el coste del agua con el objetivo de modificar aquellos equipos cuyo análisis indique que están sobredimensionados.

### 5.1. Selección del tipo de bomba

Hay tres clases de bombas:

#### A. Alternativas: de émbolo o pistón

Su funcionamiento consiste en un movimiento alternativo y rectilíneo de un pistón que empuja el líquido a elevar hasta la cámara de alta presión.

No se utilizan prácticamente en el campo de la hidrología. Permiten extraer pequeños caudales con alturas de elevación importantes.

#### B. Rotativas

Tienen un funcionamiento semejante a las alternativas de émbolo.

Se emplean principalmente para bombear líquidos de alta viscosidad proporcionando un caudal uniforme dentro de un reducido abanico de alturas manométricas por lo que tienen escasa aplicación en hidrología.

#### C. Centrífugas

Son máquinas capaces de transformar energía mecánica en hidráulica por medio de un rodete, impulsor o turbina que dispone de un orificio anular para la entrada del líquido. Cuando gira el rodete comunica al líquido una energía, originando una velocidad y una pre-

sión que se añade a la que podía tener a la entrada.

Estas bombas son las más utilizadas en las captaciones para abastecimiento urbano por lo que se van a analizar más detalladamente. Pueden clasificarse en dos grandes grupos:

##### - C.1. Bomba vertical sumergida

En la figura 16 se muestra una de estas bombas. Están asociadas a través de un eje de transmisión concéntrico a la tubería de impulsión y directamente acoplado al motor eléctrico o de otro tipo que está en superficie.

##### - C.2. Grupo motobomba sumergible

En éstas tanto el motor eléctrico como los cuerpos de la bomba trabajan conjuntamente por debajo del nivel del agua.

En la figura 17 se reflejan los diferentes elementos de que consta, así como un ejemplo de una instalación de bombeo y se indican los accesorios requeridos.

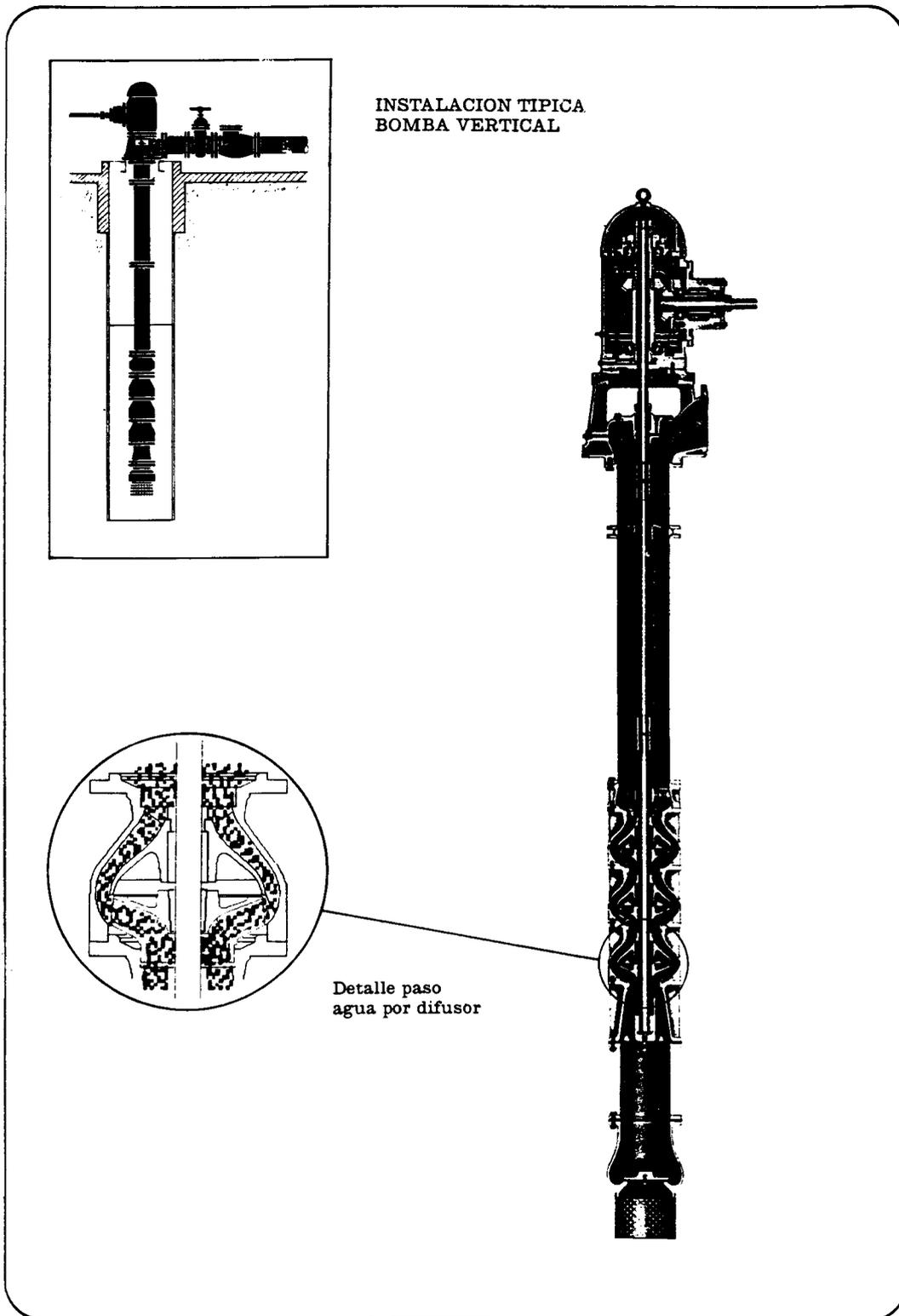
Son alimentadas mediante corriente eléctrica, a través de un cable conductor que va unido directamente a los terminales del motor.

La elección entre los dos tipos de bombas centrífugas indicados viene determinada por la distancia entre la captación y las líneas eléctricas, así como por la existencia o no de arrastres de arena u otros materiales abrasivos. Cuando éstos son importantes se recomienda emplear bombas de eje vertical debido a que éstas suelen funcionar a 1450 r.p.m. (frente a las 2900 r.p.m. de las bombas sumergidas) por lo que sufren un menor desgaste en sus rodetes.

En la práctica totalidad de las captaciones para abastecimiento urbano se suelen emplear los grupos motobomba sumergibles, al existir normalmente líneas eléctricas próximas, presentar un rendimiento mayor que las bombas de eje vertical sumergidas, ser su costo de adquisición menor y más rápida su instalación y desmontaje por lo que serán éstas las que serán utilizadas en el apartado siguiente como ejemplo al dimensionar una impulsión.

### 5.2. Dimensionado del equipo de bombeo

Para dimensionar correctamente el equipo de bombeo se debe determinar en primer lugar el caudal de explotación aplicable a la captación analizada.

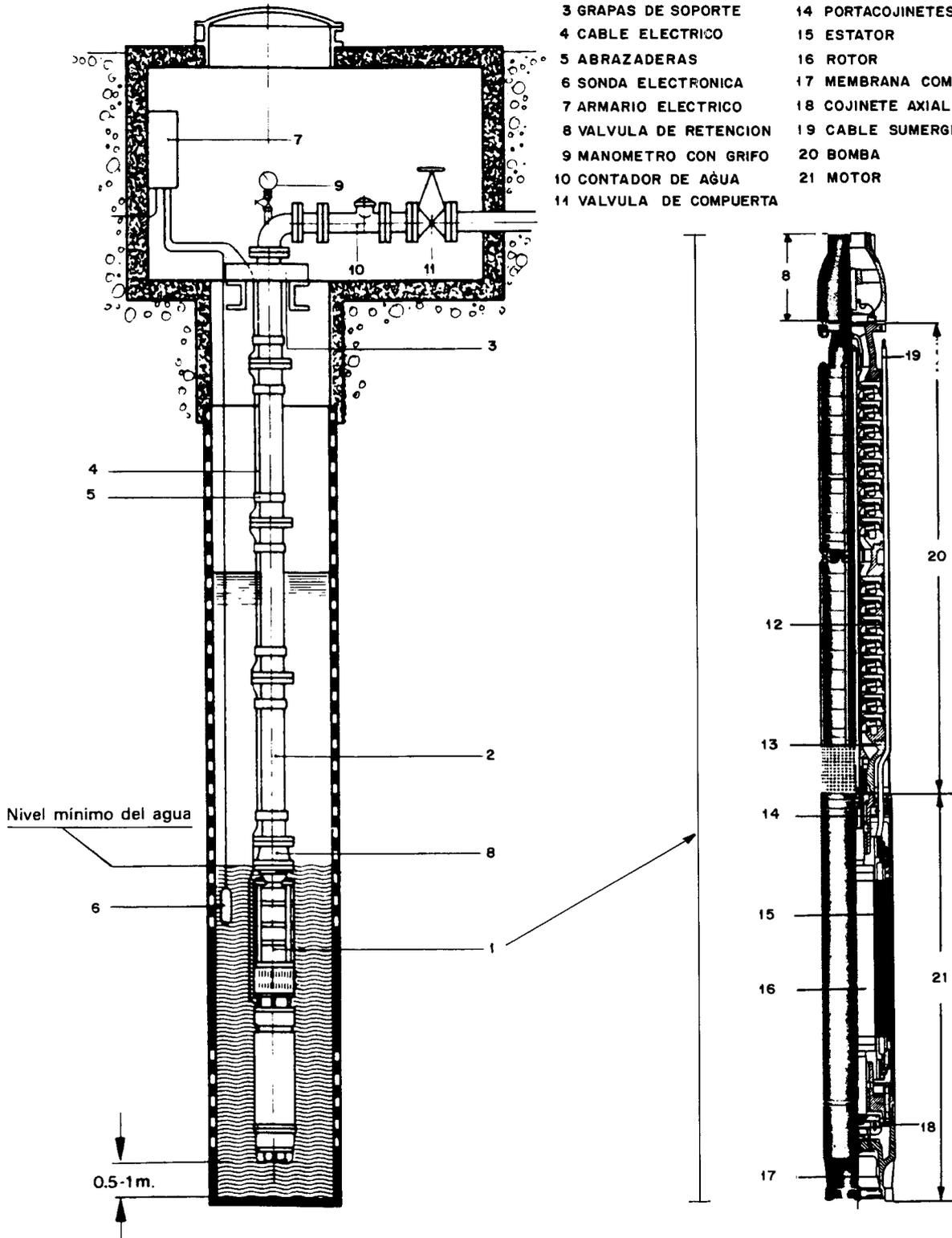


Fuente: Manual Bombas Ideal, 1985

Fig.16 BOMBA CENTRIFUGA VERTICAL SUMERGIDA

## LEYENDA

- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| 1 ELECTROBOMBA          | 12 IMPULSOR              |
| 2 TUBERIA               | 13 PIEZA DE ASPIRACION   |
| 3 GRAPAS DE SOPORTE     | 14 PORTACOJINETES        |
| 4 CABLE ELECTRICO       | 15 ESTATOR               |
| 5 ABRAZADERAS           | 16 ROTOR                 |
| 6 SONDA ELECTRONICA     | 17 MEMBRANA COMPENSACION |
| 7 ARMARIO ELECTRICO     | 18 COJINETE AXIAL        |
| 8 VALVULA DE RETENCION  | 19 CABLE SUMERGIBLE      |
| 9 MANOMETRO CON GRIFO   | 20 BOMBA                 |
| 10 CONTADOR DE AGUA     | 21 MOTOR                 |
| 11 VALVULA DE COMPUERTA |                          |



Fuente: Modificado del Manual Bombas Itur, 1987

Fig. 17 EJEMPLO DE INSTALACIONES DE BOMBEO Y ACCESORIOS REQUERIDOS EN UNA CAPTACION.

Para ello debe realizarse un ensayo de bombeo, cuya programación y ejecución se fijarán en función de las características del acuífero captado.

En líneas generales, éste constará en primer lugar y, tras un proceso de desarrollo, de un ensayo escalonado a caudales crecientes con o sin recuperación entre ellos. Este se realiza para conocer las pérdidas de carga y el caudal crítico de la captación. El número de escalones a efectuar y la duración de cada uno de ellos se decidirán a criterio del hidrogeólogo asesor.

Esta recomendación afecta a los elementos que son de fácil sustitución, no así a la tubería de conducción la cual normalmente supone un elevado coste de instalación. Es importante señalar que dicho caudal deberá ser en cualquier caso inferior al caudal crítico anteriormente determinado siendo la duración mínima del ensayo de bombeo de 24 horas.

Durante la prueba y con objeto de determinar lo más correctamente posible los parámetros hidráulicos del acuífero explotado, se ha de medir la evolución del



Posteriormente al ensayo escalonado y tras la recuperación del nivel piezométrico se realizará un bombeo a caudal constante. Dicho caudal será el necesario para cubrir la dotación asignada en el plan hidrológico de cuenca correspondiente a la población a abastecer.

Para ello se debe determinar el número de habitantes existentes y su evolución prevista en los próximos 5 ó 10 años. Cabe indicar que no es recomendable calcular la maquinaria elevadora para un tiempo superior a ese período puesto que de hacerlo así funcionaría en los primeros años a un bajo rendimiento técnico y económico.

nivel piezométrico tanto en el pozo de bombeo como en algún piezómetro cercano, si esto es posible.

Finalmente tras el bombeo se medirá la recuperación de los niveles en todos los puntos en los que se controlaron los descensos. Esto se realizará durante un período superior al 30% del tiempo de bombeo, siendo aconsejable, siempre que sea posible, igualarlo para poder comprobar los posibles déficits de recuperación que podrían ser indicativos del vaciado del acuífero.

De esta prueba se obtiene la posición del nivel dinámico para el caudal de explotación, que es un dato fundamental para definir la altura de elevación.

A continuación se utiliza como ejemplo para describir los diversos pasos que se deben seguir al dimensionar el equipo de bombeo necesario en una captación el caso siguiente:

Número de habitantes: 2.500

Incremento previsto en los próximos 10 años: 100 habitantes

Dotación que le corresponde según el plan hidrológico: 240 l/hab/día

Altura del depósito regulador respecto al nivel del sondeo: 25 m

Distancia del sondeo al depósito regulador: 100 m

Accesorios a instalar:

Codos de 90° existentes en la conducción prevista: 5

Válvulas de retención (para evitar el golpe de ariete): 1

Válvulas de compuerta (para regular el caudal): 2

En primer lugar se realizó un ensayo escalonado, obteniéndose un caudal crítico de 12 l/s.

Posteriormente se efectuó un ensayo de bombeo con un caudal de 7,5 l/s. Este fue elegido para cubrir la dotación teórica:  $Q = 2600 \times 240 = 624.000$  l/día, es decir era necesario un caudal continuo de 7,3 l/s.

Si bien el resultado óptimo de la bomba se obtiene funcionando las 24 horas del día, que es por tanto la opción considerada, en numerosas ocasiones se opta por bombear menos horas para poder aprovechar los períodos de tarifa eléctrica reducida o en base a otros condicionantes.

El nivel dinámico se situó a 40 m, con una recuperación de los niveles iniciales transcurridas 7 horas del final del bombeo, por lo que se consideró correcto este caudal de explotación.

El siguiente parámetro a calcular es la altura manométrica, que es aquella que deberá vencer una bomba en un sistema para elevar un caudal de líquido determinado a través de una conducción desde un nivel dinámico a otro superior.

La expresión que la define es:

$$H_m = Hg + \frac{P_2 - P_1}{Pe} \chi 10 + Pc + \frac{v^2}{2g}$$

donde:

$H_m$  = altura manométrica total

$Hg$  = altura geométrica o desnivel entre el nivel superior e inferior del agua

$P_2$  y  $P_1$  = presiones sobre los niveles superior e inferior del agua (generalmente  $P_2 = P_1$  por estar sometidos ambos a la misma presión)

$Pe$  = peso específico del agua

$Pc$  = pérdidas de carga a lo largo de la conducción

$v^2/2g$  = altura debida a la velocidad de derrame del agua (generalmente despreciable)

Considerando  $P_2 - P_1 = 0$  y  $v^2/2g$  despreciable, la expresión anterior queda reducida a:

$$H_m = Hg + Pc$$

Las pérdidas de carga totales en una conducción serán:

$$P_c = P'_c (L_c + L_a)$$

en donde:

$P'_c$  = pérdidas de carga unitarias, en metros de columna de agua/metro de conducción

$L_c$  = longitud total de la conducción

$L_a$  = longitud equivalente de los accesorios

En el ejemplo descrito los parámetros obtenidos son:

$$H_g = 25 + 40 = 65 \text{ m}$$

$$P'_c = 0,021$$

$$L_c = 100 + 40 = 140 \text{ m}$$

$$L_a = (5 \chi 5) + 10 + (10 \chi 2) = 55$$

$$\text{Por lo tanto } H_m = 65 + 0,021 (140 + 55) = 69,09 \text{ m}$$

Para elegir el diámetro de la tubería de impulsión y calcular las pérdidas de carga que le correspondan se emplean las tablas de que disponen las diferentes empresas suministradoras de tuberías (ver tablas 1 y 2, así como las figuras 18 y 19).

**Tabla 1: Pérdidas de carga en tuberías**

Caudal litros hora	Diámetro Interior de las tuberías en milímetros																		
	16	19	25	32	38	50	63	75	89	100	125	150	175	200	225	250	275	300	
	Pérdida en metros por cada 100 metros de recorrido de tubería																		
250	1,86																		
500	5,85	2,3																	
1.000	21,7	9,3	2,3	0,45															
2.000	102	44,8	10,6	2,85	1,10														
3.000			19,8	5	2	1	0,35												
4.000			32,5	9,1	4	1,65	0,75	0,28											
5.000				12,9	5,2	2,3	0,95	0,34											
6.000				18,5	8,6	3,1	1,15	0,40											
7.000				25,7	10,9	4	1,35	0,50	0,25										
8.000				33,2	15	5	1,80	0,60	0,30										
9.000					18,9	6,10	2,25	0,80	0,40										
10.000					25	8,5	2,80	1,15	0,50	0,25									
12.000					30,9	10,9	3,80	1,50	0,60	0,45									
15.000					47	16,2	6	2,35	0,75	0,65									
18.000						22,6	8,20	3	1	0,85	0,25								
20.000						28,8	10	4	1,40	0,95	0,30								
25.000						41,5	14,1	6,10	1,80	1,40	0,45								
30.000							20,6	8,35	2,40	2,10	0,62	0,30							
35.000							27,85	11,4	3,20	2,90	0,95	0,40							
40.000							36,9	14,5	4,20	3,60	1,15	0,45							
45.000							40,6	18,3	5,60	4,50	1,45	0,55							
50.000								21,9	6,90	5,40	1,85	0,80	0,29						
60.000								30,5	9,60	7,60	2,55	1,05	0,41						
70.000									12,1	9,80	3,25	1,40	0,55						
80.000									16,3	12,4	4	1,80	0,80	0,37					
90.000									20	16,2	5,45	2,20	0,91	0,44					
100.000										19,9	6,65	2,70	1,30	0,56	0,32				
125.000											9,10	3,75	1,72	0,92	0,50				
150.000											13,65	5,65	2,45	1,39	0,71	0,41			
175.000												8,10	3,32	1,72	1,05	0,55			
200.000												9,95	4,25	2,35	1,24	0,72	0,43		
250.000												14,35	6,50	3,44	1,90	1,15	0,67	0,44	
300.000												18,20	9,45	4,97	2,75	1,70	1	0,65	
350.000													13,7	6,62	3,60	2,15	1,35	0,83	
400.000													17,35	8,75	4,75	2,80	1,70	1,15	
450.000													23	11,5	6,05	3,50	2,20	1,45	
500.000														14,10	8,50	4,75	2,65	1,80	

Fuente: Tuberías VILLEN.

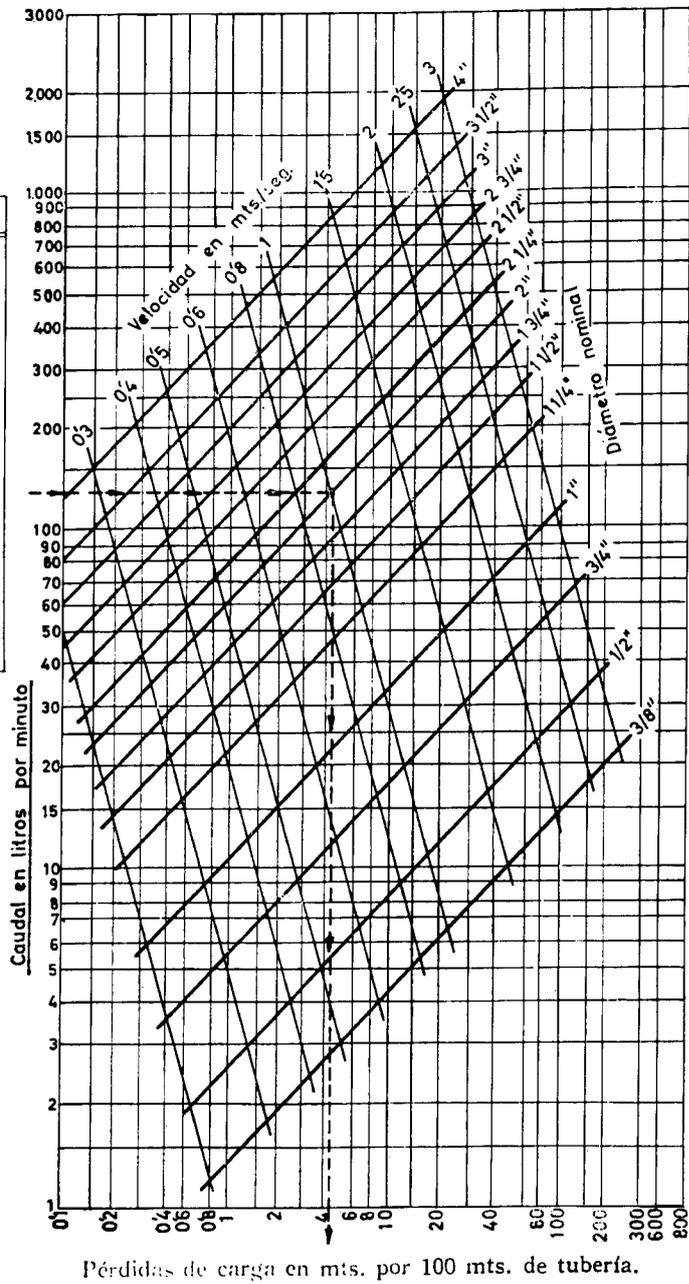
**TABLA 2: RENDIMIENTOS DE AGUA Y PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERÍAS**

La pérdida de carga h es en metros por 100 mts. de longitud y el rendimiento Q en m³ por minuto

Díámetro interior del tubo . . . . .	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	225	250	275	300	
<b>Velocidad en mts./seg.</b>																	
0,50 { Rendimiento Q . . . . .	0,0212	0,0377	0,0589	0,0848	0,1155	0,1508	0,1909	0,2356	0,3681	0,5301	0,7216	0,9425	1,1928	1,4726	1,7819	2,1206	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	1,5625	1,0385	0,7671	0,6031	0,4933	0,4173	0,3610	0,3185	0,2444	0,1979	0,1660	0,1427	0,1251	0,1116	0,1005	0,0917	mts.
0,60 { Rendimiento Q . . . . .	0,0254	0,0452	0,0707	0,1018	0,1386	0,1810	0,2290	0,2827	0,4418	0,6362	0,8659	1,1310	1,4314	1,7671	2,1383	2,5447	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	2,2500	1,4954	1,1046	0,8685	0,7103	0,6009	0,5199	0,4587	0,3519	0,2850	0,2390	0,2055	0,1802	0,1607	0,1448	0,1321	mts.
0,70 { Rendimiento Q . . . . .	0,0297	0,0528	0,0825	0,1187	0,1616	0,2111	0,2672	0,3299	0,5164	0,7422	1,0102	1,3195	1,6700	2,0617	2,4946	2,9688	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	3,0625	2,0354	1,5035	1,1821	0,9668	0,8179	0,7076	0,6244	0,4790	0,3879	0,3254	0,2797	0,2453	0,2188	0,1970	0,1798	mts.
0,80 { Rendimiento Q . . . . .	0,0339	0,0678	0,0942	0,1357	0,1847	0,2413	0,3054	0,3770	0,5890	0,8442	1,1545	1,5080	1,9085	2,3562	2,8510	3,3929	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	4,0000	2,6585	1,9637	1,5440	1,2627	1,0683	0,9242	0,8155	0,6256	0,5066	0,4250	0,3653	0,3204	0,2857	0,2573	0,2349	mts.
0,85 { Rendimiento Q . . . . .	0,0361	0,0641	0,1001	0,1442	0,1963	0,2564	0,3245	0,4006	0,6258	0,9013	1,2267	1,6022	2,0278	2,5034	3,0292	3,6051	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	4,5156	3,0012	2,2168	1,7430	1,4255	1,2060	1,0434	0,9206	0,7063	0,5719	0,4798	0,4124	0,3617	0,3226	0,2905	0,2651	mts.
0,90 { Rendimiento Q . . . . .	0,0392	0,0679	0,1060	0,1527	0,2078	0,2714	0,3435	0,4241	0,6627	0,9543	1,2989	1,6965	2,1471	2,6507	3,2074	3,8170	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	5,0625	3,3647	2,4853	1,9541	1,5982	1,3520	1,1697	1,0321	0,7918	0,6412	0,5379	0,4624	0,4055	0,3616	0,3257	0,2972	mts.
0,95 { Rendimiento Q . . . . .	0,0403	0,0716	0,1119	0,1616	0,2194	0,2865	0,3626	0,4477	0,6995	1,0073	1,3710	1,7906	2,2664	2,7980	3,3856	4,0290	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	5,6406	3,7489	2,7691	2,1773	1,7806	1,5065	1,3032	1,1459	0,8823	0,7144	0,5993	0,5152	0,4518	0,4029	0,3629	0,3311	mts.
1 { Rendimiento Q . . . . .	0,0424	0,0754	0,1178	0,1697	0,2309	0,3016	0,3817	0,4712	0,7363	1,0603	1,4432	1,8850	2,3857	2,9452	3,5639	4,2412	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	6,2553	4,1539	3,0683	2,4125	1,9731	1,6692	1,4441	1,2742	0,9776	0,7916	0,6640	0,5708	0,5006	0,4465	0,4021	0,3670	mts.
1 { Rendimiento Q . . . . .	0,0445	0,0792	0,1237	0,1781	0,2425	0,3167	0,4008	0,4948	0,7731	1,1133	1,5153	1,9792	2,5049	3,0925	3,7419	4,4533	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	6,8965	4,5797	3,3828	2,6598	2,1753	1,8403	1,5921	1,4048	1,0778	0,8725	0,7321	0,6293	0,5519	0,4927	0,4433	0,4046	mts.
1,10 { Rendimiento Q . . . . .	0,0467	0,0829	0,1295	0,1860	0,2540	0,3317	0,4199	0,5184	0,8059	1,1663	1,5875	2,0733	2,6242	3,2398	3,9201	4,6653	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	7,5589	5,0262	3,7126	2,9191	2,3874	2,0197	1,7494	1,5418	1,1829	0,9578	0,8035	0,6907	0,6057	0,5402	0,4866	0,4440	mts.
1,15 { Rendimiento Q . . . . .	0,0488	0,0867	0,1355	0,1951	0,2655	0,3468	0,4390	0,5420	0,8467	1,2194	1,6597	2,1677	2,7435	3,3869	4,0983	4,8775	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	8,2726	5,4936	4,0578	3,1905	2,6093	2,2075	1,9098	1,6851	1,2929	1,0469	0,8782	0,7549	0,6621	0,5901	0,5318	0,4853	mts.
1,20 { Rendimiento Q . . . . .	0,0509	0,0905	0,1414	0,2036	0,2771	0,3519	0,4581	0,5655	0,8535	1,2723	1,7318	2,2620	2,8628	3,5343	4,2765	5,0892	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	9,0076	5,9816	4,4183	3,4740	2,8412	2,4037	2,0795	1,8349	1,4077	1,1399	0,9562	0,8220	0,7209	0,6429	0,5791	0,5284	mts.
1,25 { Rendimiento Q . . . . .	0,0530	0,0942	0,1473	0,2121	0,2886	0,3770	0,4772	0,5891	0,9204	1,3254	1,8040	2,3562	2,9821	3,6816	4,4547	5,3015	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	9,7739	6,4904	4,7942	3,7695	3,0829	2,6081	2,2564	1,9906	1,5275	1,2369	1,0375	0,8919	0,7822	0,6976	0,6283	0,5734	mts.
1,50 { Rendimiento Q . . . . .	0,0636	0,1131	0,1767	0,2545	0,3463	0,4524	0,5726	0,7069	1,1045	1,5904	2,1648	2,8274	3,5785	4,4179	5,3456	6,3617	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	14,062	9,3463	6,9036	5,4281	4,4394	3,7557	3,2492	2,8570	2,1996	1,7811	1,4941	1,2844	1,1264	1,0046	0,9048	0,8257	mts.
1,75 { Rendimiento Q . . . . .	0,0742	0,1319	0,2062	0,2969	0,4041	0,5278	0,6680	0,8247	1,2885	1,8555	2,5256	3,2987	4,1749	5,1542	6,2366	7,4220	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	19,140	12,7213	9,3967	7,3883	6,0425	5,1120	4,4226	3,9023	2,9938	2,4243	2,0336	1,7482	1,5331	1,3673	1,2315	1,1238	mts.
2 { Rendimiento Q . . . . .	0,0848	0,1508	0,2356	0,3393	0,4618	0,6032	0,7634	0,9425	1,4726	2,1206	2,8864	3,7699	4,7713	5,8905	7,1275	8,4823	m³/min
Pérdidas de carga h . . . . .	25,021	16,6157	12,2732	9,6500	7,8922	6,6769	5,7764	5,0968	3,9104	3,1664	2,6562	2,2834	2,0025	1,7859	1,6085	1,4679	mts.

Fuente: Bombas Pleuger

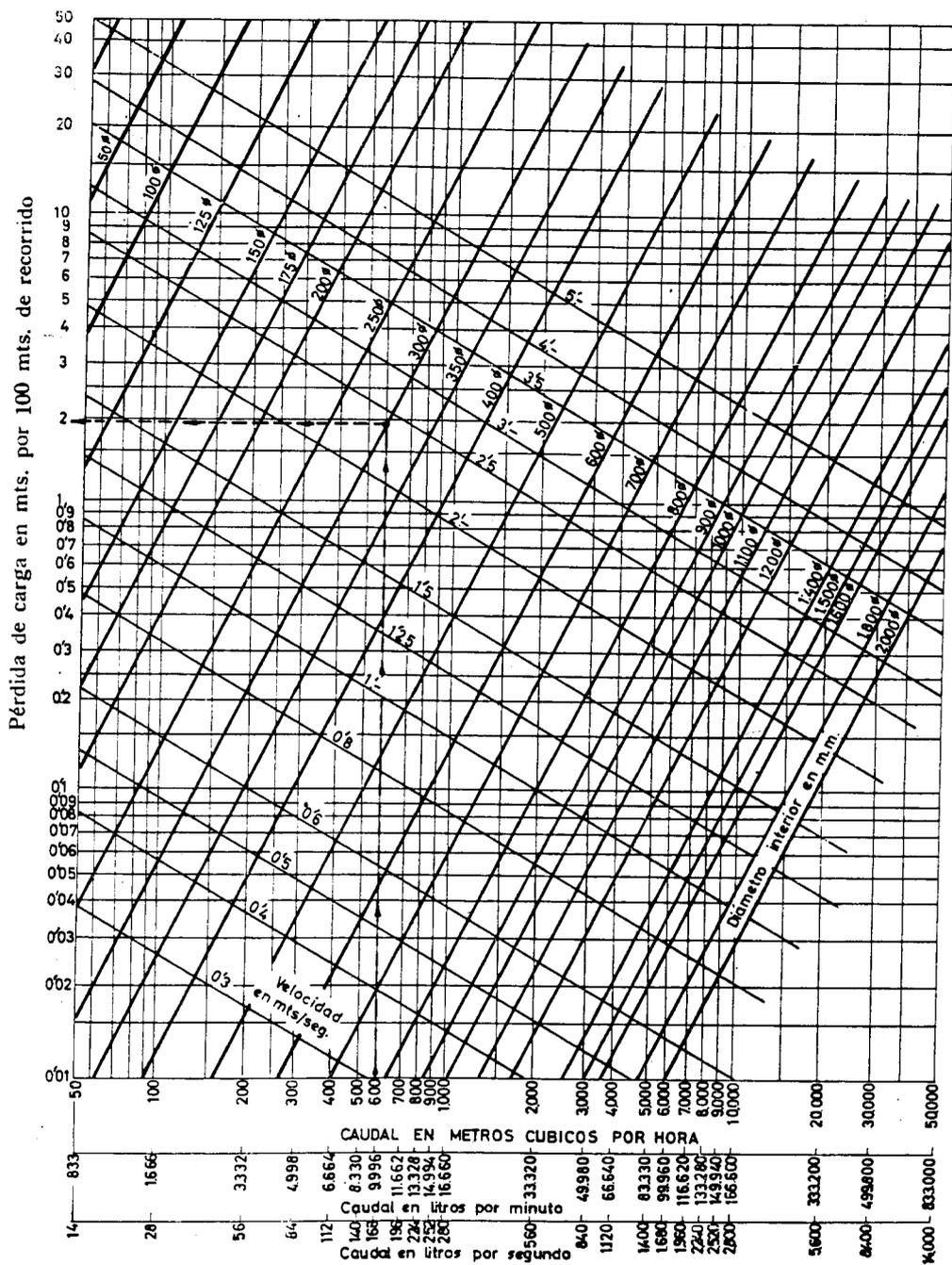
Nominal	∅ int. en m/m.	∅ ext. en m/m.
3/8"	12'25	16'75
1/2"	15'75	21'25
3/4"	21'25	26'75
1"	27'—	33'50
1 1/4"	35'75	42'25
1 1/2"	41'25	48'25
1 3/4"	47'40	54'50
2"	52'50	60'—
2 1/4"	58'50	66'—
2 1/2"	68'—	75'50
2 3/4"	74'60	83'—
3"	80'25	88'25
3 1/2"	92'50	101'—
4"	105'—	113'50



Para tuberías nuevas, las pérdidas de carga serán multiplicadas por 0,7

Fuente: Bombas Ideal, 1985

Fig. 18 PERDIDAS DE CARGA EN TUBERIAS.



Las pérdidas de carga serán multiplicadas: por 0,8 para conducciones nuevas. Por 1,2 para conducciones incrustadas.

Fuente: Bombas Ideal

Fig.19 PERDIDA DE CARGA EN TUBERIAS

En este caso el caudal necesario es de 26.280 l/h  $\approx$  30.000 l/h por lo que se obtienen los valores posibles (en este caso 6 al utilizar la tabla 1).

Se consideró como pérdida aceptable 2,1 m por cada 100 m de recorrido correspondiente a una tubería de 100 mm de diámetro interior.

En la figura 20 figuran las pérdidas de carga que suponen los codos y válvulas previstas.

La potencia necesaria será:

$$P = \frac{\gamma Q H_m}{R_b \chi 75} \quad (CV)$$

siendo

$P$  = Potencia (CV)

$Q$  = Caudal (l/s)

$H_m$  = Altura manométrica (m)

$\gamma$  = Peso específico del agua (kg/l)

$R_b$  = Rendimiento de la bomba

En este caso:

$$\gamma = 1$$

$$Q = 30.000 \text{ l/h} = 8,33 \text{ l/s}$$

$$H_m = 70 \text{ m}$$

$$R_b = 0,65$$

Por lo tanto  $P \approx 12 \text{ CV}$

El modo de actuar consiste en utilizar los gráficos y curvas suministradas por las casas fabricantes para elegir el modelo deseado.

En la figura 21 se presenta un diagrama de selección de modelos de bombas.

Se entra en él con los datos:

$$H = 70 \text{ m}$$

$$Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

El diámetro de la electrobomba se debe escoger en función del diámetro de la captación y/o consideraciones técnicas y económicas. Hay dos posibilidades, al no ser en este caso el diámetro excluyente.

La (1) Electro bomba de 6"  $\rightarrow$  Modelo 6666

La (2) Electro bomba de 8"  $\rightarrow$  Modelo 6608

Se analizaran ambas:

### 1ª Posibilidad

Electrobomba de 6" (150 mm): Modelo 6666

En la tabla 3 se especifican sus características. En ella se obtiene que el modelo buscado es el

6666/Modelo de electrobomba  
15/Número de impulsores  
9,2 / Potencia de motor en KW  
2/Números de polos

Al ser  $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$  y  $H = 70 \rightarrow H = 72 \text{ m}$

Su potencia es de 12,5 CV que coincide sensiblemente con la obtenida teóricamente.

Finalmente en la figura 22 se muestra la curva característica  $Q - H$  de ese modelo.

En la parte inferior de dicha figura se obtiene que el rendimiento es del 65%.

La potencia absorbida será de

$$12,5 \chi 0,77 = 11,59 \text{ CV}$$

### 2ª Posibilidad

Electrobomba de 8" ( $\approx$  200 mm): 6608

Realizando las mismas operaciones que en el caso anterior (ver tabla 4 y figura 23) se obtiene:

Modelo de electrobomba 6608/5/9,2/2

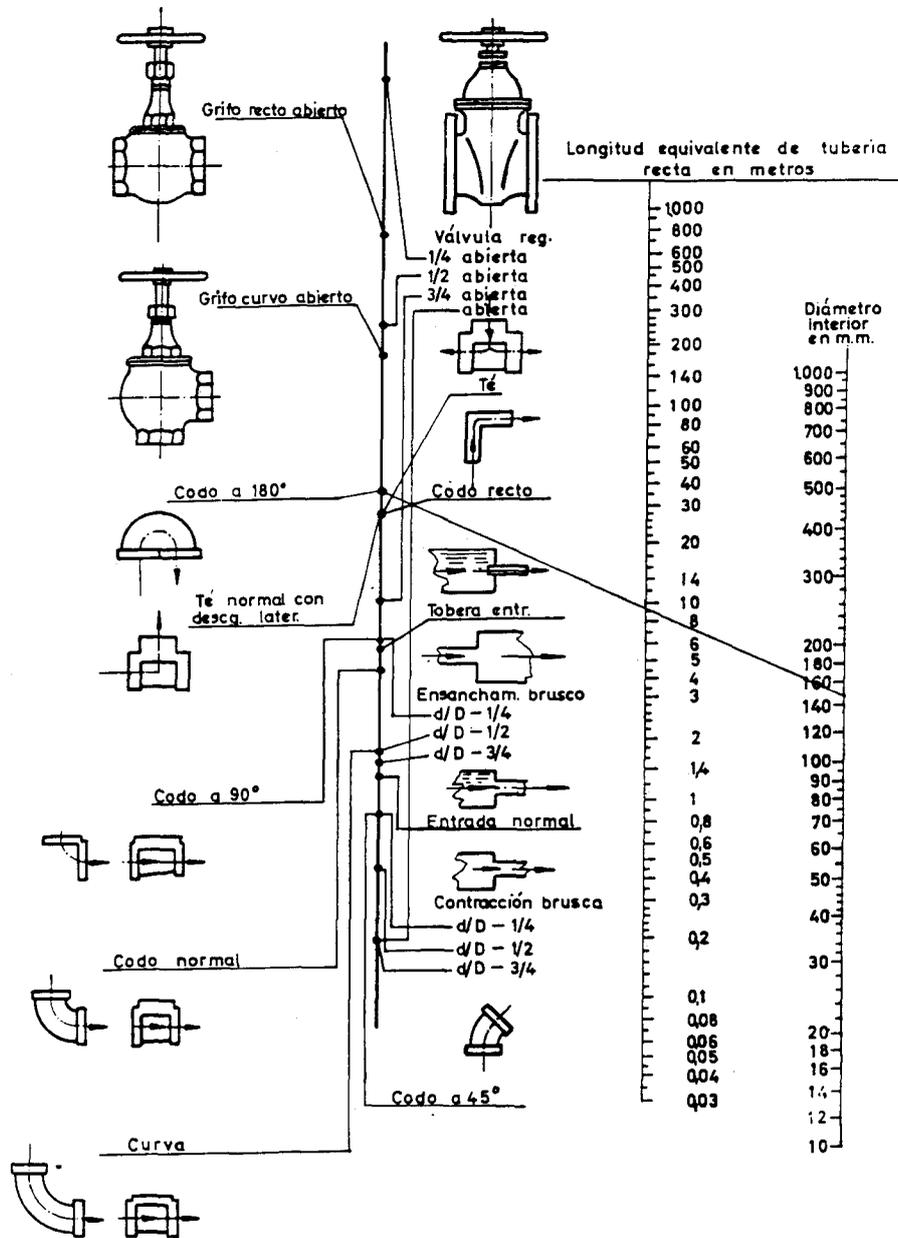
Rendimiento 72% (es el máximo)

$$\text{Potencia absorbida } 12,5 \chi 2,4 = 12 \text{ CV}$$

La opción más favorable es la segunda, al ser su rendimiento mejor y ser además un 25% más barata.

Una vez elegido el modelo de electrobomba queda por definir el cable eléctrico y el transformador que debe emplearse.

Los grupos con motor eléctrico sumergible necesitan de cables conductores como el mostrado en la figura 24 que deben ajustarse a la legislación vigente.



Fuente: Bombas Ideal, 1985

Fig. 20 PERDIDA DE CARGA EN LOS ACCESORIOS DE LAS TUBERIAS.

**TABLA 3: DATOS TECNICOS DE LA BOMBA TIPO 6666 - 2.900 rpm. 50 Hz**

Tipo electrobomba	Curva n°	Datos motor					Dimensiones mm.		Peso Kg.	Alturas manométricas m.						Q m³/H
		Potencia		Intensidad nominal, Amp.			L	A		(1)						
		H.P.	Kw.	220 V.	380 V.	415 V.				10	15	20	25	30	32	
6666/1/1/2	①	1,4	1	5,9	3,4	3,1	810	620	57	10	9,3	8,2	6,7	4,8	4	
6666/2/1.7/2	②	2,2	1,7	8,3	4,8	4,5	930	650	69	20	18,6	16,4	13,4	9,6	8	
6666/3/2.2/2	③	3	2,2	10,3	6	5,5	1145	765	82	30	27,9	24,6	20,1	14,4	12	
6666/4/3/2	④	4	3	13,3	7,7	7	1270	800	94	40	37,2	32,8	26,8	19,2	16	
6666/5/4/2	⑤	5,5	4	18,2	10,5	9,6	1400	840	109	50	46,5	41	33,5	24	20	
6666/6/4/2	⑥	5,5	4	18,2	10,5	9,6	1490	840	116	60	55,8	49,2	40,2	28,8	24	
6666/7/5.5/2	⑦	7,5	5,5	23,4	13,5	12,4	1640	900	123	70	65,1	57,4	46,9	33,6	28	
6666/8/5.5/2	⑧	7,5	5,5	23,4	13,5	12,4	1730	900	130	80	74,4	65,6	53,6	38,4	32	
6666/9/5.5/2	⑨	7,5	5,5	23,4	13,5	12,4	1820	900	137	90	83,7	73,8	60,3	43,2	36	
6666/10/7.5/2	⑩	10	7,5	30,4	17,6	16,1	1970	960	151	100	93	82	67	48	40	
6666/11/7.5/2	⑪	10	7,5	30,4	17,6	16,1	2060	960	158	110	102,3	90,2	73,7	52,8	44	
6666/12/7.5/2	⑫	10	7,5	30,4	17,6	16,1	2150	960	165	120	111,6	98,4	80,4	57,6	48	
6666/13/9.2/2	⑬	12,5	9,2	37,2	21,5	19,7	2319	1039	181	130	120,9	106,6	87,1	62,4	52	
6666/14/9.2/2	⑭	12,5	9,2	37,2	21,5	19,7	2409	1039	188	140	130,2	114,8	93,8	67,2	56	
6666/15/9.2/2	⑮	12,5	9,2	37,2	21,5	19,7	2499	1039	195	150	139,5	123	100,5	72	60	
6666/16/11/2	⑯	15	11	43,2	25	22,9	2639	1089	208	160	148,8	131,2	107,2	76,8	64	
6666/17/11/2	⑰	15	11	43,2	25	22,9	2729	1089	215	170	158,1	139,4	113,9	81,6	68	
6666/18/11/2	⑱	15	11	43,2	25	22,9	2819	1089	222	180	167,4	147,6	120,6	86,4	72	
6666/19/13/2	⑲	17,5	13	53,6	31	28,4	2959	1139	234	190	176,7	155,8	127,3	91,2	76	
6666/20/13/2	⑳	17,5	13	53,6	31	28,4	3049	1139	241	200	186	164	134	96	80	
6666/21/13/2	㉑	17,5	13	53,6	31	28,4	3139	1139	248	210	195,3	172,2	140,7	100,8	84	
6666/22/15/2	㉒	20	15	60,5	35	32	3269	1179	260	220	204,6	180,4	147,4	105,6	88	
6666/23/15/2	㉓	20	15	60,5	35	32	3359	1179	267	230	213,9	188,6	154,1	110,4	92	
6666/24/15/2	㉔	20	15	60,5	35	32	3449	1179	274	240	223,2	196,8	160,8	115,2	96	

44	66	88	110,1	132,1	140,9
36,7	55	73,4	91,7	110,1	117,4

Q USGP:  
Q IGPM

Fuente: Manual bombas ITUR, 1987

La sección del cable depende esencialmente de la intensidad de corriente que ha de soportar y de su longitud.

Puede emplearse un método gráfico para el cálculo del cable (figura 25), en el caso del ejemplo mostrado (arranque directo 380 V, intensidad de trabajo 21,5 A y longitud del cable 70 m) corresponde una sección de 3 x 6 mm.

También puede emplearse el cálculo de la máxima caída de tensión admisible (generalmente 5%) para su dimensionamiento. Para ello se aplica la expresión:

$$\Delta U = \sqrt{3} I (R_c \cos \Phi + X_c \sin \Phi)$$

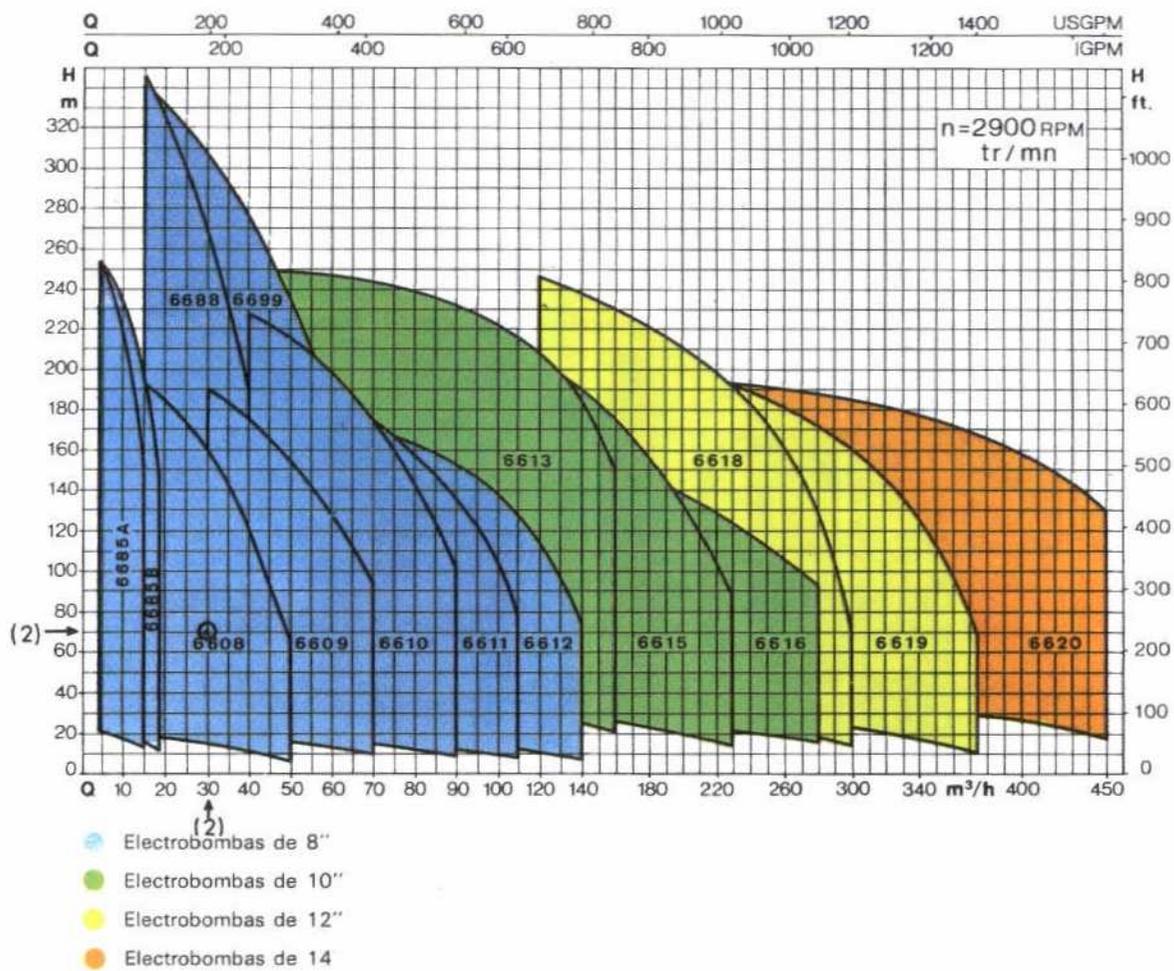
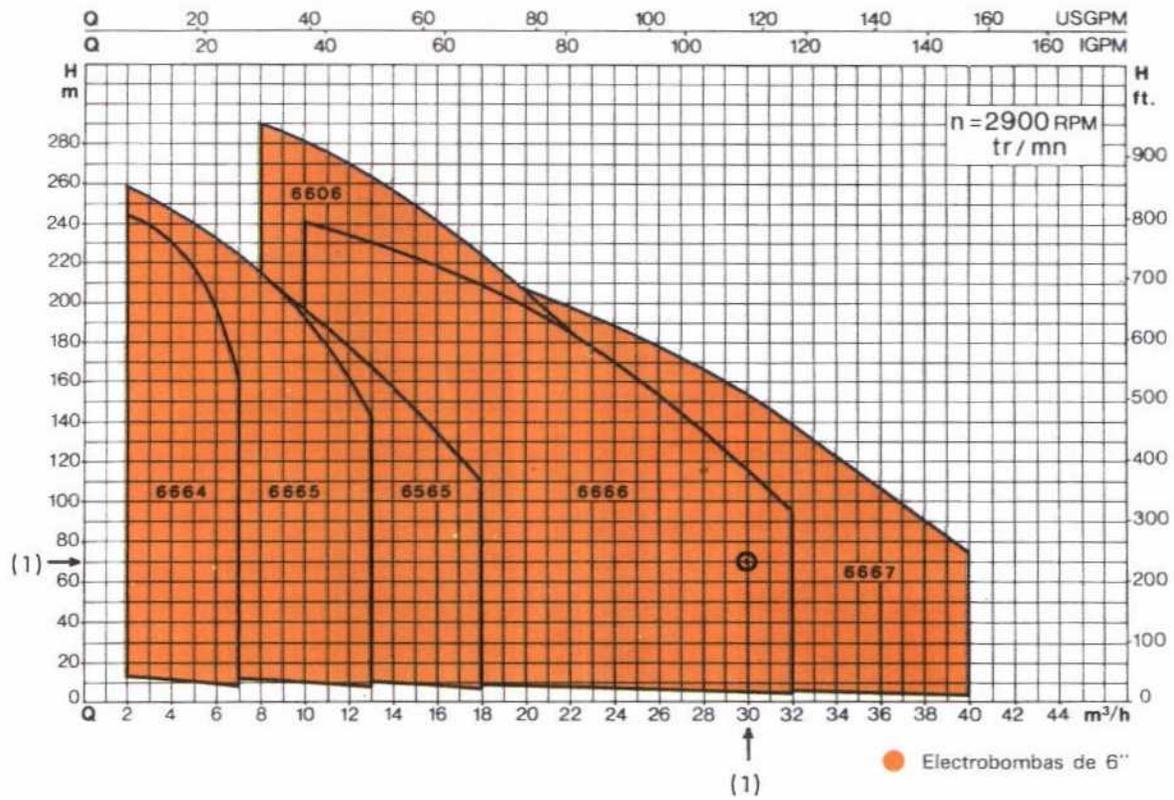
siendo:

I la intensidad de servicio prevista

R<sub>c</sub> la resistencia por fase del cable

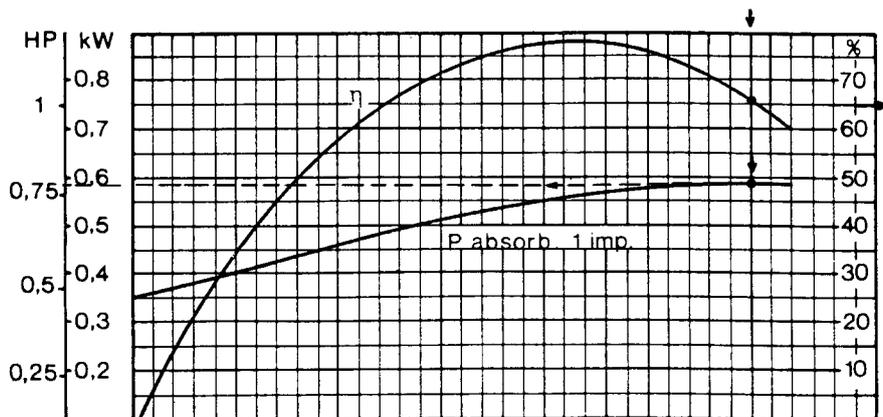
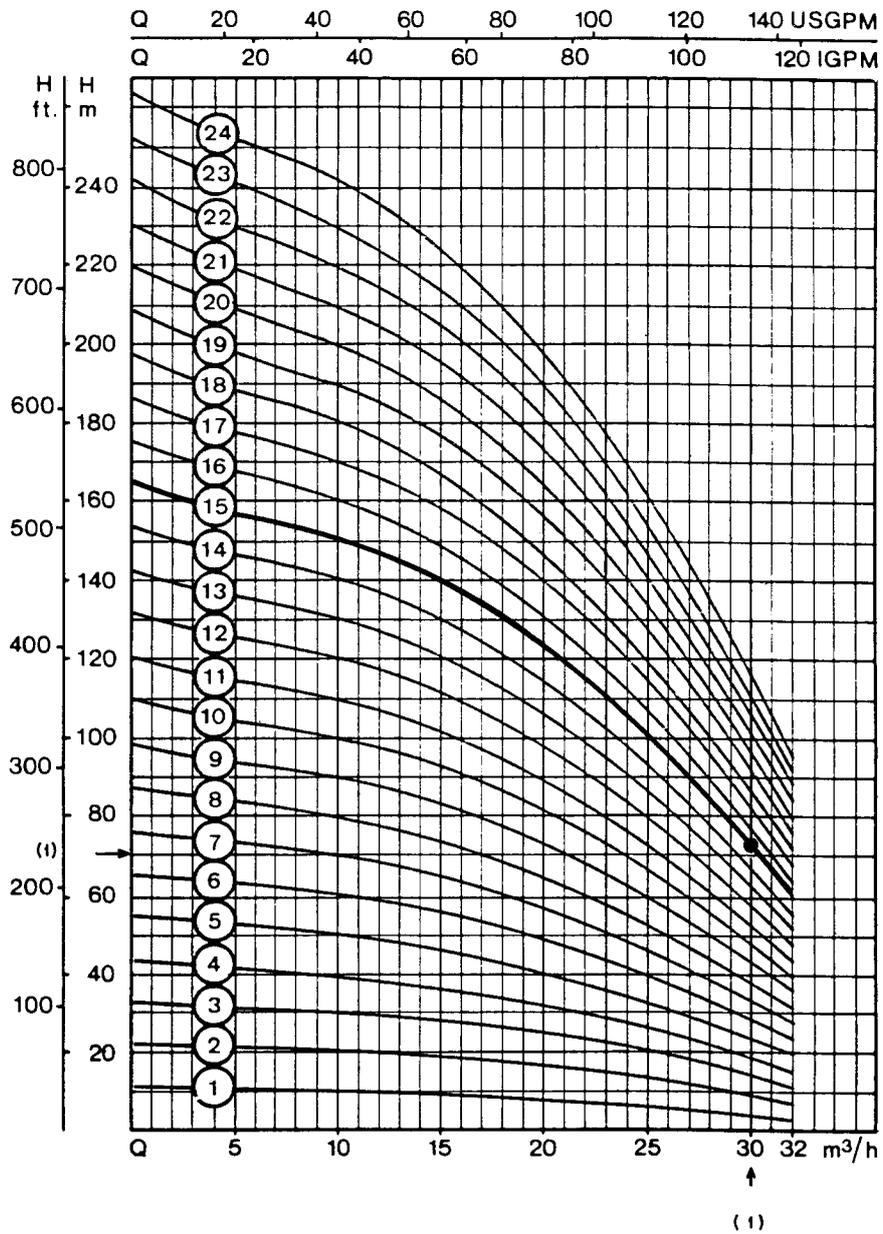
X<sub>c</sub> la reactancia por fase del cable

Para este cálculo es necesario conocer (R<sub>c</sub>, X<sub>c</sub>) las características eléctricas del cable (proporcionadas por el fabricante). En el anexo 10.5 se adjuntan diversas tablas que resumen algunas de estas características para varios tipos y disposiciones de cable.



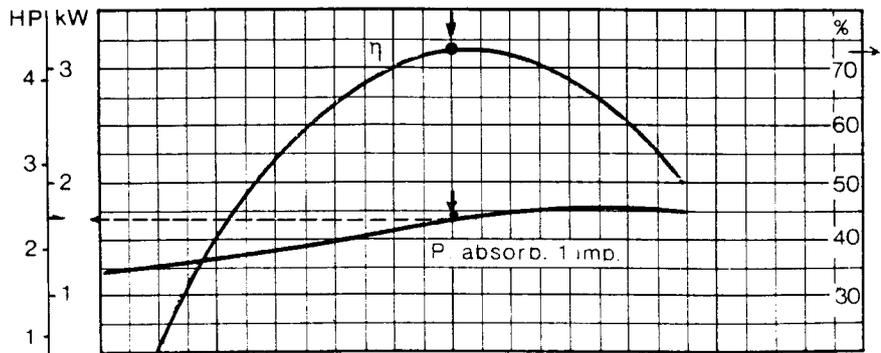
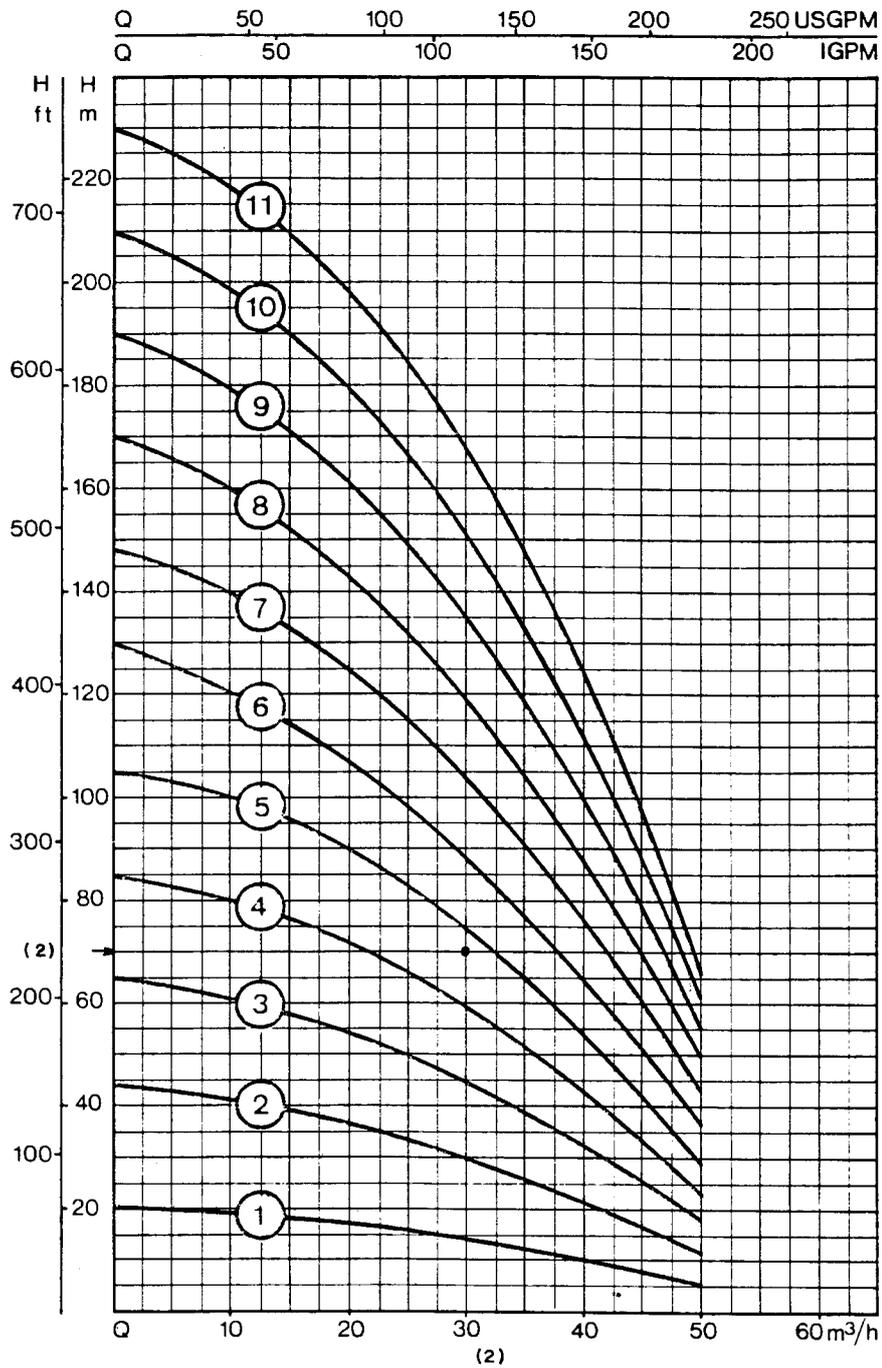
Fuente: Manual bombas ITUR, 1987

Fig. 21 DIAGRAMAS PARA LA ELECCION DE MODELO



Fuente: Manual bombas ITUR, 1987

Fig.22 CURVAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA TIPO 6666  
2.900 rpm. 50Hz



Fuente: Manual bombas ITUR, 1987

**Fig. 23 CURVAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA TIPO 6608  
2.900 rpm. 50Hz**

Tabla 4 DATOS TECNICOS DE LA BOMBA TIPO 6608-2.900 rpm. 50 Hz

Tipo electrobomba	Curva n.º	Datos motor					Dimensiones mm.		Peso Kg.	Alturas manométricas m.				Q m³/H
		Potencia		Intensidad nominal, Amp.			L	A		(2)				
		H.P.	Kw.	220 V.	380 V.	415 V.				20	30	40	50	
6608/1/2.2/2	①	3	2.2	10.3	6	5.5	1038	800	77.5	17.4	14.6	10.8	6	
6608/2/4/2	②	5.5	4	18.2	10.5	9.6	1231	875	102	34.8	29.2	21.6	12	
6608/3/5.5/2	③	7.5	5.5	23.4	13.5	12.4	1409	935	120.5	52.2	43.8	32.4	18	
6608/4/7.5/2	④	10	7.5	30.4	17.6	16.1	1567	995	132	69.6	58.4	43.2	24	
(2) 6608/5/9.2/2	⑤	12.5	9.2	37.2	21.5	19.7	1784	1074	152.5	87	73	54	30	
6608/6/11/2	⑥	15	11	43.2	25	22.9	1952	1124	170	104.4	87.6	64.8	36	
6608/7/13/2	⑦	17.5	13	53.6	31	28.4	2120	1174	186.5	121.8	102.2	75.6	42	
6608/8/15/2	⑧	20	15	60.5	35	32	2278	1214	203	139.2	116.8	86.4	48	
6608/9/18.4/2	⑨	25	18.4	71	41	37.6	2486	1304	224.5	156.6	131.4	97.2	54	
6608/10/18.4/2	⑩	25	18.4	71	41	37.6	2604	1304	236	174	146	108	60	
6608/11/22/2	⑪	30	22	81.5	47	43	2812	1394	256.5	191.4	160.6	118.8	66	

88	132.1	176.1	220.2	Q USGPM
73.4	110.1	146.7	183.4	Q IGPM

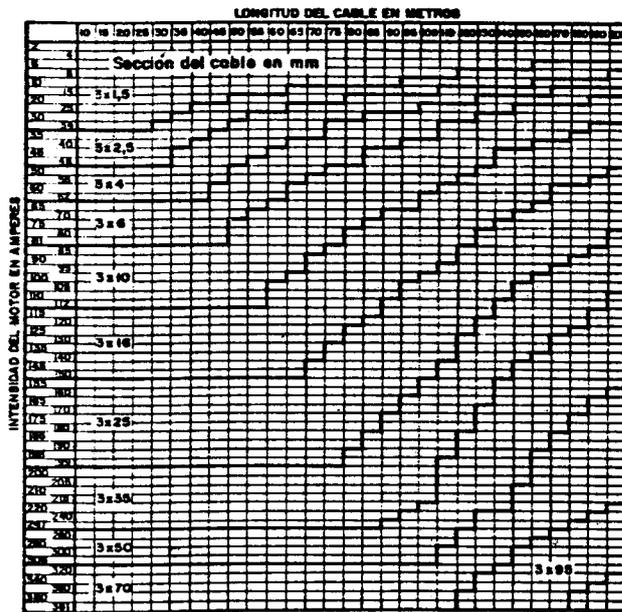
Fuente: Manual bombas ITUR, 1987



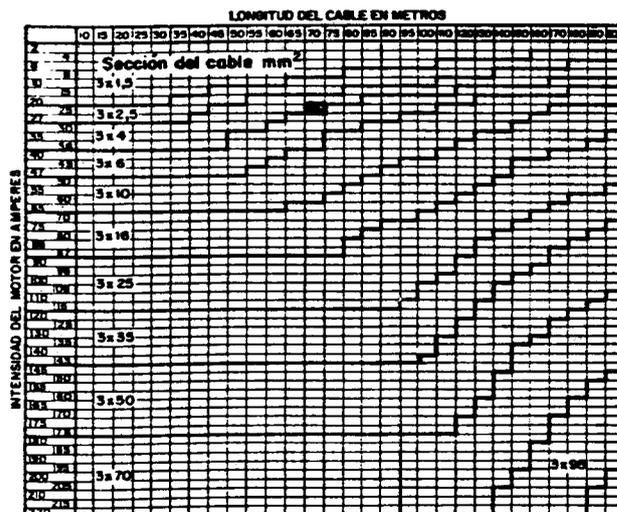
Fuente: M. Villanueva y A. Iglesias, 1984

Fig. 24 CABLE "EPROTENAX H MI" PARA POZOS O GRANDES PENDIENTES.

ARRANQUE ESTRELLA TRIANGULO A A 380/660 V.



ARRANQUE DIRECTO - 380 V.



Fuente: M. Villanueva y A. Iglesias, 1984

Fig. 25 SELECCION DE CONDUCTORES ELECTRICOS PARA GRUPOS MOTO-BOMBA SUMERGIBLES, EN FUNCION DE LA INTENSIDAD NOMINAL DEL MOTOR EN AMPERIOS Y LA LONGITUD DEL CONDUCTOR EN METROS.

Todos estos cálculos se han hecho para una Tª ambiente de 25°C y el cable al aire; un aumento de la Tª ambiente requerirá aplicar un factor de corrección a fin de evitar un excesivo calentamiento, por el contrario un cable sumergido en agua (cuya Tª suele ser bastante inferior a 25°C y enfría de forma más eficaz) haría necesaria una menor sección.

Cuando se emplean (ensayos de bombeo, instalaciones provisionales) cables arrollados o varios cables juntos el enfriamiento es mucho menos eficaz siendo necesaria una especial atención a esta circunstancia.

Si bien el arranque en estrella triángulo tiene la ventaja de que la sección de los conductores es inferior que para el arranque en directo, presenta el inconveniente de precisar dos ramales trifásicos en lugar de uno.

En instalaciones fijas se recomienda en general la instalación de los dos ramales siempre que la potencia sea superior a 10 CV.

Las instalaciones elevadoras presentan normalmente un centro de transformación junto al sondeo.

La potencia que éste debe tener será:

$$P = \frac{P_B}{R_M} \chi 0,736$$

siendo:

$P_B$  = Potencia en caballos

$R_M$  = Rendimiento del motor

$P$  = Potencia en KW

Ya que el rendimiento del motor es normalmente de 0,9, puesto que un transformador suministra conjuntamente energía activa y reactiva (KVA) y que el factor de potencia  $\cos \phi = 0,85$  la potencia teórica necesaria en KVA para alimentar una bomba será la siguiente:

$$P_T = \frac{P_B \chi 0,736}{0,9 \chi 0,85} \rightarrow P_T = 0,96 \chi P_B$$

En la práctica el número de KVA del transformador es el mismo que el de CV del motor de la bomba en este caso es de 12,5 CV.

No obstante se recomienda sobredimensionarlo ligeramente para poder así absorber las intensidades punta que se producirán al arrancar, o utilizar en su defecto la solución de un arranque en estrella - triángulo.

### 5.3. Cuantificación de bombeos en pozos mediante el consumo de energía eléctrica: Análisis del rendimiento de los mismos y su incidencia en el coste del agua

Mediante la aplicación del método que se explica a continuación se puede evaluar el volumen total de agua bombeado en un periodo de tiempo en función del consumo eléctrico.

Se pueden estimar también las horas de bombeo, el rendimiento del conjunto motobomba y su repercusión en el coste del metro cúbico de agua extraído. Para su aplicación debe conocerse la altura manométrica total ( $H_m$ ), el caudal de bombeo y la potencia activa consumida.

Se obtendrá la relación E (m³/kwh) para unas condiciones de bombeo en régimen de estabilización siendo constante a lo largo del tiempo, si no existen variaciones apreciables del nivel piezométrico, por lo que una vez conocida podrá calcularse el volumen extraído en un cierto periodo de tiempo en base al consumo de energía.

Se analizarán detalladamente los parámetros a calcular y el modo de proceder.

- Para la determinación del caudal de bombeo se utilizará el sistema de aforos que se adapte mejor a las instalaciones existentes, empleando generalmente el método volumétrico y el uso del micromolinetete.
- Por su parte se debe conocer la altura manométrica total  $H_m$  definida en el apartado anterior (5.2).
- En una captación conectada a la red general de distribución de energía eléctrica se produce un consumo de ésta por tiempo de bombeo, el cual queda registrado en los medidores de energía (contadores) expresado en kwh.

En estos medidores se registran tres tipos de energía: activa, reactiva y aparente.

La primera de ellas se define por  $E_A = P_A t$ , siendo:

$E_A$  = energía activa  
 $P_A$  = potencia activa  
 $t$  = tiempo

Queda reflejada en los medidores de energía activa monofásicos o trifásicos según el caso expresándose en Wh, KWh y MWh.

Es la energía de trabajo y será la que se utilizará para la aplicación del método, ya que es la empleada en la extracción del agua.

La energía reactiva se registra con los medidores de energía reactiva y se define como  $E_R = P_R t$

Donde:

$P_R$  = potencia reactiva

$t$  = tiempo

Se registra con los medidores de energía reactiva expresándose en VARh (voltio amperio reactivo hora), KVARh y MVARh.

No supone ningún trabajo efectivo; es la energía de resistencia, es decir la que se pierde en las líneas de corriente y redes de distribución.

Finalmente la energía aparente es  $E_A = P_S t$

Donde:

$P_S$  = potencia aparente

$t$  = tiempo

Es la suma de las otras dos y se mide en Vah, KVAh y MVAh.

Los contadores poseen un disco giratorio visible, donde el número de vueltas que éste da es proporcional a la cantidad de energía medida.

La relación entre energía consumida y el número de revoluciones, viene expresado por  $A = K N$ , siendo:

$A$  = valor de la energía medida

$N$  = número de vueltas del disco efectuadas durante el período de medición

$K$  = constante propia de cada contador

La economía de la producción de la energía eléctrica depende del modo de utilización, capacidad de la planta generadora, distribución durante las 24 horas y características de la instalación receptora.

Estos factores originaron la creación de una gran variedad de medidores de energía, los cuales, mediante la aplicación de varios tipos de tarifas pretenden motivar al consumidor a ajustar sus instalaciones y sus receptores de la energía eléctrica, así como los horarios de su funcionamiento, de tal manera que la compañía productora trabaje con el mayor rendimiento y, en

consecuencia, pueda vender la energía eléctrica a precios más bajos y más asequibles.

En algunos casos las instalaciones eléctricas cuentan además con transformadores de intensidad y de tensión.

Los primeros se utilizan para medir corrientes altas o que circulen por conductores sometidos a grandes voltajes. Estos transformadores reducen estas intensidades a otras más bajas. Su construcción está destinada a soportar sobrecargas, cortocircuitos y demás anomalías que se produzcan en la red debiendo mantener constante la corriente primaria.

La relación de transformación de intensidad se expresa  $K_i = I_1 / I_2$ , en la que la corriente primaria tiene una relación con la corriente secundaria.

Los valores de las intensidades nominales deben figurar en la placa de identificación del transformador y se expresan en forma de fracción, por ejemplo, 200/5A; 50/5A .... etc.

En aparatos con bobinas voltimétricas sometidas a elevados potenciales, se emplean transformadores de tensión que reducen la de línea a otra más adecuada, generalmente 110 V.

La relación de transformación de tensión se expresa  $K_u = U_1 / U_2$ , en la que la tensión primaria tiene una relación proporcional con la tensión secundaria.

Cada transformador de tensión está construido para una determinada tensión primaria  $U_1$ , mientras que la tensión secundaria  $U_2$  es normalizada a 110 V, para tensiones compuestas y en  $100/\sqrt{3}$  V para tensiones sencillas.

La relación de transformación  $K_u$  tiene un valor constante para un determinado transformador. Se expresa en forma de fracción, por ejemplo:

$$8000 \text{ V}/110 \text{ V} \text{ ó } \frac{20.000}{\sqrt{3}} \text{ V} / \frac{110 \text{ V}}{\sqrt{3}}$$

Se analizará a continuación el modo de aplicar la metodología propuesta en función de los diferentes tipos de contadores existentes que son:

- Contadores de corriente alterna, trifásicos en Alta o Baja tensión
- \* Baja tensión
- a) Contadores directos

b) Contadores con transformador de intensidad

\* Alta tensión

### 5.3.1. Aplicación del método en contadores de baja tensión

Cuando el suministro de energía en la instalación es en baja tensión, se determinará tal circunstancia en la correspondiente señalización grabada en el interior del contador.

Las expresiones más usuales en contadores trifásicos para la tensión son:

$$3 \times 220/127 \text{ V}$$

$$3 \times 380/220 \text{ V}$$

Estas expresiones significan que en un sistema trifásico existen 220 V (1ª expresión) o 380 V (2ª expresión) entre fases y 127 V ó 220 V entre fases y neutro. El sistema está en estrella 120° y entre el centro, (el neutro) y cada una de las tres fases hay 127 V ó 220 V y entre fase y fase 220 V ó 380 V. Los contadores en baja tensión pueden ser directos o con transformadores de intensidad.

#### A. Contadores Directos

Son aquellos que están intercalados entre las líneas de corriente.

Pueden tener o no factor, generalmente  $\chi 10$ , pero siempre grabados en el interior del contador.

No tiene transformador de intensidad.

El factor influye únicamente en la determinación del consumo en Kwh.

El procedimiento a seguir para este tipo de contadores es el siguiente:

##### 1) Cálculo de K

La constante del contador vendrá según una de las siguientes expresiones:

a.  $\text{Revoluciones} / \text{Kwh} = K$

b.  $1 \text{ giro} = x \text{ Wh}$

En el caso a, K se aplica directamente en el cálculo de la potencia activa. En el segundo tipo, habrá que transformar la expresión a la del apartado a, para ello:

$$1 \text{ giro} \dots\dots\dots \times \text{Wh}$$

$$K \dots\dots\dots 1000 \text{ Wh} = 1 \text{ Kwh} \quad K = y \text{ giros}$$

##### 2) Potencia activa

Para el cálculo de la potencia activa debe conocerse el tiempo que el disco del medidor tarda en dar n vueltas.

La expresión que define la potencia activa es:

$$P_a = \frac{3600 \ n}{K \ t} = K_w \text{ de potencia}$$

en donde:

n = número de revoluciones tomadas en el disco

t = tiempo en segundos de las n revoluciones

K = constante propia del medidor

P = Kw de potencia equivalente a Kwh de trabajo

##### 3) Relación m³/Kwh

Los metros cúbicos extraídos por Kwh consumido se obtendrá según la expresión:

$$E = \frac{Qm^3/h}{Kwh \text{ de trabajo}} = m^3 \text{ por Kwh consumido}$$

##### 4) Consumo total de Kwh

La diferencia de lecturas, al inicio y final del período que se desea cuantificar, dará el consumo total de Kwh, C, en ese período, para contadores que no tengan factor.

Si el contador tiene factor el consumo total será: C  $\chi$  factor.

##### 5) Volumen total en m³ extraídos

Una vez conocidos E y C, se puede conocer el volumen extraído. Para ello bastará multiplicar ambos.

$$V = E \ C = m^3 \text{ extraídos en el período T.}$$

Si interesa conocer las horas de bombeo H realizadas en una captación por el equipo de elevación, se procedería del siguiente modo:

$$H = \frac{C}{Kw \text{ de potencia}}$$

Como comprobación se podría calcular el volumen extraído aplicando las horas trabajadas.

$$V = Q \cdot H ; Q = m^3/h ; H = \text{horas}$$

El rendimiento del conjunto motor-bomba será:

$$R = \frac{Q \cdot H_m}{75 \cdot Pc.v.} ; Pc.v. = \frac{Pa}{0,736}$$

(1 C.V. = 0,736 Kw)

en donde:

R = rendimiento del conjunto motor-bomba en %

Q = caudal de bombeo en l/s

Pc.v. = potencia en C.V. (C.V. equivalente a los Kw correspondientes a la potencia activa)

$H_m$  = altura manométrica total en metros

## B. Contadores con transformador de intensidad en baja tensión

Para el caso en que exista transformador de intensidad en la red de energía, se determinará tal circunstancia:

- Si se ven en la instalación
- Si el contador pone en la indicación de Amperes x/5A (X valor variable según el transformador de intensidad)
- Si el contador es solo de 5A y se observa en el amperímetro del cuadro, o por la potencia del motor, que la intensidad es muy superior a esos 5A.

Para el cálculo del consumo hay tres casos:

- a) *Que el transformador de intensidad baja tenga la misma relación que el contador (por ejemplo, T. de I. = 75/5A y el contador 75/5A).*

Para saber que el T. de I. es de la misma relación que el contador, se puede:

- Ver directamente ambas relaciones
- Ver el factor modificado del contador
- Comprobar en un recibo de la compañía suministradora por cuanto multiplica la diferencia de lecturas

En este caso el contador tiene factor grabado en su interior. No tendrá factor modificado por la compañía suministradora. Se aplica igual que para los contadores directos. Tiene relación del T. de I. que será  $\chi/5A$ .

- b) *Cuando sólo pone 5 A (sin relación) y el factor está modificado por la compañía suministradora, (por ejemplo  $\chi 10$ ,  $\chi 15$ ,  $\chi 50$ , etc.), y dentro no tiene factor grabado el contador. Esto significa que la constante está modificada. Influye para el cálculo de la constante K, y para el consumo.*

Para el caso de que el factor fuese  $\chi 10$ , existiría transformador de intensidad de 50 A, ya que  $50/5 = 10$ .

- Para el cálculo de K se procedería como sigue:

Si la constante del contador viene expresada en

1 giro = 160 Wh sería, 1 giro =  $160 \chi 10$  (factor) = 1600 Wh

1 giro ..... 1600 Wh

K ..... 1000 Wh = 1 Kwh ;  
K = 0,625 giros

Si la constante del contador es 1 Kwh = 160 giros sería, 1 kwh  $\chi 10$  (factor) = 10 Kwh.

10 Kwh ..... 160 giros

1 Kwh ..... K ; K = 16 giros

Para el cálculo del consumo se multiplicará la diferencia de lecturas por el factor modificado.

- c) *En este caso el contador tiene relación de intensidad  $\chi/5A$  y el factor vendrá grabado dentro del contador y modificado fuera por la compañía suministradora.*

Influye en el cálculo de K y para el consumo.

El procedimiento sería el siguiente:

Relación del T. de I. = 75/5 A  
Factor por dentro =  $\chi 10$   
Factor modificado =  $\chi 33,33$

Si la constante del contador viene expresada en  
1 giro = 100 Wh será  $33,33 / 10 = 3,333$ .

1 giro = ..... 100 Wh  $\times 3,333 = 333,3$  Wh.

1 giro ..... 333,3 Wh

K ..... 1000 Wh = 1 Kwh ; K = 3 giros

Si la constante del contador se expresa en 1 Kw =  
100 giros o Rev/Kwh = 100, sería  $33,33 / 10 = 3,333$ .

100 giros ..... 3,333 Kwh

K ..... 1 Kwh ; K = 30 giros

Para el cálculo del consumo habrá que multiplicar  
la diferencia de lecturas por el factor modificado por la  
compañía suministradora, en este caso,  $\times 33,33$ .

Una vez conocida K, para cada uno de los tres  
casos expuestos en los contadores con transformador  
de intensidad, los cálculos siguientes serían idénticos a  
los expuestos para los contadores directos.

### Ejemplo para contadores directos en baja tensión

Sea un pozo de 13,45 m de profundidad, diámetro  
de entubación de 1750 mm, nivel dinámico a 8,65 m,  
caudal de 69,25 l/s con un motor de 25 C.V., bomba  
centrífuga horizontal y una altura manométrica de  
13 m.

El consumo en Kwh se contabiliza en un medidor  
trifásico de energía activa, con las siguientes caracterís-  
ticas:

- Nº de contador = 7060122
- No tiene factor
- Tensión en baja
- Constante: 1 giro = 18 Wh
- Lectura inicial = 27.903 Kwh
- Lectura final = 47.903 Kw
- Nº de vueltas tomadas en el disco = 15
- Tiempo de las 15 vueltas del disco = 51 s.
- I = 75 A
- Tensión = 220/3  $\times$  127 v

#### 1) Cálculo de K

1 giro ..... 18 Wh

K ..... 1000 Wh = 1 Kwh ;  
K = 55,55 giros

#### 2) Potencia activa

$$P_p = \frac{3600 \times n}{Kt} = \frac{3600 \times 15}{55,55 \times 51} = 19,07 \text{ Kw de potencia}$$

#### 3) Relación m³/Kwh

$$E = \frac{Q \text{ m}^3/h}{\text{kwh de trabajo}} = \frac{249,3}{19,07} = 13,07 \text{ m}^3 \text{ extraídos por Kw de potencia}$$

#### 4) Consumo total de Kwh

$$C = 20.000 \text{ Kwh}$$

Si el contador tuviese factor, por ejemplo  $\times 10$ , la  
diferencia de lecturas final e inicial, se multiplicaría por  
el factor.

$$C = L.F. - L.I. = 2.000$$

$$C_{total} = 2.000 \times 10 = 20.000 \text{ Kwh}$$

#### 5) Volumen total en m³

$$V = E \times C$$

$$V = 13,07 \text{ m}^3/\text{Kwh} \times 20.000 \text{ Kwh} = 261.400 \text{ m}^3$$

Si se desea conocer las horas de bombeo:

$$H = \frac{C \text{ Kwh}}{\text{Kw de potencia}} = \frac{20.000 \text{ Kwh}}{19,07 \text{ Kw}} = 1.048,7 \text{ horas}$$

El volumen de agua extraído en ese período de  
tiempo, aplicando las horas trabajadas, sería:

$$V = H \times Q = 1.048,7 \text{ h} \times 249,3 \text{ m}^3/h = 261.440,9 \text{ m}^3$$

#### 6) Rendimiento del conjunto motor-bomba

Si se conoce el caudal y la altura manométrica se  
puede obtener el rendimiento del conjunto motor-  
bomba.

Como los C.V. equivalentes a estos 19,07 Kw de  
potencia son:

$$P = \frac{Pa}{0,736} = \frac{19,07}{0,736} = 25,91 \text{ C.V.}$$

Ya que un C.V. = 0,736 kw, el rendimiento será:

$$R = \frac{Q (\text{Us}) \text{ Hm (m)}}{75 \times P_{c.v.}} = \frac{69,25 \times 13}{75 \times 25,91} = 0,46 \text{ (46\%)}$$

### 5.3.2. Aplicación del método en contadores de alta tensión

El suministro en alta tensión, al igual que en baja, vendría identificado en el interior del contador.

Los equipos en alta tensión se presentan en tres tipos.

#### TIPO I

Tiene 3 transformadores de tensión y 3 transformadores de intensidad.

Se reconocen cuando el contador grabado en su interior lleva:

$$Y = \sqrt{3} / 110 : \sqrt{3} \delta$$

$$Y = \sqrt{3} / 110 - 63,5 \text{ (} 110 : \sqrt{3} = 63,5 \text{)}$$

Y, variable según la instalación.

En este tipo se presentan dos casos:

- a) Puede tener o no factor, pero siempre grabado en su interior. No habrá factor modificado fuera.

No influye para el cálculo de K en ningún caso. Solo influye para el cálculo del consumo.

Se procede igual que para los contadores directos en baja tensión.

- b) Según el factor se presentan dos casos:

1. *Que tenga factor grabado en el interior del contador y que tenga factor modificado por fuera. En este caso, el factor influye en el cálculo de K y en el del consumo.*

#### Ejemplo:

Si se tiene un contador cuya constante es:  
1 Kwh = 20 giros

Factor por dentro = x10

Factor modificado = x20

Para el cálculo de K se procede:

$$\frac{\text{Factor modificado}}{\text{Factor por dentro}} = \frac{20}{10} = 2$$

2 Kwh ..... 20 giros

1 Kwh ..... K ; K = 10 giros

Si la constante fuese, 1 giro = 100 Wh

$$\frac{20}{10} = 2 ; 1 \text{ giro} = 100 \text{ Wh} \times 2 = 200 \text{ Wh}$$

1 giro ..... 200 Wh

K ..... 1000 Wh = 1 Kwh ; K = 5 giros

Para el consumo, se multiplicaría la diferencia de lecturas por el factor modificado, en este caso x 20.

2. *Que no tenga factor por dentro y si tenga factor modificado por fuera. Influye en el cálculo de K y en el del consumo.*

#### Ejemplo:

Sea un contador cuya constante es:

1 giro = 100 Wh

Factor por fuera = x 20

Para el cálculo de K sería:

1 giro = 100 Wh x 20 = 2000 Wh

1 giro ..... 2000 Wh

K ..... 1000 Wh = 1 Kwh ; K = 0,5 giros

Si la constante fuese, 1 Kwh = 160 giros, para calcular K sería:

$$1 \text{ Kwh} \times 20 = 20 \text{ Kwh}$$

$$20 \text{ Kwh} \dots\dots\dots 160 \text{ giros}$$

$$1 \text{ Kwh} \dots\dots\dots K ; K = 8 \text{ giros}$$

**TIPO II**

Tiene 2 transformadores de tensión y 2 transformadores de intensidad.

Se reconocen por X/5 e Y/110 V.

El factor vendrá grabado en el interior del contador. No tendrá factor modificado.

Se resuelve igual que los contadores directos en baja tensión.

**TIPO III**

Tiene 2 transformadores de tensión ó 3 T. de T. y 2 transformadores de intensidad ó 3 T. de I.

Se reconoce por 5 A y 110 V.

En este caso el contador no tendrá factor ni dentro ni fuera, (en caso de tener factor modificado, correspondería al real y no habría que dividir por nada).

Se resuelve igual que para los contadores directos en baja tensión.

**Ejemplos para contadores en alta tensión**

Sólo se exponen los ejemplos para los casos 1 y 2, apartado b, del tipo I, ya que el resto de los casos sería igual que para los contadores directos en baja tensión.

**Tipo I**

1. Sea un contador trifásico en alta tensión con las siguientes características:

Tensión 8000 : 3/110 : 3  
 Relación de tensión: 20/5 A  
 Factor interior:  $\times 10$   
 Factor modificador :  $\times 9,37$   
 Constante del contador: 1 giro = 133 Wh

**1) Cálculo de K**

$$\frac{\text{Factor modificado}}{\text{Factor contador}} = \frac{9,37}{10} = 0,937$$

$$1 \text{ giro} = 133 \text{ Wh} \times 0,937 = 124,62 \text{ Wh}$$

$$1 \text{ giro} \dots\dots\dots 124,62 \text{ Wh}$$

$$K \dots\dots\dots 1000 \text{ Wh} ; K = 8,02 \text{ giros}$$

**2) Potencia activa**

$$P_a = \frac{3600 \text{ xn}}{K t} = \frac{3600 \times 20}{8,02 \times 76} = 118,12 \text{ Kw}$$

**3) Relación m³/Kwh**

$$E = \frac{Q \text{ m}^3 / \text{h}}{\text{Kwh de T.}} = \frac{504}{118,12} = 4,266 \text{ m}^3 / \text{Kwh}$$

**4) Consumo total en Kwh**

$$\text{Lectura final} - \text{lectura inicial} = I = 11.771 \text{ Kwh}$$

$$H = \frac{2627 \text{ Kwh}}{14.398,5 \text{ Kwh}}$$

Consumo total:

$$C = 14.398,5 \times 9,37 \text{ (Factor Mod.)} = 134.913,95 \text{ Kwh}$$

**5) Volumen extraído**

$$V = F C = 4,266 \times 134.913,95 = 575.542,89 \text{ m}^3$$

**6) Rendimiento**

$$P = \frac{118,12}{0,736} = 160,48 \text{ C.V.}$$

$$R = \frac{Q \text{ l/s Hm}}{75 \times P \text{ c.v.}} = \frac{140 \times 20}{75 \times 160,48} = 0,2326 ; R = 23,26\%$$

Si la constante del contador fuese:

$$1 \text{ giro} = 120 \text{ Wh}$$

$$1 \text{ giro} = 120 \text{ Wh} \times 10 = 1200 \text{ Wh}$$

1 giro ..... 1200 Wh

N ..... 1000

N = 0.833 giros

Si la constante del contador fuese 1 NWh = 60 giros.

1 NWh 0'937 = 0,937 NWh.  
60 giros ..... 0,937 NWh.  
N ..... 1 NWh  
N = 60 giros

Para obtener el consumo total en NWh se multiplica la diferencia de lecturas por el factor modificado en este caso por 9,37

2. Para un contador trifásico en alta tensión, que no tiene factor grabado en su interior y si factor modificado fuera, se procederá como sigue:

Factor modificado:  $\chi$  10  
Si la constante fuese 1 NWh = 60 giros  
1 NWh  $\chi$  10 = 10 NWh  
10 NWh ..... 60 giros  
1 NWh ..... N  
N = 6 giros

Para el cálculo del consumo la diferencia de lecturas se multiplica por el factor modificado, en este caso por 10.

Para todos los casos en alta tensión los calculos siguientes son indenticos a los expuestos para los contadores directos en baja tensión.

El Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE) aplicó esta metodología entre otros sectores en la Vega de Granada, Sector oriental de Málaga, Costeras de Granada, etc y recientemente en el sector noroccidental de la provincia de Granada, para analizar los rendimientos de las instalaciones eléctricas de impulsión de agua, y cuantificar las extracciones en dicha región.

En la tabla 5 se resumen los datos obtenidos en los 60 equipos de elevación estudiados.

Los rendimientos observados son óptimos o normales ( $R > 50\%$ ) en un 34% de los casos, mostrando el 66% restante un funcionamiento deficiente o muy deficiente (ver figura 26).

En la figura 27 están representados los 60 datos de la muestra estadística, se sitúa en abcisas la relación E y en ordenadas las alturas manométricas correspondientes. La población ha quedado distribuida entre varias curvas tipo que representan distintos rendimientos.

Finalmente se ha representado un histograma con la distribución de las frecuencias de los valores obtenidos de la relación E entre el volúmen de bombeo y el consumo energético (Figura 28). Esta relación es inversamente proporcional al coste eléctrico de elevación del  $m^3$  de agua.

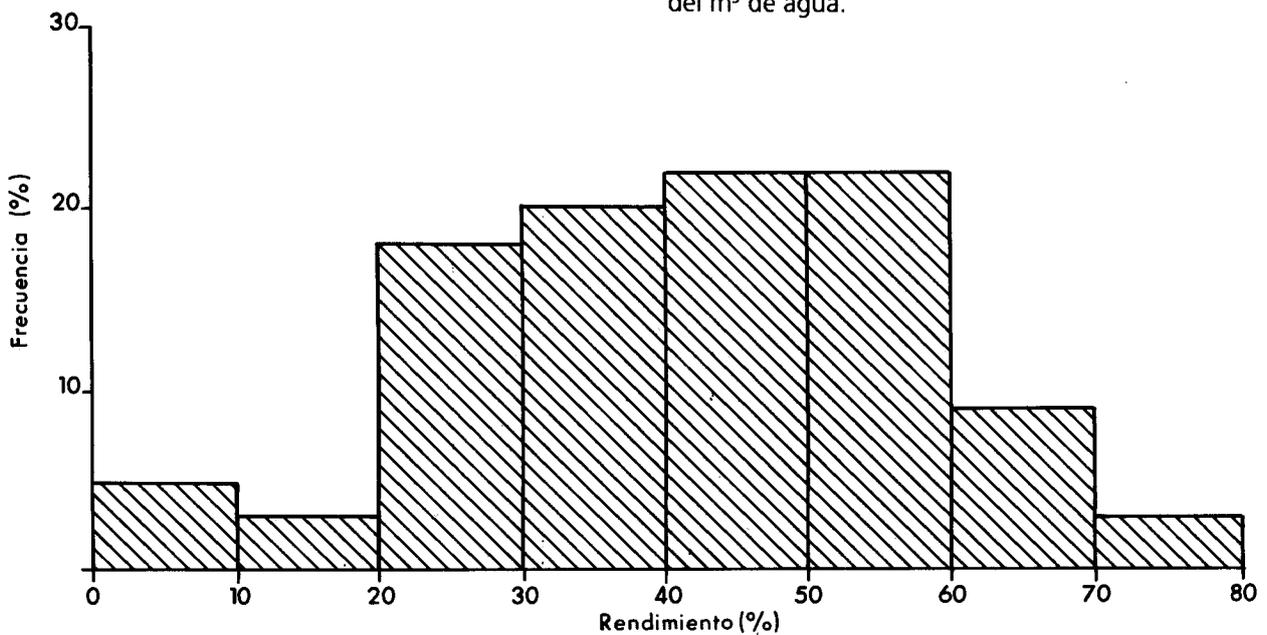
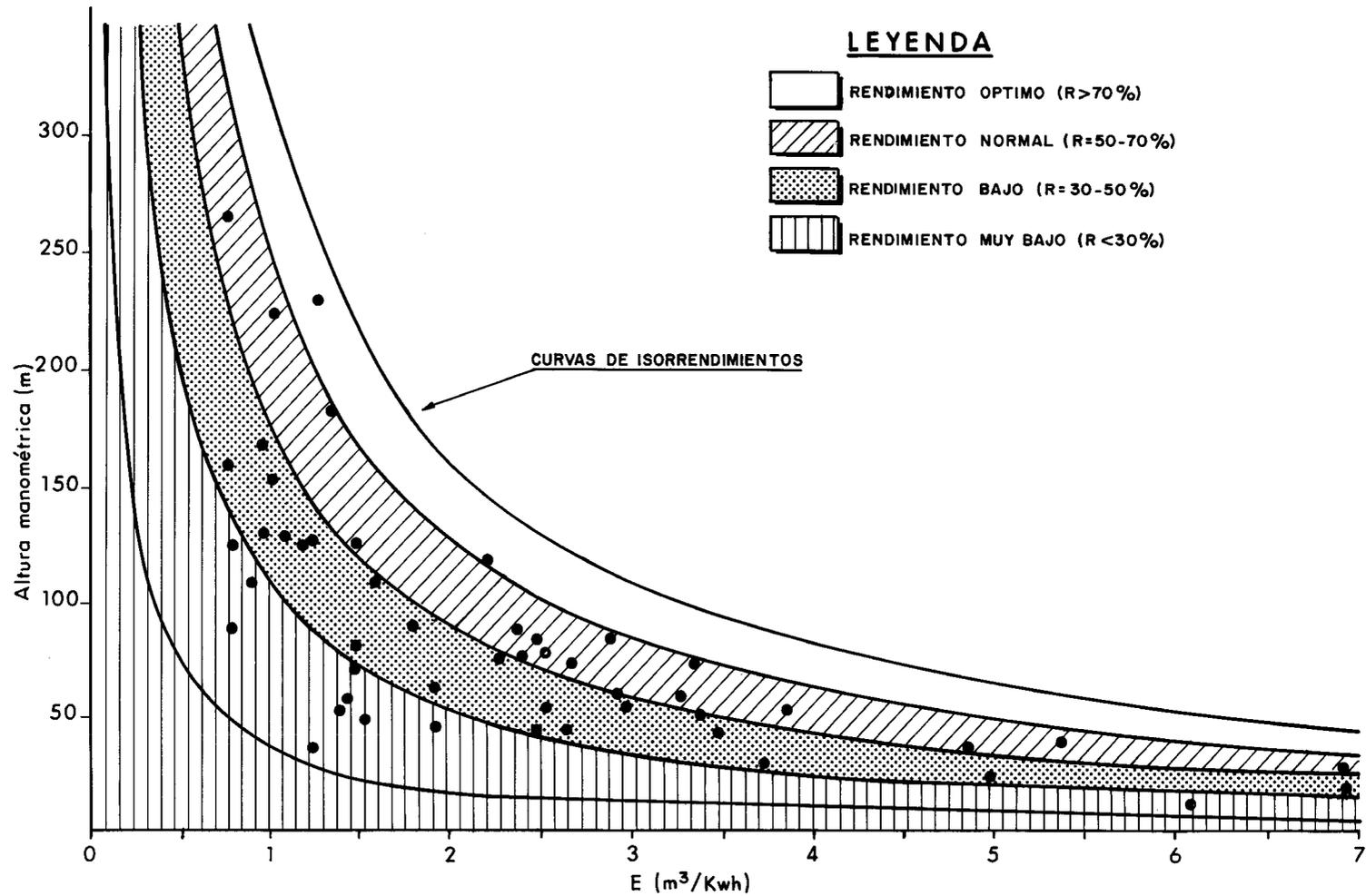


FIG. 26 DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DEL RENDIMIENTO

**Tabla 5: Resumen encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo**

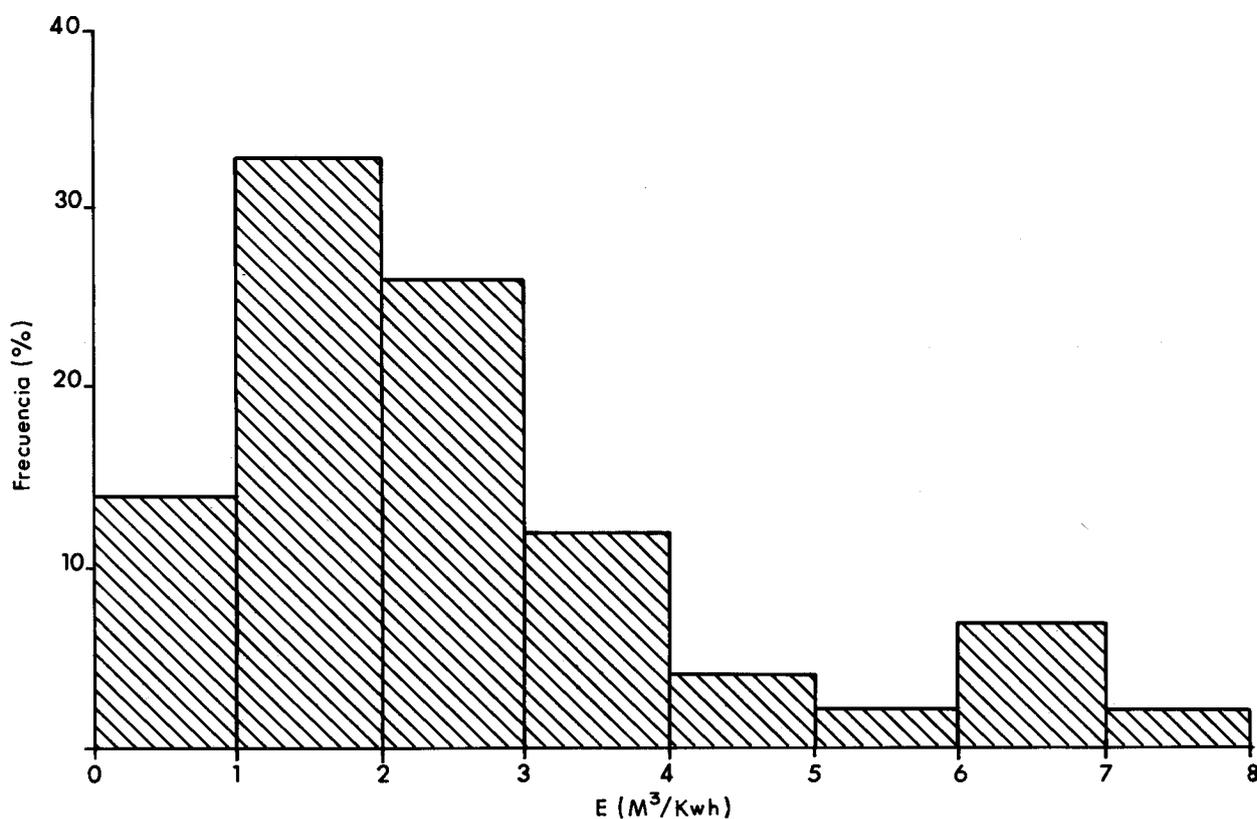
Abastecimiento	Naturaleza	Alt. Manométrica (m)	Caudal (l/s)	Potencia Activa (Kw)	E (m <sup>3</sup> /Kwh)	Rendimiento (%)
Algarinejo	Sondeo	30	16,0	9,4	6,13	50,0
Fte. de Cesna	Manantial	130	2,0	7,3	0,99	35,0
Alicún de Ortega	Sondeo	60	8,0	20,0	1,44	23,5
Beas de Granada	Sondeo	85	9,0	12,8	2,53	58,0
Benalúa de las Villas	Manantial	76	11,0	17,4	2,28	47,0
Campotejar	Sondeo	56	10,5	14,2	2,66	40,0
Campotejar	Pozo	38	1,2	3,4	1,27	13,0
Cogollos Vega	Sondeo	161	15,4	70,8	0,78	34,0
Colomera	Sondeo	80	1,0	7,6	0,47	10,0
Colomera	Manantial	125	6,1	26,6	0,83	28,0
Darro	Sondeo	72	5,1	12,2	1,51	29,5
Dehesa de Guadix	Sondeo	82	8,9	21,4	1,48	33,5
Deifontes	Sondeo	125	17,0	41,2	1,48	51,0
Fonelas	Pozo	75	30,0	37,3	2,70	59,0
Guadahortuna	Pozo	27	20,0	10,4	6,92	53,0
Guadahortuna	Pozo	40	12,0	8,8	4,90	53,5
Huélago	Sondeo	55	3,8	9,8	1,39	21,0
Huetor Santillán	Sondeo	127	23,0	69,9	1,25	43,0
Huetor Tajar	Sondeo	46,5	41,6	77,0	1,94	25,0
Huetor Tajar	Sondeo	91	14,0	44,4	1,13	28,0
Illora	Sondeo	109	24,0	94,4	0,92	27,0
Escoznar	Pozo	61	10,1	11,1	3,28	54,0
Alomartes	Manantial	91	10,0	19,9	1,80	44,0
Alomartes	Manantial	85	15,0	21,2	2,54	59,0
Tocón	Sondeo	65	6,0	-	-	52,0
Domingo Pérez	Pozo	80	6,0	6,8	2,65	69,0
Domingo Pérez	Manantial	25	8,6	6,2	5,00	34,0
Loja	Galería	85	30,0	36,9	2,93	68,0
Loja	Manantial	57	4,2	5,0	3,03	47,0
Loja	Manantial	20	38,0	19,7	6,94	38,0
Riofrío	Impulsión	55	3,0	2,8	3,86	58,0
Riofrío	Manantial	3	4,0	1,4	10,40	8,0
Balerna	Galería	55	4,0	5,7	2,54	38,0
V. de San José	Galería	65	2,1	3,9	1,94	34,0
Arenales	Sondeo	27	1,6	-	-	10,0
Fte Camacho	Sondeo	119	4,5	7,1	2,27	74,0
Venta del Rayo	Manantial	154	4,4	15,1	1,05	44,0
Cuesta La Plana	Sondeo	42	3,5	5,0	2,53	29,0
Moclín	Sondeo	184	16,0	42,5	1,36	68,0
Moclín	Impulsión	266	4,4	20,0	0,79	57,0
Tiena	Manantial	76	10,9	16,3	2,40	50,0
Limones	Manantial	41	3,0	2,0	5,40	60,0
Tozar	Manantial	62	3,7	4,5	2,95	50,0
Puerto Lope	Pozo	90	7,4	11,2	2,39	58,0
Moreda	Sondeo	225	10,5	35,7	1,06	65,0
Laborcillas	Manantial	90	1,3	5,7	0,82	20,0
Montefrío	Sondeo	170	30,0	108,6	0,99	46,0
Montefrío	Impulsión	125	30,0	90,0	1,19	40,0
Montejicar	Sondeo	14,3	11,5	6,8	6,09	24,0
Montejicar	Impulsión	45	15,5	16,1	3,47	42,5
Pedro Martínez	Sondeo	229	23,5	64,1	1,32	82,0
Pedro Martínez	Impulsión	75	25,7	27,2	3,38	70,0
Piñar	Pozo	110	5,4	11,9	1,63	49,0
Bogarre	Pozo	32	4,0	3,8	3,75	33,0
Salar	Impulsión	51,5	17,0	18,1	3,38	47,5
Torre Cardela	Pozo	130	5,0	16,6	1,09	38,0
Torre Cardela	Pozo	77	8,8	13,1	2,42	51,0
Torre Cardela	Pozo	54	8,6	-	-	-
Villanueva Mesía	Pozo	50	6,0	13,8	1,56	21,0
Villanueva Mesía	Galería	45	7,0	10,2	2,47	30,0

Fuente: ITGE, 1990.



NOTA: La relación E es inversa al coste del m<sup>3</sup> de agua bombeado  
Fuente: ITGE, 1985

**Fig. 27 RELACION ENTRE EL CONSUMO DE ENERGIA, VOLUMEN DE BOMBEO Y ALTURA DE IMPULSION DE LAS CAPTACIONES ESTUDIADAS.**



Fuente: ITGE, 1985

**FIG. 28 DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LA RELACION "E" ENTRE EL VOLUMEN DE BOMBEO Y EL CONSUMO ELECTRICO**

Como se observa en la figura 28 predominan los valores bajos de E. El 73% de éstos es inferior a 3 m³/Kwh, lo que implica unos costes de elevación de agua altos, consecuencia directa de los bajos rendimientos observados en las instalaciones.

En gran parte, estos bajos rendimientos se deben a que los equipos de elevación están sobredimensionados, sin que exista una relación adecuada entre éstos y las características hidráulicas de las obras de captación, o bien entre dichos equipos y las características de la regulación, o las necesidades reales de la población abastecida. Es frecuente en este sentido, para evitar que el nivel dinámico alcance la aspiración de la bomba o para adaptar el caudal de extracción a las exigencias del servicio, la utilización de válvulas de regulación. El empleo de dichas válvulas tiene una gran incidencia en los bajos rendimientos y por tanto en el coste del m³ de agua elevado, al originar una nueva curva característica del equipo de elevación.

Para reducir el coste del m³ de agua elevado es imprescindible dimensionar con precisión el equipo de bombeo necesario según los pasos descritos en el apartado 5.2.

En muchas ocasiones los propios ayuntamientos carecen de información exacta sobre las características de las instalaciones destinadas al abastecimiento de

aguas potables al núcleo urbano y lo que es más grave, existe un escaso control de las explotaciones por parte de las entidades municipales.

Por esta razón se recomienda medir con periodicidad la evolución de los niveles tanto estático como dinámico y de los caudales extraídos e instalar para ello tuberías piezométricas en los sondeos.

En este sentido la aplicación del método aquí descrito puede ser utilizada para concienciar a los responsables municipales de la imperiosa necesidad de establecer estas medidas de control y en su caso proceder al redimensionamiento de las instalaciones existentes.

En el citado estudio solamente en el 22% de las instalaciones reconocidas existían contadores con tarifa múltiple, principalmente triple tarifa. Dichos contadores se aplican para el consumo de energía en horas punta (4 al día), horas llana (12 al día) y horas valle (8 al día). Las tarifas múltiples pueden suponer una importante disminución en el coste de elevación del agua. Para estudiar su viabilidad en cada caso, sería necesario comprobar las horas de funcionamiento real del equipo de elevación, la distribución de la demanda de la población y la capacidad de regulación en los depósitos de agua, entre otros factores.

## 6. PERDURABILIDAD DE LA CONTAMINACION EN EL AGUA SUBTERRANEA

El criterio más empleado para la definición de los perímetros de protección es el de tiempo de tránsito que, como ya se vio, fundamenta su mecanismo de acción en asegurar que antes de llegar el contaminante a la captación pasará un tiempo suficiente para su degradación o inactivación. En este capítulo se recogen tablas y datos que permiten conocer y cuantificar la dinámica de mitigación de los contaminantes en el interior del acuífero.

### 6.1. Contaminación bacteriológica

El origen de la contaminación bacteriológica del agua subterránea es muy heterogéneo, pudiendo considerarse:

- Industrias alimentarias (mataderos, fábricas de conservas, fábricas de embutidos, etc.).
- Explotaciones ganaderas.
- Industrias en general (vertidos de vinazas, procesamiento de grasas, etc.).
- Vertidos urbanos, líquidos (alcantarillado) y sólidos (vertederos incontrolados).

Los vertidos industriales en general producen un gran volumen de bacterias pero sólo muy pocas especies son patógenas para el hombre, mientras que en vertidos urbanos, además de su gran volumen está el factor añadido de presentar una enorme variedad de especies parásitas. En los cuadros y figuras de este capítulo se analiza en detalle las tasas de supervivencia de los parásitos humanos más fácilmente encontrables en el agua subterránea.

Es preciso tener en cuenta que algunos de estos microorganismos encuentran en el medio hídrico una parte natural de su ciclo biológico, por lo que su permanencia en el agua será mucho mayor.

La cinética de degradación (eliminación en bacterias, inactivación en virus) sigue generalmente una ley exponencial del tipo:

$$C_t = C_o \exp [-\lambda t (t-t_0)]$$

donde:

- $C_o$  = concentración inicial
- $C_t$  = concentración a un tiempo t
- $\lambda t$  = constante de eliminación de bacterias o de inactivación de virus

$\lambda t = 0,693/T$  siendo T el tiempo en el cual la mitad de bacterias o virus han desaparecido. T varía de 1 a 20 días para las bacterias y de 10 a 100 días para los virus.

A la vista de estos datos pudiera parecer que los tiempos de tránsito elegidos para dimensionar la zona próxima (ver capítulo 3) son excesivamente cortos, pero hay que considerar que los microorganismos no se encuentran simplemente en suspensión en agua sino que también se van a producir fenómenos de interacción con el material que forma el acuífero (Cuadros 4 a 8 y figuras 29 a 32).

**Cuadro 4 : Relación de microorganismos patógenos y de enfermedades infecciosas que producen, en los que el agua es principal (A), o circunstancial (B) vehículo de transmisión**

<b>A</b> <b>Grupo</b>	<b>Agente</b>	<b>Enfermedad</b>
<b>Vía de entrada oral</b>		
Virus	- Virus A de la hepatitis - Coxsackie	Hepatitis epidémica Afecciones gastrointestinales
Bacterias	- Salmonella typhi - Salmonella paratyphi - Shigella disenteriae - Vibrio cholerae	Fiebre tifoidea Fiebres paratíficas Disentería bacilar Cólera
Protozoos	- Entamoeba histolytica	Disentería amebiana
<b>Vía de entrada cutáneo-mucosa (contacto)</b>		
Virus	- Adenovirus	Conjuntivitis de las piscinas
Ritcketsiales	- Chlamydia oculo-genitalis	Conjuntivitis de inclusión
Gusanos (cercarias)	- Schistosomas - Fasciola hepática - Dracúncula medinensis	Schistosomiasis en países tropicales Distomatosis Dracunculosis
<b>B</b> <b>Grupo</b>	<b>Agente</b>	<b>Enfermedad</b>
<b>Vía de entrada oral</b>		
Virus	- Poliomiélticos - Echovirus	Parálisis Afecciones diversas
Bacterias	- Pasteurella tularensis - Leptospira - Escherichia coli enteropatógena	Tularemia Leptospirosis Colitis recién nacidos
Protozoos	- Balantidium coli - Leishmanias - Giardia lamblia	Balantidiasis Leishmaniasis Lambliasis
Gusanos	- Ascaris - Tenia equinococo	Ascariidiasis Hidatidosis
<b>Vía de entrada cutáneo-mucosa</b>		
Ritcketsiales	- Chlamydozoon trachomatis	Tracoma
Bacterias	- Bacillus anthracis - Brucellas - Leptospiras	Carbunco Fiebre de Malta Afecciones icterohemorrágicas

Fuente: Cabo et al, 1972.

**Cuadro 5: Resumen de los tipos y características de los microorganismos que pueden estar presentes en el agua**

Tipo	Célula	Tamaño	Forma	Nutrición	Condiciones de desarrollo		
					Tª	O <sub>2</sub>	pH
Bacterias	Procariótica	<1-2x1-4 micras	Esférica Helicoidal Cilíndrica	Autótrofa y Heterótrofa	0-20°C (psicrófilas) 25-40°C (mesófilas) 45-60°C (termófilas)	con O <sub>2</sub> libre (aerobias) sin O <sub>2</sub> libre (anaerobias) con/sin O <sub>2</sub> (anaerobias facultativas)	4-9 (óptimo: 6,5-7,5)
Hongos	Eucariótica	>5 micras diámetro	Filamentosa	Heterótrofa	0-62°C (óptimo: 22-30°C)	Anaerobios estrictos Aerobios	2-9 óptimo: 5-6
Algas	Eucariótica  Procariótica (verde-azuladas)	Variables  Como las	Esférica Bacilar Alargada bacterias	Autótrofa	0-90°C	Aerobias	
Protozoos	Eucariótica	>5 micras diámetro	Variable	Autótrofa y Heterótrofa	16-25°C	Aerobios y Anaerobios	3-9 (óptimo 6-8)
Virus	Molécula orgánica de ácido nucléico	15-150 nm	Poliédrica Helicoidal	Se reproducen por replicación. Permanecen en estado de latencia hasta que encuentran la célula huésped idónea para su reproducción.			

Fuente: ITGE, 1990.

**Cuadro 6: Valores medios del número de bacterias por gramo de heces humanas y animales**

Tipo de Bacteria	Hombre	Bovino	Ovino
Escherichia coli	1.3 x 10 <sup>7</sup>	7.2 x 10 <sup>5</sup>	8.9 x 10 <sup>5</sup>
Streptococos fecales	8.1 x 10 <sup>8</sup>	7.5 x 10 <sup>5</sup>	6.5 x 10 <sup>6</sup>
Streptococos bovis	58	3.8 x 10 <sup>5</sup>	7.1 x 10 <sup>6</sup>
Bifidobacterias	5.6 x 10 <sup>9</sup>	0	0
Rhodococus coprophilus	0	2.1 x 10 <sup>4</sup>	1.2 x 10 <sup>4</sup>
Micromonospora	0	2.5 x 10 <sup>4</sup>	1.2 x 10 <sup>5</sup>
Streptomices	2.6 x 10 <sup>3</sup>	9.1 x 10 <sup>4</sup>	6.5 x 10 <sup>4</sup>

Fuente: Mara y Oragui, 1985.

**Cuadro 7: Virus humanos susceptibles de ser encontrados en medio hídrico**

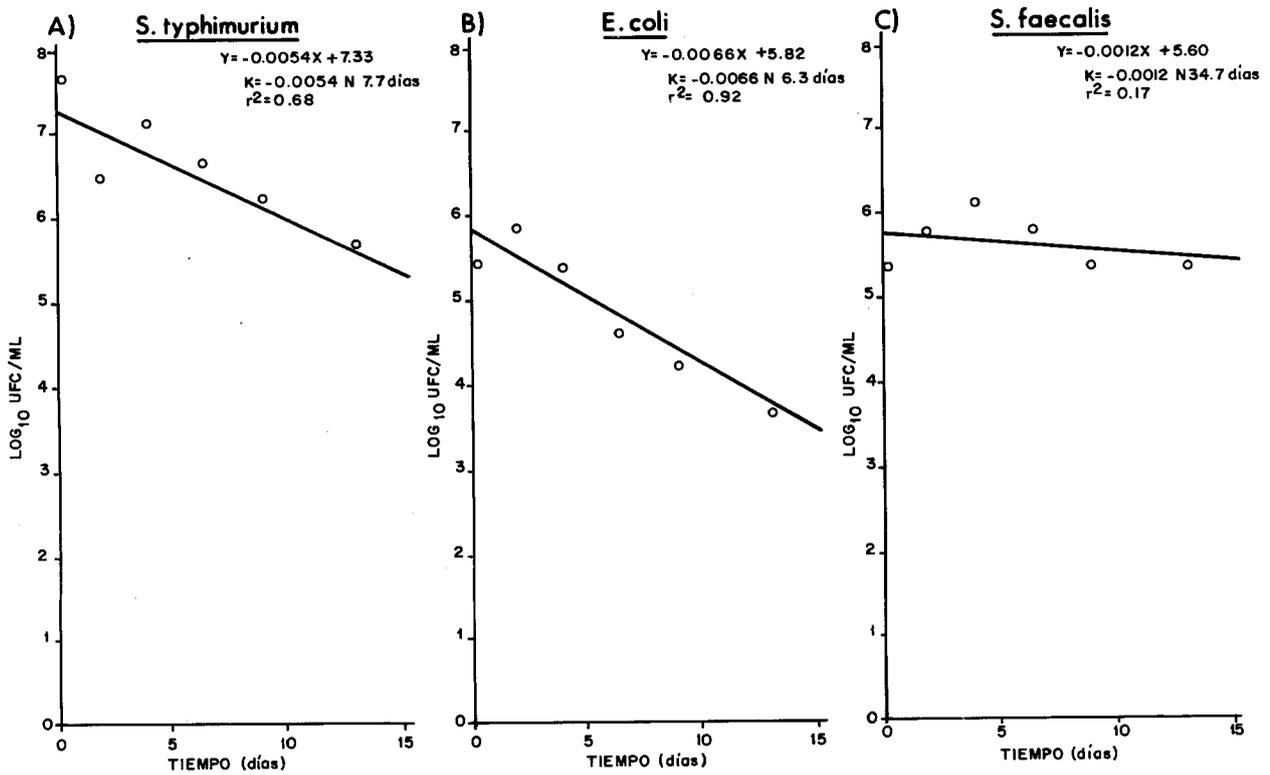
Familia	Género	Especie	Número de Serotipos	Excreción		Cultivo sobre células	Envuelta
				Orina	Heces		
<i>Picornaviridae</i>	Enterovirus	Virus polio	3	+	+	+	
		Virus Coxsackie A	23	?	+	+	
		Virus Coxsackie B	6	+	+	+	
		Virus Echo	32	?	+	+	
		Enterovirus nuevos	4	+	+	+	
		Virus de la hepatitis A	1	+	+	-	
<i>Réovirida</i>	Reovirus	Réovirus humanos	3	-	+	+	
	Rotavirus	Rotavirus humanos	3	-	+	-	
<i>Adenoviridae</i>	Mastadenovirus	Adénovirus humanos	34	+	+	+	
<i>Parvoviridae</i> o <i>Coliciviridae</i>	Parvovirus o Colicivirus	Agente de Norwalk	?	?	+	-	
<i>Papoviridae</i>	Papillomavirus	Papillomavirus	15	-	-	-	

Fuente: Matthes et al, 1988.

**Cuadro 8: Supervivencia de los virus en las aguas subterráneas y en el suelo**

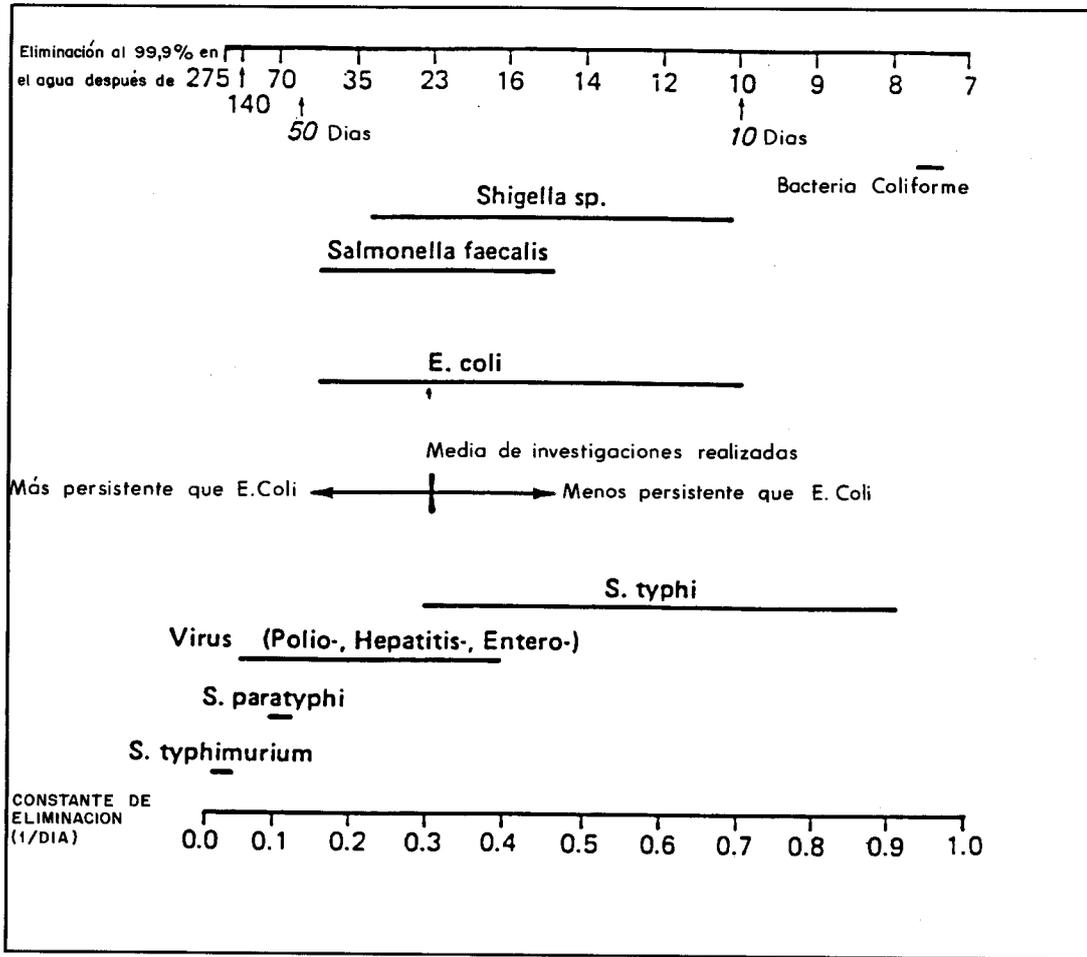
Virus	Aguas Subterráneas	Suelo
Virus en general	> = 28 días	—
Poliovirus	> = 250 días	91-175 días
Coxsackie A5, A14	> = 20 días	—
Colifagos X174, T4	> = 7 días	—
Enterovirus	—	15-25 días en suelo seco
Echovirus 1	—	21 días en suelo seco

Fuente: Benito de Santos, 1987.



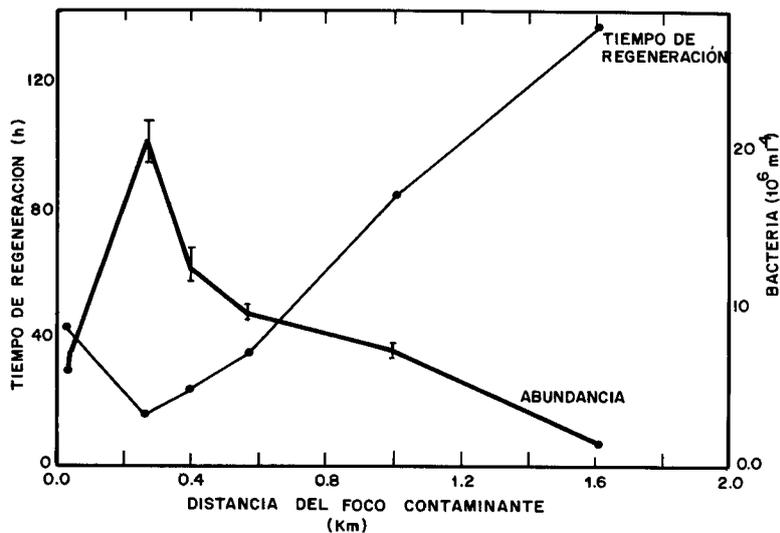
Fuente: Bitton et al. 1983

**Fig. 29 SUPERVIVENCIA DE VARIOS TIPOS DE BACTERIAS (*S. TYPHIMURIUM*, *S. FECALES* Y *E. COLI*) EN AGUAS SUBTERRANEAS. (K ES LA VELOCIDAD DE SEMIDESAPARICION DE LOS MICROORGANISMOS)**



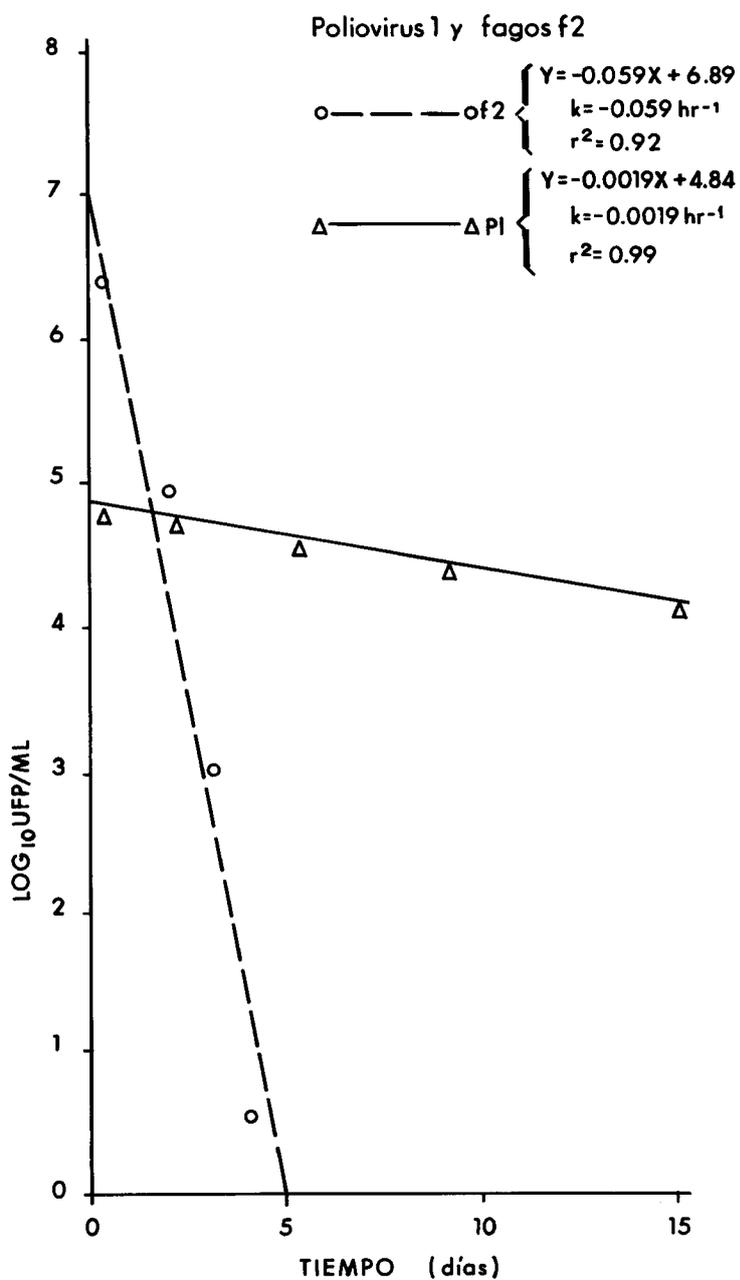
Fuente: Matthess, et al., 1985

Fig. 30 CONSTANTE DE ELIMINACION Y ELIMINACION AL 99,9% DE LAS PRINCIPALES BACTERIAS Y VIRUS EN EL AGUA SUBTERRANEA.



Fuente: Harvey y George, 1987

Fig. 31 VARIACION DEL CONTENIDO EN BACTERIAS Y DE SU TIEMPO DE REGENERACION EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS CON LA DISTANCIA DESDE UN FOCO CONTAMINANTE.



Fuente: Bitton et al, 1983

**Fig.32 SUPERVIVENCIA EN AGUAS SUBTERRANEAS DE DOS TIPOS DE VIRUS (Poliovirus 1 y bacteriófagos f2)**

## FACTORES QUE AFECTAN A LA SUPERVIVENCIA DE LOS MICROORGANISMOS

Se indica a continuación la influencia que los factores medioambientales tienen en los microorganismos.

**Nutrientes.** La ausencia de nutrientes actúa como factor limitante del desarrollo bacteriano, además en bacterias que compiten por un mismo nutriente, la de crecimiento más rápido suele desplazar al resto. En un estudio reciente del ITGE (Estudio metodológico de los procesos de contaminación bacteriológica de las aguas subterráneas. Aplicación a los acuíferos del Norte de España, 1990) se encuentra una correlación entre el contenido en bacterias y fósforo en el agua estudiada, no obteniendo sin embargo, relación alguna con el contenido en nitrógeno.

**Temperatura.** La temperatura influye de forma directa sobre la tasa metabólica bacteriana, aumentando ésta con la temperatura.

Temperatura (°C)	Tiempo de regeneración (horas)
0	18,4
6	7,0
12	2,7
25	0,77
30	0,69

Cada organismo tiene un margen de temperaturas en el cual es posible su vida y temperaturas superiores a éstas son letales al causar daños irreparables en su citoplasma. Las temperaturas por debajo del margen raramente causan la muerte de la bacteria pero provocan un estado "latente" en el cual no se multiplican.

Las bacterias parásitas del hombre encuentran en el agua subterránea un medio hostil, desapareciendo de forma más rápida al elevarse la temperatura, así los coliformes fecales desaparecen según una ley:  $C = C_0 e^{-KT}$ , variando el factor K con la temperatura de acuerdo con la fórmula  $K = K_{20^{\circ}\text{C}} 1,047^{(T^{\circ}\text{C}-20)}$ .

**Humedad.** Las bacterias se encuentran mejor en terrenos con cierta capacidad para retener la humedad y la mayor parte mueren rápidamente con la desecación. No obstante existen especies que mediante la formación de esporas son capaces de resistir condiciones de desecación (V.G. Clostridium s.p.).

**pH y potencial redox.** La mayoría de las bacterias crecen sólo entre pH 4 y 9, aunque el óptimo está entre 6,5 y 8,5 que corresponde al rango de pH de las aguas naturales.

El potencial redox del agua y de los sedimentos tienen también una gran importancia ecológica requiriendo los grupos bacterianos muy diferentes condiciones de óxido-reducción. Así las bacterias aerobias requieren más altos valores de Eh que las anaerobias. La actividad bacteriana puede modificar el potencial redox del agua, por ejemplo al variar su contenido en oxígeno.

**Luz.** La luz solar tiene efectos inhibidores sobre bacterias no pigmentadas influyendo factores tales como la intensidad de la radiación y la turbidez del agua. Los efectos de la luz se ven modificados por otros factores como la Tª.

**Presión hidrostática.** El gradiente de presión hidrostática es aproximadamente de una atmósfera cada 10 metros de profundidad. La mayor parte de las bacterias de suelos y aguas dulces no crecen a presiones superiores a doscientas atmósferas, aunque existen bacterias barofilas con óptimos cerca de las 500 atmósferas.

Experimentos realizados sobre E.Coli muestran que es capaz de sobrevivir perfectamente a sobrepresiones de 1.000 atmósferas.

No obstante estas elevadas presiones provocan cambios morfológicos, disminución de la movilidad y modificación en la multiplicación al alterar las características del ADN.

**Turbidez.** La turbidez del agua puede deberse a varias causas:

- Partículas finas de origen mineral
- Detritus constituidos por material inorgánico y orgánico
- Microorganismos

Las partículas orgánicas llevan una importante flora bacteriana y micótica en su superficie empleando la partícula como sustrato nutritivo. También las partículas minerales adsorben nutrientes en su superficie, encontrando allí los microorganismos un medio adecuado para su vida.

Puede constatar que cuando un aumento de turbidez lleva parejo un aumento del número de bacterias se debe a materia orgánica en suspensión, si el aumento de turbidez no influye o lo hace de forma escasa sobre el número de bacterias se debe a materia inorgánica.

**Materia inorgánica.** La salinidad (es decir, la presión osmótica) influye de forma considerable en el tipo de microorganismos que pueblan el agua, existiendo

óptimos en un amplio rango (desde bacterias halófilas estrictas, marinas, a bacterias de agua dulce que no soportan concentraciones mayores de un 1%).

En general las bacterias de agua dulce viven en un rango óptimo de 10 a 50 gr/l de sales.

En vertidos urbanos y lagos contaminados encontramos con frecuencia bacterias tolerantes a las sales (hasta 15-25%).

El amonio y nitrito juegan un papel importante en el suministro de energía a las bacterias nitrificantes, capaces de producir una desnitrificación bajo condiciones anaerobias.

Algunos metales pesados parecen tener un efecto bactericida, (Cu, Hg, Ag, etc).

**Gases.** La mayoría de los microorganismos acuáticos son anaerobios facultativos (se adaptan a condiciones de presencia o ausencia de oxígeno) y según parece las fluctuaciones del contenido de oxígeno no afectan de forma considerable a la vida de bacterias aerobias obligatorias, que sólo se verán frenadas en su desarrollo por presiones parciales de oxígeno muy bajas. Sin embargo algunos organismos microaerófilos son inhibidos por concentraciones altas de oxígeno.

Existe un grupo de bacterias que emplean el metano como fuente de energía, mediante procesos de oxidación; otras emplean el  $\text{SH}_2$  que es generalmente tóxico para el resto.

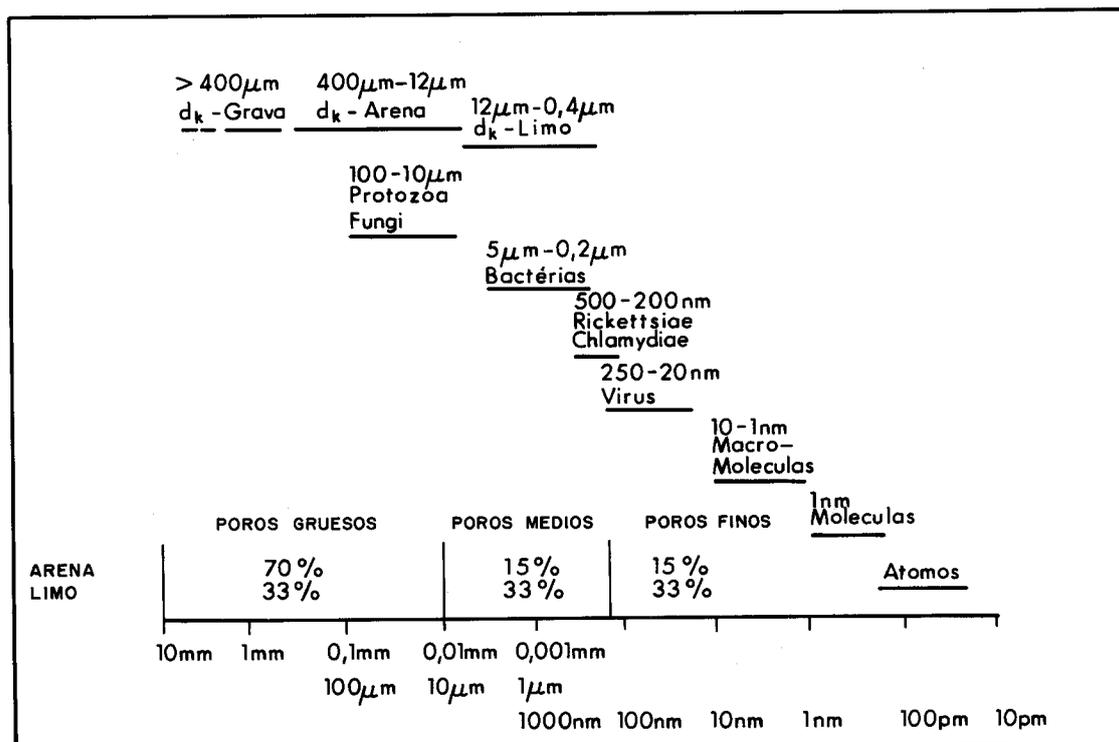
No debe olvidarse que las bacterias patógenas se encuentran en el suelo en un entorno extraño, donde existe un fuerte competencia con las pobladoras naturales de este medio, por ello la permanencia es mayor por ejemplo es suelos previamente esterilizados.

Al discurrir por el acuífero se producen fenómenos de filtración que pueden llegar a eliminar totalmente los contaminantes biológicos, (especialmente en el caso de helmintos que son de mayor tamaño, pero también bacterias y hongos). En la figura 33 se comparan los tamaños de bacterias, protozoos y hongos con el tamaño de grano de los materiales del acuífero.

Los factores que afectan a la infiltración y movimiento de las bacterias en el suelo (Crane and Moore, 1984) pueden resumirse en:

#### A) Características físicas del suelo

1. Textura
2. Distribución del tamaño de partículas
3. Tipo y contenido en arcillas



Fuente: Matthes et al, 1988

FIG. 33 COMPARACION Y TAMAÑO DE BACTERIAS, VIRUS Y MOLECULAS CON DIAMETROS EQUIVALENTES DE LOS POROS

4. Tipo y contenido de materia orgánica
5. Capacidad de intercambio catiónico
6. Distribución del tamaño de poro

La cofloculación de las bacterias con materia coloidal también puede aumentar la velocidad de filtración y sedimentación.

**B. Factores químicos y ambientales del suelo**

1. Temperatura
2. Contenido de humedad
3. Flujo de agua en el suelo
4. Tipo y concentración de iones en la solución del suelo
5. pH y potencial redox
6. Densidad y dimensiones de las bacterias
7. Naturaleza de la materia orgánica
8. Competencia con la microflora natural del suelo

Estudios realizados sobre el movimiento de bacterias en acuíferos contaminados ponen de manifiesto que dicho movimiento responde a un modelo de transporte coloidal. Bajo ciertas condiciones la movilidad de algunas bacterias puede aproximarse a la de un trazador conservativo, aunque influirán también factores tales como adsorción, filtración, muerte y competencia con otros organismos.

En el cuadro 9 están recogidos los factores que influyen con mayor peso en el movimiento y supervivencia de estos microorganismos.

**Cuadro 9: Factores que afectan al movimiento y supervivencia de los virus en el suelo**

**Movimiento de los virus**

Factor	Efecto
Tipo de suelo	Los de textura fina retienen mejor a los virus Oxidos de hierro aumentan la adsorción
pH	La adsorción aumenta cuando el pH disminuye
Cationes	La adsorción aumenta en presencia de cationes
Sustancias orgánicas	Competen con los virus en la adsorción
Tipos de virus	La adsorción varía con el tipo de virus
Velocidad de flujo	A mayor velocidad menor adsorción del virus al suelo
Flujo no saturado/flujo saturado	Los virus se mueven menos en flujo no saturado

**Supervivencia de los virus**

Factor	Efecto
Temperatura	Las altas temperaturas son perjudiciales
Deseccación	Los virus se reducen más en suelos secos
Luz solar	Perjudicial en la superficie
pH del suelo	Controla la adsorción de los virus al suelo
Cationes	Contribuyen a estabilizar los virus en el suelo
Textura del suelo	Las arcillas y sustancias húmicas aumentan la retención de los virus
Factores biológicos	No hay una tendencia clara

Fuente: Bitton y Gerba, 1984.

La dispersión es un mecanismo especialmente importante en la alteración del número de bacterias.

Los virus son fuertemente adsorbidos sobre materiales coloidales (menos sobre arenas), aumentando la adsorción al disminuir el pH. El contenido en cationes disminuye la movilidad de los virus.

Los virus así retenidos lo son de modo reversible de forma que una variación del pH, una fuerte lluvia etc., pueden removerlos provocando episodios de fuerte incremento en su concentración no relacionados con un hecho contaminante concreto.

Un elevado contenido en materia orgánica aumenta la permanencia de microorganismos en el agua, incluso puede permitir su reproducción, de hecho las

bacterias, por ejemplo, no suelen encontrarse libres en el agua sino que suelen estar agrupadas alrededor de materia orgánica en suspensión que les sirve como sustrato.

La presencia de ciertos contaminantes, como metales pesados (que impiden el desarrollo bacteriano), detergentes (que provocan la inactivación de virus), etc., también deberá ser tenida en cuenta.

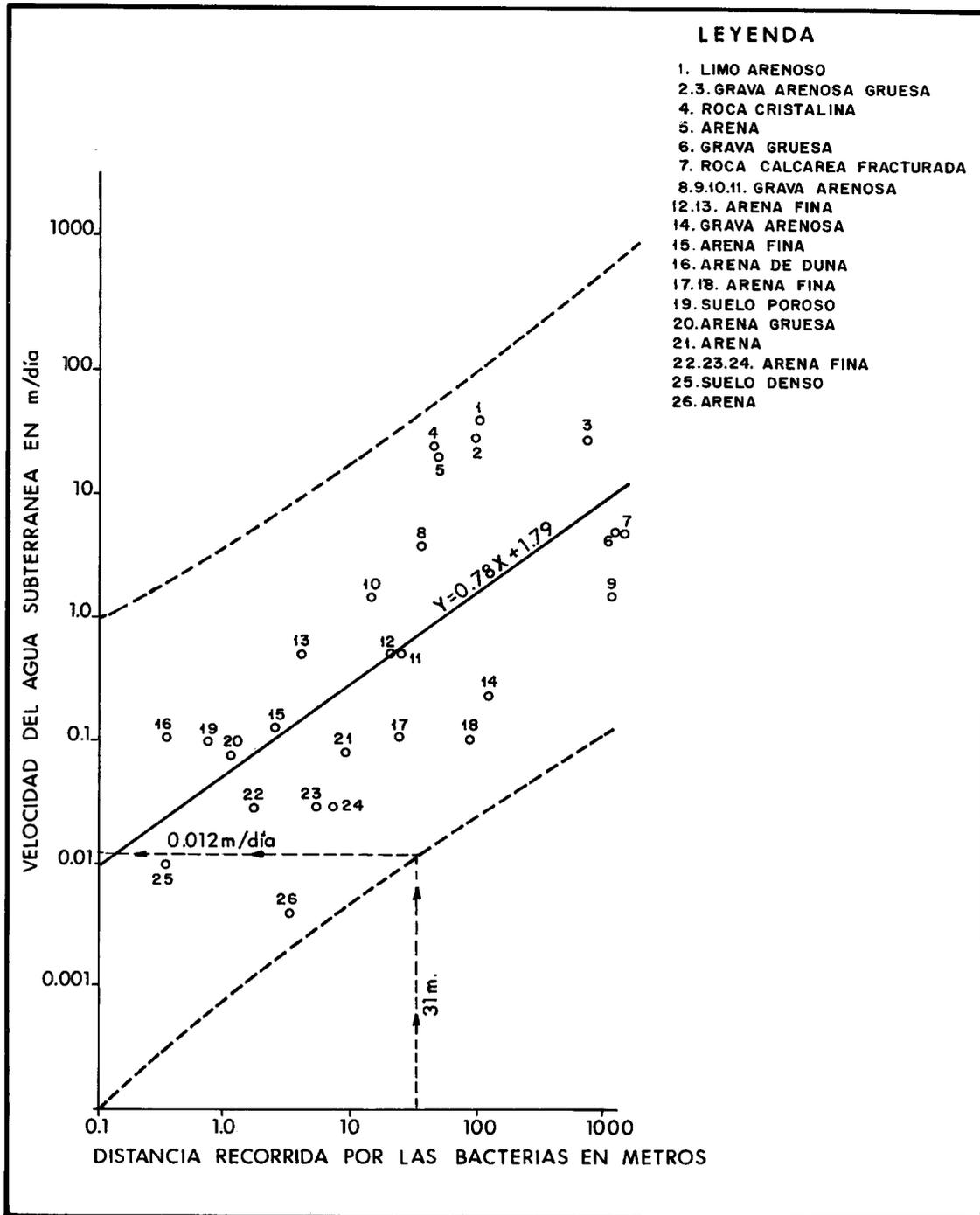
En los cuadros 10 a 12 y figuras 34 a 36 se cuantifica la importancia de alguno de los factores estudiados.

La figura 36 es especialmente importante, en ella se muestra como la distancia que las bacterias pueden recorrer es muy variable y está directamente relacionada con el tipo de materiales.

**Cuadro 10: Constantes de inactivación de virus en aguas subterráneas a  $10 \pm 1^\circ\text{C}$  durante un tiempo de observación de 260 días**

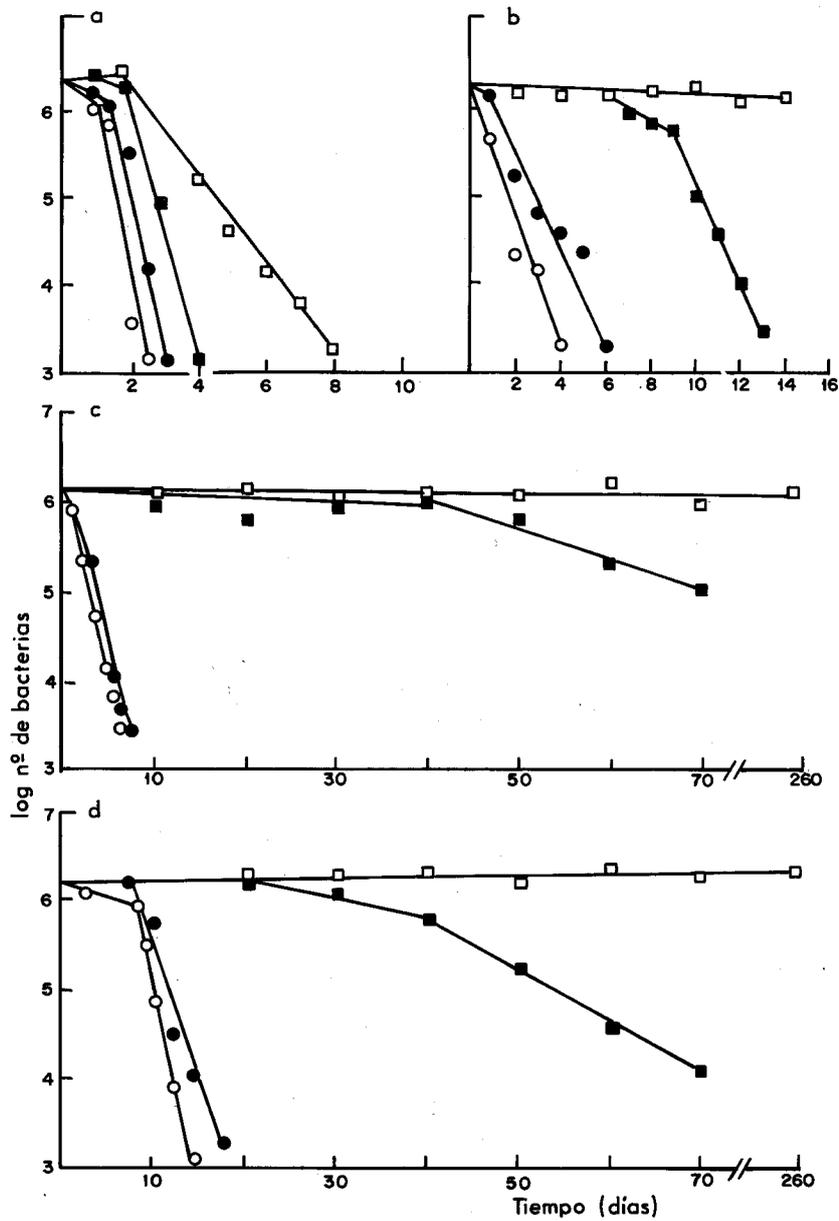
Condiciones	Virus			
	Coxsackie B1	Coxsackie A9	Echo 7	Polio 1
Agua subterránea no tratada	0,0186	0,0265	0,0186	0,0129
Agua subterránea desionizada	0,0401	0,0314	0,0382	0,0322
Agua subterránea en autoclave	0,0123	0,0189	0,03220	0,0103
Agua subterránea en autoclave + arena gruesa	0,00927	0,0301	0,0123	0,0163
Agua subterránea en autoclave + arena media	0,0146	0,0311	0,0175	0,0276
Agua subterránea en autoclave + arena fina	0,0084		0,0157	0,0177

Fuente: Matthes et al, 1982.

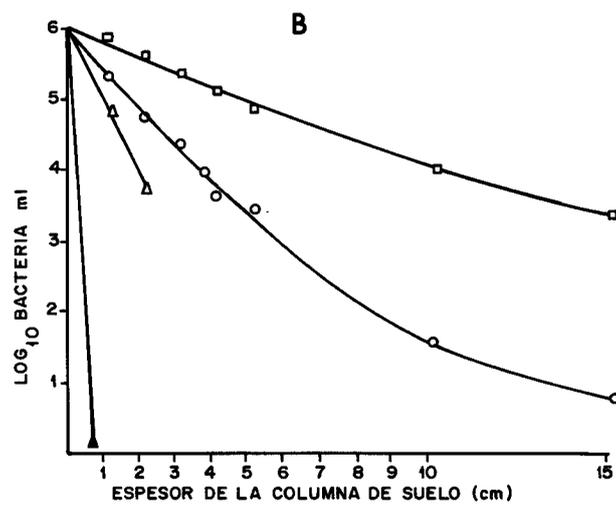
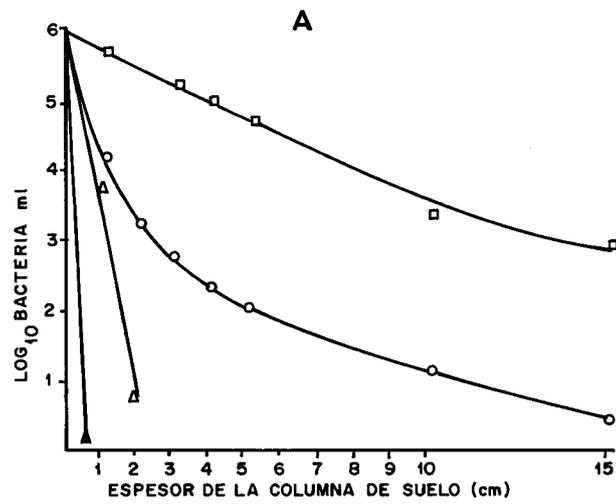


Fuente: Mac Ginnis, 1983

**Fig. 34** DISTANCIA RECORRIDA POR LAS BACTERIAS EN MEDIO SATURADO



**Fig. 35 SUPERVIVENCIA DE ESCHERICHIA COLI EN AGUA DE RIO.**



**LEYENDA**

- SUELO ARENOSO
- MARGA ARCILLO-ARENOSA
- △ ARCILLA NEGRA
- ▲ ARCILLA

Fuente: Weaver et al., 1978, en Crane and Moore, 1984

**Fig.36 DISMINUCION DEL NUMERO DE BACTERIAS (ESCHERICHIA COLI (A) Y STREPTOCOCOS FECALES(B)) CON LA PROFUNDIDAD EN SUELOS ARENOSOS Y ARCILLOSOS.**

**Cuadro 11: Influencia del contenido en materia orgánica - Adsorción de poliovirus 2 por los suelos y minerales**

	pH	Carbono orgánico (mg/g)	Capacidad de adsorción del poadma (mg/m <sup>2</sup> )	% Adsorción Poliovirus Vaccinal	
				Media	Mínima
Tierra Arcillosa	7,6	16	1,1	75	43
Turba	7,2	200	14	79	16
Oxido de hierro hidratado	7,1	0	0,0005	99,99	99,99
Magnetita	8,9	0,4	0,06	99,98	99,94

Fuente: Matthes et al, 1988.

**Cuadro 12: Influencia del tipo de virus, profundidad de infiltración de enterovirus en una columna de arena 1% de virus recuperados**

Profundidad (cm)	Polio 1	Echo 7	Cox A9	Cox B1
1	26,08	58,70	7,55	30,03
2	55,05	22,30	13,60	30,00
3	14,49	10,55	28,71	30,00
4	2,61	5,86	29,00	7,9
5	1,45	1,05	15,77	1,42
6	0,26	1,05	2,87	0,30
7	0,03	0,22	0,75	0,14
8	0,026	0,1	0,75	0,08
9	0,014	0,1	0,70	0,003
10	0,003	0,06	0,29	0,001
11	< 0,0001	0,0001	0,25	0,0001

Fuente: Dizer et al, 1985.

En el caso de acuíferos kárstico o fisurados, donde se produce una rápida circulación del agua, la mayor parte de los fenómenos depuradores anteriormente citados no existen o se dan de forma atenuada, no existe apenas filtración, el tiempo de tránsito es mucho menor impidiendo que de tiempo a la actuación de otros factores. En estos acuíferos se observa como el contenido en bacterias en el agua subterránea se encuentra estrechamente ligado a la turbidez, debido a que las características del flujo del agua influyen considerablemente en los procesos de sedimentación-movilización; así puede verse, como tras una fuerte lluvia aumentan considerablemente las bacterias en agua (arrastre desde superficie mas remoción de las sedimentadas en los huecos o fracturas), incluso fuertes bombeos tienen este efecto.

A este respecto estudios realizados en el ITGE muestran como la velocidad de percolación influye notablemente sobre el contenido de microorganismos en el agua, debido sin duda a que una mayor velocidad implica una mayor facilidad para mover bacterias que de otra forma permanecerían sedimentadas.

En conclusión puede decirse que la zona próxima o de restricciones máximas permite (cuando es diseñada según criterios de tiempo de tránsito) una depuración adecuada del agua dando un valor a este criterio de 50-60 días, pues no sólo se depura por la cinética normal de eliminación o inactivación, sino que también intervienen otros factores. Los medios kársticos o fisurados suponen un problema especial por sus características cinéticas.

## 6.2. Perdurabilidad de la contaminación química

La contaminación química, al igual que la biológica, se ve afectada al atravesar el acuífero por procesos capaces de modificar, tanto su concentración inicial, como su naturaleza. En el capítulo 7.3. se explican los procesos implicados en la degradación de los compuestos químicos, a título de ejemplo en el cuadro 13.1. se resumen para varias sustancias, cuya presencia es frecuente en el agua subterránea, los valores de permanencia. En alguna de ellas, la vida media es muy elevada, así por ejemplo, el pesticida DBC perdura 10 semanas en la zona no saturada, aumentando a 10 años en la saturada.

La movilidad de los diferentes contaminantes químicos depende básicamente de su naturaleza y condiciones del medio que les rodea, por su importancia se analizan tres casos:

- *Metales pesados*: Su mayor o menor movilidad va a depender de los aniones presentes en el medio

con los que combinarán formando compuestos más o menos solubles (carbonatos, sulfatos, hidróxidos, cloruros, sulfuros, etc). También forman complejos con los ácidos húmicos quedando retenidos de forma irreversible.

Las arcillas, hidróxidos y ácidos húmicos pueden retener metales mediante procesos de adsorción y de intercambio iónico, procesos estos que presentan una cierta selectividad:

Los hidróxidos de hierro fijan preferentemente: Zn, Cu, Pb, Hg, Cr.

Los hidróxidos de aluminio: Cu, Ni, Co, Cr, Mo.

Las arcillas: Zn, Cu, Pb y Hg.

A su vez estos metales pueden ser desorbidos por otros iones competidores.

Variaciones en Tª, pH, Eh, etc, influyen notablemente en la dinámica de estos procesos.

Todos estos fenómenos tienen como resultado un doble efecto, por un lado los metales son retenidos de forma que su concentración disminuye en el agua subterránea, por otro cuando se trata de fenómenos reversibles se produce un retardo en el paso del contaminante a través del acuífero, viajando a menor velocidad que el agua.

- *Hidrocarburos*: Su origen es muy diverso, pero prácticamente siempre ligado a actividades urbanas o industriales. En un primer momento y antes de infiltrarse en el terreno se pierden gran parte de sus compuestos volátiles, siendo posteriormente la dilución (en pequeña medida) y principalmente la degradación bacteriana, los responsables de su desaparición.

El movimiento de estas sustancias en el subsuelo va a estar muy ligado a su viscosidad (frecuentemente elevada), su miscibilidad con el agua (generalmente muy baja) y la forma en que fueron vertidas (en especial cuando se vierten como emulsión en agua lo que facilita su transporte).

Como generalmente son menos densas que el agua se sitúan sobre la superficie de ésta, extendiéndose posteriormente; variaciones en el nivel piezométrico tienen como efecto que puedan llegar a lugares bastante profundos de la zona saturada.

- *Plaguicidas*: En el transporte tendrá vital importancia su solubilidad en agua (Cuadro 13.1) siendo más rápidamente transportados aquellos cuya solubilidad sea elevada. Los fenómenos de adsorción pueden llegar a retener algunos de

forma completa pero será la degradación bacteriana el factor predominante en su eliminación. La degradación del pesticida no siempre conduce a un compuesto menos tóxico, al contrario, es frecuente que se produzcan activaciones

que den lugar a productos más peligrosos que la sustancia madre.

En el cuadro 13.2. se ven los procesos químicos que sufren en el suelo los principales elementos implicados en procesos contaminantes.



**Cuadro 13.1: Persistencia de sustancias orgánicas en el suelo y en el agua subterránea**

**Sustancias orgánicas**

**Vida media estimada (años)**

	En el agua subterránea	En los suelos
<i>- Hidrocarburos</i>		
Benceno		1
Tolueno		0.3
Xileno		0.3
Etilbenceno		0.3
C <sub>3</sub> Benceno		0.6
Naftaleno		0.6
<i>- Hidrocarburos halogenados</i>		
Diclorometano		10
Triclorometano		2
1,1,1, Triclorometano		1
Diclorobenceno		1
<i>- Pesticidas * (Baja solubilidad en agua)</i>		
Chlordano		2 a 4
DDT		3 a 10
Dieldrin		1 a 7
Heptachloro		7 a 12
Toxapheno		10
DDVP		0.047 (17 días)
Methyl demeton S		0.071 (26 días)
Thimet		0.005 (2 días)
<i>- Pesticidas ** (Alta solubilidad en agua)</i>		
EDB	5.8	0.04-0.35 (2-18 semanas)
DBCP	28.5 a 140	0.2 (10 semanas)
Aldicarb	0.2 a 12.5	0.08-0.15 (4-8 semanas)
Atrazina	0.2 a 2	0.08-11 (4-57 semanas)
Carbofurano	0 a 1	0.02-0.7 (1-37 semanas)

Fuente: \* Matthes et al, 1985.

\*\* Cohen et al, 1984.

**Cuadro 13.2: Componentes y procesos químicos en el suelo**

Elemento	Símbolo	Soluta	Cambio iónico		Proceso químico en el suelo				
			Catiónico	Aniónico	Redox		Precipitados insolubles más comunes	Adsorción específica	Complejos insolubles orgánicos
					Forma oxidada	Forma reducida			
<b>GRUPO PRIMERO</b>									
Litio	Li	Li <sup>+</sup>	O-I				Ninguno	No	No
Sodio	Na	Na <sup>+</sup>	O-I				Ninguno	No	No
Nitrógeno	N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	O-I		NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	Ninguno	M, I, V (m)	No
Potasio	K	K <sup>+</sup>	O-I				Ninguno	M, I, V (m)	No
Rubidio	Rb	Rb <sup>+</sup>	O-I				Ninguno	M, I, V (m)	No
Cesio	Cs	Cs <sup>+</sup>	O-I				Ninguno	M, I, V (m)	No
Magnesio	Mg	Mg <sup>2+</sup>	O-I				P, C, Sf	No	d
Calcio	Ca	Ca <sup>2+</sup>	O-I				P, C, Sf	No	d
Estroncio	Sr	Sr <sup>2+</sup>	O-I				P, C, Sf	No	d
Bario	Ba	Ba <sup>2+</sup>	O-I				P, C, Sf	No	d
<b>GRUPO SEGUNDO</b>									
Cloruro	Cl	Cl <sup>-</sup>	O-I					No	No
Nitrógeno	N	CN <sup>-</sup>	O-I				{ NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> N <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	Ninguno	No
Nitrógeno }	N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	O-I					Ninguno	No
Azufre }	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	O-I				{ S <sub>2</sub> S <sub>2</sub> <sup>-</sup> S <sup>2-</sup> , SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Cationes divalentes	Hf (d)
Selenio	Se	SeO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	O-I		SeO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cationes divalentes, Fe <sup>2+</sup>	Hf (d)	No
<b>GRUPO TERCERO</b>									
Fluor	F	F <sup>-</sup>	O-I				CaF <sub>2</sub>	Hf, Ha (i)	No
Fósforo	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	O-I				(Fe, Al, Ca) P	Ma, Hf, Ha (i)	No
Fósforo }	P	Poli-P, Meta-P	O-I					Ma, Hf, Ha (i)	No
Arsénico	As	H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	O-I				Coppta, con (Fe, Al, Ca) P	Ma, Hf, Ha (i)	No
Silice	Si	Si (OH) <sub>4</sub>	O-I				(Fe, Al, SiO <sub>2</sub> )		No
Molibdeno	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	O-I				Coopta con (Fe, Al, Ca) P	Ma, Hf, Ha (i)	No
Boro	B	B (OH) <sub>3</sub>						Hf, Ha (d)	No
Carbón	C	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>					CaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub>		No
<b>GRUPO CUARTO</b>									
Aluminio	Al	Al <sup>3+</sup> , Al (OH) <sub>3</sub> <sup>+</sup>	O-I						
Berilio	Be	Be (OH) <sub>2</sub> <sup>+</sup>	O-I				H, P		m
Vanadio	V	VO <sub>2</sub>	O-I				H		
<b>GRUPO QUINTO</b>									
Hierro	Fe	Fe <sup>2+</sup>	O-I			Fe <sup>2+</sup>	H, P, C, Sf, Sr	Ma, O (i)	i
Manganeso	Mn	Mn <sup>2+</sup>	O-I			Mn <sup>2+</sup>	H, Sr	Ma, O (i)	m
<b>GRUPO SEXTO</b>									
Plata	Ag	Ag <sup>+</sup>	O-I				Ag, Cl, Sr	I-O (i)	i
Plomo	Pb	Pb <sup>2+</sup>	O-I				H, Sf, C, Sr	I-O (i)	i
Mercurio	Hg	Hg <sup>2+</sup>	O-I				HgO, Sr	I-O (i)	i
Cadmio	Cd	Cd <sup>2+</sup>	O-I				Coppt (Fe, Al), H	I-O (i)	i
Cinc	Zn	Zn <sup>2+</sup>	O-I				Coppt (Fe, Al), H	I-O (i)	i
Cobre	Cu	Cu <sup>2+</sup>	O-I				Coppt (Fe, Al), H	I-O (i)	i
Níquel	Ni	Ni <sup>2+</sup>	O-I				Coopt (Fe, Al), H	I-O (i)	i
Cobalto	Co	Co <sup>2+</sup>	O-I				Coopt (Fe, Al), H	I-O (i)	i
Cromo	Cr	Cr <sup>2+</sup>	O-I				Coopt (Fe, Al), H	I-O (i)	i
<b>GRUPO SEPTIMO</b>									
		Orgánico no descompuesto						I (i)	
		Orgánico macromoléculas							
		Orgánico no polar							
		Orgánico polar							
		Orgánico catiónico	O-I					I (d)	
		Orgánico aniónico		O-I				I (i)	
		Orgánico quelatos metálicos						I-O	
<b>Notas:</b>	I: Componentes inorgánicos del terreno O: Componentes orgánicos del terreno d: Interacción débil m: Interacción moderada i: Interacción intensa			P: Fosfato C: Carbonato Sf: Sulfato Sr: Sulfuro H: Hidróxido		M: Mica I: Illita V: Vermiculita Mt: Montmorillonita Ma: Minerales arcillosos		Ha: Hidróxido de aluminio Hf: Hidróxido de hierro	

Fuente: FAO, 1975.

## 7. PERIMETROS DE PROTECCION

### 7.1. Protección de la calidad

#### 7.1.1. Criterios para la delimitación de perímetros

Para proceder a la delimitar un perímetro de protección, debe elegirse previamente en base a qué criterios se va a definir, puesto que los objetivos que se pretenden obtener, variarán en función de éste. Los empleados usualmente son los siguientes:

- Evitar que debido al bombeo en la captación se produzcan variaciones en el flujo del agua subterránea en las inmediaciones de ésta que puedan provocar la llegada de sustancias indeseables a la misma (distancia, descenso).
- Asegurar que la contaminación será inactivada en el trayecto entre el punto de vertido y su lugar de extracción (poder autodepurador del terreno, tiempo de tránsito, distancia).
- Proporcionar un tiempo de reacción que permita el empleo de otras fuentes de abastecimiento alternativas, hasta que se reduzca a niveles tolerables el efecto de una contaminación (tiempo de tránsito).
- Garantizar la protección de la calidad de las aguas subterráneas en la totalidad del área de alimentación de una captación (criterios hidrogeológicos).

En la cuadro 14 se relacionan los cinco criterios existentes con el proceso físico que controlan. Se analizará detalladamente cada uno de ellos:

**Cuadro 14: Relación entre los criterios que pueden emplearse en la delimitación de perímetros de protección y los procesos físicos que controlan**

Criterio	Distancia	Descenso	Tiempo de tránsito	Criterios hidrogeológicos	Poder autodepurador del terreno
Proceso físico					
Advección		X	X	X	
Dispersión hidrodinámica (dispersión mecánica y difusión molecular)			X		X
Interacción sólido-soluto (Reacciones químicas de adsorción)			X		X

Fuente: EPA, 1987.

### A. Distancia

Consiste en delimitar un área definida por un círculo con centro en la captación.

Su tamaño es una decisión arbitraria del organismo encargado del control de la calidad de las aguas subterráneas, si bien éste define frecuentemente sus dimensiones como una media de las obtenidas al aplicar en diferentes casos otros criterios más complejos.

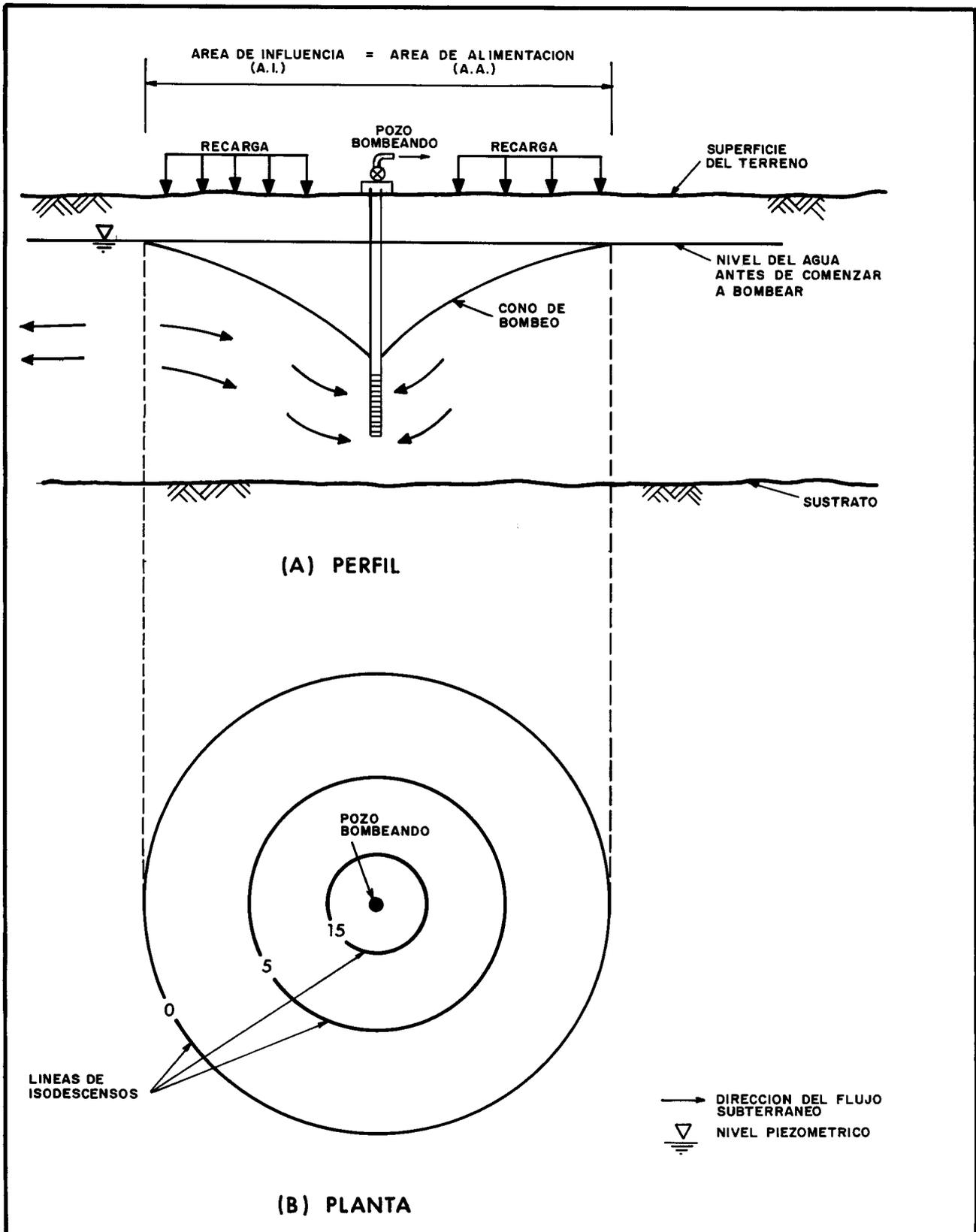
Es el más elemental de los existentes, pudiendo valorarse como poco eficaz, puesto que no incorpora ninguna consideración sobre las condiciones de flujo del agua subterránea, ni respecto a los procesos implicados en el transporte de los contaminantes en cada caso particular.

### B. Descenso

Este criterio se basa en considerar que en el área en la cual desciende el nivel del agua subterránea, debido al efecto del bombeo, se producen cambios en la dirección del flujo subterráneo y un aumento de la velocidad con la que el agua llega a la captación, debido al incremento del gradiente hidráulico, produciendo o acelerando la migración del contaminante hacia ella.

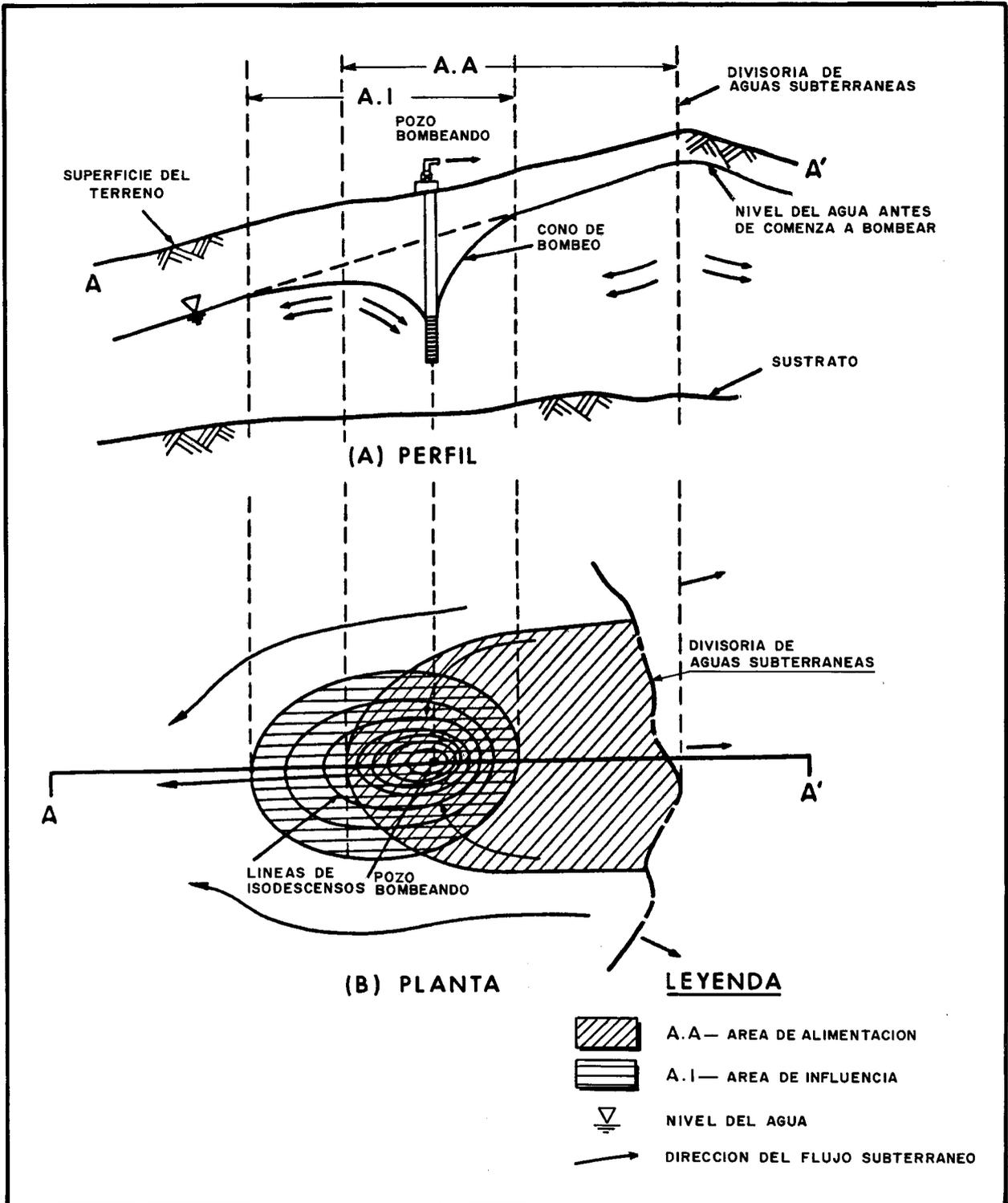
Ha sido mal aplicado en numerosas ocasiones debido a la idea errónea de que el área de alimentación y el área de influencia coinciden. Esto sólo es cierto en aquellas zonas en las cuales antes de comenzar a bombear no haya gradiente hidráulico o éste sea despreciable (Figura 37).

En la figura 38 puede observarse como difieren ambas cuando sí se considera su existencia. En este caso, que es el más habitual en la práctica totalidad de



Fuente: EPA, 1987

**Fig. 37** AREA DE INFLUENCIA Y AREA DE ALIMENTACION EN UN ACUIFERO SIN GRADIENTE HIDRAULICO EN REGIMEN ESTACIONARIO Y CON PRECIPITACIONES ELEVADAS.



Fuente: Modificado de EPA, 1987

Fig. 38 AREA DE INFLUENCIA Y AREA DE ALIMENTACION EN UN ACUIFERO CON GRADIENTE HIDRAULICO EN REGIMEN ESTACIONARIO.

las situaciones, no toda el área de influencia queda englobada en el área de alimentación y por otra parte la contaminación producida fuera del área de influencia, pero dentro del área de alimentación, podrá alcanzar la captación en un período de tiempo variable, que es función de la distancia a la misma.

### **C. Tiempo de tránsito**

Mediante este criterio se evalúa el tiempo que un contaminante tarda en llegar a la captación que se pretende proteger.

Los cálculos para la determinación del tiempo de tránsito se realizan considerando principalmente el proceso de advección, que es el más conocido y el que tiene mayor importancia en acuíferos con alta velocidad de flujo, si bien también tienen en cuenta la dispersión hidrodinámica y la interacción sólido-soluto, que adquieren mayor relevancia en aquellos acuíferos en los que la velocidad de flujo es menor.

Es uno de los criterios más exactos que existen puesto que considera diversos factores que afectan a la evaluación del proceso.

En definitiva, el objetivo que se pretende con su aplicación es definir zonas alrededor de las captaciones con la suficiente amplitud para que el resultado de una actividad contaminante tarde en llegar a la misma un tiempo determinado que permita su degradación, o proporcione una capacidad de reacción que haga posible un cambio temporal en la fuente de suministro a la población, hasta que la degradación de la calidad de las aguas extraídas disminuya a límites aceptables.

La mayor parte de los países han escogido como criterio para definir la zonación del perímetro un tiempo de tránsito de 1 día en la zona inmediata, 50-60 días en la zona próxima y 10 años en la zona alejada en función de la degradabilidad de los agentes contaminantes (ver capítulo 6).

### **D. Criterios hidrogeológicos**

Su elección se fundamenta en la asunción de que una contaminación que se produjese en el área de alimentación de una captación podría alcanzarla transcurrido un cierto período de tiempo, por lo que debe delimitarse ésta y protegerla en su totalidad.

Se trata por tanto de identificar los límites hidrogeológicos que delimitan el área en la cual el agua procedente de la precipitación después de infiltrarse podría llegar a alcanzar la captación. Estos son de diversos tipos, pudiendo actuar como tales ríos, canales, lagos, divisorias piezométricas, materiales impermeables, etc.

La aplicación de este criterio va a implicar la protección de un área mayor de la necesaria, por lo que se utilizará principalmente al realizar una primera determinación del perímetro, especialmente en los acuíferos constituidos por materiales kársticos y rocas fracturadas que poseen elevadas velocidades de flujo. Su empleo es también muy usual en acuíferos pequeños, en los que el tiempo de tránsito hasta los límites es muy reducido, por lo que disminuye notablemente el área sobreprotegida que su aplicación implicará.

En cualquier caso es sumamente recomendable su utilización en conjunción con otros criterios tanto para valorar si los límites hidrogeológicos existentes van a restringir su utilización como para modificar cuando sea preciso los resultados que éstos puedan proporcionar.

### **E. Poder autodepurador del terreno**

Consiste en utilizar la capacidad que poseen los diferentes terrenos para atenuar la concentración de los contaminantes que los atraviesan como criterio para definir la extensión de éstos que debe recorrer un agua contaminada hasta alcanzar una calidad admisible para el consumo humano.

En esta capacidad depuradora del terreno intervienen procesos físicos, químicos y biológicos que actúan de modo diferente para cada contaminante, por lo cual deben realizarse experiencias previas que permitan evaluarlos convenientemente.

El estudio requerirá el análisis detallado del perfil edafológico, textura, estructura, composición mineralógica, porosidad, así como las características propias de cada contaminante que sea preciso considerar.

### **ELECCION DEL CRITERIO**

Para elegir entre los criterios anteriormente expuestos el que interesa utilizar en cada caso se debe tener en cuenta consideraciones técnicas así como el impacto socioeconómico que planteará su aplicación.

Por lo que respecta a los aspectos técnicos en el cuadro 15 se refleja dicha selección en función del análisis de los siguientes conceptos:

- **Facilidad de aplicación.** Indica si su empleo requiere una capacidad técnica mayor o menor. No debe representar un problema al suponerse que los organismos encargados de su realización poseen personal técnico lo suficientemente cualificado.

**Cuadro 15: Valoración de los criterios utilizados en la delimitación de los perímetros de protección en función de consideraciones técnicas**

Consideraciones técnicas	Facilidad e aplicación	Facilidad de cuantificar	Adaptable a cambios	Facilidad de verificación	Capacidad de considerar el poder autodepurador del terreno	Concordancia con el modelo hidrogeológico general	Capacidad de considerar procesos físicos	Clasificación (1a 5)
Criterio	B/M/A	B/M/A	B/M/A	B/M/A	B/M/A	B/M/A	B/M/A	
Distancia	A	A	A	A	N/A	B	B	1
Descenso	M	A	B	A	N/A	A	B	2
Tiempo de tránsito	M	M	B	B	M	A	A	5
Criterios hidrogeológicos	M	N/A	A	A	N/A	M-A	M	3
Poder autodepurador del terreno	B	B	A	B	A	M-A	M	3

B: Bajo  
M: Medio  
A: Alto  
N/A: No aplicable  
**A** Criterio seleccionado

NOTA: Clasificación (1-5):

1 Mínima puntuación  
5 Máxima puntuación

Fuente: EPA, 1987.

- **Facilidad de cuantificar.** Conlleva la posibilidad de utilizar métodos matemáticos en su aplicación.
- **Adaptable a cambios.** Consiste en evaluar si es posible adaptarlo a modificaciones que se produzcan en el futuro, como por ejemplo variaciones en el régimen de bombeo.
- **Facilidad de verificación.** Indica si sus resultados pueden ser comprobados directamente en el propio terreno mediante estudios de detalle.
- **Capacidad de considerar el poder autodepurador del terreno.** Se trata de evaluar con qué fiabilidad refleja las características intrínsecas del terreno.
- **Concordancia con el modelo hidrogeológico general.** Al considerar este concepto se pretende valorar si las asunciones que debieron realizarse al aplicar el criterio son admisibles respecto a las consideraciones hidrogeológicas regionales.
- **Capacidad de considerar procesos físicos.** Refleja si el criterio elegido incorpora los procesos físicos envueltos, los cuales ya fueron señalados previamente (ver cuadro 14).

El cuadro 15 se realizó evaluando el criterio empleado en 900 casos reales, en su mayoría correspondientes a acuíferos libres en medios porosos en EE.UU., y se obtuvo que el criterio mejor valorado al realizar dicho análisis es el tiempo de tránsito.

Cuando la aplicación de la metodología propuesta en esta guía permita disponer de suficientes perímetros de protección en territorio español deberá ser revisado para comprobar su fiabilidad en nuestro país, así como para otros acuíferos distintos de los aquí utilizados.

En el apartado 7.1.3. se indican los métodos que pueden ser utilizados en función del criterio elegido y se analizan los diferentes factores (consideraciones técnicas y económicas) que deben considerarse en dicha elección.

### 7.1.2. Métodos para la delimitación del perímetro

En este apartado se analizarán detalladamente los diversos procedimientos existentes para calcular el perímetro de protección.

Los factores a considerar en su elección se desarrollan en el apartado 7.1.3.

#### 7.1.2.A. Radio fijado arbitrariamente

Es el método más simple de los existentes. El perímetro de protección que se obtiene al utilizarlo es el constituido por el área definida por un radio con centro en la captación que pretende protegerse.

El tamaño que debe tener dicho radio es una decisión arbitraria, si bien suele escogerse en base a las dimensiones que tiene el obtenido al usar métodos más complejos en otras captaciones del área estudiada.

Así por ejemplo en algunas ocasiones se ha empleado una media de las distancias que corresponden a un tiempo de tránsito determinado obtenido por alguno de los procedimientos que se verán posteriormente.

Este método fue muy utilizado en el dimensionado de los perímetros de protección de captaciones de aguas minerales, puesto que la legislación definía éste como el constituido por un cuadrado de 300 metros de lado con centro en la captación (R.D. Ley de 26 de Abril de 1929).

La protección frente a la degradación de la calidad que proporcionan los perímetros definidos en base a dicha legislación es en numerosas ocasiones insuficiente, por lo que deberían revisarse aplicando, cuando se considere preciso, otros métodos más complejos.

En la actualidad este método es aún muy utilizado en la definición de la zona inmediata o de restricciones absolutas (ver apartado 3.1) y se usa también en numerosos países para disponer en todas las captaciones de un perímetro de protección mientras se realizan estudios técnicos para su determinación de una forma más precisa.

#### 7.1.2.B.1. Radio fijo calculado (R.F.C.)

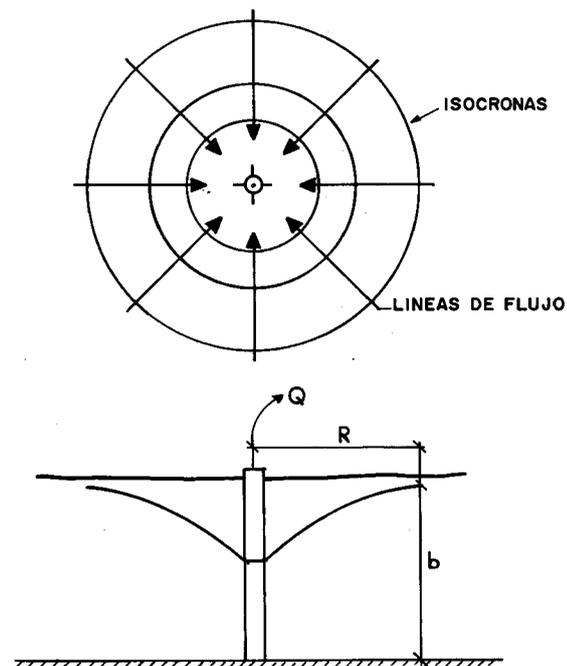
En este caso el radio que define el perímetro propuesto se obtiene mediante una ecuación en la que se utiliza como criterio el tiempo de tránsito o el descenso del nivel piezométrico.

Se analizarán ambas posibilidades:

### 7.1.2.B.1.1. Función del tiempo de tránsito

La ecuación empleada (Ec. volumétrica) calcula el volumen de agua que llegará a la captación en un tiempo determinado, que será el considerado necesario para eliminar o disminuir la contaminación hasta un nivel admisible.

Se supone que la captación es el único drenaje del acuífero, y no existen direcciones privilegiadas de flujo, convergiendo en el pozo todas las líneas de corriente. Las líneas isocronas son círculos concéntricos con centro en la captación. (ver figura 39).



Fuente: Elaboración propia

FIG. 39 LINEAS DE FLUJO Y CONO DE DESCENSO EN UN POZO DE BOMBEO

La ecuación volumétrica es la siguiente:

$$Qt = m_e H \pi R^2$$

$$H \pi R^2 = \text{Volumen total del cilindro}$$

$$m_e H \pi R^2 = \text{Volumen de agua contenido}$$

Por lo tanto:

$$R = \sqrt{\frac{Qt}{m_e H \pi}} \quad (1)$$

Siendo:

$Q$  = caudal bombeado

$t$  = tiempo de tránsito hasta la captación

$m_e$  = porosidad eficaz del acuífero

$H$  = espesor saturado en la captación

$R$  = radio del perímetro de protección

Este método fue aplicado para determinar el perímetro de protección de una captación en un acuífero detrítico en Florida (EE.UU).

Los datos de partida eran:

$$Q = 1.380.860 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$m_e = 0,2$$

$$H = 91 \text{ m}$$

$$t = 5 \text{ años}$$

Aplicando la ecuación (1) se obtiene que el radio del perímetro de protección es de 347 metros.

### 7.1.2.B.1.2. Función del descenso

Al usar este método se pretende definir el área en la cual se produce un descenso determinado del nivel piezométrico.

Para ello hay que emplear la ecuación de Theis para el estado transitorio, que es la siguiente:

$$d = \frac{Q}{4 \pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

en la cual  $u$  es una función auxiliar cuyo valor es:

$$u = \frac{R^2 S}{4Tt}$$

Donde:

$d$  = descenso en un punto situado a la distancia  $R$  de la captación

$Q$  = caudal de bombeo constante

$T$  = transmisividad

$R$  = distancia a la captación

$S$  = coeficiente de almacenamiento

$t$  = tiempo transcurrido desde el comienzo del bombeo

Se define una función de pozo  $W(u)$  que corresponde a la integral de la citada fórmula.

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

Esta integral no tiene solución analítica y se ha resuelto por métodos aproximados. Se muestran en la tabla 6 los valores de  $W(u)$  y  $u$ .

**Tabla 6: Tabla de la función del pozo  $W(u)$  (resumida)**

	$k \times 10^{-14}$	$k \times 10^{-12}$	$k \times 10^{-10}$	$k \times 10^{-8}$	$k \times 10^{-6}$	$k \times 10^{-4}$	$k \times 10^{-2}$	$k$
1,0 .....	31,6590	27,0538	22,4486	17,8435	13,2383	8,6332	4,0379	0,2194
1,5 .....	31,2535	26,6483	22,0432	17,4380	12,8328	8,2278	3,6374	,1000
2,0 .....	30,9658	26,3607	21,7555	17,1503	12,5451	7,9402	3,3547	,04890
2,5 .....	30,7427	26,1375	21,5323	16,9272	12,3220	7,7172	3,1365	,02491
3,0 .....	30,5604	25,9552	21,3500	16,7449	12,1397	7,5348	2,9591	,01305
3,5 .....	30,4062	25,8010	21,1959	16,5907	11,9855	7,3807	2,8099	,006970
4,0 .....	30,2727	25,6675	21,0623	16,4572	11,8520	7,2472	2,6813	,003779
4,5 .....	30,1549	25,5497	20,9446	16,3394	11,7342	7,1295	2,5684	,002073
5,0 .....	30,0495	25,4444	20,8392	16,2340	11,6289	7,0242	2,4679	,001148
5,5 .....	29,9542	25,3491	20,7439	16,1387	11,5336	6,9289	2,3775	,0006409
6,0 .....	29,8672	25,2620	20,6569	16,0517	11,4465	6,8420	2,2953	0,0003601
6,5 .....	29,7872	25,1820	20,5768	15,9717	11,3665	6,7620	2,2201	,0002034
7,0 .....	29,7131	25,1079	20,5027	15,8976	11,2924	6,6879	2,1508	,0001155
7,5 .....	29,6441	25,0389	20,4337	15,8286	11,2234	6,6190	2,0867	,00006583
8,0 .....	29,5795	24,9744	20,3692	15,7640	11,1589	6,5545	2,0269	,00003767
8,5 .....	29,5189	24,9137	20,3086	15,7034	11,0982	6,4939	1,9711	,00002162
9,0 .....	29,4618	24,8566	20,2514	15,6462	11,0411	6,4368	1,9187	,00001245
9,5 .....	29,4077	24,8025	20,1973	15,5922	10,9870	6,3828	1,8695	0,000007185

Para la gama de valores de  $u$  que interesen, elijase el correspondiente  $u = k \times$  potencia de 10, y en la misma fila de los valores de  $k$  (que aparecen en la primera columna) se encontrarán, en la misma columna elegida, los valores correspondientes de la función de pozo  $W(u)$ .

Fuente: M. Villanueva y A. Iglesias, 1984

Por tanto se tiene:

$$d = \frac{Q}{4 \pi T} W(u) \rightarrow W(u) = \frac{d 4 \pi T}{Q} \quad (2)$$

$$u = \frac{R^2 S}{4 T t} \rightarrow R = \sqrt{\frac{u 4 T t}{S}} \quad (3)$$

La manera de proceder consiste en calcular  $W(u)$  con la fórmula (2) y obtener de la tabla 6 el valor de  $u$ .

Finalmente se sustituye su valor en (3) obteniendo la distancia a la captación ( $R$ ) en la que se produce un descenso ( $d$ ) fijado como criterio para delimitar el perímetro de protección.

Los resultados obtenidos se ajustarán más a la realidad cuanto más se asemeje la realidad física del caso estudiado a las condiciones matemáticas impuestas en su planteamiento.

Esas circunstancias limitativas eran:

- No existen recargas anteriores
- El acuífero es homogéneo e isótropo en cuanto a su permeabilidad
- El acuífero es infinito
- La captación es de diámetro cero
- La captación atraviesa completamente la formación permeable
- El agua que se bombea no vuelve a introducirse en el acuífero
- El flujo del agua hacia la captación es radial y no tiene componentes verticales
- El caudal de bombeo es constante

Este método fue aplicado en un acuífero detrítico de Vermont (EE.UU) para calcular el perímetro de protección de una captación.

Los datos de partida eran:

$$\begin{aligned} T &= 19 \text{ m}^2/\text{día} \\ S &= 0,02 \\ t &= 1 \text{ día} \\ Q &= 136 \text{ m}^3/\text{día} \end{aligned}$$

Se consideró necesario incluir en el perímetro de protección toda el área en la que se produjese un

descenso de más de 15 mm. Por lo tanto  $d = 0,015 \text{ m}$ .

En primer lugar debe calcularse el valor de  $W(u)$ .

$$W(u) = \frac{d 4 \pi T}{Q} = 0,026$$

De la tabla reseñada se obtiene que  $u = 2,5$ .

Por último

$$R = \sqrt{\frac{u 4 T t}{S}} \rightarrow R = 97 \text{ m}$$

El perímetro de protección de la captación analizada está definido por un círculo de radio igual a 97 m con centro en la misma. En toda esta zona el descenso del nivel piezométrico es de al menos 0,015 m.

Aunque la utilización del radio fijo calculado aumenta la precisión respecto al uso del radio fijado arbitrariamente descrito en el apartado anterior, sigue siendo un método que proporciona poca exactitud, puesto que considera un número muy limitado de factores, no teniendo en cuenta aspectos importantes como el gradiente hidráulico, límites de flujo y otros por lo que proporcionará sobreprotección en unos casos y en otros las captaciones tendrán un área de protección menor de la requerida.

Su utilización puede ser muy interesante en las primeras etapas de la investigación, así como en aquellos casos en los que los factores que no consideran tienen poca influencia.

### 7.1.2.B.2. Método de Hoffman y Lillich

Se trata de un método iterativo desarrollado inicialmente por Lillich y Liting y posteriormente modificado por Hoffman y Lillich.

Es un método simple que necesita pocas variables para su resolución, aplicable en medios homogéneos, cuando el descenso provocado por bombeo sea pequeño en relación al espesor del acuífero.

El descenso en las proximidades de un pozo, en un acuífero cautivo, puede describirse por la siguiente ecuación (Todd, 1964).

$$h - h_w = (h_o - h_w) \frac{\ln(l/r)}{\ln(R/r)} \quad (4)$$

$h$  = nivel piezométrico en relación a un nivel de referencia en un punto dado

$l$  = distancia de ese punto al pozo

$h_w$  = nivel dinámico en el pozo respecto al nivel de referencia

$h_o$  = nivel piezométrico en reposo respecto al nivel de referencia

$R$  = radio de influencia (distancia donde el descenso es nulo)

$r$  = radio del pozo

En el caso de un acuífero libre se emplea la expresión:

$$(h - h_w)^2 = (h_o - h_w)^2 \frac{\text{Ln}(lr)}{\text{Ln}(R/r)} \quad (5)$$

(Fórmula de Dupuit)

Si el descenso es menor que 1/10 de la potencia del acuífero se puede emplear la ecuación 4.

Para aplicar el método (ver figura 40) se sigue el procedimiento:

a) El gradiente  $i = (h - h_w)/l$

b) A partir de la ecuación de Darcy la velocidad eficaz es:

$$V_e = \frac{Ki}{m}$$

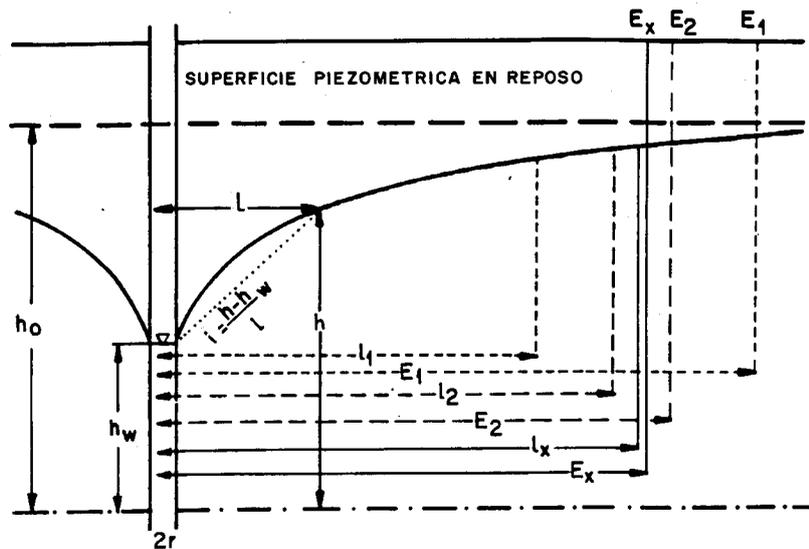
$K$  = coeficiente de permeabilidad

$m$  = porosidad cinemática, asimilable a la porosidad eficaz  $m_e$

c) La distancia correspondiente a un tiempo de tránsito  $t$  es:

$$E = V_e t$$

Se trata ahora de encontrar la distancia  $l$  para la cual el gradiente  $i$  posee un valor tal que si se calcula la velocidad  $V_e$  y la distancia  $E$  correspondiente, se encuentran los mismos valores para  $E$  y para  $l$ .



Fuente: Hoffman y Lillich, 1973

FIG. 40 DETERMINACION DE LAS ISOCRONAS POR ITERACION

### Ejemplo de aplicación

Se va a resolver a título de ejemplo, la primera iteración de resolución del método en el caso de un sondeo de abastecimiento construido sobre un acuífero formado por arenas terciarias. Los datos de partida (obtenidos en parte del bombeo de ensayo realizado al construir el sondeo) (ver figura 41) son los siguientes:

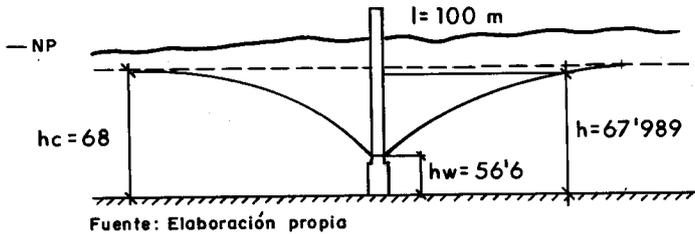


FIG. 41 ESQUEMA DEL CONO DE BOMBEO

Transmisividad  $T = 176 \text{ m}^2/\text{día}$   
 Espesor saturado  $b = 68 \text{ m}$   
 Coeficiente de almacenamiento  $S = 4 \times 10^{-2}$   
 Caudal  $Q = 30 \text{ l/s} = 2.592 \text{ m}^3/\text{día}$   
 Radio del pozo  $r = 0,3 \text{ m}$   
 Descenso a estabilización de niveles =  $11,4 \text{ m}$   
 Tiempo de tránsito  $t = 50 \text{ días}$

se da a  $l$  un valor de  $100 \text{ m}$ .

$$(h - h_w)^2 = (h_o - h_w)^2 \frac{\ln(l/r)}{\ln(R/r)} \quad (5)$$

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{me}} \rightarrow R = 1,5 \sqrt{\frac{176 \times 50}{4 \times 10^{-2}}} \rightarrow R = 703,56$$

$$(h - h_w)^2 = (11,4)^2 \frac{\ln(100/0,3)}{\ln(703,56/0,3)}$$

$$(h - h_w)^2 = \frac{754,95}{7,76} \rightarrow h - h_w = 9,86$$

$$i = \frac{h - h_w}{l} \rightarrow i = 0,0986$$

$$T = K b \rightarrow 176 = K \cdot 68 \rightarrow K = 2,58 \text{ m/día}$$

$$V_s = \frac{Ki}{me} \rightarrow V_s = \frac{2,58 \times 0,0986}{4 \times 10^{-2}} \rightarrow V_s = 6,35 \text{ m/día}$$

$$E = V_s t \rightarrow E = 6,35 \times 50 \rightarrow E = 317,9 \text{ m}$$

Como puede verse los valores de  $E$  y  $l$  difieren, por lo que se debería seguir dando valores a  $l$  hasta conseguir igualarlos.

### 7.1.2.B.3. Método de Wyssling

Wyssling ha diseñado un método para el dimensionamiento de perímetro de protección consistente en el cálculo de la zona de llamada de una captación y búsqueda posterior del tiempo de tránsito deseado.

El método es simple, aplicable en acuíferos porosos homogéneos pero presenta el inconveniente de no tener en cuenta las heterogeneidades del acuífero. Para su aplicación se necesita de un ensayo de bombeo previo.

La resolución del método precisa conocer las siguientes variables:

$i$  = gradiente hidráulico (adimensional)

$Q$  = caudal bombeado

$K$  = permeabilidad

$m_e$  = porosidad eficaz (adimensional)

$b$  = espesor del acuífero

Se calcula en primer lugar la zona de llamada (1) (Fig. 42 y 43).

En un acuífero libre si  $B$  es la anchura del frente de llamada:

$$Q = K B b i \rightarrow B = \frac{Q}{K b i}$$

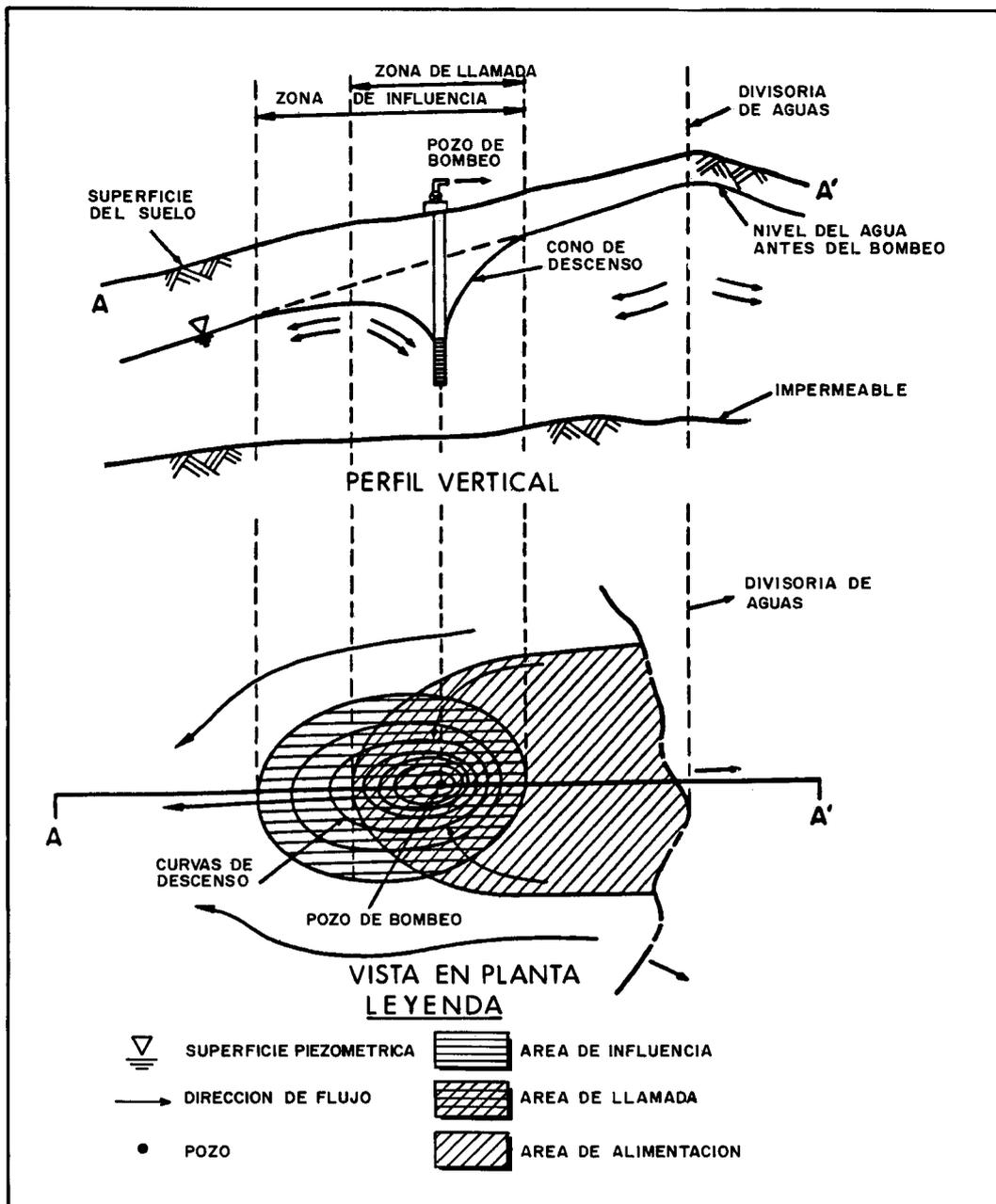
El radio de llamada puede obtenerse de la expresión:

$$X_o = \frac{Q}{2 \pi K b i}$$

y el ancho del frente de llamada a la altura de la captación:

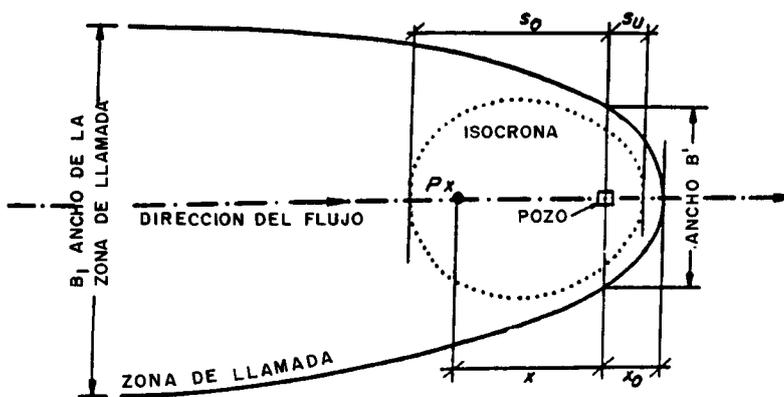
$$B' = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2 K b i}$$

(1) Se entiende como "zona de llamada" la parte del área de alimentación en la cual puede apreciarse un descenso piezométrico consecuencia del bombeo y las líneas de corriente se dirigen a la captación.



Fuente: A. LALLEMAND, J-C ROUX, 1989

Fig. 42 ESQUEMA DE UN BOMBEO EN MEDIO POROSO



Fuente: A. LALLEMAND, J-C ROUX, 1989

Fig. 43 DETERMINACION DE ISOCRONAS (METODO DE WYSSLING)

La velocidad eficaz  $V_e$  se define como:  $V_e = \frac{ki}{m}$  una vez determinada la zona de llamada ha de buscarse en la dirección del flujo la distancia correspondiente al tiempo de tránsito deseado (isocronas).

se emplean las ecuaciones:

$$S_o = \frac{+l + \sqrt{l(l + 8X_o)}}{2}$$

$$S_u = \frac{-l + \sqrt{l(l + 8X_o)}}{2}$$

$$l = V_e t$$

Donde:

$t$  = tiempo de tránsito

$V_e$  = Velocidad eficaz

$S_o$  = distancia en el sentido del flujo correspondiente a un tiempo de tránsito  $t$ .

$S_u$  = distancia en el sentido contrario al flujo correspondiente a un tiempo de tránsito  $t$ .

#### Ejemplo de aplicación del Método de Wyssling

En la población de Almazora (provincia de Castellón) se dimensionó un perímetro de protección empleándose el método de Wyssling pues las características del acuífero (poroso, homogéneo) lo hacían un candidato idóneo para su aplicación.

Se partió de los siguientes datos:

$$Q = 2100 \text{ l/min} = 0,035 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b = 150 \text{ m}$$

$$m_e = 0,25$$

$$K = 0,00116 \text{ m/s}$$

$$i = 0,0006$$

El radio de llamada será:

$$X_o = \frac{Q}{2 \pi K b i} = 53,35 \text{ m.}$$

La velocidad eficaz

$$V_e = \frac{Ki}{m_e} = 2,4 \times 10^{-6} \text{ m/s.}$$

El ancho del frente de llamada

$$B = \frac{Q}{K b i} = 335,20 \text{ m.}$$

El ancho del frente de llamada a la altura de la captación:

$$B' = \frac{B}{2} = 167,60 \text{ m.}$$

La zonificación del perímetro se realizó en función del criterio tiempo de tránsito, empleándose en función de las características regionales, de la actividad económica e industrial, los valores:

Zona de restricciones: Absolutas - 24 horas  
Máximas - 60 días  
Moderadas - 10 años

Así pues hay que calcular  $l$  para dichos tiempos:

$$l = V_e t \rightarrow l_{24h} = 0,207 \quad l_{60d} = 12,442 \quad l_{10 años} = 756,864$$

Ahora se calcula  $S_o$  y  $S_u$  para cada uno de los tiempos de tránsito.

$$S_o = \frac{+l + \sqrt{l(l + 8X_o)}}{2} \quad S_u = \frac{-l + \sqrt{l(l + 8X_o)}}{2}$$

$$S_{o 24h} = 4,80 \text{ m} \quad S_{o 60d} = 43,18 \text{ m} \quad S_{o 10 años} = 851,68 \text{ m}$$

$$S_{u 24h} = -4,60 \text{ m} \quad S_{u 60d} = -30,74 \text{ m} \quad S_{u 10 años} = -94,82 \text{ m}$$

De esta forma el perímetro queda definido por los valores:

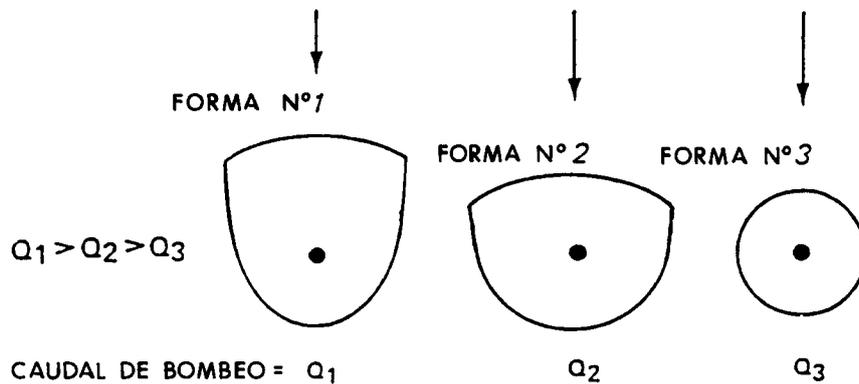
Zona de restricciones	Aguas Arriba (So)	Aguas Abajo (Su)
Absolutas	5 m	5 m
Máximas	45 m	30 m
Moderadas	850 m	95 m

#### 7.1.2.B.4. Uso de un catálogo de formas simples

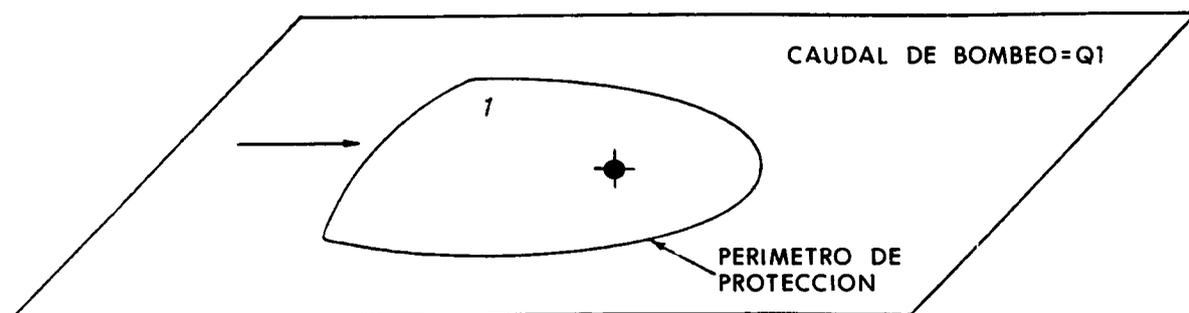
Este método consiste en elegir qué figura de las representadas en un catálogo de formas de perímetros de protección es la que ha sido realizada empleando unos parámetros hidrogeológicos similares a los existentes en el caso analizado. Una vez escogida, solo resta orientarla en la captación en función de la dirección y sentido del flujo subterráneo.

En la figura 44 se muestra un ejemplo de la determinación del perímetro de protección usando este método.

1º FASE: DELINEAR FORMAS ESTANDAR DE PERIMETROS DE PROTECCION USANDO METODOS ANALITICOS.



2º FASE: ELEGIR LA FORMA APLICABLE EN NUESTRO CASO.



3º FASE: LA FORMA ELEGIDA (LA NUMERO 1 EN ESTE EJEMPLO) SE USA PARA ESTA CAPTACION AL TENER LOS MISMOS PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS Y REGIMEN DE BOMBEO SIMILAR. ORIENTANDOLA EN FUNCION DEL FLUJO EXISTENTE.

**LEYENDA**

-  CAPTACION
-  DIRECCION Y SENTIDO DEL FLUJO SUBTERRANEO

Fuente: EPA, 1987

Fig. 44 EJEMPLO DE UTILIZACION DE UN CATALOGO DE FORMAS SIMPLES.

Para definir las figuras del catálogo, al que debe acudir cada vez que se quiera aplicar este procedimiento, deberán calcularse las formas que se obtienen al aplicar algún método analítico para diferentes valores de parámetros como el caudal de bombeo, gradiente hidráulico, coeficiente de almacenamiento, espesor saturado, etc.

Es un método muy utilizado para la determinación de perímetros de protección en el sureste de Inglaterra. En esa zona utilizan el método de Wyssling, explicado en el apartado anterior, para calcular el ancho del frente de llamada a la altura de la captación ( $B'$ ) y el radio de llamada  $X_0$  como ya fue explicado anteriormente:

$$B' = \frac{Q}{2 K b i}$$

$$X_0 = \frac{Q}{2 \pi K b i}$$

Donde:

Q = caudal bombeado

K = permeabilidad

b = espesor del acuífero

i = gradiente hidráulico (adimensional)

Finalmente emplean una ecuación de tiempo de tránsito para calcular la extensión del perímetro de protección aguas arriba en el sentido de flujo. Esta ecuación, que se resuelve por el método de prueba y error (tanteo) es la siguiente:

$$t_x = \frac{S}{V} \left[ \pm (S_0 - R_p) + X_0 l_u \frac{(X_0 \pm R_p)}{(X_0 \pm R_p)} \right]$$

$$X_0 = \frac{Q}{2 \pi K b i}$$

Donde:

$t_x$  = tiempo de tránsito desde un punto situado a una distancia  $S_0$  de la captación hasta la misma

S = coeficiente de almacenamiento

V = velocidad del flujo del agua subterránea

$S_0$  = distancia aguas arriba en la dirección del flujo correspondiente a un tiempo de tránsito t

$R_p$  = radio del pozo

Q = caudal de bombeo

K = permeabilidad

b = espesor saturado

i = gradiente hidráulico

La gran ventaja que tiene este método es que una vez creado el catálogo se aplica fácilmente con un coste muy reducido, obteniéndose en numerosas ocasiones resultados lo suficientemente precisos. Debe no obstante señalarse que cuando intervienen límites hidrogeológicos, heterogeneidades del acuífero u otros factores que no han sido considerados en su elaboración disminuye notablemente su eficacia.

### 7.1.2.B.5. Método de Albinet.

Cualquier contaminación sobre el área de llamada (ver fig. 47) llegará a la captación, por ello se emplea frecuentemente el límite aguas abajo de esta zona como límite del perímetro próximo o cercano.

Este método gráfico se basa en la fórmula de Theis, válida en régimen transitorio. Si se considera una larga duración del bombeo esta fórmula proporciona un estado en régimen pseudopermanente.

Las curvas de descenso en función de la distancia al pozo pueden calcularse aplicando la fórmula de Theis,

$$d = \frac{Q}{4 \pi T} W(u) \quad U = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

d = descenso a una distancia l del pozo, tras un tiempo t

Q = caudal constante de bombeo

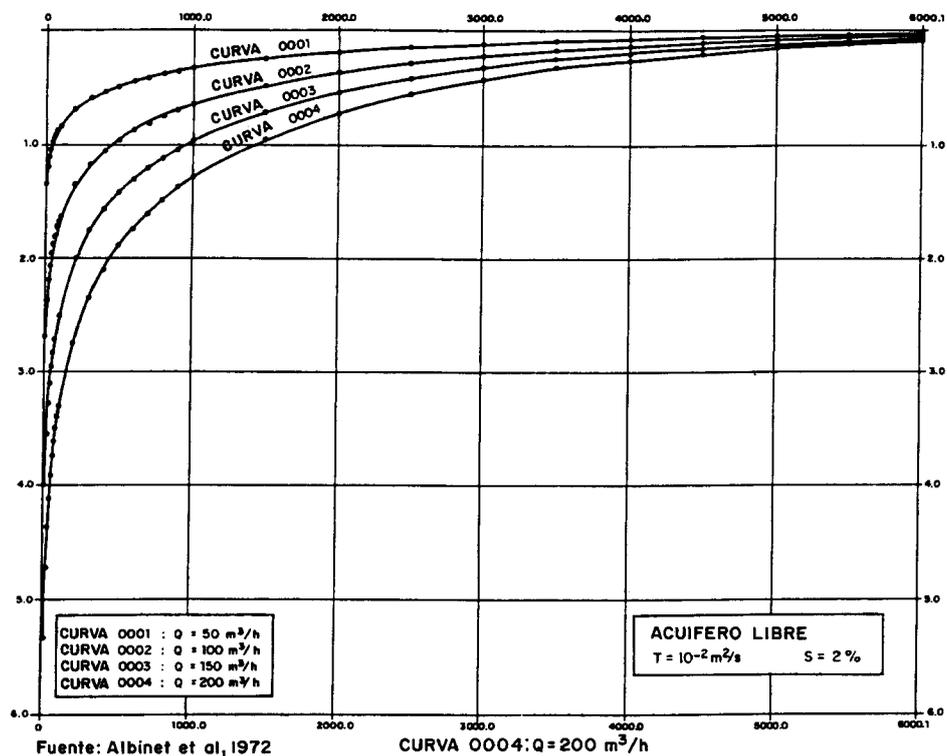
T = transmisividad

S = coeficiente de almacenamiento

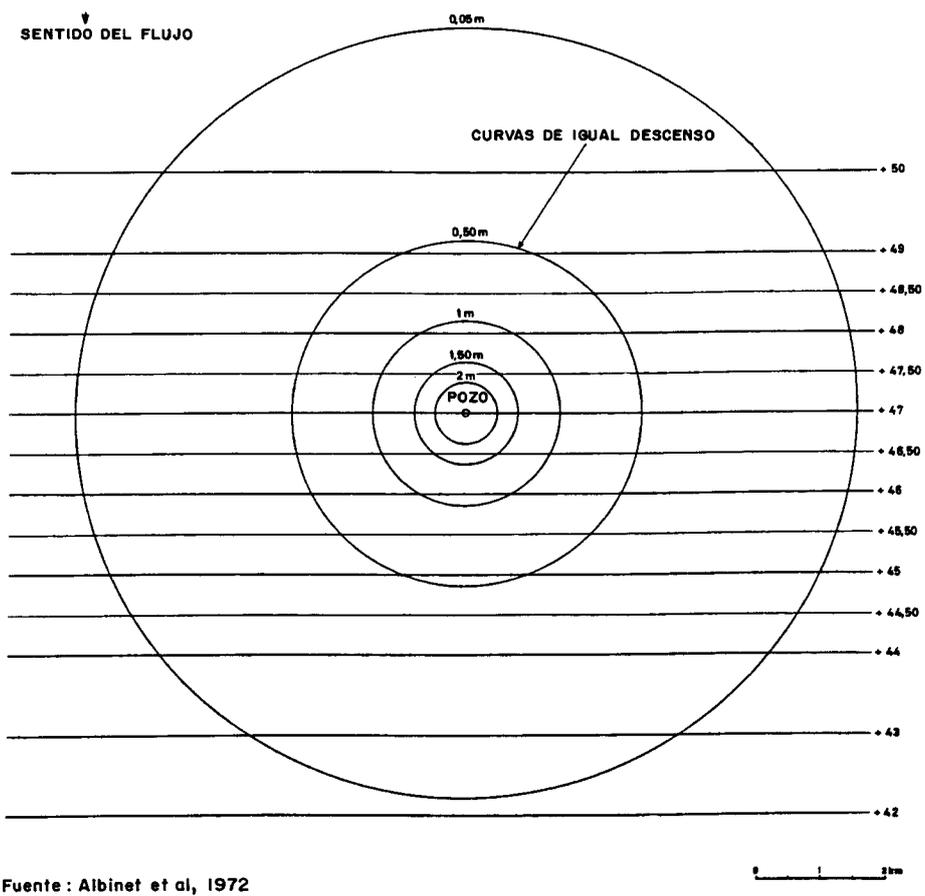
$W(u)$  = función de pozo (tabulada)

t = tiempo

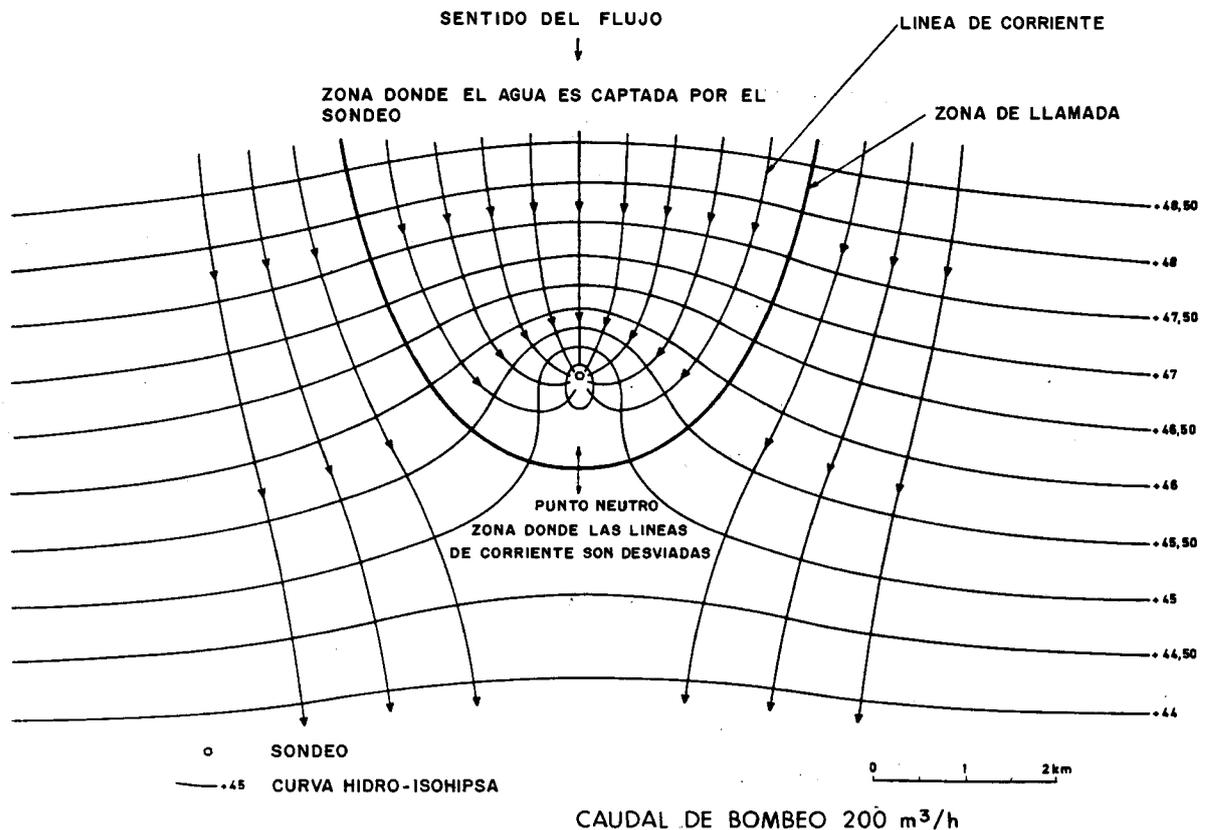
Conocida la superficie piezométrica previa al bombeo se trazan las curvas de igual descenso alrededor de la captación, en función del caudal elegido, según la fórmula de Theis (figura 45). Estos círculos cortarían las isopiezas antes del bombeo en unos puntos en los que se calculará, por sustracción, los valores modificados de



**Fig. 46 CURVAS DISTANCIA DESCENSO**



**Fig. 45 CURVAS DE IGUAL DESCENSO**



Fuente: Albinet et al, 1972

**FIG. 47 DETERMINACION DE LA ZONA DE LLAMADA DE UNA CAPTACION**

la carga hidráulica. A partir de esos puntos se trazan las isopiezas resultantes tras el bombeo, así como las líneas de corriente, que permitirán deducir el perímetro de llamada de la captación.

Albinet y colaboradores proporcionan un ejemplo. Se trata de un acuífero libre; el caudal de bombeo elegido es de 200 m<sup>3</sup>/h.

A partir de la curva descenso distancia correspondiente (figura 46) se trazan los círculos de igual descenso. Se dibujan después las isopiezas modificadas por el bombeo (figura 47) y la zona de llamada de la captación.

Se entiende como "zona de llamada" la parte del área de alimentación en la cual puede apreciarse un descenso piezométrico consecuencia del bombeo y las líneas de corriente se dirigen a la captación.

#### 7.1.2.B.6. Empleo de ábacos para el cálculo de isocronas

El cálculo numérico o el empleo de ábacos para la determinación de isocronas permite, como ya se ha visto, definir con garantía las zonas inmediata y próxima del perímetro de protección. Es un método espe-

cialmente eficaz en acuíferos detriticos, donde se conocen con precisión la dirección y magnitud del flujo del agua y los parámetros que caracterizan al acuífero. Se analizarán cuatro supuestos generales que permiten abordar la mayor parte de los casos posibles:

- a) *Pozo único situado en un acuífero homogéneo, isótropo y de extensión infinita, inicialmente en reposo (ver apartado 7.1.2.B.1.1.).*
- b) *Pozo único situado en un acuífero homogéneo, isótropo y de extensión infinita, sometido a un gradiente regional uniforme. (7.1.2.B.6.1.)*
- c) *Pozo único situado en un acuífero homogéneo e isótropo, de extensión semiinfinita con alimentación lateral procedente de un curso de agua. (7.1.2.B.6.2.)*
- d) *Batería de pozos en línea (7.1.2.B.6.3.)*

### 7.1.2.B.6.1 Método de Jacobs y Bear

En este caso tanto las líneas de corriente como las líneas equipotenciales son más complejas que en el caso anterior (ver figura 48).

Las isocronas tienen por expresión en función de variables "reducidas" (adimensionales):

$$t_R = \frac{X_R}{10} - \frac{l}{\pi} L_n \left( \cos \pi \frac{Y_R}{10} + \frac{X_R}{Y_R} \operatorname{sen} \pi \frac{Y_R}{10} \right)$$

siendo

$$X_R = \frac{20 V b}{Q} x; \quad Y_R = \frac{20 V b}{Q} y; \quad t_R = \frac{2 T^2 i^2}{m_e Q b} t$$

donde:

$V$  = velocidad de Darcy (m/h)

$Q$  = caudal de bombeo ficticio continuo (m<sup>3</sup>/h)

$m_e$  = porosidad eficaz (adimensional)

$b$  = espesor del acuífero (m)

$T$  = transmisividad (m<sup>2</sup>/h)

$i$  = gradiente hidráulico (adimensional)

$Y_R, X_R, t_R$  = variables "reducidas"

Jacobs y Bear construyeron a partir de la fórmula de las isocronas un ábaco consistente en una colección de curvas semejantes a una parábola cuyo eje de simetría coincide con la del flujo del agua subterránea, (ver anexo 10-4), las asíntotas limitan aguas arriba del

pozo un flujo de agua igual al caudal extraído. Cada curva representa un tiempo de tránsito para el cual se han resuelto las ecuaciones.

La manera de proceder sería la siguiente:

- Sobre el plano de trabajo se traza un eje paralelo a la dirección del flujo que pase por la captación, así como un eje perpendicular a éste.
- Se calcula el "tiempo reducido":

$$t_R = \frac{2 T^2 i^2}{m_e Q b} t$$

Donde:

$T$  = Transmisividad (m<sup>2</sup>/h)

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/h)

$t$  = tiempo (isocrona que se quiere calcular) (horas)

$b$  = espesor saturado (m)

$i$  = gradiente hidráulico (adimensional)

$m_e$  = porosidad eficaz (adimensional)

$Q$  = es el caudal medio diario, es un caudal ficticio

- Sobre el ábaco se busca la curva correspondiente al tiempo  $t_R$ , si no coincide con ninguna de las dibujadas se determinan por interpolación entre las dos más próximas.
- Se dibujan sobre el ábaco tantos puntos como sea necesario para poder reproducir la curva a escala real. Normalmente es sufi-

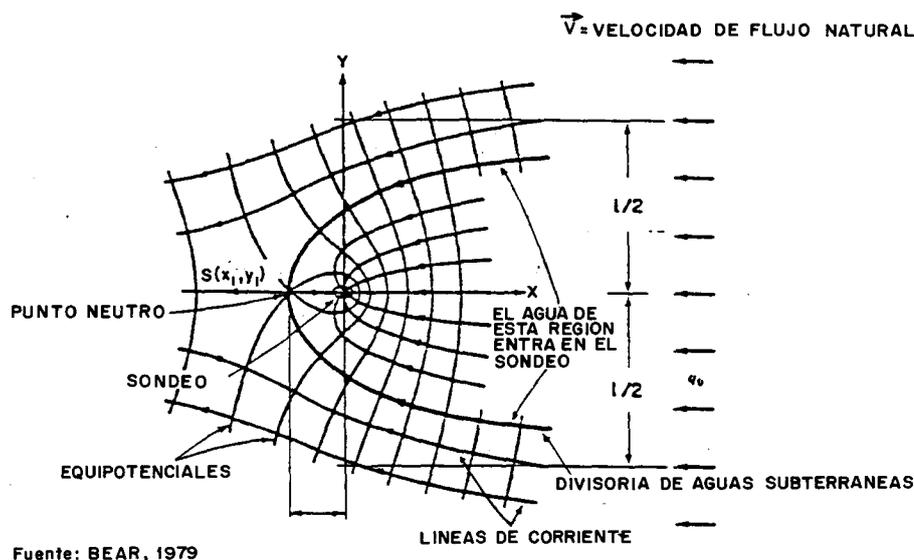


FIG. 48 LINEAS DE CORRIENTE ENTORNO A LA CAPTACION

ciente con determinar los cortes con los ejes coordenados y 3 ó 4 puntos más debido a la simetría de las curvas.

- e) Se calculan las coordenadas reales de los puntos mediante las fórmulas de transformación:

$$X(m) = \frac{Q}{20 T i} X_R; \quad Y(m) = \frac{Q}{20 T i} Y_R$$

$X, Y$  = distancia real en m

$Q$  = caudal en m<sup>3</sup>/h durante las 24 horas del día

$X_R, Y_R$  = distancia en cm en el ábaco

$T$  = transmisividad en m<sup>2</sup>/h

$i$  = gradiente hidráulico en reposo (adimensional)

- f) Se traza la curva a mano alzada sobre el plano a la escala de trabajo.

En el caso de valores de  $tr$  pequeños ( $< 0,005$ ) los frentes de desplazamiento isocrono son aproximadamente circulares y se puede emplear el método del acuífero en equilibrio hidrostático sin cometer gran error.

### Ejemplo:

Se va a aplicar el método partiendo de los siguientes datos:

$$b = 154,5 \text{ m}$$

$$T = 132 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$m_e = 0,02$$

$$i = 0,039$$

$$Q = 216 \text{ m}^3/\text{h} \text{ 16 horas/día}$$

$$t = 1 \text{ día} = 24 \text{ horas}$$

Debe transformarse el caudal a un bombeo ficticio constante durante las 24 horas

$$Q = 216 \frac{16}{24} = 144 \text{ m}^3/\text{h}$$

Procedimiento:

- 1° Se calcula el tiempo reducido ( $tr$ )

$$t_R = \frac{2 T^2 i^2 t}{m_e Q b} \rightarrow t_R = 2,86$$

- 2° Se interpola entre las curvas del ábaco la buscada (2,86), puesto que no coincide con ninguna (ver figura 49).

- 3° Se determinan los cortes con los ejes y 3 ó 4 puntos más.

Las coordenadas ficticias (en unidades gráficas, cm) son:

$$X_{R(A,B)} = 36,7 \text{ cm}$$

$$X_{R(A,C)} = 3,1 \text{ cm}$$

$$Y_{R(A,D)} = 5 \text{ cm}$$

$$Y_{R(A,E)} = 5 \text{ cm}$$

- 4° Se calculan las coordenadas reales ( $x, y$ ) de los puntos antes determinados usando:

$$X(m) = \frac{Q}{20 T i} X_R \quad Y(m) = \frac{Q}{20 T i} Y_R$$

Las coordenadas reales son:

$$X_{(A,B)} \simeq 52 \text{ m}$$

$$X_{(A,C)} \simeq 5 \text{ m}$$

$$Y_{(A,D)} \simeq 7 \text{ m}$$

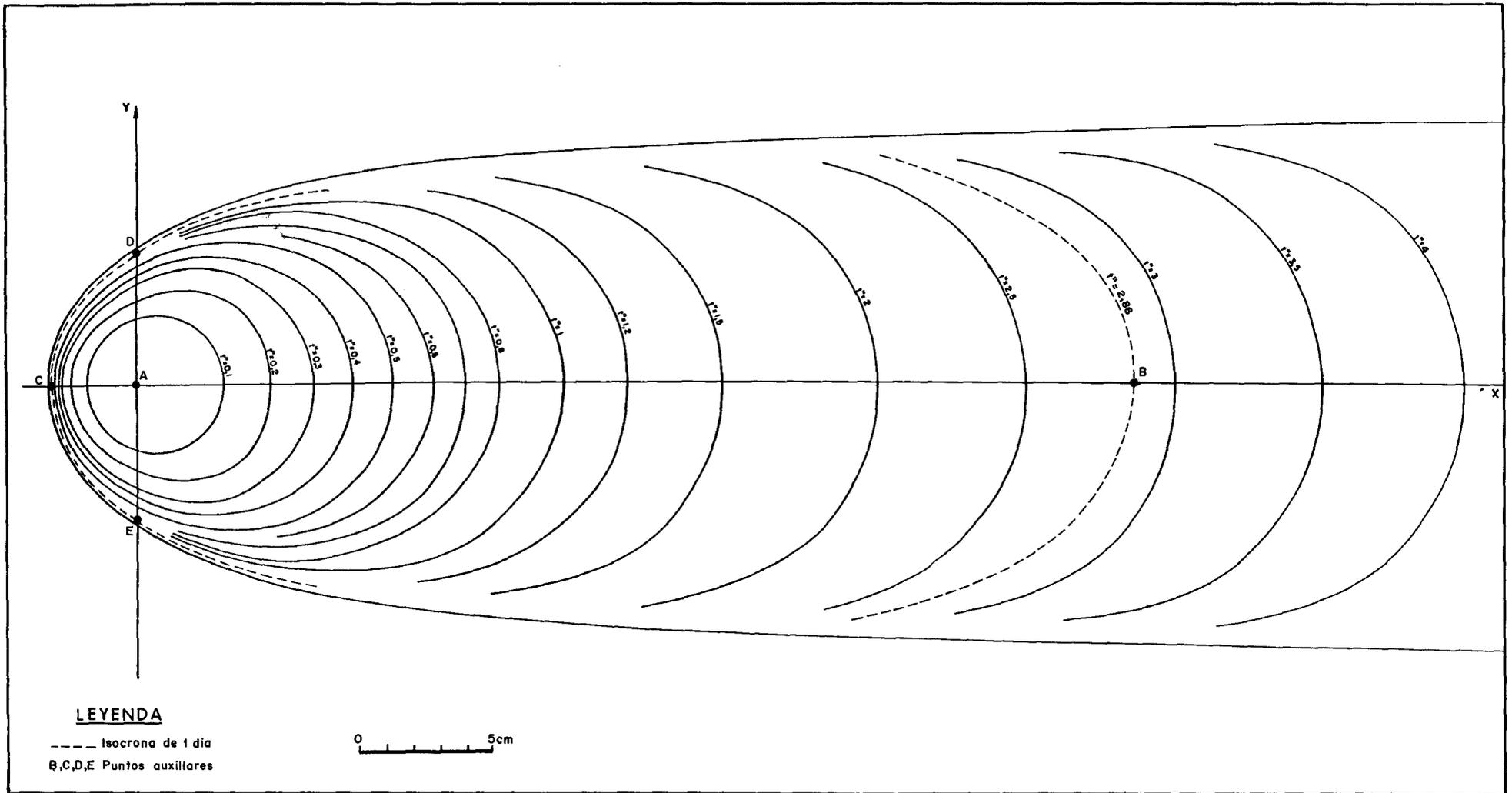
$$Y_{(A,E)} \simeq 7 \text{ m}$$

- 5° En el plano de trabajo se traza un eje paralelo a la dirección del flujo que pase por la captación, así como un eje perpendicular a éste.

Se marcan los puntos B, C, D, E, empleando las distancias reales obtenidas en el paso 4° y se traza la curva que los una que es la isocrona que se quería calcular (1 día).

En un caso real es conveniente emplear como referencia algún punto más para poder dibujar la isocrona con mayor precisión.

Como ha sido explicado este método es idóneo para su aplicación en acuíferos detriticos homogéneos. En Benisa (Alicante) se definió un perímetro de protección para un sondeo de abastecimiento basándose en criterios de carácter hidrogeológico, pues las características del acuífero (carbonatado) así lo aconsejaba; no obstante se aplicaron además, entre otros, el método de Jacobs y Bear a fin de tener un cierto criterio de comparación, encontrándose que el método englobaba en el perímetro un foco antiguo contaminante que afectó al sondeo. En el apartado 7.1.3. se analizará con detalle en qué condiciones puede considerarse a determinados acuíferos carbonatados asimilables a los acuíferos detriticos por lo que se podía emplear en ambos los mismo métodos.



Fuente: Elaboración propia

Fig. 49 EJEMPLO DE APLICACION DEL METODO DE JACOBS Y BEAR

**7.1.2.B.6.2. Pozo único en un acuífero homogéneo, isótropo, de extensión semi-infinita situado próximo a un curso de agua que proporciona alimentación lateral**

Sea un pozo  $P$  situado a una distancia  $l$  de un curso de agua.

Antes de comenzar el bombeo existe un flujo regional hacia el río. Si la distancia  $l$  es lo suficientemente pequeña, después de un cierto tiempo de comenzado el bombeo se establecerá un flujo desde la ribera hacia el pozo causado por la depresión creada por éste, lo que se conoce como inversión del flujo (ver figura 50). Es importante conocer, una vez alcanzado el régimen permanente, la tasa de alimentación proporcionada por el curso de agua así como el tiempo mínimo de tránsito entre la ribera y el pozo, ya que en caso de una hipotética contaminación del río ésta podría acabar afectando al pozo.

Una vez conocidos estos dos parámetros se podrá determinar tanto el grado de dilución que alcanzarían las aguas contaminadas en el instante de la extracción, como el momento de afección del pozo.

Estos parámetros dependerán del caudal de bombeo, de la distancia  $l$  entre el pozo y el curso de agua y del vector velocidad del flujo subterráneo, dado por su módulo  $V$  y su desviación respecto del curso de agua.

**Tasa de alimentación de ribera en régimen permanente**

El ábaco de la figura 52 permite calcular la proporción  $q$  de agua proveniente del curso de agua, en función del ángulo  $\alpha$  de "desviación" del flujo y del parámetro adimensional.

$$Q_R = \frac{Q}{b l v} \quad Q_D = \frac{Q_R}{2 \pi} = \frac{Q}{2 \pi b l v}$$

$q$  = vendrá dado por:

$$q = \frac{Q_1 + Q_2}{Q}$$

(Ver Figura 51)

Del análisis de las curvas se puede concluir que:

- a) La tasa de alimentación es creciente con el caudal reducido  $Q_R$ . Esto quiere decir que será tanto mayor cuanto mayor sea el caudal de bombeo  $Q$  en el pozo  $P$ , o cuanto menor sean el espesor del acuífero  $b$ , la distancia entre el pozo y el río  $l$  o la velocidad del flujo subterráneo  $V$ , a constancia de los otros tres parámetros.
- b) Cuando  $\alpha \geq 90^\circ$ , es el río el que alimenta al acuífero (río influente), y, por lo tanto, para cualquier caudal de bombeo en el pozo la tasa de alimentación es la unidad.
- c) Existe un valor mínimo del caudal de bombeo tal que, para valores menores de éste no se produce inversión del flujo hacia el pozo y no existe, por tanto, alimentación del curso de agua ( $q = 0$ ).
- d) Para un mismo valor de  $Q_R$  (caudal de bombeo constante) la tasa de alimentación es tanto mayor cuanto más oblicuo es el flujo subterráneo respecto del curso de agua.
- e) Cuando el caudal de bombeo es lo suficientemente elevado (en teoría infinito), la tasa  $q$  es la unidad (todo el agua extraída en el sondeo proviene del río) para cualquier valor de  $\alpha$ . Lo mismo ocurriría si se acerca suficientemente el pozo al curso de agua ( $l \rightarrow 0$ ).

**Cálculo de los tiempos de llegada**

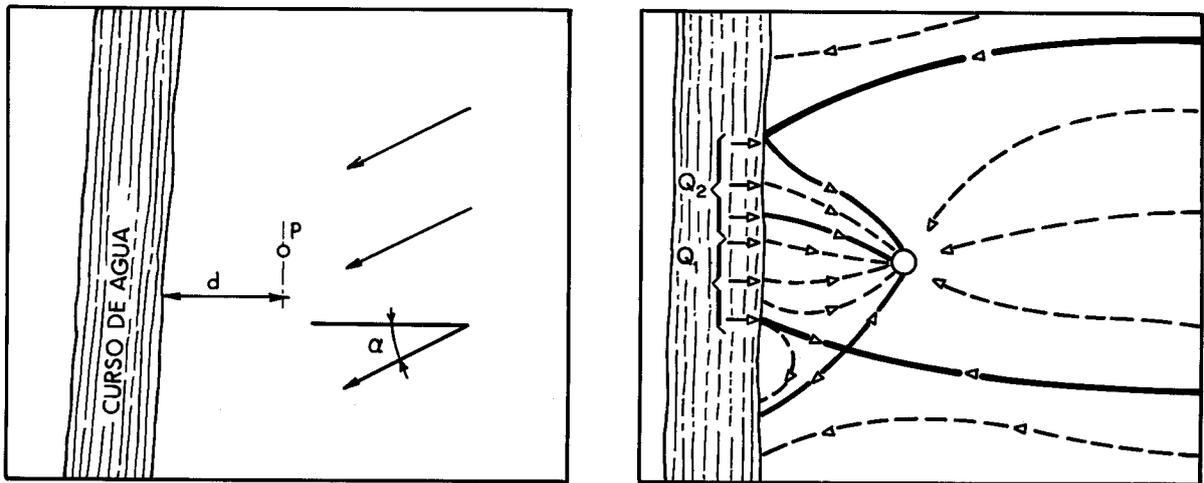
El tiempo de llegada  $t_p$  o tiempo de transporte a lo largo de la línea de corriente más corta, entre el curso de agua y el pozo de bombeo, representa el tiempo mínimo necesario para que una posible contaminación del curso de agua alcance el pozo (supuesto constante el caudal de bombeo).

El ábaco de la figura 53 proporciona los tiempos de llegada en función de los valores de:

$$Q_R = \frac{Q}{b l v} \quad \text{con} \quad Q_D = \frac{Q_R}{2 \pi} \quad \text{y de} \quad \alpha$$

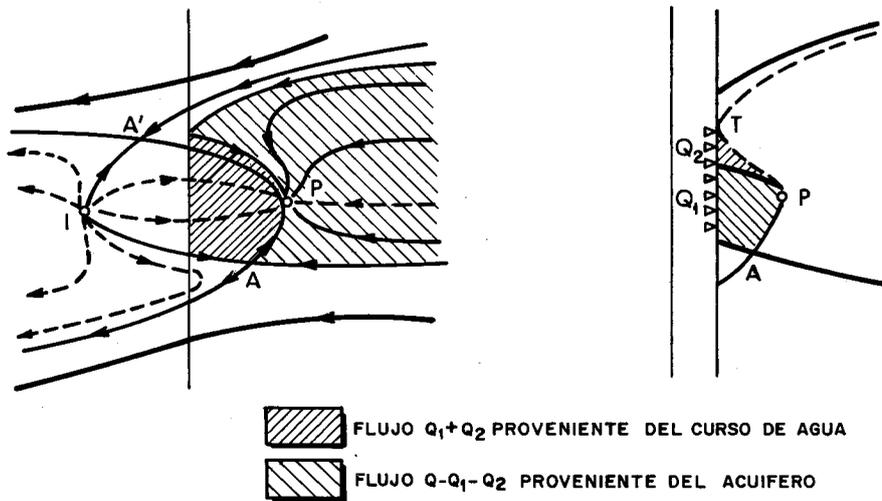
Por integración del vector velocidad se obtiene:

$$t_p = \frac{2 \pi m_e^2 b}{3 Q} f(Q_R, \alpha)$$



Fuente: J.P. Sauty, 1985

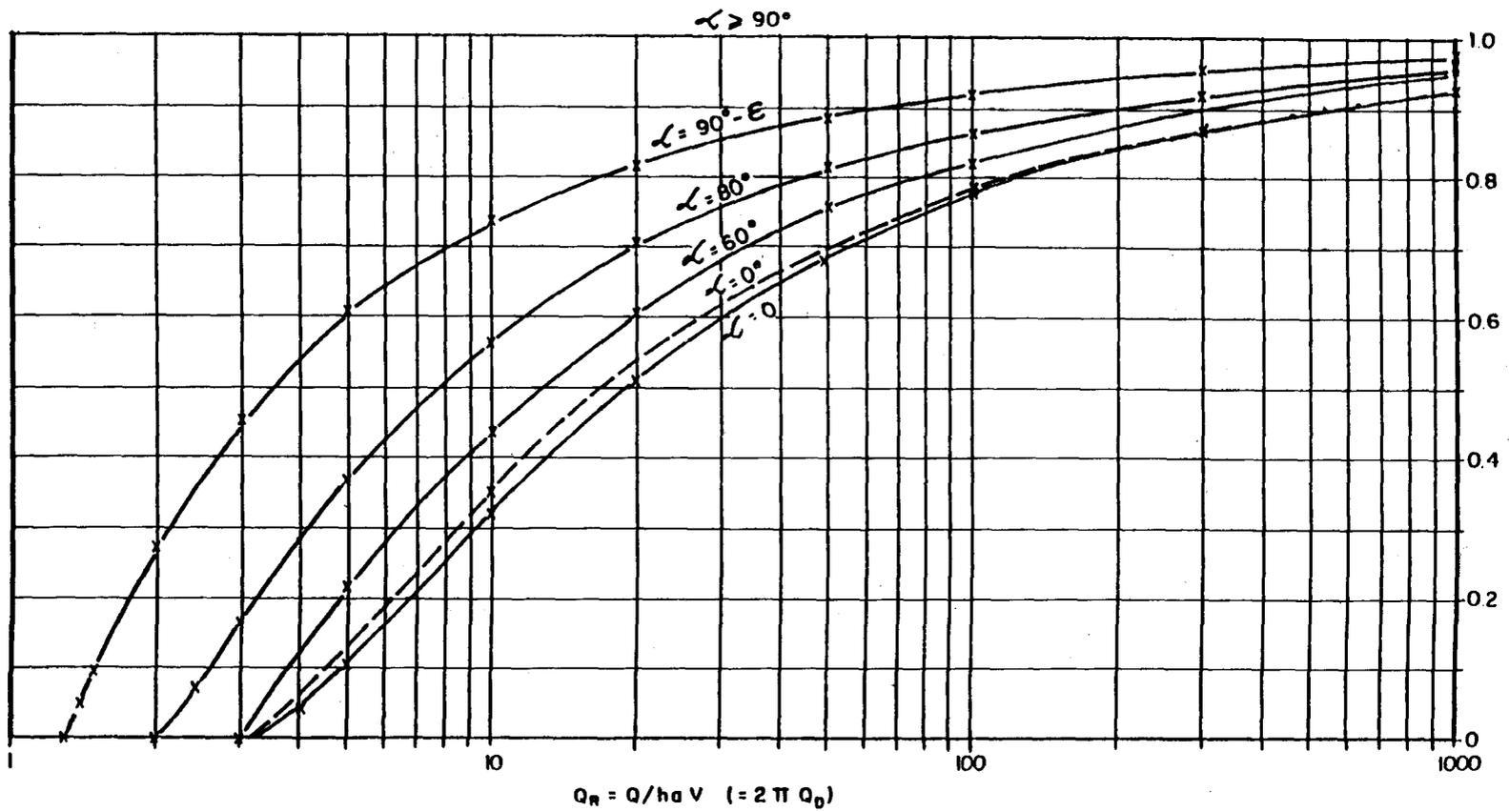
Fig. 50 BOMBEO EN LAS PROXIMIDADES DE UN CURSO DE AGUA CON ALIMENTACION DE RIBERA.



 FLUJO  $Q_1+Q_2$  PROVENIENTE DEL CURSO DE AGUA  
 FLUJO  $Q-Q_1-Q_2$  PROVENIENTE DEL ACUIFERO

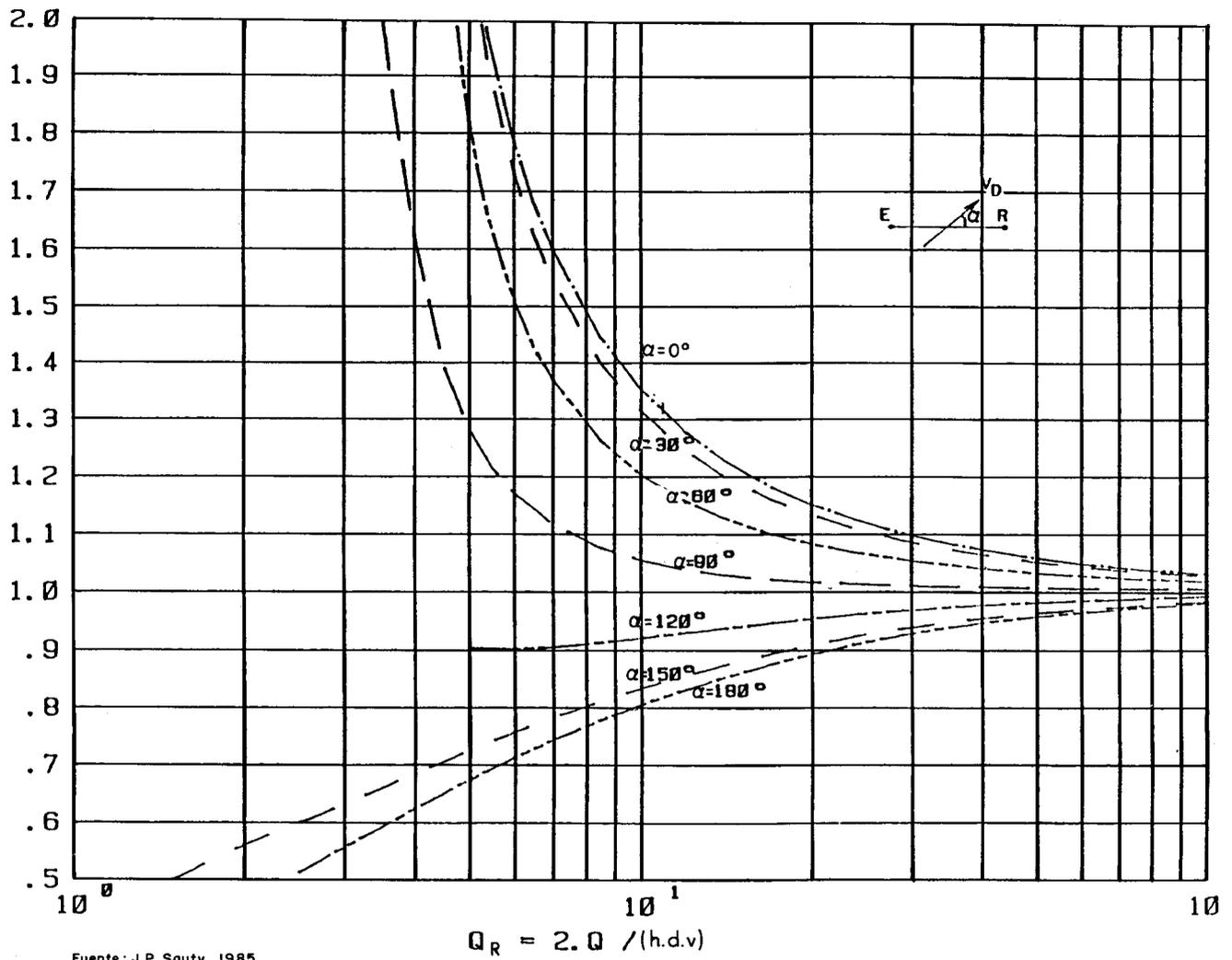
Fuente: J.P. Sauty, 1985

Fig. 51 ESQUEMAS DE PRINCIPIO



Fuente: J.P. Sauty, 1985

Fig. 52 TASA DE AGUA BOMBEOADA PROVENIENTE DEL CURSO DE AGUA.



Fuente: J.P. Sauty, 1985

Fig.53 INFLUENCIA DEL FLUJO REGIONAL SOBRE EL TIEMPO DE LLEGADA EN FUNCION DE  $Q_r$  Y DE  $\alpha$

El ábaco proporciona los valores de la función  $f(Q_R, \alpha)$ , calculándose posteriormente  $t_p$  a partir de fórmula expuesta.

No obstante, la función  $f(Q_R, \alpha)$  puede ser calculada analíticamente en determinados casos muy particulares.

- a) *Caso de alimentación lateral perpendicular al curso de agua.*

Se tiene  $\alpha = 0$ . Entonces:

$$\text{si } Q_D = \frac{Q}{2 \pi b d v} > 0.5$$

$$t_p = \frac{m_e l}{V} \left( 1 - \frac{2 Q_D}{\sqrt{2 Q_D - 1}} \text{Arc tag } \frac{1}{\sqrt{2 Q_D - 1}} \right)$$

Si  $Q_D \leq 0.5$  el pozo no recoge nada de agua proveniente del curso de agua.

- b) *En el caso inverso de que sea inicialmente el río el que alimente al acuífero con un flujo perpendicular a la ribera se tiene:*

$$\alpha = 180^\circ$$

$$t_p = \frac{m_e l}{V} \left( 1 + \frac{2 Q_D}{\sqrt{2 Q_D + 1}} \text{Arc tag } \frac{1}{\sqrt{2 Q_D + 1}} \right)$$

- c) *En el caso de que no exista alimentación lateral  $V = 0$  y  $f(Q_R, \alpha) = 1$  Entonces:*

$$t_p = \frac{2 \pi m_e l^2 b}{3 Q}$$

En el resto de los casos que se presenten, será necesario la utilización de un ordenador para el cálculo de la función  $f(Q_R, \alpha)$ , o el empleo del ábaco de la figura 53.

Del análisis de la figura 53 se observa:

- a) Dos familias de curvas claramente diferenciadas en su comportamiento, separadas por la curva correspondiente a  $\alpha = 90^\circ$ .
- b) Para valores de  $\alpha > 90^\circ$ . se tiene una familia de curvas crecientes con el valor de  $Q_R$ , y son tales que cuanto menor sea el valor del caudal de bombeo  $Q$  menor es el valor de  $f(Q_R, \alpha)$ , y, por lo tanto, del tiempo de transferencia  $t_p$ . Estas curvas admiten una

asíntota única, independiente del valor de  $\alpha$  y para

$$f(Q_R, \alpha) = 1. \text{ Por tanto } t_p = \frac{2 \pi m_e l^2 b}{3 Q}$$

depende del caudal de bombeo  $Q$ , de las características del acuífero y de la distancia del pozo al curso de agua. Además, para un mismo valor de  $Q_R$  (caudal mínimo de bombeo) el tiempo de transferencia es tanto mayor cuanto más oblicuo sea el flujo subterráneo respecto del curso de agua (cuanto mayor sea  $\alpha$ ).

- c) Para valores de  $\alpha < 90^\circ$ . tenemos otra familia de curvas, decrecientes con el valor de  $Q_R$ . Esto es, cuanto mayor sea el caudal de bombeo  $Q$ , a igualdad del resto de los parámetros, mayor será el valor de  $f(Q_R, \alpha)$  y, por tanto, del tiempo de tránsito  $t_p$ . Al igual que en el caso anterior, todas estas curvas admiten una asíntota única, independiente, por tanto, del valor de  $\alpha$ , para la que  $f(Q_R, \alpha) = 1$  y

$$t_p = \frac{2 \pi l^2 b m_e}{3 Q} \text{ si } Q \text{ es lo suficientemente}$$

elevado  $Q \rightarrow \infty$ , el pozo está lo suficientemente próximo al río  $l \rightarrow 0$  ó la velocidad del flujo subterráneo es nula ( $V = 0$ ). Por último, para un mismo valor de  $Q_R$  (mismo caudal de bombeo) el tiempo de transferencia es tanto menor cuanto más oblicuo sea el flujo subterráneo respecto de las márgenes del curso de agua.

- d) Para un mismo valor de  $Q_R$  (mismo caudal de bombeo) los tiempos de llegada son menores para valores de  $\alpha \geq 90^\circ$ . Esto es lógico ya que para  $\alpha \leq 90^\circ$ . es el acuífero el que inicialmente alimenta al río por lo que el bombeo se opone entre el pozo y la ribera al flujo natural y la velocidad del contaminante a lo largo de las líneas de corriente debe ser menor que en el caso de que ya inicialmente el flujo vaya del río al pozo ( $\alpha > 90^\circ$ ). Además, cuanto mayor sea la oblicuidad de las líneas de corriente respecto del río, en el primer caso, menor será la componente de la velocidad en dirección al pozo de bombeo y tanto más fácilmente será contrarrestada por el bombeo en el pozo por lo que la velocidad a lo largo de las líneas de corriente será mayor y menor el tiempo de llegada del contaminante. Al contrario ocurrirá para  $\alpha > 90^\circ$ . (el río alimenta al acuífero) y cuanto más oblicua sea la velocidad natural del flujo

subterráneo, menor será su componente en dirección al pozo con lo que la velocidad a lo largo de la línea de corriente más corta será menor, así como el tiempo de llegada de la partícula contaminante.

**Régimen transitorio resultante de la parada del bombeo. Caso de una captación situada en las proximidades de un curso de agua temporalmente contaminado.**

Sea una captación situada en un acuífero aluvial con alimentación lateral, que en ausencia de bombeo es drenado por el río (ver figura 54). Se presentan aquí una serie de ábacos obtenidos por simulación numérica que permiten determinar:

- Los tiempos durante el cual el río sigue alimentando al acuífero después de la parada del bombeo.
- La evolución de los caudales que penetran en el acuífero durante este período.
- El volumen total del agua del río que penetra en el acuífero durante este período.

Los ábacos proporcionan el volumen adimensional.

$$V_a = 4 \frac{VT}{SQ_p L^2}$$

en función del tiempo reducido, también adimensional

$$t_r = 4 \frac{tT}{L^2 S}$$

para diferentes valores de caudal reducido

$$Q_R = \frac{Q_x L}{Q_p}$$

y del coeficiente de colmatación del lecho

$$\frac{A}{L} = \frac{K}{K_c} \frac{E}{L}$$

donde:

- $Q_p$  = caudal de bombeo inicial del pozo ( $m^3/s$ )
- $L$  = distancia del pozo al margen (m)
- $T$  = transmisividad del acuífero ( $m^2/s$ )
- $S$  = coeficiente de almacenamiento

$Q_x$  = alimentación natural del acuífero por unidad de longitud perpendicular al río ( $m^2/s$ )

$Q_y$  = alimentación natural del acuífero por unidad de longitud paralela al río ( $m^2/s$ )

$A$  = coeficiente de colmatación expresado en espesor de terreno circundante

$$(m) A = K E / K_c$$

$E$  = espesor de la capa colmatada

$K_c$  = permeabilidad de la capa colmatada

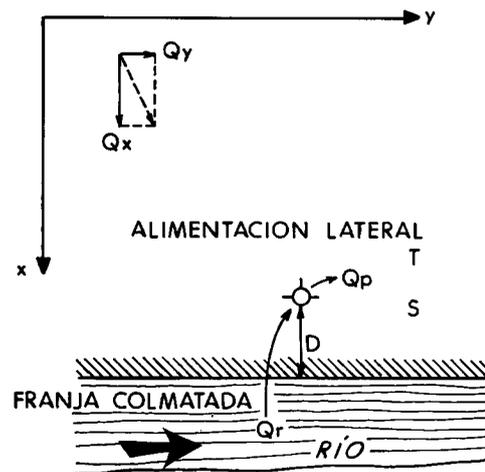
$K$  = permeabilidad del acuífero

$t$  = tiempo transcurrido desde la parada del bombeo (s)

$Q_r$  = caudal de infiltración del agua del río en el acuífero ( $m^3/s$ )

$t_o$  = tiempo de anulación del caudal de infiltración, tal que  $Q_r(t_o) = 0$

$v$  = volumen de agua infiltrada después del instante  $t = 0$  ( $m^3$ )



Fuente: J.P. Sauty, 1985

**FIG. 54 CAPTACION CON ALIMENTACION LATERAL POR UN RIO.**

En las figuras 55 a 60 se presentan los ábacos de evolución del volumen infiltrado en el acuífero, para diferentes coeficientes de colmatación del lecho, una vez cesado el bombeo.

El tiempo en el que deja de aumentar el volumen infiltrado en el acuífero viene representado por el punto en el que comienza el tramo horizontal de las curvas.

Se observa que cuanto mayor sea el caudal de bombeo inicial en el pozo, mayor será el tiempo necesario para que se produzca la inversión del flujo y mayor el volumen de agua contaminada que penetra en el acuífero. Lo mismo ocurriría cuanto menor sea la distancia entre el pozo y la margen del río ( $L$ ) o cuanto mayor sea la alimentación lateral del acuífero ( $Q_x$ ) a constancia de los otros factores.

A medida que aumenta el grado de colmatación ( $A$ ) del cauce, el tiempo durante el que el río sigue alimentando al acuífero disminuye, si permanecen constantes los valores de  $Q_x$ ,  $L$  y  $Q_p$ .

En la figura 61 se representa la proporción de caudal bombeado que procede del río en régimen permanente, en función del grado de colmatación del lecho.

El tiempo necesario para que se invierta el flujo una vez parado el bombeo, representa el tiempo de antelación mínimo con el que se debe de detectar una posible contaminación en el río antes de que llegue a las proximidades de la captación.

En función de la velocidad de circulación del agua del río y de este tiempo se obtiene la distancia a la que cualquier vertido contaminaría el acuífero en mayor o menor grado, aunque se procediera rápidamente a la parada del bombeo.

A esta distancia como mínimo debería de situarse una estación de control con el fin de detectar cualquier posible contaminación aguas arriba, lo que permitiría, con tiempo suficiente, proceder a la parada de las extracciones.

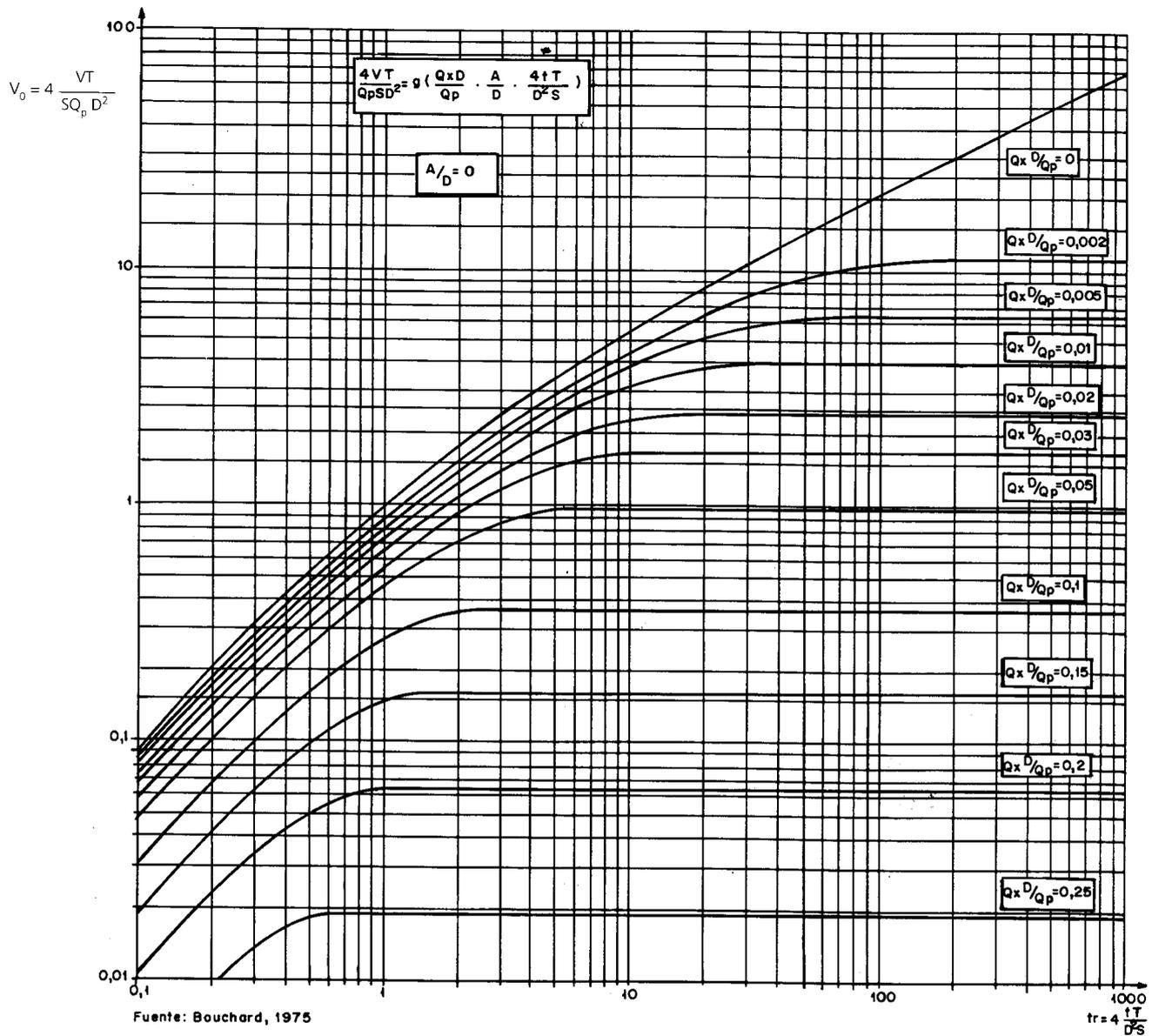
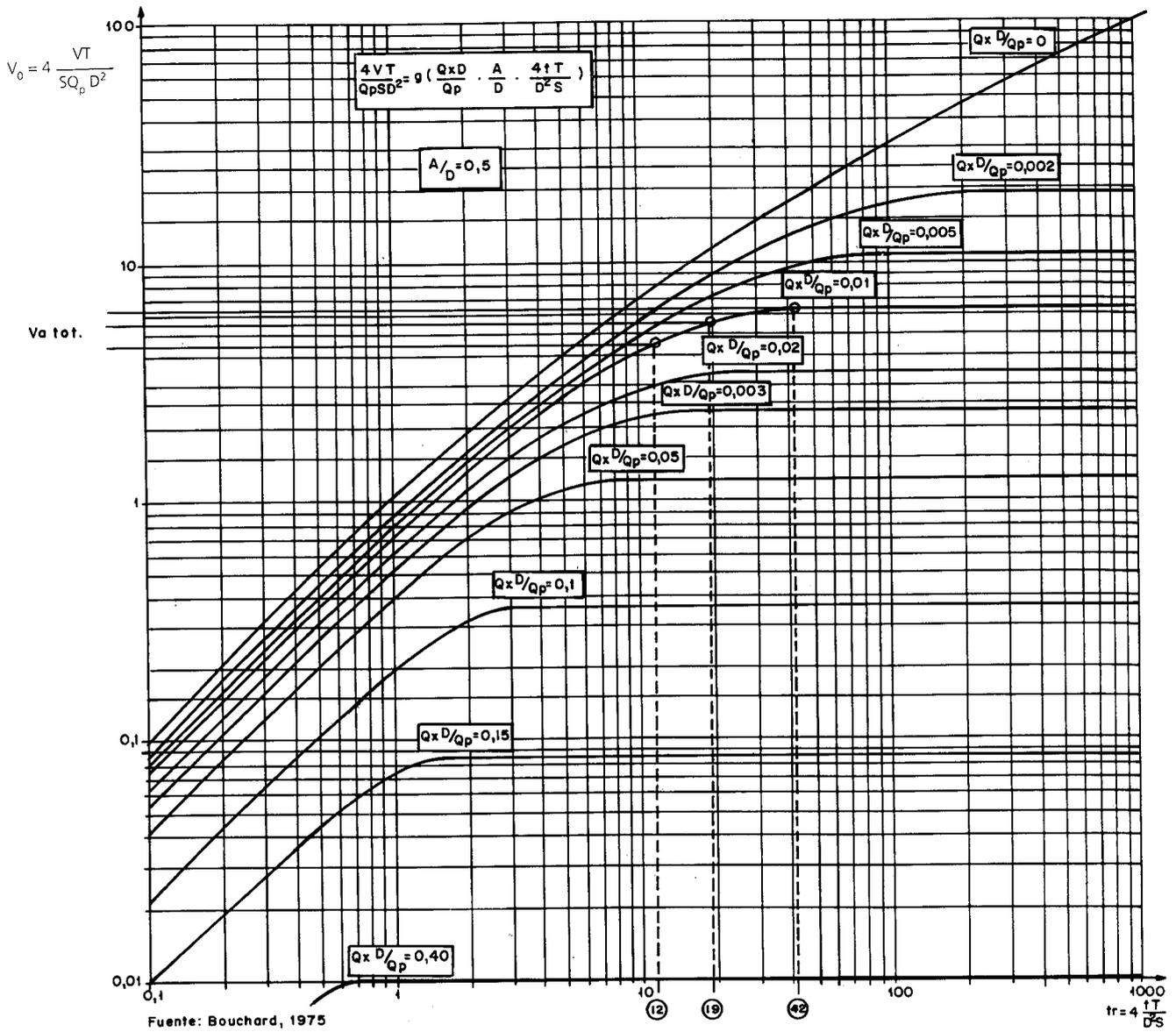
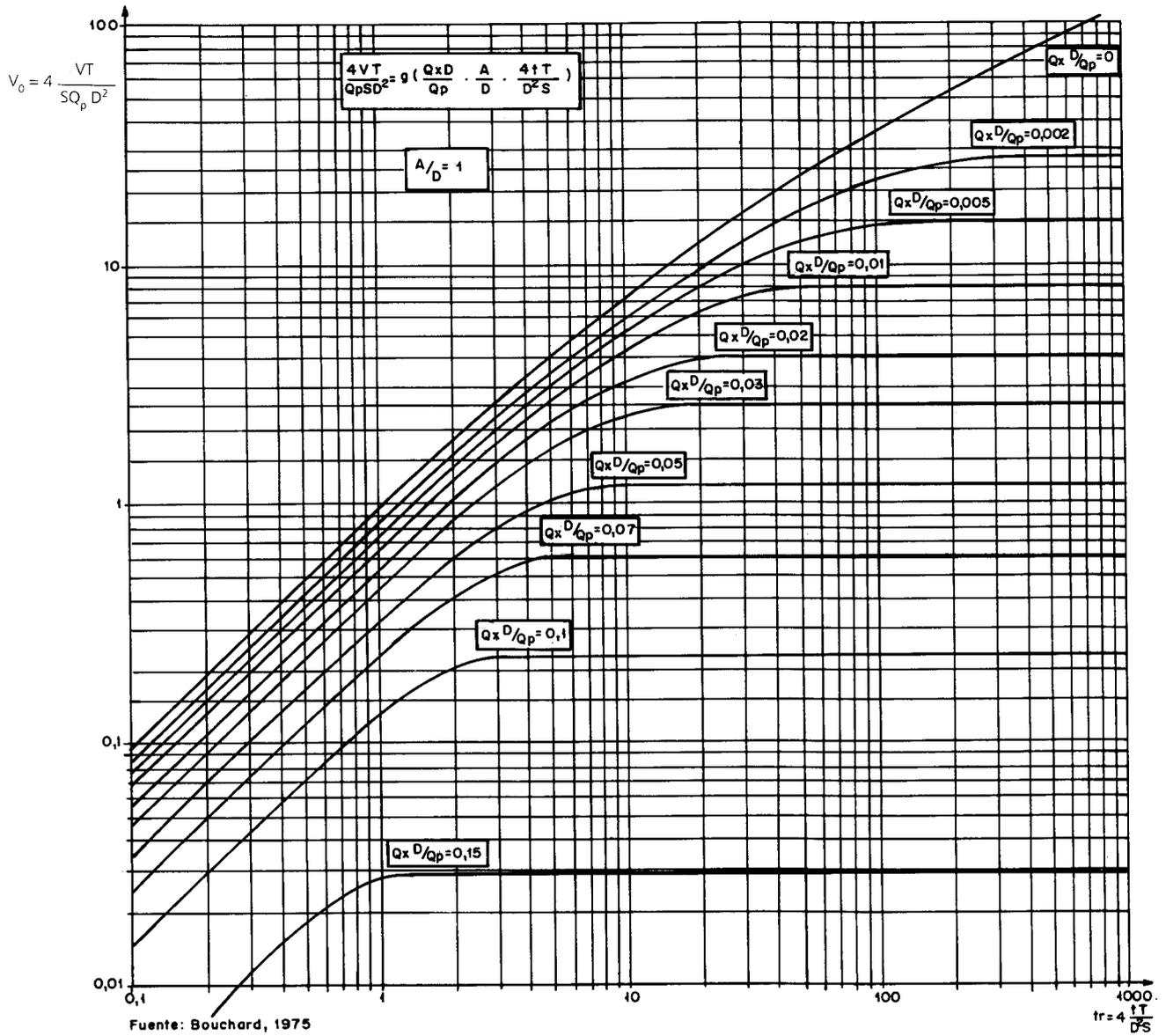


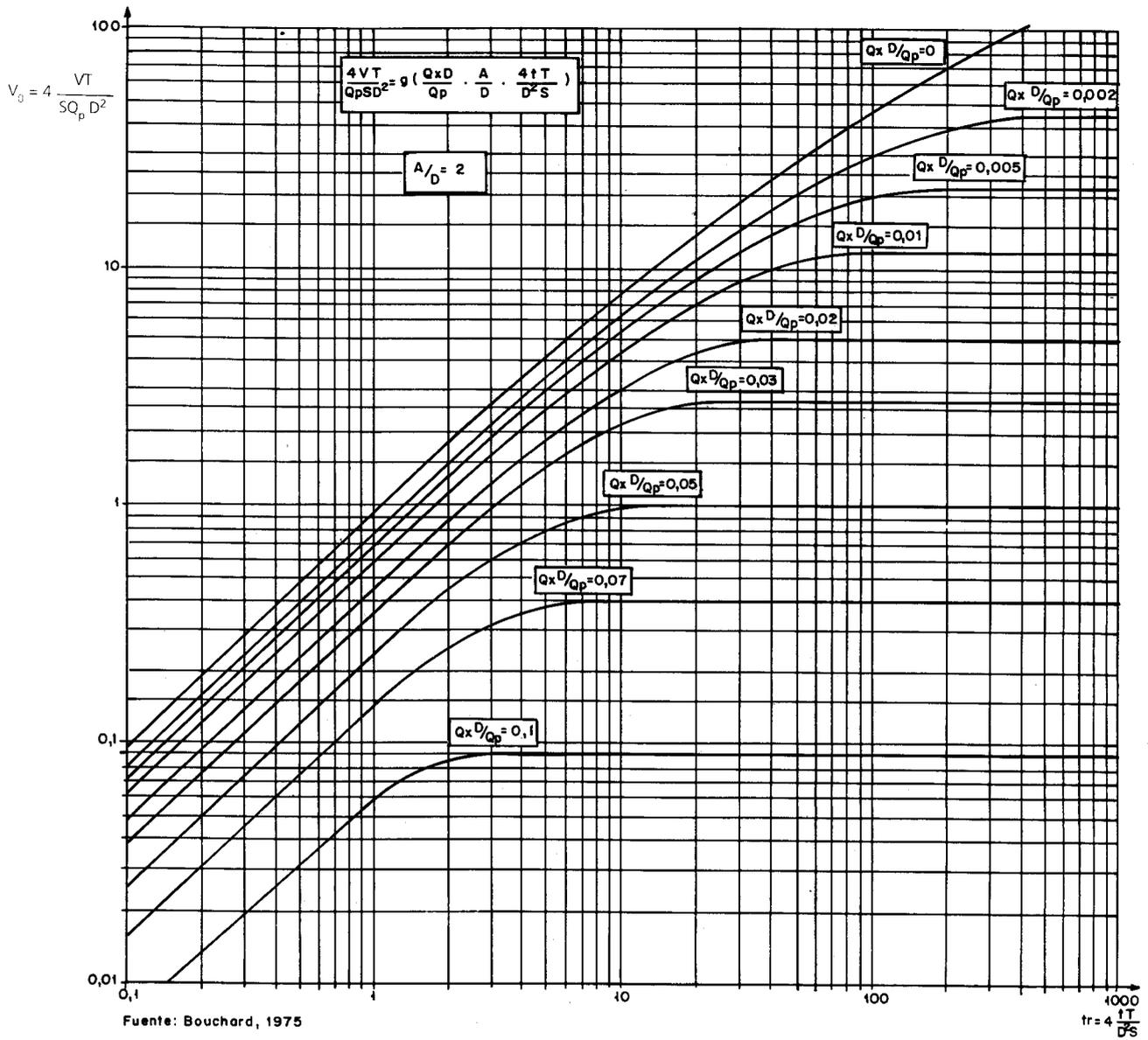
Fig.55 EVOLUCION DEL VOLUMEN INFILTRADO EN AUSENCIA DE COLMATACION (A=0)



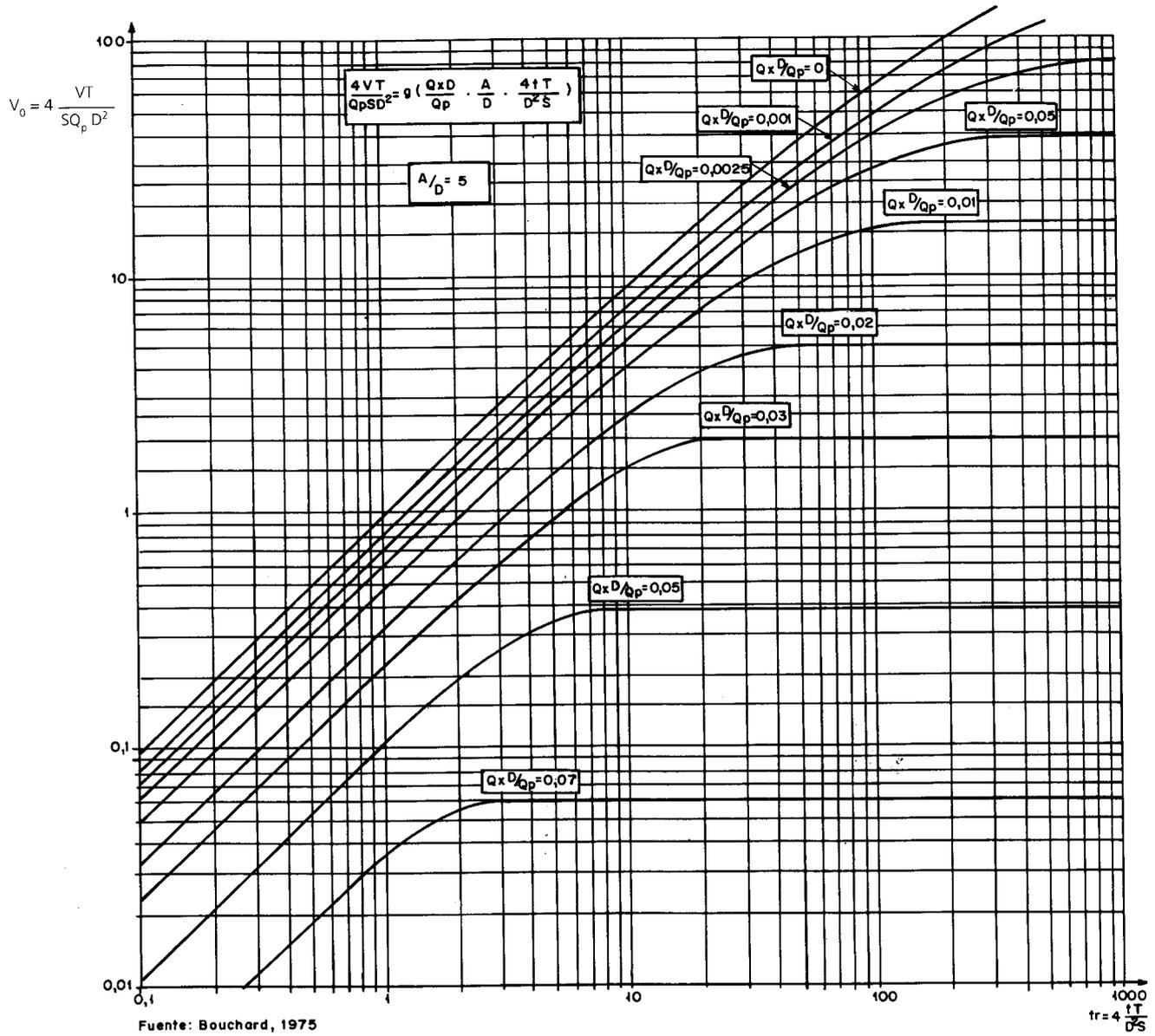
**Fig.56 EVOLUCION DEL VOLUMEN INFILTRADO. COEFICIENTE DE COLMATACION  
 A/D=0,5**



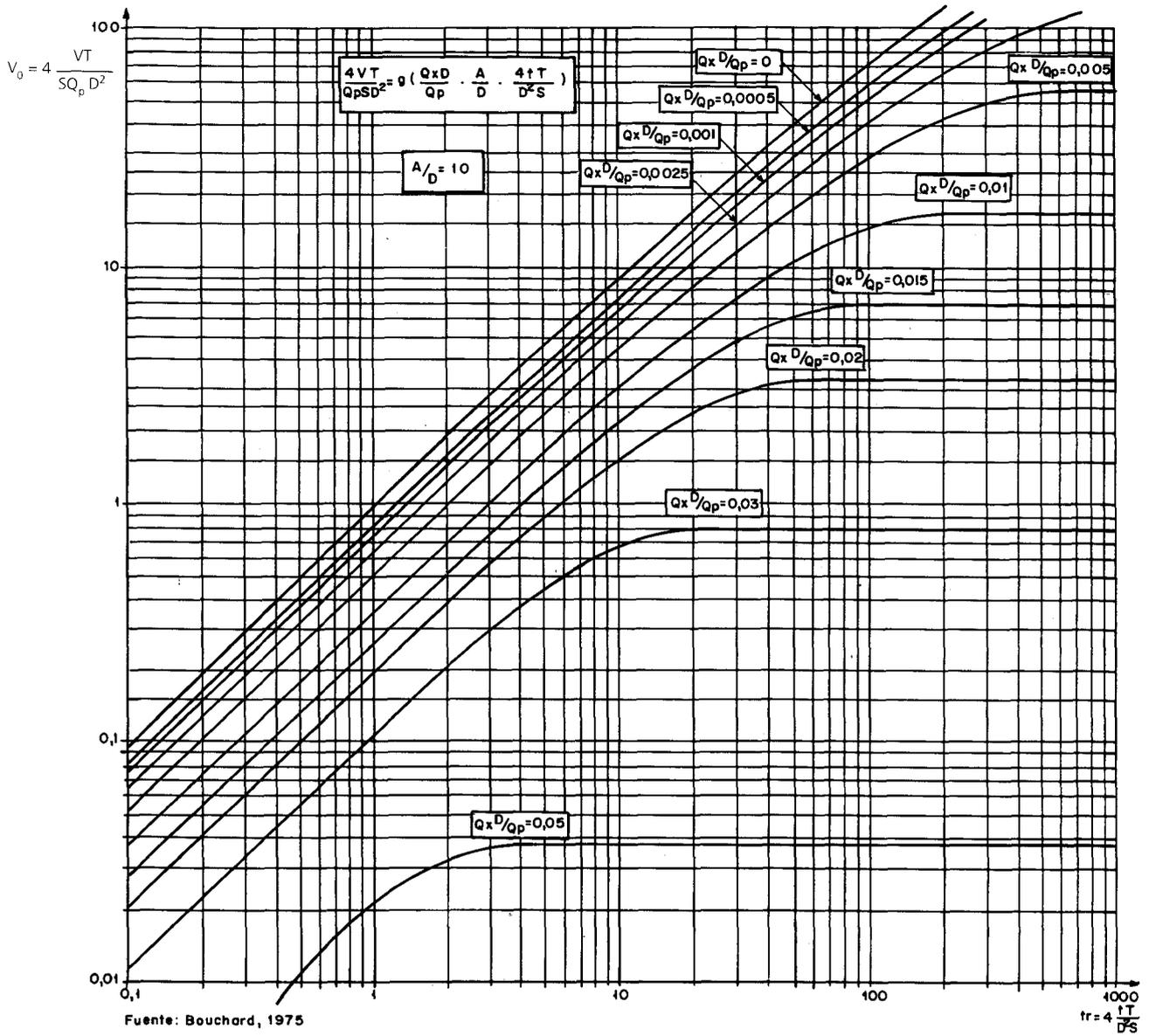
**Fig.57 EVOLUCION DEL VOLUMEN INFILTRADO. COEFICIENTE DE COLMATACION  
A/D=1**



**Fig.58 EVOLUCION DEL VOLUMEN INFILTRADO. COEFICIENTE DE COLMATACION  
A/D= 2**



**Fig. 59 EVOLUCION DEL VOLUMEN INFILTRADO. COEFICIENTE DE COLMATACION  
 A/D=5**



**Fig.60 EVOLUCION DEL VOLUMEN INFILTRADO. COEFICIENTE DE COLMATACION A/D=10**

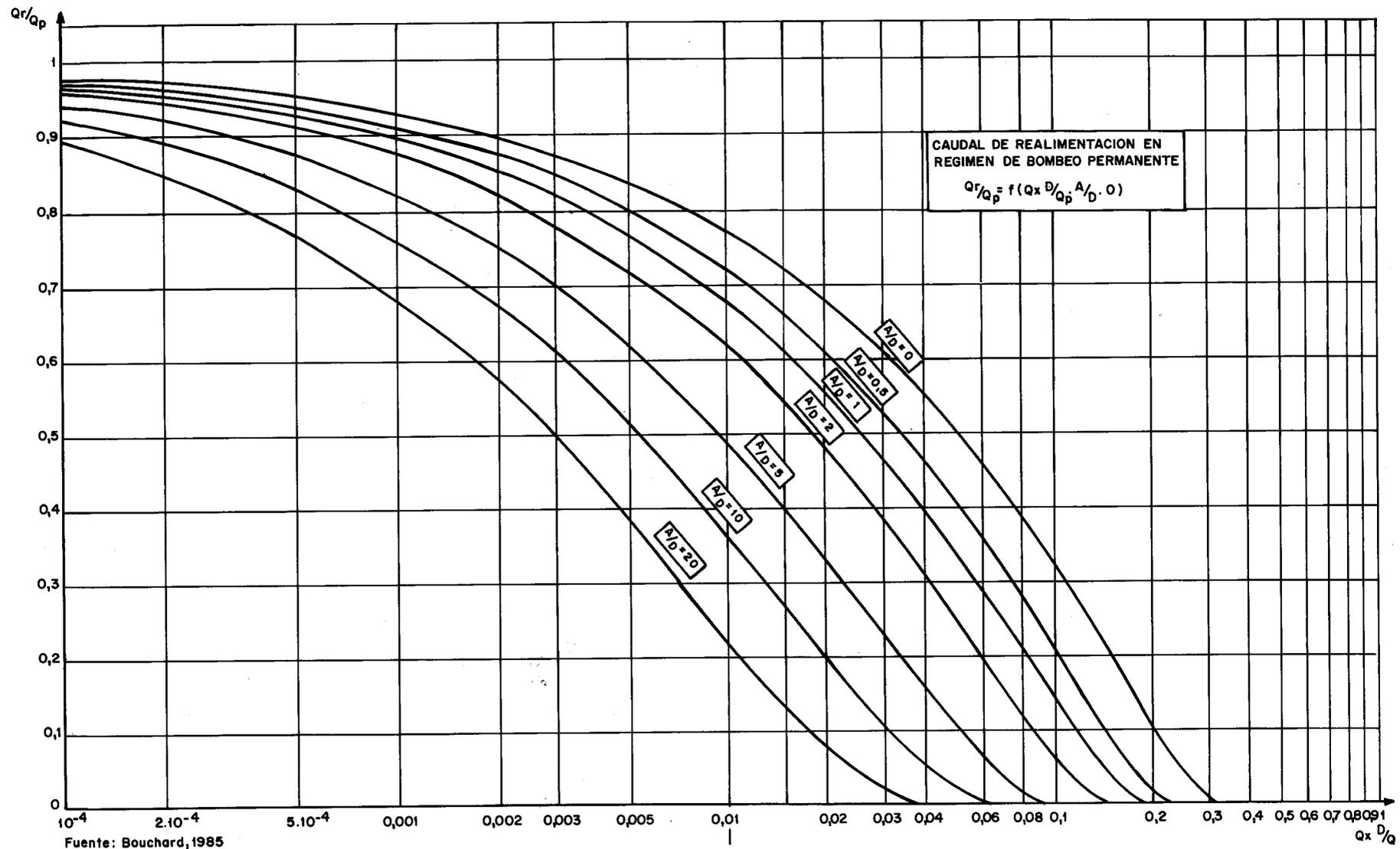
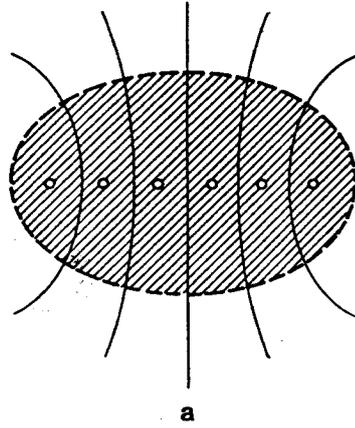
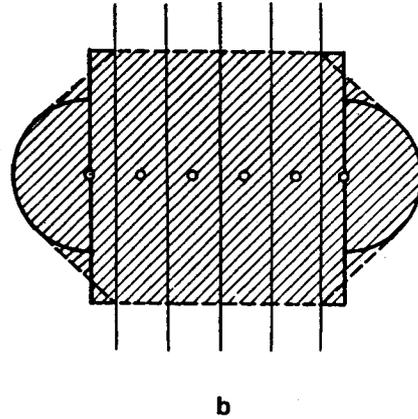


Fig. 61 PROPORCION DEL CAUDAL BOMBEADO PROVENIENTE DEL RIO EN REGIMEN PERMANENTE.



a: ISOCRONA IDEAL



b: ISOCRONA APROXIMADA

Fuente: J.P. Sauty, 1985

FIG. 62 BATERIA DE POZOS EN LINEA

### 7.1.2.B.6.3. Batería de pozos en línea

Se propone aproximar la isocrona  $t_0$  por una serie de rectángulos, (fig. 62, aproximación válida del 5% después de que la distancia de la isocrona a los sondeos sobrepase el doble del espaciamiento de los pozos) para los pozos interiores y de semicírculos para los dos pozos extremos. La superficie global estará cerrada por dos segmentos de recta tangentes a los círculos.

La longitud de los rectángulos es:

$$L = \frac{Q t_0}{m_e b d}$$

siendo  $d$  la separación de dos sondeos vecinos.

El radio del círculo es:

$$R = \sqrt{\frac{Q t_0}{\pi m_e b}}$$

Hay que tener en cuenta que: el perímetro está calculado suponiendo que el flujo es:

- Entre los pozos: paralelo (perpendicular a la línea de los pozos); el volumen de agua representado por cada rectángulo es igual al volumen bombeado por un pozo durante el tiempo  $t_0$ .

$$W L d b = Q t_0$$

- En el exterior, para un caudal mitad de los pozos periféricos: asimétrico alrededor de estos sondeos; el volumen de agua representado por cada semicírculo es igual a la mitad del volumen bombeado por los pozos extremos durante el tiempo  $t_0$ .

$$\frac{m_e \pi R^2}{2} = \frac{Q t_0}{2}$$

### 7.1.2.B.7. Nomogramas de Van Waegeningh y Van Duijnenboden. Cálculo de tiempo o distancias por nomogramas

Estos autores han puesto a punto nomogramas para obtener el tamaño de la zona de protección. Para su empleo es necesario conocer: porosidad eficaz, infiltración, tiempo de tránsito, caudal bombeado y espesor del acuífero.

Si se supone que el caudal extraído de un sondeo  $Q$  es igual a la recarga del acuífero por infiltración  $I$  sobre una superficie de radio  $L$ , se tiene:

$$Q = \pi L^2 I$$

A una distancia  $l$  del sondeo se tiene:

$$Q_l = \pi (L^2 - l^2) I,$$

con una superficie de alimentación del acuífero

$A = 2 \pi l b m_e$ , la velocidad a la distancia  $l$  es:

$$V = \frac{dl}{dt} = \frac{Q_l}{A} = \frac{(L^2 - l^2) I}{2 l b m_e}$$

$$dt = \frac{2 m_e b l dl}{(L^2 - l^2) I}$$

$$t = \frac{-m_e b}{I} \ln (L^2 - l^2) + cte$$

Para  $t = 0, t = 0$  la constante vale:  $\frac{m_e b \ln L^2}{I}$

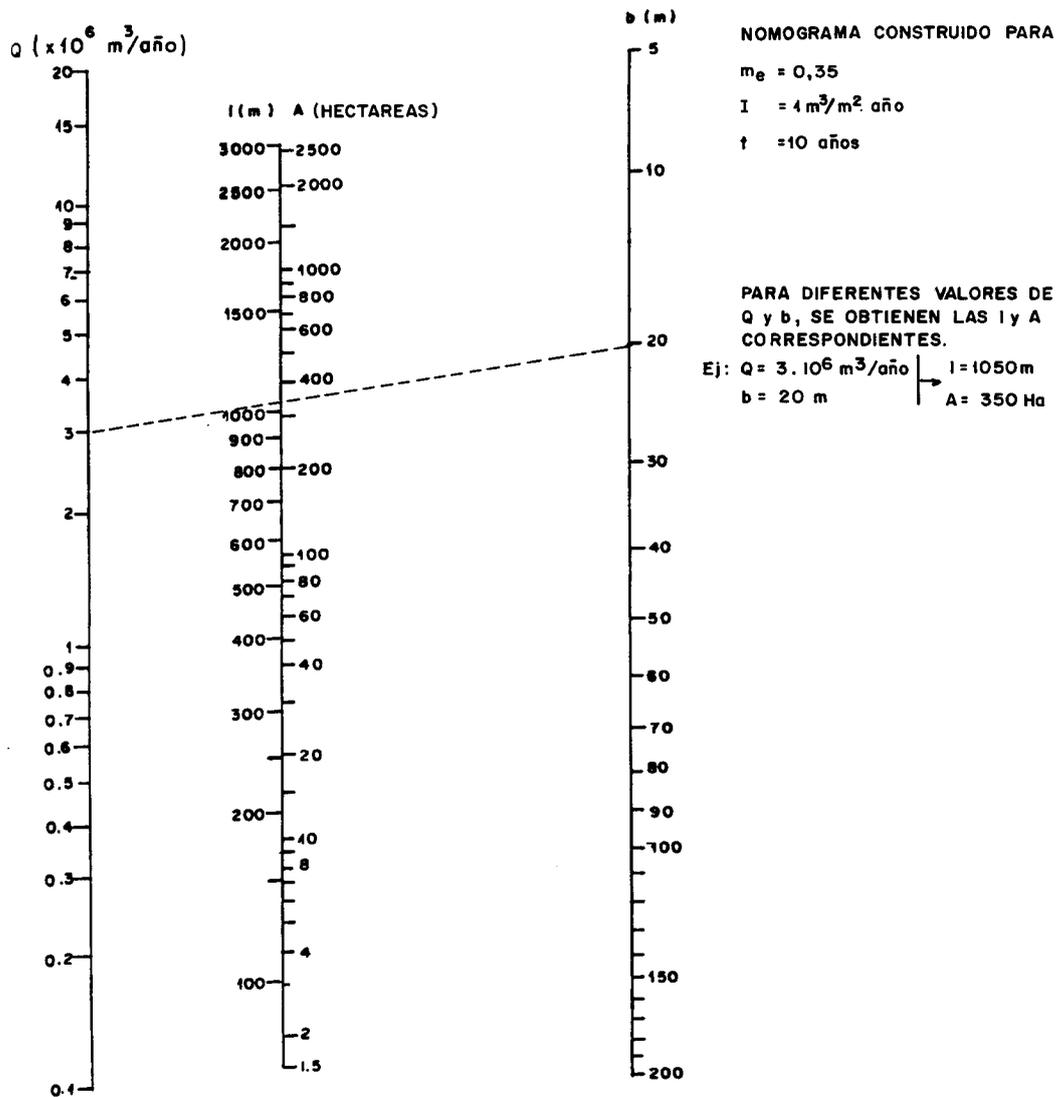
y en consecuencia

$$t = \frac{m_e b}{I} \ln \frac{L^2}{(L^2 - l^2)} \quad \text{Para } L^2 = \frac{Q}{\pi I}$$

$$t = \frac{m_e b}{I} \ln \frac{Q}{Q - l^2 \pi I} \rightarrow l = \sqrt{\frac{Q}{\pi I} (1 - \exp\left(\frac{-tI}{b m_e}\right))} \quad (6)$$

El nomograma de la figura 63 muestra los valores para  $l$  y  $A$  en función de  $Q$  y  $b$  en un acuífero libre con un tiempo de transferencia de 10 años, una porosidad eficaz de 935 y una infiltración de  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ año}$ , los cálculos se han realizado a partir de la ecuación (6).

Se podrían obtener otros nomogramas variando los parámetros que se han fijado para obtener éste, por ejemplo el tiempo de transferencia, la porosidad eficaz, etc.



Fuente: A. Lallemand-Barrès, J.C. Roux, 1989

FIG. 63 EJEMPLO DE APLICACION DE LOS NOMOGRAMAS DE VAN WAEGENING Y VAN DUJVENBODEN

### 7.1.2.B.8. Nomógrafo de Pettyjon

Se va a explicar su principio de utilización a partir de un ejemplo tomado de A. Lallemand y JC Roux.

Sea un acuífero con las siguientes características:

Espesor  $b = 33,52$  m  
Porosidad  $m_e = 0,35$   
Velocidad  $V_e = 0,5$  m/día  
Coeficiente de dispersión longitudinal  $DX = 9,75$  m<sup>2</sup>/día  
Coeficiente de dispersión transversal  $DY = 1,95$  m<sup>2</sup>/día  
Dipersividad  $X_D = 19,5$  m ( $DX / V$ )  
Factor de retardo  $R_d = 1$   
Caudal de inyección  $Q = 759,2$  m<sup>3</sup>/día

Se desea encontrar la distancia  $x$  a la cual una concentración  $C_o = 50$  mg/l aparece al cabo de un tiempo de 5 años  $t = 1.825$  días. El contaminante se inyecta con una concentración de 150 mg/l con un caudal de 800 m<sup>3</sup>/día. Los pasos a seguir son los siguientes (ver figura 64).

a) Sobre la gráfica C se sitúa la concentración  $C_o$  que se espera que aparezca (50 mg/l), es el punto A.

$$b) Q_D = m_e b \sqrt{Dx Dy} = 51,15 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\frac{Q C_o}{Q_D} = 2346 \text{ mg/l que es el punto B.}$$

c) Se unen los puntos A y B prolongando la línea hasta el nomógrafo, punto C.

$$d) t_B = \frac{R_d Dx}{V_e^2} = 39$$

$$\text{El valor de la curva } \frac{t}{t_B} = 46,79$$

Se interpola dicha curva obteniéndose el punto D donde la corte una línea paralela al eje  $\frac{x}{x_D}$  que pase por C.

e) Trazando una paralela al eje  $\frac{t}{t_B}$  que pase por D se obtiene E.

$$E = 45 \quad E = \frac{X}{X_D} \rightarrow X = 19,5 \times 45 = 877,5 \text{ m}$$

Se obtiene así la distancia a la cual aparecerá dentro de 5 años una concentración de 50 mg/l del contaminante. Esta distancia ha de ser medida en la línea central de la pluma de contaminación.

### 7.1.2.C. Método de Horsley

La obtención del perímetro de protección en base a este método se realiza en tres etapas, siendo la segunda de ellas una aplicación del modelo prismático de Strahler.

#### 1ª Fase

Se pretende obtener la distancia aguas abajo en el sentido del flujo a la que se encuentra la divisoria de flujo de la misma mediante un método gráfico que utiliza los descensos del nivel piezométrico al alejarse de ella.

El modo de actuar aparece reflejado en la figura 65. En ella, la curva A representa la variación del nivel piezométrico, antes de comenzar el bombeo, al alejarse de la captación. La curva B indica el cono de bombeo que se produce alrededor de la misma por efecto de las extracciones.

Sumando ambas se obtiene la curva C que será la que indique hasta donde debe extenderse el perímetro aguas abajo. Para ello basta con ver en el eje X a qué distancia de la captación está el punto de inflexión de la curva C.

#### 2ª Fase

Tiene como objetivo delimitar la extensión del perímetro aguas arriba.

Para ello se debe calcular qué proporción existe entre la potencia de acuífero que drena la captación y el espesor saturado total del mismo.

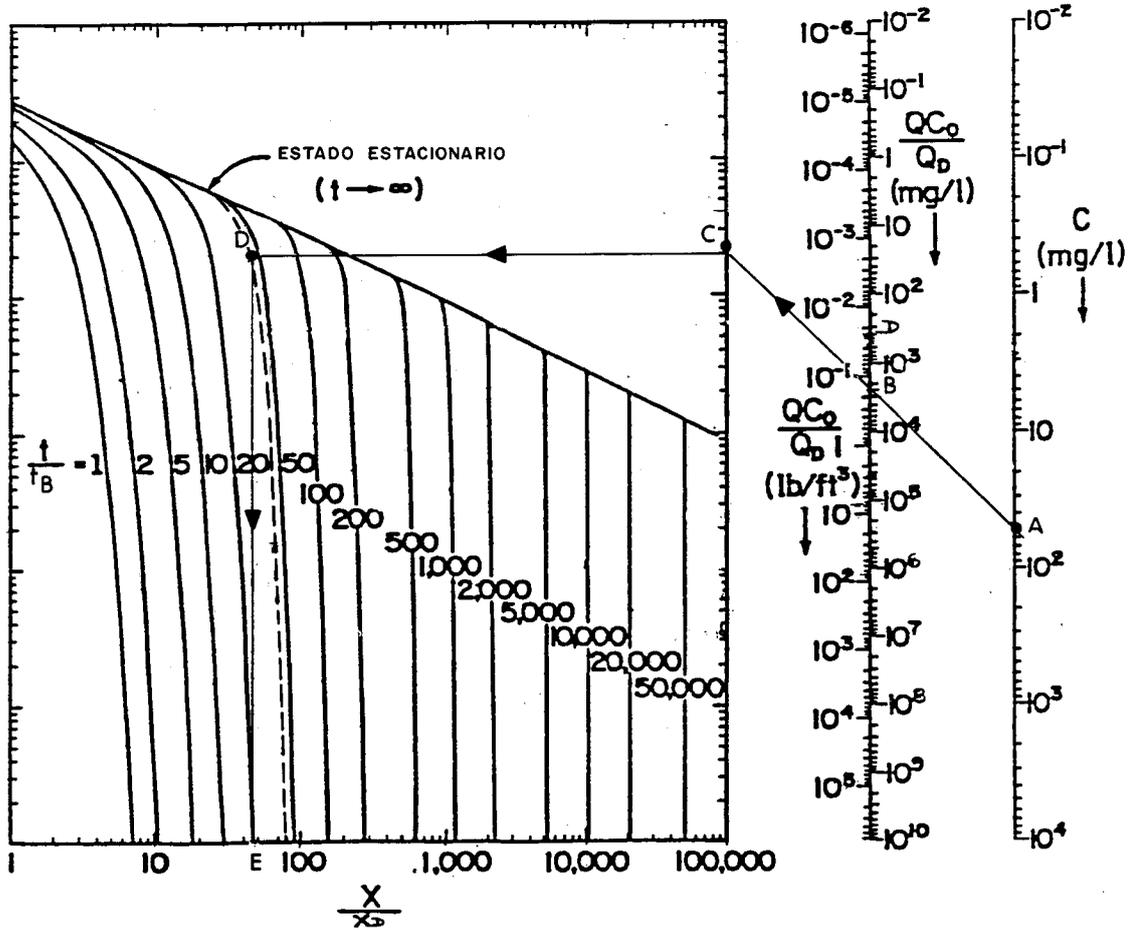
Aplicando la misma proporción a la distancia existente hasta la divisoria hidrogeológica aguas arriba de la captación, se obtiene la extensión del perímetro en esa dirección.

#### 3ª Fase

En esta última fase de la determinación del perímetro de protección solo queda por conocer la zona que abarcará, puesto que ya se calculó previamente cual es su longitud aguas arriba y abajo de la captación.

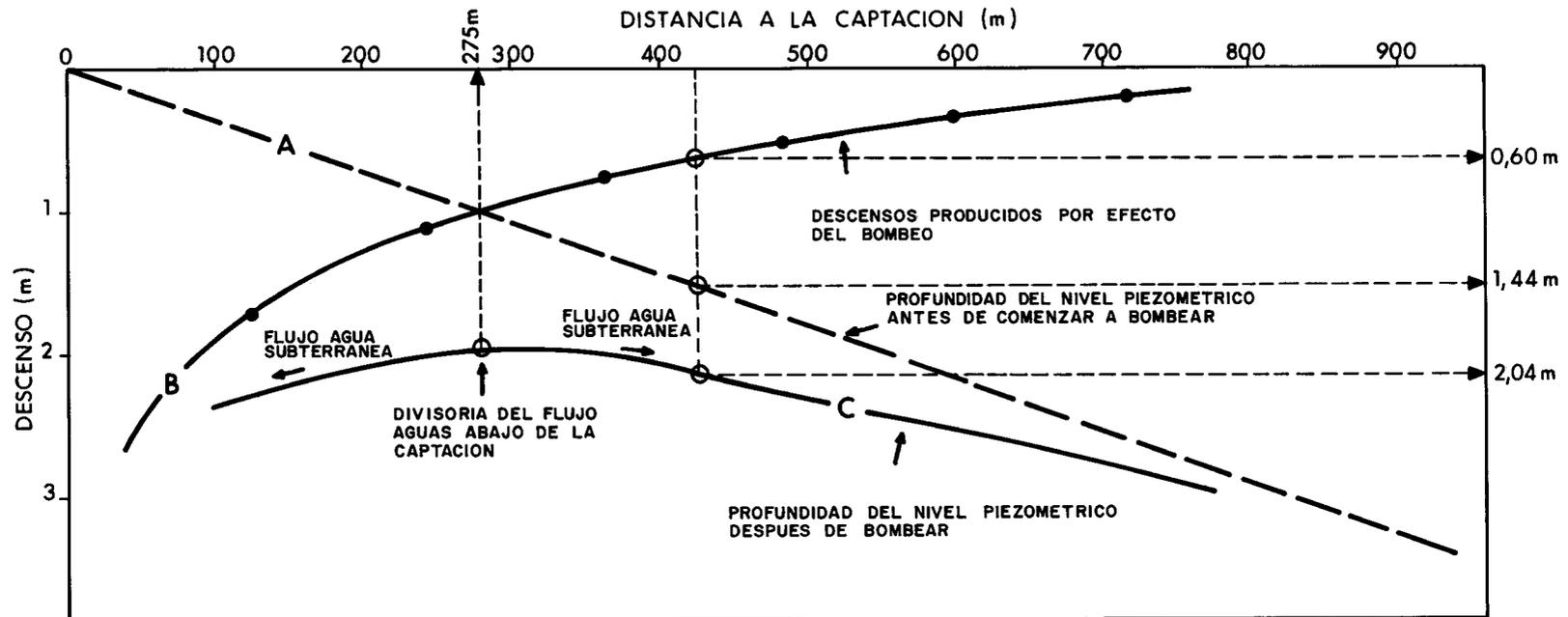
Esta se obtiene calculando el área que necesita para proporcionar el caudal extraído por el sondeo en función de la recarga existente. Para ello se emplea:

$$V = I A \rightarrow A = \frac{V}{I}$$



Fuente: A. Lallemand-Barrés y J.C. Roux, 1989

Fig. 64 NOMOGRAMA PARA LA DETERMINACION DE LA CONCENTRACION EN LA LINEA CENTRAL DE LA PLUMA DE CONTAMINACION.



Fuente: Horsley, 1983

Fig. 65 DETERMINACION DE LA DIVISORIA DE FLUJO DE LA CAPTACION AGUAS ABAJO DE LA MISMA EN EL SENTIDO DEL FLUJO. APLICACION AL CASO DE CAPE COD, MASSACHUSETTS.

Donde:

$V$  = volumen extraído en un período de tiempo  $t$

$I$  = volumen infiltrado por unidad de superficie en el tiempo  $t$

$A$  = área de infiltración

Este método ha sido aplicado para la determinación del perímetro de protección de una captación en Cape Cod, Massachusetts (EE.UU). Se describe a continuación el modo de proceder:

En primer lugar, (ver figura 65), se representan la profundidad del nivel piezométrico al alejarse de la captación y los descensos producidos por efecto del bombeo en esos mismos lugares. La suma de ambos datos permite obtener la curva C en la que se observa la existencia de un punto de inflexión que corresponde a la divisoria de flujo aguas abajo de la captación. La distancia a la que ésta se encuentra se obtiene directamente en dicha figura; en este caso es de 275 m.

Asumiendo que la captación drena los 22 primeros metros del acuífero cuyo espesor saturado total es de 66 m, es decir 1:3, puede usarse esta misma relación respecto a la distancia a la divisoria hidrogeológica, que es de 9600 m como aparece representado en la figura 66.

Se obtiene así que el perímetro de protección debe extenderse 3200 metros aguas arriba de la captación en el sentido del flujo.

Al concluir esta segunda etapa se conoce cual es el eje principal del perímetro de protección y puede orientarse en función del sentido del flujo. Solo resta por calcular el área que ocupará:

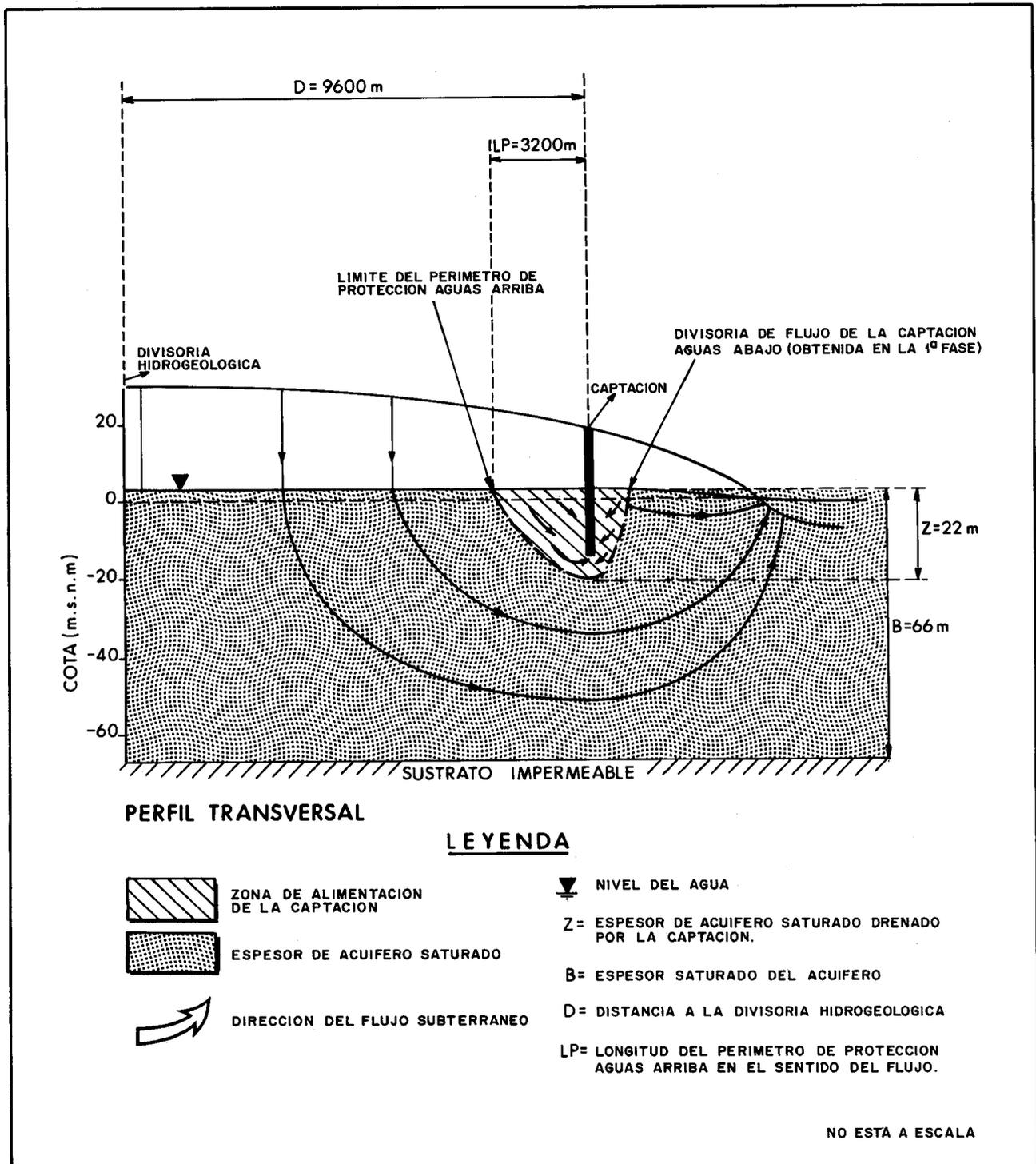
En este caso:

$V$  = volumen extraído anualmente =  $1.381.525 \text{ m}^3$

$I$  = volumen infiltrado anualmente =  $0,33 \text{ m}^3/\text{m}^2$

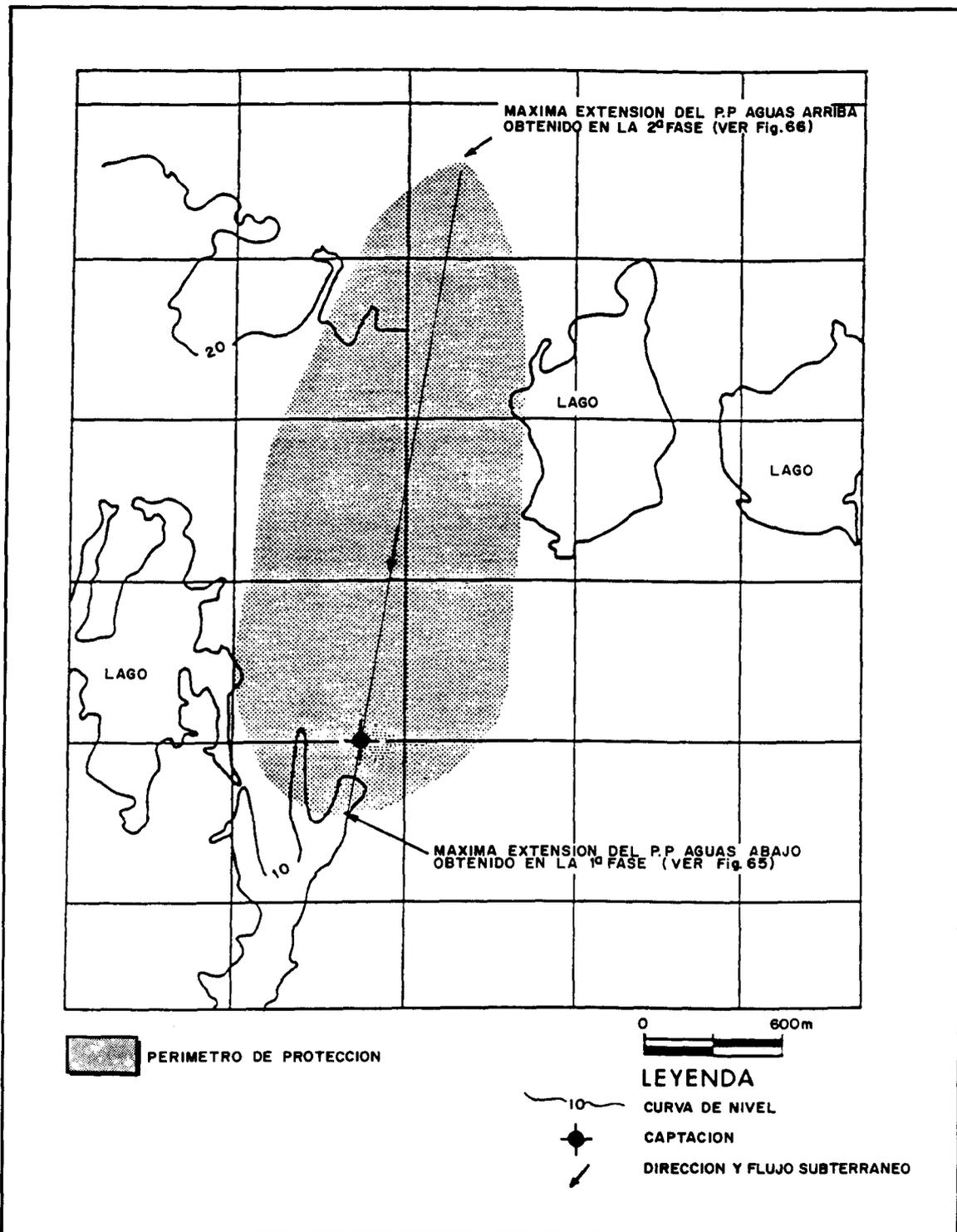
Y puesto que  $V = I A \rightarrow A = \frac{V}{I} = 4.186.439 \text{ m}^2$

Este área fue marcada con la ayuda de un planímetro a ambos lados del eje que ya se conocía, como se ve en la figura 67.



Fuente: Modificado de Horsley, 1983

Fig. 66 DETERMINACION DE LA EXTENSION DEL PERIMETRO DE PROTECCION AGUAS ARRIBA EN EL SENTIDO DEL FLUJO EN CAPE COD, MASSACHUSETTS (EEUU).



Fuente: HORSLEY, 1983

Fig. 67 DETERMINACION DEL AREA OCUPADA POR EL PERIMETRO DE PROTECCION DE CAPE COD, MASSACHUSETTS (EE.UU)

#### 7.1.2.D. Métodos hidrogeológicos

La aplicación de métodos hidrogeológicos en el área objeto de estudio puede permitir, mediante la realización de una cartografía hidrogeológica de detalle, el análisis de la piezometría, la determinación del balance hidrogeológico y diversas técnicas de apoyo, identificar variaciones litológicas, cambios de permeabilidad, divisorias de agua subterránea, influencia de ríos y otros factores que hagan posible localizar con precisión los diferentes límites de flujo, definiendo en base a éstos el perímetro de protección.

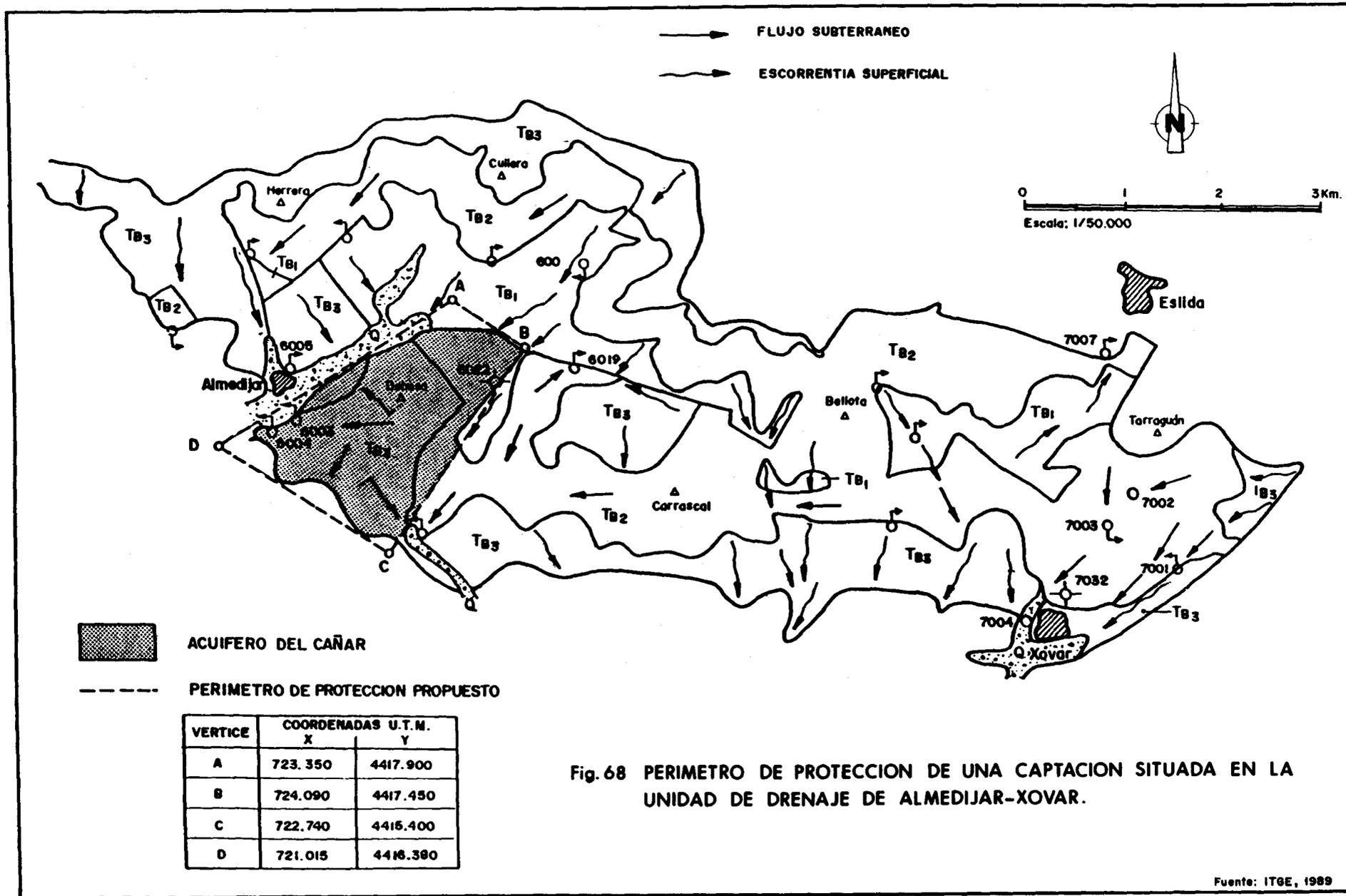
Estos métodos son especialmente útiles cuando se pretende proteger captaciones situadas en acuíferos kársticos o en rocas fisuradas, en los cuales no son aplicables la mayor parte de los procedimientos descritos previamente, al ser acuíferos heterogéneos y anisótropos. En ellos la velocidad de flujo es muy elevada, por lo que un contaminante puede recorrer grandes distancias en poco tiempo. En estos casos es recomendable complementar estos métodos con el uso de otras técnicas, como el empleo de trazadores, que serán analizadas en apartados posteriores.

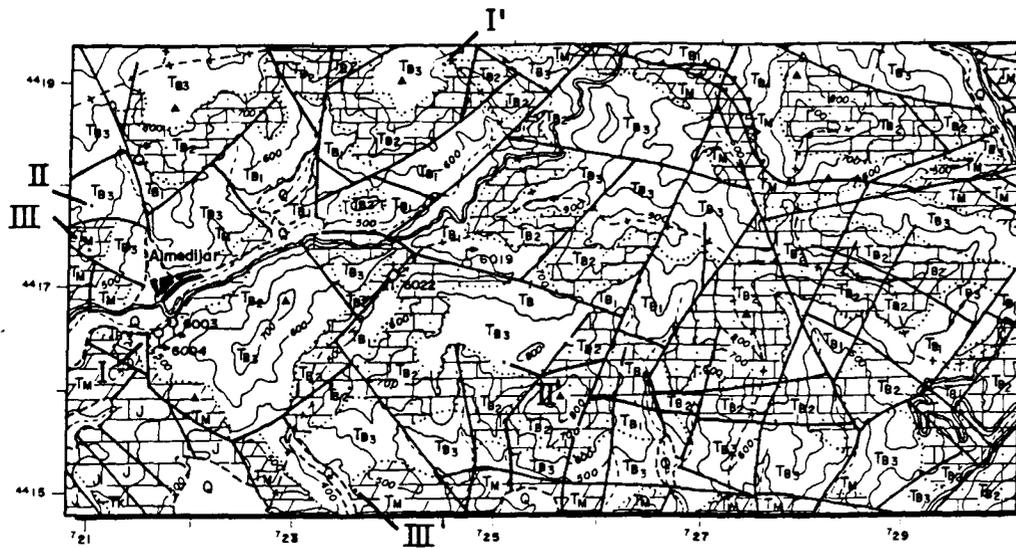
También es posible utilizarlos en otros casos, especialmente cuando se deba evaluar la posible conexión del acuífero captado con otros próximos, si hay límites de flujo cerca de la captación lo que hace disminuir notablemente la precisión de los métodos descritos anteriormente, que no consideran dicha influencia o en acuíferos pequeños, en los que disminuye cuantitativamente la sobreprotección que su empleo conlleva.

El principal inconveniente que plantean es la necesidad de contar con técnicos muy especializados y que puede suponer unos costes muy elevados si no existe una cartografía hidrogeológica previa o es necesario recurrir al apoyo de técnicas geofísicas, efectuar campañas piezométricas, etc.

Este método fue aplicado para definir el perímetro de protección de la fuente del Cañar (Almedijar-Castellón) realizado en 1990 por el ITGE y la Conselleria de Industria, Comercio y Turismo de la Generalitat Valenciana.



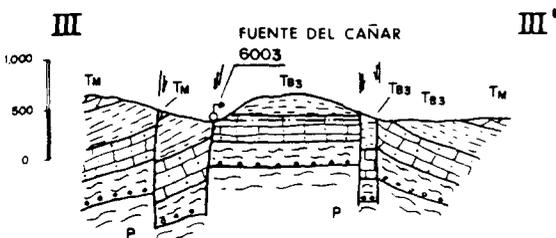
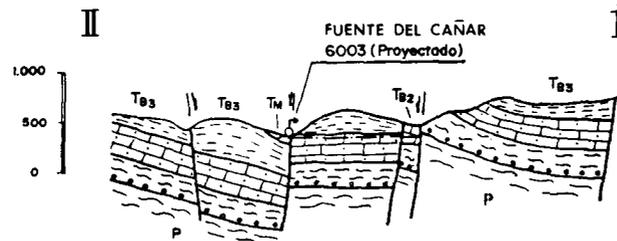
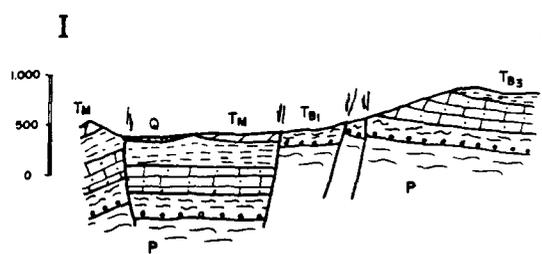




Fuente: Base geológica Tesis Doctoral de Policarpo Garay en ITGE 1990

**LEYENDA**

<b>CUATERNARIO</b>			Q	Conglomerados, gravas, arenas, limos y arcillas
<b>JURASICO</b>		J	LIAS	Dolomías y calizas con carníolas en la base
<b>TRIASICO</b>				
	Tk	KEUPER		Margas y arcillas abigarradas con yeso
	Tm	MUSCHELKALK		Dolomías, calizas dolomíticas y margas
	Tb3	BUNTSANDSTEIN SUP.		Arcillitas y areniscas
	Tb2	" MEDIO		Areniscas cuarcíticas muy compactas
	Tb1	" INF.		Areniscas, limolitas y arcillitas



- ..... CONTACTO NORMAL
- CONTACTO DISCORDANTE
- FALLA
- ▲▲▲ CABALGAMIENTO
- ⊕ SONDEO
- ⊙ MANANTIAL
- NIVEL PIEZOMETRICO



Fig. 69 **CARTOGRAFIA HIDROGEOLOGICA DEL ENTORNO DEL ACUIFERO DEL CAÑAR**

	CUATERNARIO
	MUSCHELKALK
	BUNTSANDSTEIN SUP.
	" MEDIO
	" INF.
	PALEOZOICO

Las aguas de esta fuente se comercializan envasadas para consumo humano y constituyen parte de la descarga del acuífero del Cañar el cual está situado al SO y dentro de la unidad de Almedijar-Xovar (ver figura 68).

Los materiales permeables que dan lugar al acuífero del Cañar son las areniscas del Buntsandstein medio, (Tb<sub>2</sub>), que son permeables por fracturación y fisuración. Sus impermeables de techo y muro son, respectivamente, las lutitas y arcillitas del Tb<sub>3</sub> y Tb<sub>1</sub>. Los límites del acuífero realizados en función del estudio hidrogeológico (ver figura 69) son:

- **Septentrional**, de carácter cerrado al flujo subterráneo por afloramiento del impermeable de base.
- **Occidental**, por contacto mecánico con el impermeable de techo, es un límite cerrado al flujo subterráneo y precisamente en él se origina la "Fuente del Cañar".
- **Meridional**. Aquí los materiales permeables del acuífero se hunden debajo de las formaciones carbonatadas del Muschelkalk. Es por consiguiente un límite abierto al flujo subterráneo, por el que se transfiere parte de la descarga subterránea del acuífero.
- **Oriental**. Presenta dos sectores de características diferenciadas: el septentrional que, por aflorar el impermeable de base, es cerrado al flujo subterráneo y el meridional que, por la disposición estructural de los materiales del acuífero, probablemente esté constituido por una divisoria de flujo, aunque no se puede descartar que por él se produzca alguna entrada de flujo subterráneo del resto de la unidad. No obstante con los datos existentes se consideró el límite oriental cerrado en su totalidad al flujo subterráneo.

La circulación del agua subterránea (figura 68) se realiza fundamentalmente hacia el S y SO condicionada por las áreas de descarga (manantiales 6003 y 6004 y el borde meridional de transferencia de flujo subterráneo).

En base a estas características y a la reducida extensión del acuífero se establece un perímetro de protección que abarca a todo el acuífero (ver figura 68).

### 7.1.2.E. Modelos matemáticos de flujo y transporte

Los perímetros de protección pueden calcularse usando modelos matemáticos que simulan el flujo del agua subterránea y/o el transporte de solutos y resuelven numéricamente las ecuaciones que lo definen.

El cuadro 16 recoge los pasos que se deben seguir al emplearlos.

El modo de actuar consiste esencialmente en definir unas hipótesis hidrodinámicas que caractericen al acuífero que va a ser modelado, eligiendo en función de éstas y de los objetivos a obtener, el modelo que va a utilizarse.

En las tablas 7 y 8 aparecen reflejados diversos modelos de flujo y de calidad, señalando sus principales características, así como los autores y una dirección de contacto para poder disponer de información complementaria.

Una vez realizada esta elección se debe escoger, en función del número de datos existentes, qué período va a ser utilizado como referencia, e introducir en cada una de las celdas en las que ha sido discretizado el acuífero los parámetros hidrogeológicos requeridos por el modelo.

La siguiente fase consiste en calibrarlo, es decir, comprobar si los datos que proporciona coinciden con los existentes en el período de referencia elegido, recurriendo cuando no sea así a datos complementarios y/o revisar los empleados.

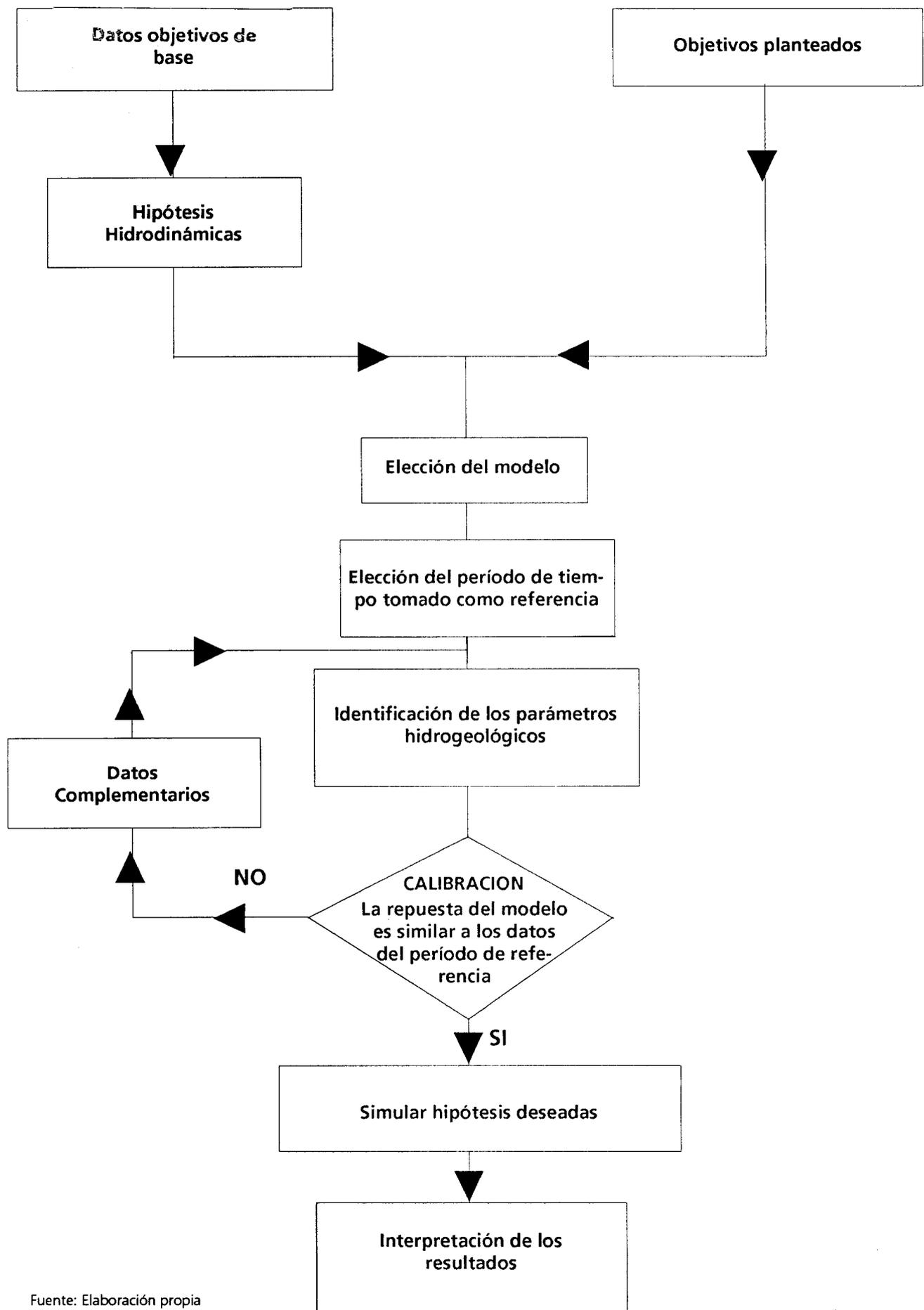
Al concluir esta etapa se dispondrá de un modelo matemático que reproduce fielmente la realidad, por lo que puede ser empleado para simular diferentes hipótesis.

En este caso y en función del criterio elegido para la determinación del perímetro de protección interesará definir el área en la que se produce un cierto descenso, calcular las isocronas para distintos tiempos de tránsito, etc...

Cuando se utiliza un modelo de calidad el procedimiento a seguir suele consistir en realizar primero un modelo de flujo, usando los datos que éste proporciona como entradas para poder resolver así la ecuación de la dispersión.

Respecto a la elección del modelo es necesario efectuar previamente una detallada valoración de la calidad y tipo de los datos de entrada disponibles, puesto que carece de sentido el utilizar modelos muy complicados que requieran un elevado número de parámetros cuando solo se dispone de datos fiables para un número reducido de celdas.

Cuadro 16: Principales etapas en la utilización de un modelo matemático



Fuente: Elaboración propia

El empleo de modelos matemáticos es especialmente útil para la determinación de perímetros de protección cuando existen límites de flujo y condiciones hidrogeológicas complejas, así como para predecir los posibles cambios de tamaño que será necesario realizar en ellos debido a variaciones respecto a las condiciones en los que fue calculado, tales como incrementos de los bombeos, etc. Proporcionan resultados con un elevado grado de exactitud.

El mayor inconveniente que plantea su empleo es que su uso requiere técnicos con una alta especialización, siendo los costes de su aplicación muy elevados. Por esta razón tienden a usarse principalmente cuando se requiere una gran exactitud ante la complejidad del problema o los posibles desembolsos elevados que implicaría la aplicación del perímetro que se proponga, por lo que se hace indispensable proteger solamente el terreno estrictamente necesario, reduciendo así la necesidad de realizar expropiaciones.

En el informe " Aplicación de los modelos de simulación de flujo y transporte de solutos como apoyo a las técnicas de delimitación de perímetros de protección" realizado por el ITGE (en prensa) se exponen con detalle diversos programas analíticos y numéricos especialmente indicados para delimitar perímetros de protección. En algunos países se combina el uso de métodos analíticos en las proximidades de la captación y modelos numéricos para definir la extensión total del perímetro. Esto se debe a que los primeros pueden ser más precisos en las inmediaciones de la captación si la baja densidad espacial de los datos no permite establecer un mallado lo suficientemente pequeño.

Un ejemplo de aplicación del empleo de modelos matemáticos para la determinación de perímetro de protección lo proporcionan Moreau y P.Morfaux:

Se trata de dos campos de sondeos de abastecimiento, que constituyen un caso complejo, pues al hecho de existir varios pozos muy cercanos para la captación de agua se une una intensa relación río-acuífero (ver figura 70).

La formación acuífera está constituida por un paquete de 2 a 5 metros de gravas sobre las que se asientan 2-3 m de limos arcillosos. Las gravas son un excelente acuífero normalmente en carga, pasando a ser un acuífero libre después de bombeos intensos.

En estado natural, el acuífero es drenado por el río Sena, salvo en la proximidad de los principales embalses.

El río juega un papel de barrera hidráulica y de límite de alimentación en bombeo, pero con un desfase

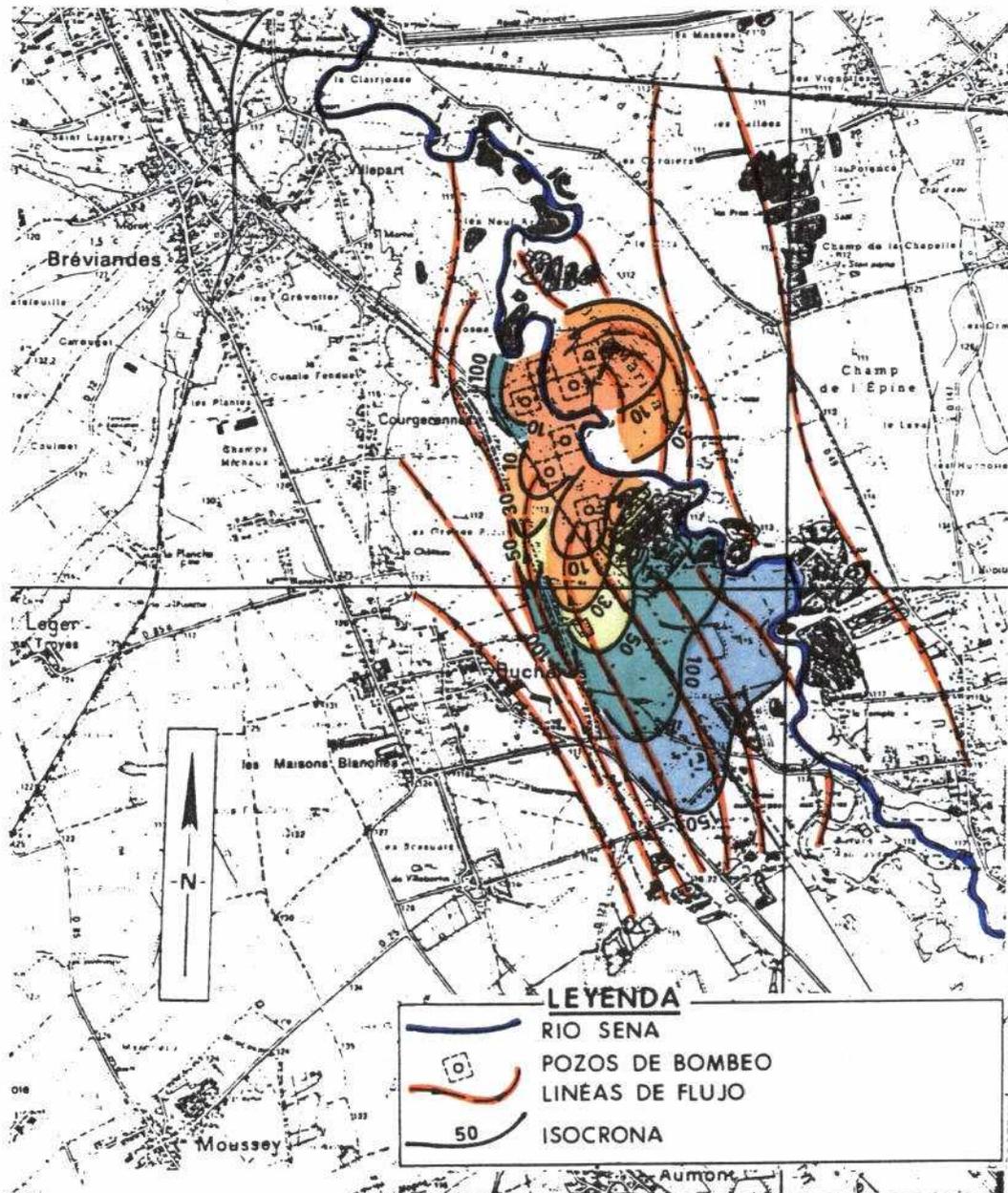
ligado a la colmatación de la rivera. Es también la principal vía de entrada de contaminantes al alimentar al acuífero con posibles sustancias extrañas provenientes de vertidos aguas arriba.

Se hizo un estudio previo de las características hidrogeológicas del acuífero, determinándose los valores (en ambas márgenes) de transmisividad, permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, etc, y se establecieron dos modelos, uno de simulación hidrodinámica, que permitía evaluar la evolución piezométrica en cualquier punto del acuífero, así como las aportaciones laterales. También se preparó un modelo de flujo de solutos con el fin de simular la dinámica y los posibles focos de contaminación (Sena, una gravera aguas arriba, una destilería, etc)

El esquema de explotación elegido corresponde a la puesta en funcionamiento de todas las obras de abastecimiento en la zona en estudio.

De esta manera se obtuvieron cuadros en los que puede verse el tiempo que tardaría un contaminante en llegar a un pozo determinado en función del origen de la polución. Además se realizó un plano de las curvas isocronas de 10 y 30 días de propagación del frente de contaminación.

El estudio dio lugar al establecimiento del perímetro de protección próximo en función de las curvas isocronas obtenidas por el modelo.



Fuente: A. Lallemand-Barrés, J.C. Roux, 1989

Fig. 70 APLICACION DE UN MODELO DE FLUJO Y CALIDAD PARA LA DETERMINACION DE UN PERIMETRO DE PROTECCION EN TROYES Y LA MOGNE. (FRANCIA).

**TABLA 7: MODELOS DE FLUJO**

<b>AUTORES</b>	<b>DIRECCION DE CONTACTO</b>	<b>NOMBRE DE PROGRAMA Y FECHA ULTIMA VERSION</b>	<b>DESCRIPCION DEL PROGRAMA</b>	<b>SALIDAS DEL MODELO</b>
J.V. Tracy	U.S. Geological Survey Water Resource Dept. National Center Reston, VA 22092	GALERKIN FINITE ELEMENT FLOW MODEL (1979)	Modelo bidimensional de elementos finitos para simular el flujo del agua subterránea en un acuífero libre o confinado heterogéneo y anisótropo conectado con un río. El modelo incluye el cálculo del balance del agua superficial.	AI,CB, AA,F
L.R Townley J.L. Wilson A.S. Costa	Ralph M. Parsons Laboratory for water Resources and Hydrodynamics Room 48-211 Massachusetts Inst. of Technology Cambridge. MA 02139	AQUIFEM-1 (1979)	Modelo bidimensional de elementos finitos para simular el flujo del agua subterránea.	AI,CB, AA,F
S.P Neuman	Dept. of Hidrology and Water Resources University of Arizona Tucson AZ 8572	UNSAT2 (1979)	Modelo bidimensional de elementos finitos para simular el flujo del agua en planta o perfil de un acuífero poroso heterogéneo y anisótropo.	AI,CB, AA,F
C.R. Faust T.Chan B.S. Ramada BM.Thompson	Performance Assessment Dept. Office of Nuclear Waste Isolation Battelle Project Mngmt. Div. 505 King Avenue Columbus OH 43201	STFLO (1982)	Modelo bidimensional de elementos finitos para simular el flujo del agua en planta o perfil, en el estado estacionario en acuíferos libres o confinados, heterogéneos y anisótropos.	AI,CB, AA,F
G.T. Yeh C.W.Francis	Oak Ridge National Lab Environmental Sciences División Oak Ridge, TN 378330	AQUIFLOW (1984)	Modelo bidimensional de elementos finitos para simular el flujo del agua subterránea en acuíferos libres o confinados, heterogéneos y anisótropos.	AI,CB, AA,F
G.T. Yeh D.D. Huff	Environmental Sciences División Oak Ridge, National Lab Oak Ridge, TN 37830	FEWA (1983)	Modelo bidimensional de elementos finitos para simular el flujo del agua subterránea en perfil, en acuíferos libres o confinados.	AI,CB, AA,F

**TABLA 7: MODELOS DE FLUJO (Continuación)**

AUTORES	DIRECCION DE CONTACTO	NOMBRE DE PROGRAMA Y FECHA ULTIMA VERSION	DESCRIPCION DEL PROGRAMA	SALIDAS DEL MODELO
K.R. Rushton LM. Tomlinson	Dept. of civil Engineering Univ of Birmingham P.O. Box 363 Birmingham, B 15 2TT United Kingdom	AQU-1 (1979)	Modelo bidimensional para simular el flujo del agua subterránea en un subterránea en un acuífero monocapa.	AI, CB, F
J. Boonstra	I.L.R.I P.O. Box 45 Wageningen The Netherlands	S.G.M.P. (1981)	Modelo bidimensional para simular el flujo del agua subterránea en el estado estacionario transitorio en un acuífero confinado o semiconfinado heterogéneo y anisótropo.	AI, CB, AA, F
O. Berney	Land and Water Development División Food and Agriculture Organization Un via Delle Terme Di Caracalla 00100 - Rome, Italy	DISIFLAQ (1980)	Modelo bidimensional para simular el flujo del agua subterránea en el estado estacionario o transitorio en un acuífero bicapa, isótropo y heterogéneo	AI, CB, AA, F
PC. Trescott G.F. Pinder S.P. Larson	U.S. Geological Survey Branch of Ground Water M. S 411 National Center Reston, VA 22092	USGS-2D-FLOW (1976)	Modelo bidimensional para simular el flujo del agua subterránea, horizontal o vertical en un acuífero confinado o libre heterogéneo y anisótropo.	AI, CB, AA, F
S.P. Neuman P.A. Witherspoon	Dept. of Hydrology and Water Resources University of Arizona Tucson AZ 85721	FREESURF 1 (1979)	Modelo bidimensional para simular el flujo del agua subterránea, horizontal o vertical en el estado estacionario en un acuífero confinado o libre heterogéneo y anisótropo.	AI, CB, AA, F
G.T. Yeh D.S. Ward	Environmental Sciences División Oak Ridge National Lab Oak Ridge, TN 37830	FEMWATER/FECWATER (1981)	Modelo bidimensional para simular el flujo del agua subterránea, en perfil en un acuífero poroso heterogéneo y anisótropo.	AI, CB, AA, F, V
P.K.M van der Hejide	IGWMC Holcomb Research Institute Butler University 4600 Sunset Avenue Indianapolis, IN 46208	THWELLS (1987)	Modelo de flujo para calcular los descensos del nivel piezométrico producidos por el bombeo en varias captaciones en un acuífero confinado, isótropo y heterogéneo.	AI, C, B

**TABLA 7: MODELOS DE FLUJO (Continuación)**

<b>AUTORES</b>	<b>DIRECCION DE CONTACTO</b>	<b>NOMBRE DE PROGRAMA Y FECHA ULTIMA VERSION</b>	<b>DESCRIPCION DEL PROGRAMA</b>	<b>SALIDAS DEL MODELO</b>
C. R. Kolterman	Water Resources Center Desert Research Institute university of Nevada System Reno, NV	GWUSER/conjun (1983)	Modelo de flujo para combinar la simulación y optimización para determinar la localización óptima de las captaciones y su volumen de extracción para acuíferos confinados con o sin recarga artificial o para el uso conjunto de recursos superficiales y subterráneas.	AI, C, B, F,
K.R. Rushton	Dept. of civil Engineering Univ. of Birmingham P.O Box 363 Birmingham, b 15 2tt United Kinghdom.	RADIAL (1979)	Modelo de flujo para determinar este alrededor de una captación.	AI, CB, F,
J.E Reed MS Bedinger J.E. Terry	U.S. Geological Survey Room 2301 Federal Building 700 w. Capitol Ave. Little Rock, AR 72201	SUPERMOCK (1975)	Modelo de flujo para simular la respuesta de un acuífero saturado o no saturado incluyendo un acuífero libre suprayacente a otro confinado ante un cambio transitorio en la presión a que está sometido.	AI, CB, AA
G.F. Pinder C.I. Voss	U.S. Geological Survey Water Resources División National Center M.S. 431 Reston VA 22092	AQUIFEM (1979)	Modelo de flujo para simular este en el estado transitorio en acuíferos confinados, semiconfinados o libres, isótropos y heterogéneos.	AI, CB, AA, F
D.G. Jorgensen H. Grubb CH Baker Jr GE Hilmes ED Jenkins	U.S. Geological Survey Water Research dept. 1950 Avenue A-Campus West University of Kansas Lawrence, KS 66044-3897	GWMD3 (1982)	Modelo de diferencias finitas para calcular los descensos, debidos a la ejecución de un nuevo sondeo, en todas las captaciones existentes en la sección del mismo y en otras 8 secciones adyacentes, comparando estos descensos con el máximo admisible que se imponga.	AI, CB, AA, F
H.M. Haitjema O.D. L. Strack	School of Public & Environmental Affairs 10 th Street Indiana University Bloomington IN 4705	SYLENS (1985)	Modelo de flujo para el estado estacionario calculando este en sistemas con dos acuíferos localmente interconectados.	AI, CB, AA, F

**TABLA 7: MODELOS DE FLUJO (Continuación)**

<b>AUTORES</b>	<b>DIRECCION DE CONTACTO</b>	<b>NOMBRE DE PROGRAMA Y FECHA ULTIMA VERSION</b>	<b>DESCRIPCION DEL PROGRAMA</b>	<b>SALIDAS DEL MODELO</b>
G. F.Pinder E.O. Frind.	Dept. of Civil Engineering Princeton University Princeton, NJ 08540	ISOQUAD (1982)	Modelo tridimensional de elementos finitos para simular el flujo del agua subterránea en acuíferos libres y confinados.	AI, CB, AA, F
D. Kocn	Koch & Associates 1660 s. Filmore St. Denver, CO 80210	AQUIFERA (1984)	Modelo tridimensional de diferencias finitas para simular el flujo del agua subterránea en un acuífero semiconfinado.	AI, CB, F
T. N. Narasimhan	Battelle Pacific NW Lab Water and Lan Resources División P.O. Box 999 Richland, WA 99352	TRUST (1981)	Modelo de flujo para simular variaciones en la piezometría en acuíferos multicapa heterogéneos, medios porosos deformables con geometría compleja.	AI, CB, AA, F
T.A. Prickett C. G. Lonquist	Consulting Water Resource Engineers 6 G. H. Baker Drive Urbana, IL 61801	PLASH (1986)	Modelo bidimensional o cuasitridimensional para simular el flujo del agua subterránea para acuíferos confinados mono o multicapa, acuíferos semiconfinados o libres, con posibilidad de considerar evapotranspiración y recargas de ríos.	AI, CB, AA, F
D.R. Posson G.A. Hearne J.V. Tracy P.F. Frenzel.	U.S. Geological Survey P.O. Box 26659 Albuquerque, NM 87125	N.M.F.D. 3D (1980)	Modelo tridimensional para simular el flujo del agua subterránea en acuíferos multicapa heterogéneos y anisótropos.	AI, CB, AA, F
P.C. Trescott S.P. Larson	U.S. Geological Survey Branch of Groundwater M.S. 411 National Center Reston, VA 22092	USGS-3D-FLOW (1982)	Modelo tridimensional para simular el flujo del agua subterránea en acuíferos heterogéneos y anisótropos.	AI, CB, AA, F
S.K. Gupta C.R. Cole F.W. Bond	Battelle Pacific NW Labs Water and Land Resources División P.O. Box 999 Richland, Wa 99352	FE3DGW (1985)	Modelo tridimensional para simular el flujo en el estado estacionario o transitorio en una gran cuenca con acuífero multicapa.	AI, CB, AA, F, V
J.A. Liggett	School of Civil and Environmental Eng. Hollister Hall Cornell University Ithaca, NY 14853	GMS (1982)	Modelo tridimensional para simular el flujo en el estado estacionario en una cuenca compleja, con diversos acuíferos heterogéneos y anisótropos.	AI, CB, AA, F, V,

**TABLA 7: MODELOS DE FLUJO (Continuación)**

<b>AUTORES</b>	<b>DIRECCION DE CONTACTO</b>	<b>NOMBRE DE PROGRAMA Y FECHA ULTIMA VERSION</b>	<b>DESCRIPCION DEL PROGRAMA</b>	<b>SAIDAS DEL MODELO</b>
M.G. Mc Donald A.W. Harbaugh	Ground Water Branch, WRD U.S. Geological Survey WGS-Mail Stop 433 Reston, VA 22092	MODFLOW (1983)	Modelo tridimensional de diferencias finitas para simular el flujo de agua subterránea en acuíferos heterogéneos y anisótropos.	AI, CB, AA, F

**TABLA 8: MODELOS DE CALIDAD**

<b>AUTORES</b>	<b>DIRECCION DE CONTACTO</b>	<b>NOMBRE DE PROGRAMA Y FECHA ULTIMA VERSION</b>	<b>DESCRIPCION DEL PROGRAMA</b>	<b>SAIDAS DEL MODELO</b>
G.T. Yeh D.D. Huff	Environmental Sciences División Oak Ridge National Lab Oas Ridge TN 37830	FEMA (1984)	Modelo bidimensional de elementos finitos para simular el transporte de solutos considerando disminución de radiactividad, absorción y degradación química y biológica. El modelo resuelve sólo la ecuación del transporte de solutos, debiendo generarse las velocidades con un modelo de flujo.	F, C
C.I. Voss	U.S. Geological Survey 431 National Center Reston, VA 22092	SUTRA (1984)	Modelo bidimensional de elementos finitos para el estado transitorio, zona saturada- no saturada, flujo dependiente de la densidad, así como transporte de energía o de sustancias químicas sencillas.	AI, CB, AA, F, C, V,
P. Huyakorn	IGWMC Holdcomb Research Institute Butler University 4600 Sunset Avenue Indianapolis, IN 46208	TRAFRAP (1986)	Modelo bidimensional de elementos finitos para simular el flujo del agua subterránea y el transporte de sustancias químicas o radionucleidos en medios porosos fracturados o no, heterogéneos y anisótropos.	AI, CB, AA, F, C, V, P
I. Javandel C. Doughty C.F. Tsang	Lawrence Berkeley Lab Earth Sciences División University of California Berkeley CA 94720	RESSQ (1983)	Modelo bidimensional semi analítico para simular el transporte de contaminantes considerando advección y absorción en un acuífero confinado de espesor uniforme, homogéneo e isótropo en el estado estacionario.	C, V, P, T

**TABLA 8: MODELOS DE CALIDAD (Continuación)**

AUTORES	DIRECCION DE CONTACTO	NOMBRE DE PROGRAMA Y FECHA ULTIMA VERSION	DESCRIPCION DEL PROGRAMA	SALIDAS DEL MODELO
R.W Nelson	Battelle Pacific NW Labs Sigma 5 Building P.O Box 999 Richland WA 99352	PATHS (1983)	Modelo bidimensional para evaluar problemas de contaminación en el estado transitorio usando una solución analítica para la ecuación del flujo y una solución numérica para las ecuaciones que definen la trayectoria de las partículas contaminantes.	F,V,C, P, T
T.R Knowles	Texas Water Development Board P.O. Box 13231 Austin TX 78711	GWSIM-11(1981)	Modelo bidimensional para el estado transitorio para simular los niveles del agua y su calidad en un acuífero confinado o libre, heterogéneo y anisótropo.	AI,CB, F,C,AA
P.Van der Veer	Rijkswaterstaat Data Processing División P.O Box 5809 2280 HV Rijswijk (2.H) The Netherlands	MOTGRO (1981)	Modelo bidimensional de flujo y calidad para el estado transitorio en acuíferos confinados o libres heterogéneos, y anisótropos de formas arbitrarias.	AI,CB, F,V,P,T
J.W Wesswling	Delft hydraulics Laboratory P.O Box 152 8300 Ad Emmeloord The Netherlands	GROWKWA (1982)	Modelo bidimensional para el estado transitorio que simula el flujo y el transporte no conservativo de solutos en un sistema acuífero multicapa heterogéneo y anisótropo.	AI,CB,AA,F,C,V
S.Haji-Djafari T.C Wells	D'Appollonia Waste Mgmt. Services, Inc. 10 Duff Road Pittsburgh, PA 15235	GEOFLOW (1982)	Modelo bidimensional para el estado estacionario o transitorio que simula el flujo y el transporte de masa en un acuífero confinado, semiconfinado, o libre, heterogéneo y anisótropo.	AI,CB,AA,F,C,V
W.E Sandford L.F Konikow	U.S Geological Survey 431 National Center Reston, VA 22092	MOC DENSE (1986)	Modelo bidimensional para simular el transporte y dispersión de una o dos sustancias en el agua dependiendo el flujo de la densidad. Emplea diferencias finitas y el método de las características para resolver las ecuaciones de flujo y transporte de solutos.	AI,CB,AA,F,C, V
T.A Prickett T.G Naymik C.G Lonquist	Consulting Water Resources Engineers 6 G.H Baker Drive Urbana, IL 61801	RANDOM WALK (1981)	Modelo mono o bidimensional para simular el flujo en el estado estacionario o transitorio y problemas de transporte de solutos en acuíferos libres y/o confinados heterogéneos.	AI,CB,AA,F,C,V

**TABLA 8: MODELOS DE CALIDAD (Continuación)**

AUTORES	DIRECCION DE CONTACTO	NOMBRE DE PROGRAMA Y FECHA ULTIMA VERSION	DESCRIPCION DEL PROGRAMA	SAIDAS DEL MODELO
P.S Huyakorn	Geotrans, Inc. 431 Elden St. 301 Herndon, VA 22070	SATURN 2 (1982)	Modelo bidimensional para simular el flujo del agua subterránea en el estado transitorio y transporte de solutos en acuíferos en medios porosos heterogéneos y anisótropos.	AI,CB,AA,F,C,V
L.F Konikow J.D Bredehoeft	U.S Geological Survey 431 National Center Reston, VA 22092	MOC (1987)	Modelo bidimensional para simular el flujo del agua subterránea y el transporte de solutos en acuíferos confinados, semiconfinados o libres.	AI,CB,AA,F,C, V
B.Sagar	Analytic and Computational Research, Inc. 3106 Inglewood Blvd. Los Angeles, CA 90066	AQUIFER (1982)	Modelo bidimensional para simular el flujo del agua subterránea en el estado estacionario o transitorio en planta o sección y la trayectoria de los contaminantes en un sistema multiacuífero heterogéneo y anisótropo.	AI,CB,AA,F,V,P
P. Huyakorn	Geotrans, Inc. 209 Elden St. 301 Herndon, VA 22070	SEFTRAN (1983)	Modelo bidimensional para simular flujo y problemas de transporte de contaminantes o calor en planta o sección de acuíferos heterogéneos.	AI,CB,AA,F,C,V V,P
B. Sagar	Analytic & Computational Research, Inc 3106 Inglewood Blvd. Los Angeles, CA 90066	FRACFLOW (1981)	Modelo bidimensional para simular en el estado estacionario y transitorio el flujo dependiente de la densidad, el transporte de solutos o calor incluyendo su variación en función del tiempo y lo mismo, en una dimensión, en acuíferos por fracturación.	AI,CB,AA F,C,V,P
B. Sagar	Analytic & Computational Research, Inc 3106 Inglewood Blvd. Los Angeles, CA 90066	FLOTRA (1982)	Modelo bidimensional para simular en el estado estacionario o transitorio en planta o sección el flujo dependiente de la densidad, transporte de solutos o calor en un acuífero en medios porosos deformable, heterogéneo y anisótropo.	AI,CB,AA F,C,V,P
Miller, I. J.Marlon- Lambert	Golder Associates 2950 Northrup way Bellevue, WA 98004	GGWP(1983)	Modelo bidimensional o cuasitridimensional para simular en el estado estacionario o transitorio el flujo y transporte de solutos en un sistema acuífero multicapa heterogéneo y anisótropo.	AI,CB,AA,F,C V,P,T
M.S Beljin	IGWMC Holcomb Research Institute Butler University 4600 Sunset Avenue Indianapolis, IN 46208.	SOLUTE (1985)	Paquete de 8 modelos analíticos para simular el transporte de solutos en el agua subterránea.	C,T.

**TABLA 8: MODELOS DE CALIDAD (Continuación)**

AUTORES	DIRECCION DE CONTACTO	NOMBRE DE PROGRAMA Y FECHA ULTIMA VERSION	DESCRIPCION DEL PROGRAMA	SAUDAS DEL MODELO
T.Steenhuis S. Pacenka	Northeast Regional Agricultural Engineering Service Riley-Robb Hall Cornell University Ithaca, NY 14853	MOUSE (1987)	Paquete de 4 modelos lincados para definir el movimiento de sustancias contaminantes en la zona saturada y no saturada.	C,T
M.Th.van Genuchten W.J Alves	U.S Salinity Lab 4500 Glenwood Drive Riverside, CA 92501	ONE-D (1982)	Modelo monodimensional para simular analíticamente el transporte de solutos convectivo-dispersivo con absorción lineal en el estado estacionario en un acuífero semiinfinito homogéneo e isótropo.	C,T
INTERA Environmental Consultants	Battelle Project Management División Performance Assessment Dept . Office of Nuclear Waste Isolation 505King Avenue Columbus, OH 43201	VERTPAK-1 (1982)	Paquete de soluciones analíticas para ayudar en la verificación de los códigos numéricos usados para simular el flujo del agua subterránea, la deformación de las rocas y el transporte de solutos en medios porosos fracturados o no.	C,V,T
C. Van Den Akker	National Institute for Water Supply P.O Box 150 2260 Ad Leidschendam The Netherlands	FLOP-2(1975)	Modelo para generar los caminos preferentes del flujo en un estado estacionario, acuífero semiconfinado, isótropo y homogéneo sin almacenamiento y para calcular tiempos de tránsito para diversas partículas.	C,V,P,T
C.S Desai	Dept. of Civil Eng. and Eng.Mach. University of Arizona Tuscon, AZ 85721	MAST-2D	Modelo para simular el transporte de solutos en acuíferos en medios porosos.	AI,CB,F,C,V
A.E Reisenauer C.R. Cole	Water and Land Resources Division Battelle Pacific NW Labs P.O Box 999 Richland, WA 99352	VTT (1979)	Modelo para simular acuíferos multicapa confinados o libres y para generar líneas de flujo y tiempos de tránsito.	AI,CB,V,P,T
W.C Walton	IGWMC Holcomb Research Institute Butler University 4600 Sunset Avenue Indianapolis, IN 46208	35 MICROCOMPUTER PROGRAMS (1984)	Paquete de programas analíticos y numéricos para simular el flujo y el transporte de solutos y calor en acuíferos libres o confinados con geometría sencilla.	AI,CB,C,V,T
S.P Garabedian L.F Konikow	U.S. Geological Survey 431 National Center Reston, VA 22092	FRONTRACK (1983)	Modelo de diferencias finitas para simular el transporte convectivo de un trazador que no se descompone disuelto en el agua subterránea para el régimen estacionario o transitorio. El modelo calcula velocidades y la posición de las partículas del trazador.	AI,CB,AA,F,C V,P,T

**TABLA 8: MODELOS DE CALIDAD (Continuación)**

AUTORES	DIRECCION DE CONTACTO	NOMBRE DE PROGRAMA Y FECHA ULTIMA VERSION	DESCRIPCION DEL PROGRAMA	SAUDAS DEL MODELO
S.K Gupta C.T Kincaid P.R Meyer C.A Newbill C.R Cole	Battelle Pacific NW Labs P.O Box 999 Richland WA 99352	CFEST (1985)	Modelo tridimensional de elementos finitos para simular el flujo del agua subterránea, así como el transporte de solutos y calor en un medio poroso.	AI,CB, F,AA,C,V
G.T Yeh	Environmental Sciences Division Oak Ridge National Lab Oak Ridge, TN 37830	AT123D (1981)	Modelo mono- bi o tridimensional para simular el transporte de solutos en un acuífero homogéneo y anisótropo considerando la disminución y retardo de estos desde diversas fuentes de procedencia.	C,T
R.D Schmidt	U.S Dept of the Interior Bureau of Mines P.O Box 1660 Twin Cities, MN 55111	ISL-50 (1979)	Modelo tridimensional para simular el flujo en un acuífero homogéneo y anisótropo considerando un modelo de captaciones de inyección y extracción determinando tiempos de transito y recorridos de sustancias contaminantes.	V,P,T
G. Segol E.O Frind	Dept. of Earth Sciences University of Waterloo Waterloo, Ontario Canada N2L 3G1	3-D SATURATED UNSATURATED TRANSPORT MODEL (1976)	Modelo tridimensional para determinar la concentración de solutos conservativos o no en sistema de flujo saturados o no.	AI,CB, F,C
A.K Runchal	Analytic & Computational Research, Inc. 3106 Inglewood Blvd Los Angeles, CA 9006	PORFLOW II AND III (1987)	Modelo bi-tridimensional para simular flujo dependiente de la densidad, transporte de solutos y calor en acuíferos en medios porosos no deformables, saturados, heterogéneos y anisótropos.	AI,CB,AA,F,C,V
P.S Huyakorn	Geotrans Inc. 209 Elden St. 301 Herndon VA 22070	GREASE 2 (1982)	Modelo multidimensional para simular el flujo del agua subterránea, el transporte de solutos y/o calor en acuíferos multicapa en medios porosos heterogéneos y anisótropos, fracturados o no.	AI,CB,AA,F,C,V
INTERA Environmenta Consultants, en Inc. and INTERCOMP Resource Development & Eng, Inc	U.S Geological Survey Box 25046 Mail Stop 411 Denver Federal Center Lakewood CO 80225	SWIP/SWIPR/ SWENT (1985)	Modelo tridimensional para simular el flujo del agua subterránea en el estado transitorio, así como el transporte de contaminantes o calor en un acuífero heterogéneo y anisótropo.	AI,CB,AA,F,C,V

**TABLA 8: MODELOS DE CALIDAD (Continuación)**

AUTORES	DIRECCION DE CONTACTO	NOMBRE DE PROGRAMA Y FECHA ULTIMA VERSION	DESCRIPCION DEL PROGRAMA	SALIDAS DEL MODELO
B.J Travis	Los Alamos National Lab Earth and Spaces Sciences Division Los Alamos NM 87545	TRACR3D (1984)	Modelo tridimensional de diferencias finitas para simular el flujo y transporte de diversos solutos en acuíferos en medios porosos o fracturados, deformables, y heterogéneos.	AI,CB,AA,F,C,V
R.T Dillon RM Cranwell R.B Lantz S.B Panwa M.Reeves	Sandia National Labs Albuquerque NM 87185	SWIFT (1981)	Modelo tridimensional de diferencias finitas para simular el flujo dependiente de la densidad, así como el transporte de calor, radio nucleidos o trazadores en acuíferos confinados heterogéneos y anisótropos.	AI,CB,AA,F,C,V,P,T

**LEYENDA TABLAS 7 Y 8**

La columna " Salidas del modelo" presente en las tablas 7 y 8 especifica el tipo de información que proporciona el modelo que puede ser utilizada para delimitar los perímetros de protección.

Se han usado las siguientes abreviaturas:

- AI = Area de influencia (Area alrededor de la captación en la que se producen descensos del nivel piezométrico por efecto del bombeo en la misma)
- C = Concentración del contaminante en el area simulada
- CB = Cono de bombeo. (Es la forma que presenta el area de influencia en sección)
- F = Flujo
- P = Trayectoria de las partículas contaminantes en el acuífero
- AA = Area de alimentación (zona en la cual el agua procedente de la precipitación, cauces superficiales u otras fuentes podría eventualmente alcanzar la captación)
- T = Tiempo de tránsito (isocronas)
- V = Velocidad del agua subterránea

### 7.1.2.F. Otros métodos y técnicas complementarias

#### 7.1.2.F.1. Método de Rehse para el cálculo del poder depurador del suelo

Rehse propone un método empírico para el cálculo del poder depurador del suelo sobre los efluentes contaminantes que pudieran atravesarlo, para ello considera la circulación del contaminante en dos tramos diferenciados, un tramo vertical a través de la zona no saturada del terreno, y un segundo tramo, horizontal, hasta el punto de extracción del agua, circulando por la zona saturada del acuífero. Así en función de la velocidad, tipo de materiales y espesor atravesado, cuantifica el nivel de depuración sufrido por el contaminante. Para el cálculo se apoya en varias tablas, que relacionan el tipo de materiales (diferenciando zona saturada y no saturada) y su poder depurador. En las tablas 9 y 10 se recogen características de los materiales de la zona saturada y no saturada.

Así pues se definen las variables siguientes (ver figura 71):

$l_r = 1/H$  Donde  $l_r$  = Índice de depuración en la zona no saturada (cuadro 17)

$H$  = Espesor vertical de la zona no saturada

$l_a = 1/L$   $l_a$  = Índice de depuración de la zona saturada (cuadro 18)

$L$  = Longitud atravesada de zona saturada

El poder depurador vendrá dado por:

$$M_x = M_a + M_r$$

Donde

$M_x$  = Poder depurador sobre la totalidad del transporte

$M_r$  = Poder depurador en el trayecto vertical

$M_a$  = Poder depurador en el trayecto horizontal

Cuando  $M_x \geq 1$  la depuración es completa.

- Depuración en la zona no saturada

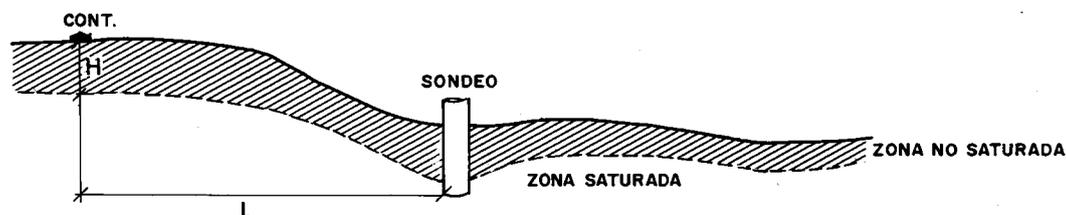
Para el trayecto vertical, si la zona no saturada está constituida por  $n$  materiales diferentes:

$$M_r = \sum_{i=1}^n h_i l_{r_i}$$

$h_i$  = espesores de los materiales

$l_{r_i}$  = índices para esos materiales

Cuando  $M_r \geq 1$  la depuración en la zona no saturada es completa y según Rehse no sería necesario determinar el perímetro de protección próximo.



Fuente: Elaboración propia

FIG. 71 ZONA A CONSIDERAR EN EL METODO DE REHSE

Cuando  $M_r < 1$  la depuración en las capas superiores no es completa y el agua contaminada alcanzaría la zona saturada.

**- Depuración en el acuífero**

Si  $M_x = 1$  (es decir, existe una depuración completa antes de llegar el agua a la captación) entonces el poder depurador de la zona saturada será:

$$M_a = 1 - M_r$$

La distancia L que como mínimo es necesario recorrer para alcanzar una depuración total sería:

$$L = M_a / I_a \quad I_a = \text{índice correspondiente al material acuífero.}$$

Según Rehse L correspondería al límite del perímetro de protección próximo.

Si no existiera recubrimiento toda la depuración debería realizarse a través del material acuífero, para que sea completa, debe ser:

$$M_a = 1 \quad y \\ L = 1 / I_a$$

**Cuadro 17: Poder depurador del suelo en el recubrimiento (suelo + zona no saturada)**

M	Descripción del material	H (m)	$I_r = 1/H$
1	Humus, 5 - 10 % humus, 5-10% arcilla	1,2	0,8
2	Arcilla sin grietas de desecación, limo-arcilloso. Arena muy arcillosa	2	0,5
3	Limo arcilloso a limo	2,5	0,4
4	Limo, arena poco limosa, arena limosa	3-4,5	0,33-0,22
5	Arena fina a media	6	0,17
6	Arena media a gruesa	10	0,1
7	Arena gruesa	15	0,07
8	Grava con abundante matriz arenosa y limo-arcillosa	8	0,13
9	Grava con abundante matriz arenosa y limo-arcillosa	12	0,08
10	Grava fina a media, rica en arena	25	0,04
11	Grava media a gruesa con poca arena	35	0,03
12	Guijarros	50	0,02

M = Nº de clasificación granulométrica

H = Espesor de la capa de suelo necesaria para la depuración

$I_r$  = Índice de depuración de la zona de recubrimiento

Arena      Diámetro de grano      2 mm - 0,063  
 Limo      Diámetro de grano      0,063 mm - 0,005 mm  
 Arcilla      Diámetro de grano      < 0,005 mm

Fuente Rehse, 1977

**TABLA 9: Algunos parámetros hidrogeológicos para las rocas de la zona no saturada**

(1) N° DE DE ROCA M	(2) ROCA	(3) ESPESOR (m)	(4) PERMEABILID. SATURADA O SEMISATUR. (m/s)	(5) POROSIDAD UTIL SATURADA %	(6) POROSIDAD UTIL NO SATURADA	(7) SUPERFICIE ESPECIFICA m <sup>2</sup>	(8) VELOCIDAD REAL (m/d)	(9) TIEMPO DE RECORRIDO (días)	(10) CAPACIDAD RETENCION (%)	(11) VOLUMEN UTIL m <sup>3</sup>	(12) RETENCION m <sup>3</sup>	(13) SUPERFICIE TOTAL DE LOS GRANOS (m <sup>2</sup> )	
1	Roca con propiedades de adsorción	1,2	5 x 10 <sup>7</sup>	0,05	-	1x10 <sup>6</sup> a5x10 <sup>7</sup>	0,86	1,4	> 10	(0,06)	0,12	1.2x10 <sup>6</sup> a6x10 <sup>7</sup>	
2		2,0	1x10 <sup>8</sup>	0,035	-	4x10 <sup>8</sup>	0,025	80,0	50	(0,07)	1,0	8x10 <sup>8</sup>	
3		2,5	1x10 <sup>7</sup>	0,065	-	4x10 <sup>5</sup>	0,16	15,6	20	(0,14)	0,5	1x10 <sup>8</sup>	
4 <sub>1</sub>		3,0	5x10 <sup>7</sup>	0,08	-	225.600	0,54	5,6	32	0,24	1,0	676.800	
4 <sub>2</sub>	Roca  Arenosa	3,8	1x10 <sup>6</sup>	0,10	-	25.000	0,86	4,4	27	0,38	1,0	95.000	
4 <sub>3</sub>		4,5	5x10 <sup>6</sup>	0,10	0,08	19.000	4,32	1,0	24	0,45	1,1	85.500	
5		5x10 <sup>7</sup>	6,0	1x10 <sup>5</sup>	0,105	0,08	13.400	8,23	0,7	3	0,63	0,2	80.400
		1x10 <sup>6</sup>											
6		10,0	3x10 <sup>5</sup>	0,135	0,1	7.600	19,2	0,5	2,5	1,35	0,3	76.000	
7		3x10 <sup>6</sup>	15,0	5x10 <sup>5</sup>	0,16	0,12	4.000	27,0	0,6	2,3	2,4	0,4	60.000
		5x10 <sup>6</sup>											
8	Gravas	8,0	5x10 <sup>7</sup>	0,06	-	9.000	0,72	11,1	15	0,48	1,2	72.000	
9		12,0	3,5x10 <sup>4</sup>	0,15	0,12	1.800	201,6	0,06	2	1,8	0,2	21.600	
10		25,0	3,5x10 <sup>6</sup>	0,18	0,15	580	480	0,05	2	4,5	0,5	14.500	
11	Gravas	35,0	1x10 <sup>2</sup>	0,20	0,15	200	4.320	11,7min	1,5	7,0	0,5	7.000	
			1x10 <sup>4</sup>				57,6	14,6 h		12,5		3.000	
12	Guijarros	50,0	2,5	0,25	-	60	6m/h	8,3h	1,2				

Columnas:

(3) Espesor indicado en el cuadro 17  
 (7) Superficie específica de los granos  
 (11) Producto de las columnas (3) y (5)  
 (12) Producto de las columnas (3) y (10)

(4) k: Valor superior o valor único = en condición saturada  
 (8 y 9) El valor en negrita es aquel que prevalece. Corresponde a la saturación parcial para los materiales permeables  
 (13) Producto de las columnas (3) y (7)

Fuente: Rehse, 1977.

**TABLA 10: Algunos parámetros hidrogeológicos para las rocas de la zona saturada (Acuífero)**

(1) Nº DE ROCA	(2) ROCA	(3) PERMEABILIDAD Km/s	(4) VELOCIDAD REAL m/d	(5) DISTANCIA LIMITE (m)	(6) TIEMPO DE RECORRIDO (d)	(7) VOLUMENES INFILTRADOS (m³)	(8) SUPERF. ESPECIFICA (m²/m³)	(9) SUPERFICIE TOTAL DE LOS GRANOS (m²)
9	Grava limosa arenosa	3,5 x 10³	a < 3	100	33,3	100	1800	180 x 10³
			b 3 12 20	150	12,5	270 x 10³		
			c 20 35 50	170	4,9	306 x 10³		
			d 50 75 > 50	200	4,0	360 x 10³		
10	Grava arenosa	1,0 x 10²	a < 5	150	30,0	150	580	87 x 10³
			b 5 12 20	200	16,7	116 x 10³		
			c 20 35 50	220	6,3	128 x 10³		
			d 50 75 100	250	3,3	145 x 10³		
11	Grava	1,0 x 10²	a < 5	200	40,0	200	200	40 x 10³
			b 5 12 20	250	20,8	50 x 10³		
			c 20 35 50	270	7,7	54 x 10³		
			d 50 75 100	300	3,0	60 x 10³		
12	Guijarros	2,5	a < 5	300	60,0	300	260	18 x 10³
			b 5 12 20	340	28,3	20 x 10³		
			c 20 35 50	360	10,3	22 x 10³		
			d 50 75 100	400	4,0	24 x 10³		

Columnas:

- (1) Nº de Material.
- (3) Valor de k (permeabilidad) en condición saturada.
- (4) Intervalos de velocidades reales: el valor medio es utilizado en los cálculos, por ejemplo, en la columna 6. Depende del gradiente.
- (5) Distancia límite requerida según el caso.
- (6) Tiempos de recorrido calculado a partir de (4) y (5).
- (7) Producto de 1 m² de sección y de la distancia.
- (8) Superficie específica de los granos
- (9) Superficie total de los granos, calculada a partir de las columnas (5) y (8).

Fuente: Rehse, 1977.

**Cuadro 18: Poder depurador del suelo en el acuífero**

M	Descripción del material	L	$I_a = 1/L$
9	Grava con abundante matriz arenosa y escasamente limosa	a) 100 b) 150 c) 170 d) 200	0,01 0,007 0,006 0,005
10	Grava fina a media rica en arena	a) 150 b) 200 c) 220 d) 250	0,07 0,005 0,0045 0,004
11	Grava media a gruesa con poca arena	a) 200 b) 250 c) 270 d) 300	0,05 0,004 0,0037 0,0033
12	Gravas, guijarros	a) 300 b) 340 c) 360 d) 400	0,0033 0,0029 0,0058 0,0025

$L_m$  = distancia horizontal necesaria para la depuración (m)

a = velocidad eficaz < 3 m/día

b = velocidad eficaz comprendida entre 3 y 20 m/día

c = velocidad eficaz comprendida entre 20 y 50 m/día

d = velocidad eficaz > 50 m/día

$I_a$  = índice de depuración en el acuífero

Fuente Rehse, 1977.

### Ejemplo de aplicación del método de Rehse

Recientemente se ha aplicado este método en la determinación de un perímetro en el término municipal de Benidoleig, donde existe un sondeo que capta dos niveles acuíferos diferentes, uno inferior confinado, correspondiente a niveles carbonatados del Neocomiense y otro superior, libre, formado por depósitos cuaternarios (gravas y arenas).

Dado que las peculiares características del pozo no permiten realizar un bombeo de ensayo a fin determinar sus parámetros hidrodinámicos y además se observa que el sondeo explota fundamentalmente al acuífero carbonatado, no existiendo en el área afloramiento del acuífero Neocomiense, queda claro que una posible contaminación debería provenir básicamente del acuífero detrítico (el inferior está protegido de forma natural). A la vista de estas consideraciones se consideró el método de Rehse como el más adecuado para este caso, definiéndose así la zona de restricciones máximas.

La profundidad mínima del nivel del agua en el pozo es de  $\approx 10\text{ m} \rightarrow H 10\text{ m}$ . La velocidad eficaz estimada es de  $V_e = 3\text{ m/día}$ .

La zona superior no saturada consiste en unas gravas finas ricas en arenas por lo tanto  $M = 10 e I_r = 0,04$  (cuadro 17), mientras que para la depuración en la zona saturada se ha elegido una  $I_a = 0,005$  en función del material ( $m=10$ ) y la velocidad efectiva de 3 m/día. (cuadro 18)

Con estos datos, operando se obtiene:

$$M_r = I_r \cdot H \quad M_a = 1 - M_r \quad L = \frac{M_a}{I_a}$$

$$M_r = 0,04 \times 10 = 0,4$$

$$M_a = 1 - 0,4 = 0,6 \quad L = \frac{0,6}{0,005} = 120\text{ m}$$

La zona de restricciones máximas se definió como un círculo con centro en la captación y radio de 120 m. La zona de restricciones bajas o moderadas fue calculada en base a criterios hidrogeológicos.

**Cuadro 19: Poder depurador de las rocas (Bolsenkötter)**

M	Descripción del material	H(m)	$I_a = 0,5/h$
1	Margas	10	0,05
2	Arenisca con capas arcillosas. Arcillas, micaesquistos y filitas	20	0,025
3	Basaltos y rocas volcánicas	30	0,017
4	Grauvaca, arcosas, arenisca arcillosa, limosa	50	0,01
5	Granito, granodiorita, diorita sionita	70	0,007
6	Cuarcitas, areniscas con silex	100	0,005
7	Caliza	200	0,0025

Fuente: A Lallemand y J.C.- Roux, 1989.

### 7.1.2.F.2 Modificación de Bolsenkötter para medios kársticos y/o fisurados

El método de Rehse funciona adecuadamente y proporciona resultados fiables cuando se trata de un sistema isótropo, en el cual la circulación del agua se produce a través de un medio poroso. Bolsenkötter, ha completado el método de Rehse proponiendo otro similar para los medios kársticos y/o fisurados.

El poder depurador de las rocas en medios kársticos y fisurados es menor que en medios porosos y por ello aumenta las distancias necesarias para conseguir una depuración total. En este caso Bolsenkötter ha calculado unos nuevos índices que aparecen reflejados en el cuadro 19.

En la tabla adjunta se proporciona el valor de H y  $I_a$  para diferentes tipos de materiales.

### 7.1.2.F.3. Empleo de trazadores

El empleo de trazadores permite conocer con bastante precisión la dirección, sentido y magnitud del flujo del agua subterránea, incluso (en el caso de acuífero fisurados o kársticos) realizar una cartografía del sistema de conductos existentes en el subsuelo.

El método consiste en inyectar una cantidad conocida de una solución del trazador (la sustancia que posteriormente será determinada) siguiendo su evolución espacio-temporal mediante el muestreo y análisis sistemáticos de aquellos pozos, sondeos, manantiales, etc., que se encuentren en la posible trayectoria del agua subterránea.

Como trazadores pueden emplearse muy diferentes sustancias, a condición de cumplir unos requisitos mínimos:

- No degradarse en el tiempo que va a durar la experiencia.
- No ser agresivos para el medio o perjudiciales para la salud si el agua puede llegar al consumo humano.
- Debe ser determinable mediante una técnica sencilla y poco costosa. Hay que considerar que serán necesarias muchas determinaciones.
- Si se preve una dilución importante al atravesar el acuífero la técnica de determinación del trazador ha de poseer suficiente sensibilidad.
- No debe interaccionar con el medio.
- Se debe conocer la cinética de degradación del trazador en el acuífero, así como la existencia de fenómenos de retención.

Se han empleado gran variedad de trazadores, pertenecientes a muy diferentes grupos de sustancias:

- Temperatura
- Partículas sólidas en suspensión
- Flotadores
- Microorganismos (levaduras, bacterias, virus):

Sacharomyces cerevisiae	Serratia marcescens
E. Coli	Serratia indica
Streptococcus faecalis	Diferentes virus animales y vegetales
Bacillus stearothermophilus	

- Esporas (Lycopodium)
- Iones (Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, Li<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, I<sup>-</sup>)
- Compuestos orgánicos (m-TFMBA, rojo congo, verde malaquita)
- Elementos radiactivos (<sup>2</sup>H, <sup>32</sup>P, <sup>51</sup>Cl, <sup>60</sup>Co, <sup>82</sup>Br, <sup>85</sup>Kr, <sup>131</sup>I, <sup>198</sup>Au,)
- Compuestos orgánicos fluorescentes (Fluoresceína, rodamina-B)

- Gases inertes y gases radiactivos (Freones, Neón, Kriptón, Xenón, Radón)

Realmente la lista de compuestos dentro de cada uno de los apartados es muy grande, debiendo recurrirse en cada caso al trazador más adecuado a cada circunstancia. Los más empleados son el CIK, CILi, la fluoresceína y la rodamina-B.

En el caso de los perímetros de protección, normalmente se pretende conocer si desde un punto determinado el agua llegará a la captación que se quiere proteger y si esto es así cuanto tiempo tardará. El método tiene una aplicación concreta, de especial relevancia en el caso de la localización de perímetros satélites, cuya determinación objetiva muchas veces solo puede ser hecha a partir de un estudio con trazadores.

Frecuentemente se han empleado a modo de trazadores focos conocidos de contaminación, en especial si en el efluente contaminante se encuentra alguna sustancia que lo pueda caracterizar y diferenciar de otros focos cercanos (se pueden emplear algunos metales pesados que pueden ser indicadores de actividades muy específicas) estudiando su distribución alrededor del punto de contaminación y en la propia captación de abastecimiento.

En la figura 72, se muestra, como la delimitación de un perímetro empleando la metodología tradicional, puede incluir zonas que mediante el empleo de trazadores se demuestra no afectan a la captación a proteger, se observa incluso como un foco de contaminación aguas arriba de la captación no llega a incidir sobre ésta.

### 7.1.2.F.4. Datación con tritio

El contenido de tritio en las aguas subterráneas puede ser empleado para determinar su edad.

El método se basa en considerar que si el agua en el momento de infiltrarse poseía un contenido  $n_0$  en tritio y cuando se extrae o surge contiene  $n$  puede establecerse que:

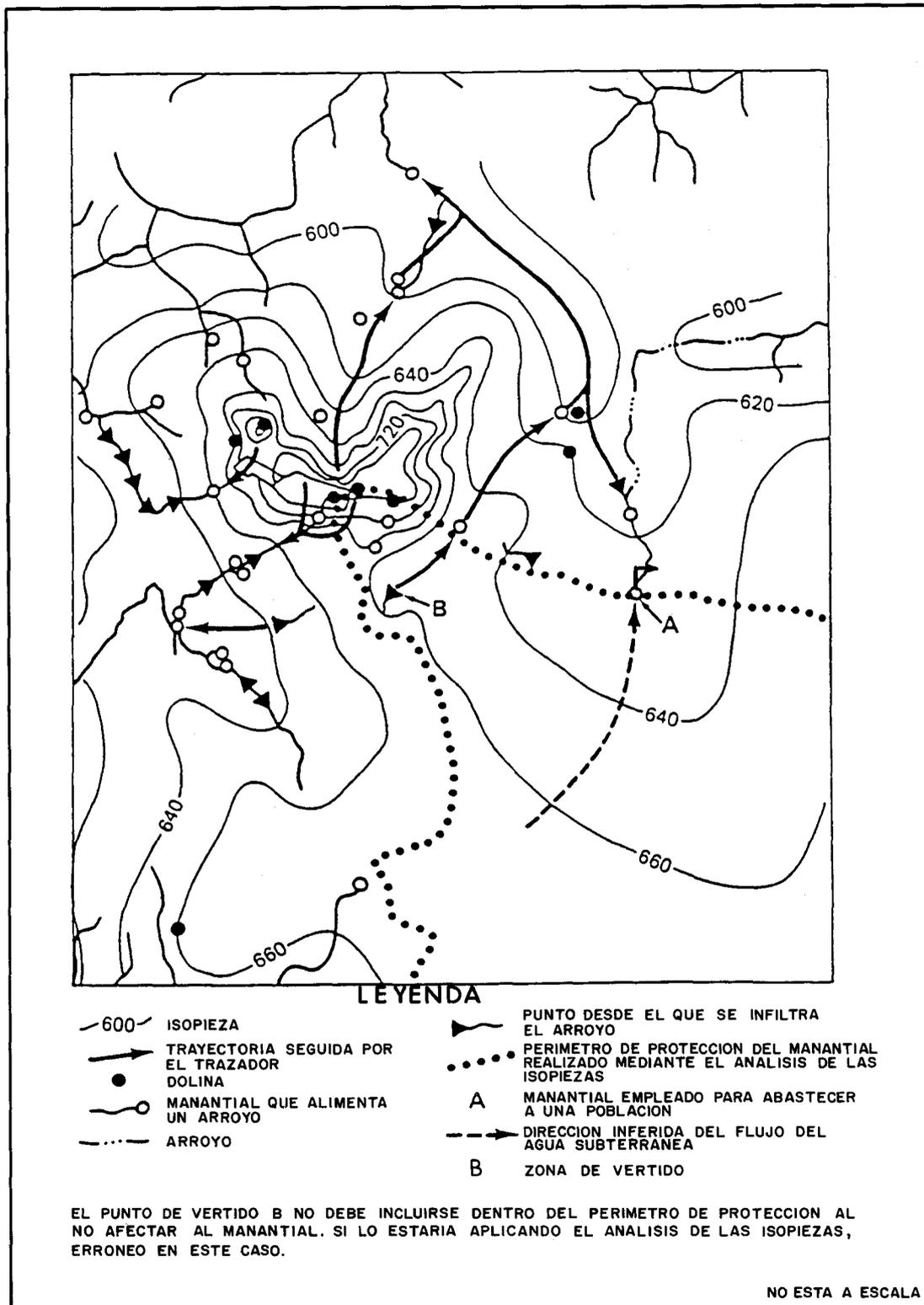
$$n = n_0 e^{(-0,693 t) / T} \quad (7)$$

$$t = (T / 0,693 \ln (n_0 / n)) \quad (8)$$

Donde:

T = período radiactivo del tritio

t = tiempo transcurrido desde que se infiltra hasta que surge o es extraída



Fuente: Modificado de Quinlan y Ewers, 1985

**Fig. 72 DELINEACION DE UN PERIMETRO DE PROTECCION EN KENTUCKY MEDIANTE EL EMPLEO DE TRAZADORES.**

Debido a las perturbaciones que han originado las pruebas con armas nucleares no es posible conseguir un registro completo de la evolución que presenta el factor  $n_0$  con el tiempo, lo que habría permitido realizar la corrección de esos valores por desintegración hasta el momento de muestreo.

No obstante sí que puede determinarse si el agua se infiltró antes o después de 1954, pues desde esta fecha se produjo un notable incremento del contenido de tritio en la atmósfera debido a dichas pruebas nucleares.

Debe no obstante señalarse que el hecho de que las aguas subterráneas sean frecuentemente una mezcla de aguas procedentes de diversas fuentes y edades puede dificultar enormemente estos cálculos.

Cabe indicar que algunos autores han propuesto establecer una edad mínima para las aguas minerales que vayan a ser destinados a determinados usos lo que garantizaría la ausencia en ellas de contaminantes que han empezado a ser utilizados en fechas relativamente recientes, como pesticidas, etc.

La datación de las aguas subterráneas mediante su contenido en tritio fue utilizada en la definición del perímetro de protección del manantial de "Font Calda" (Villavieja-Castellón) realizado en 1990 por el ITGE y la Conselleria de Industria, Comercio y Turismo de la Generalitat Valenciana.

Se consideró interesante proceder a la datación de las aguas termales de este manantial ya que existía cierta incertidumbre sobre su edad y el conocimiento de ésta permitiría evaluar su vulnerabilidad frente a actividades contaminantes.

Estas aguas han sido objeto de aprovechamiento por diversos balnearios de la localidad debido a sus propiedades terapéuticas.

Considerando que:

$T$  = período radiactivo del tritio = 12,26 años

$n_0$  = contenido natural del tritio en el agua infiltrada antes de 1954 = 6 UT

$t$  = tiempo transcurrido desde que se infiltró hasta surgir = 1990 - 1954

Se puede aplicar la ecuación 7:

$n = 6 \cdot e^{(-0,693 (1990-1954)) / 12,26}$

$n = 6 \times 0,13 = 0,78 \text{ UT}$

La concentración de tritio obtenida al analizar una muestra de agua de la Font Calda en 1990 era de  $0,80 \pm 0,98 \text{ UT}$ .

Este valor indica que el agua drenada por dicha fuente se infiltró en torno al año 1954. Si hubiese existido mezcla con aguas más superficiales y recientes, éstas deberían suponer una fracción muy reducida de dicha mezcla puesto que en caso contrario se habría obtenido valores de tritio muy superiores.

A este respecto cabe indicar que en estudios similares a éste en otras poblaciones de la Comunidad Valenciana se obtuvieron valores de 7 a 25 UT. Este dato sirvió para corroborar las observaciones hidrogeológicas que apuntaban a la existencia de un flujo subterráneo profundo que favoreció el carácter termal de esas aguas.

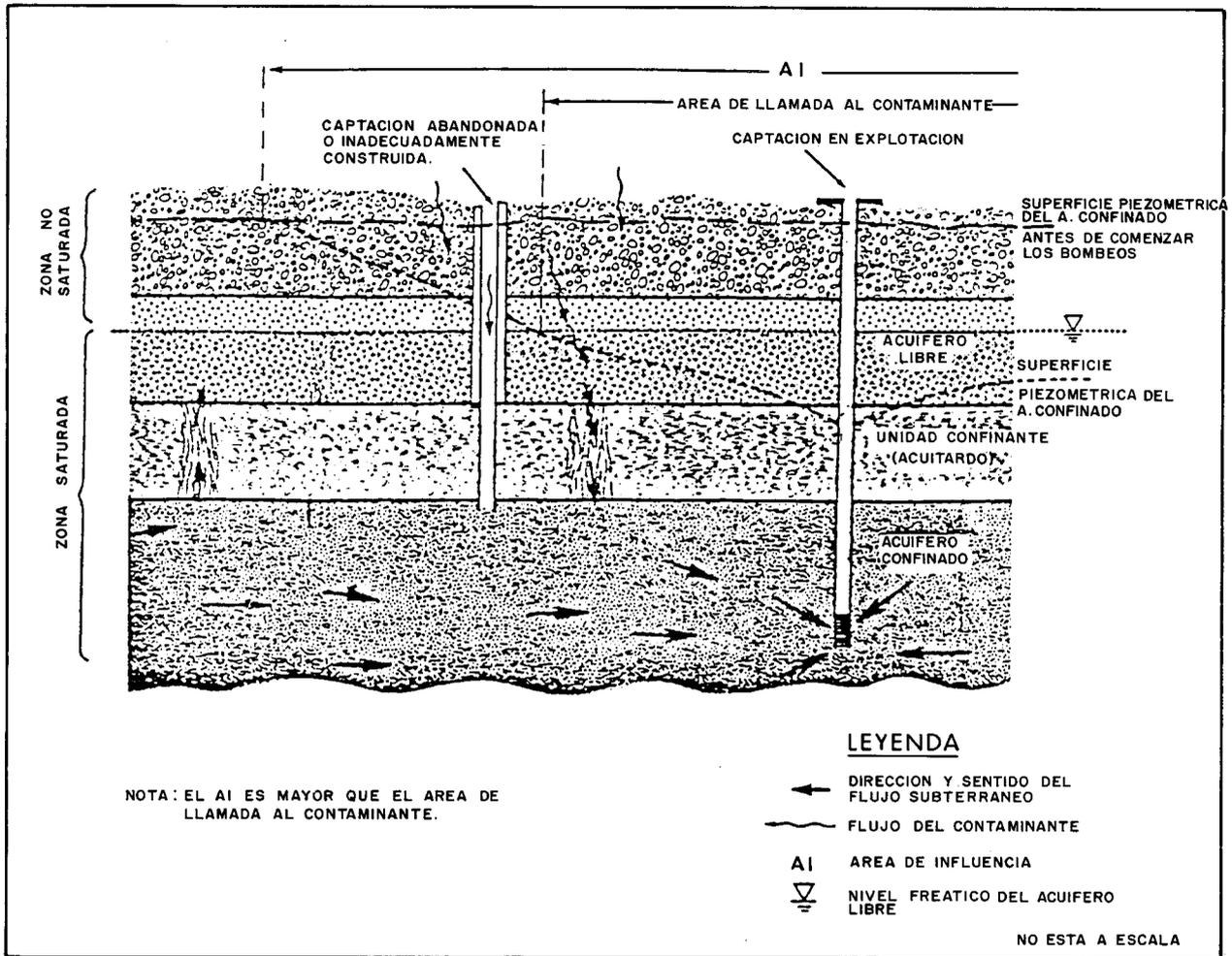
La datación también puede realizarse utilizando otros compuestos como el  $\text{CCl}_3\text{F}$  (Triclorofluorometano) que también es de origen antrópico y está presente en la atmósfera desde hace solo cincuenta años. No obstante su empleo está mucho menos generalizado que el del tritio puesto que no se conocen bien las transformaciones físicas y químicas que se producen al incorporarse al flujo subterráneo, si bien parece probable que hay diferentes procesos que afectan a su concentración en las aguas subterráneas.

Una de las principales aplicaciones de este método es evaluar si un acuífero es realmente confinado lo que hace innecesaria su protección, o es posible la llegada de contaminantes hasta él.

En la figura 73 se sintetizan diversos factores que pueden producir la contaminación de un acuífero que inicialmente podría considerarse confinado.

En la práctica puede resultar sumamente complicado detectar esos factores, que serán analizados seguidamente, por lo que la datación con tritio adquiere un notable interés e indica, cuando su concentración es elevada, una gran susceptibilidad frente a la contaminación.

En esa figura se observa que cuando el nivel piezométrico del acuífero confinado está por encima del nivel freático del acuífero libre, el primero no puede contaminarse puesto que el flujo a través del acuífero es ascendente. Por el contrario cuando por efecto de los bombeos el nivel piezométrico este más bajo sí que existe un flujo descendente que puede transportar contaminantes hasta el acuífero confinado. En este caso en las cercanías de la captación el cono de bombeo puede provocar que el acuífero se comporte como libre aunque estratigráficamente sea confinado.



Fuente: EVERETT, 1987

Fig. 73 VARIACIONES PRODUCIDAS POR EFECTO DEL BOMBEO Y/O EXISTENCIA DE CAPTACIONES ABANDONADAS EN LA RELACION EXISTENTE ENTRE UN ACUIFERO LIBRE Y OTRO CONFINADO.

En cualquier caso debe señalarse que la existencia del acuitardo hace que este flujo sea muy reducido.

Otra posibilidad de contaminación del acuífero confinado que es relativamente frecuente es la existencia de pozos abandonados o deficientemente construidos que conecten ambos acuíferos o excavaciones que lleguen hasta la capa confinante.

Finalmente debe analizarse si existen fracturas no detectables en superficie que lo pongan localmente en contacto con otros acuíferos.

### 7.1.3. Selección del método

En el apartado 7.1.1. se estudiaron los criterios que permiten dimensionar los perímetros de protección, su correcta elección reviste una especial importancia pues determinará de forma substancial las características espaciales del perímetro. Para la aplicación práctica de este criterio habrá de emplearse uno o varios de los métodos descritos de forma teórica y práctica en el apartado precedente, requiriendo su selección tanto de consideraciones de carácter técnico y económico, como de la evaluación del impacto social que supondrá la implantación del perímetro.

Se relacionan en el cuadro 20 los criterios para la determinación de perímetros junto a los métodos que permiten su aplicación, además en las columnas de tipo de materiales se analiza la adecuación de cada uno de éstos a las características del acuífero (medios porosos y asimilables o fisurados).

Se aprecia como todos los métodos son aplicables sobre medios porosos y asimilables (el de Bolsenkötter no es más que una adaptación del de Rehse a materiales kársticos o fisurados) y es sin embargo reducido el número de los que pueden ser aplicados en acuíferos kársticos o fisurados (sensu stricto).

Respecto a los acuíferos en materiales carbonatados cabe hacer algunas consideraciones.

Los estudios y sobre todo la explotación de los acuíferos existentes en dichos materiales han permitido constatar que la denominación de acuíferos kársticos, habitualmente empleada para referirse al conjunto de los desarrollados en dichos materiales, resulta imprecisa, puesto que engloba a acuíferos muy dispares en su comportamiento, existiendo una gradación con numerosos estadios intermedios entre aquellos que funcionan de una manera similar a los acuíferos en medios porosos, en los cuales puede aplicarse la ley de Darcy, hasta aquellos en los que el agua circula por una auténtica red hidrográfica subterránea.

El diferente funcionamiento observado en los acuíferos existentes en materiales carbonatados se debe a las variaciones en la estructura del medio acuífero, su régimen hidráulico y la capacidad de almacenamiento de agua, por lo que el análisis minucioso de dichos aspectos será por tanto básico para la elección de la metodología de estudio que debe aplicarse.

En una primera aproximación a estos acuíferos puede aceptarse que:

- a) Existen medios con una saturación general en los cuales la fisuración, la microfisuración y la eventual porosidad intergranular cumple a la vez las funciones de almacenamiento y conducción, siendo perfectamente continuos desde el punto de vista hidráulico, por lo que pueden ser asimilables a un medio poroso.
- b) Medios en los que el almacenamiento en la matriz rocosa es prácticamente inexistente, carecen de continuidad hidráulica y de saturación general. En ellos el agua procedente de la recarga circula por una red hidrográfica bien jerarquizada que se establece en el macizo rocoso.
- c) Por último existen otros medios intermedios en los que las microfisuras, porosidad intergranular, etc., tienen funciones de almacenamiento mientras que el drenaje se realiza a través de conductos (fracturas, discontinuidades ensanchadas, juntas de estratificación, contactos erosionales, etc.).

Los modelos señalados constituyen en cierta manera los dos grandes grupos de acuíferos en rocas carbonatadas descritos en la literatura anglosajona, es decir, los sistemas de flujo difuso y los sistemas de flujo por conductos, con una frontera no definida sino gradual.

En el cuadro 21 aparecen reflejadas las principales características que los definen.

Por su parte en el cuadro 22 se muestra una propuesta de clasificación de las diferentes tipologías de acuíferos existentes en las rocas carbonatadas de España realizada por Bayo Dalmau, A. et al. en 1986, explicando sus principales características y las zonas tipo en las que aparecen representadas y relacionándolas con la diferenciación descrita previamente entre acuíferos de flujo difuso, kársticos (sensu stricto) e intermedios.

Cuadro 20: Criterio empleado por los diferentes métodos de delimitación de perímetros de protección

Método / Criterio			Distancia	Descenso	Tiempo de Tránsito	Criterios hidrogeológicos	Poder autodepurador	Tipo de materiales	
								Porosos y asimilables	Kársticos y fisurados (sensu stricto)
Radio fijado arbitrariamente			***					***	***
Métodos analíticos propiamente dichos	Radio fijo	Función tiempo			***			***	
		Función descenso		***				***	***
	Hoffman y Lillich			***	***			***	
	Wyssling			***	***			***	
Catálogo de formas simples				***	***			***	
Métodos gráficos	Albinet			***				***	***
	Tiempo de tránsito por ábacos	Sauty y Tyeri			***			***	
		Jacobs y Bear			***			***	
Nomogramas de V.W. y V.D. Nomógrafo de Pettyjon					*** ***			*** ***	
Métodos hidrogeológicos	Horsley Hidrogeológicos			***		*** ***		*** ***	***
Modelos matemáticos	Modelos de flujo y transporte				***	***		***	***
Otros métodos y técnicas complementarias	Rehse Bolsenkötter						***	***	***
	Trazadores Tritio				*** ***	****	*** ***	*** ***	*** ***

Fuente: Elaboración propia.

Recientemente se han aplicado los métodos de Wyssling, Jacobs y Bear en acuíferos calizos del levante español, comprobándose mediante estudios complementarios la idoneidad de los perímetros definidos.

La aplicabilidad de los métodos inicialmente desarrollados para medios porosos a determinados acuíferos

carbonatados (acuíferos de flujo difuso), con garantía de proteger adecuadamente el recurso hídrico, se ha puesto de manifiesto en la determinación de diversos perímetros de protección en calizas en el sur de Inglaterra, empleando el catálogo de formas simples con resultados satisfactorios.

**Cuadro 21: Características de los tipos básicos de acuíferos carbonatados**

	<b>Acuíferos kársticos (sensu stricto)</b>		<b>Acuíferos de flujo difuso</b>
<b>COMUNES</b>	Medio muy heterogéneo	→	
	Masa impermeables coexistiendo con grande conductos	→	Medio relativamente homogéneo
	Almacenamiento pequeño o nulo	→	Almacenamiento grande
	Piezometría virtual, discontinua	→	Piezometría continua
	Circulación por conductos y ríos subterráneos. Pequeños acuíferos colgados	→	Flujo difuso
	Hidrogramas de descargas, en coordenadas semilogarítmicas presentan <<picos>> y zonas tendidas	→	Estos hidrogramas son líneas rectas cuando no se producen precipitaciones
	Infiltración puntos localizados	→	Infiltración uniforme
	Regulación natural escasa	→	Regulación natural importante
	Oscilaciones piezométricas grandes, nivel de agua profundo	→	Oscilaciones y gradientes regulares. Agua inicialmente a poca profundidad
	<b>FRECIENTES</b>	Formas kársticas abundantes, accesibilidad fácil al interior del macizo	→
La regulación es difícilmente aumentable con captaciones subterráneas		→	Se puede aumentar de manera importante la regulación

Fuente: Bayó Dalmau, A. et al, 1986.

CUADRO N°22 ENSAYO SOBRE LAS DIVERSAS TIPOLOGIAS DE ACUIFEROS EN ROCAS CARBONATADAS DE ESPAÑA

		TIPOS	ALGUNOS SUBTIPOS	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	POSIBLES LOCALIDADES TIPO		
CON SATURACION GENERAL	FLUJO DIFUSO	ACUIFEROS DE FLUJO DIFUSO	LIBRES	SOMEROS ABIERTOS (1) DE GRAN ESPESOR (2)	ABIERTOS O CERRADOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comportamiento semejante a un acuífero granular</li> <li>- Formas karsticas de absorción escasas</li> <li>- Tectónica distensiva</li> <li>- Discontinuidades bien conectadas</li> <li>- Anisotropía poco marcada</li> <li>- Piezometría continua. Gradientes hidráulicos regulares</li> <li>- Continuidad hidráulica. Circulación profunda</li> <li>- Permeabilidad apreciable en todo el macizo rocoso</li> <li>- Recarga uniforme</li> <li>- Almacenamiento grande y elevada capacidad de regulación natural</li> <li>- Captación por pozos. Se puede aumentar de manera muy importante la regulación natural.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) Travertinos Banyoles, Llanura Manchega.</li> <li>(2) Algunas cubetas calcáreas del Prebético y Subbético (Crevillente, Sierra del Cid). Acuíferos costeros en la zona Bética (Gador).</li> </ul>
			CONFINADOS	"ENTRE CAPAS" (3) FLUJO REACTIVADO (4)			
	CON SATURACION GENERAL	FLUJO POR CONDUCTOS	ACUIFEROS INTERMEDIOS FISURADOS Y KARSTIFICADOS	MIXTOS	ABIERTOS COSTEROS (5) CERRADOS CON DRENAJE CONCENTRADO (6)	ASCENDENTE O DESCENDENTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gradación desde los de flujo difuso hasta los kársticos</li> <li>- Formas kársticas abundantes</li> <li>- Tectónica frecuentemente compresiva</li> <li>- Red de drenaje preferencial que se superpone a una permeabilidad generalmente baja, existente en la matriz rocosa.</li> <li>- Discontinuidades abundantes más o menos conectadas</li> <li>- Anisotropía marcada</li> <li>- Piezometría relativamente continua</li> <li>- La circulación suele ser poco profunda</li> <li>- Permeabilidad apreciable en una estrecha franja bajo el nivel de saturación.</li> <li>- Almacenamiento moderado o pequeño. Se puede aumentar la regulación natural</li> <li>- Captaciones por pozos o galerías en las proximidades de los manantiales y otras zonas limitadas.</li> </ul>
DOBLE POROSIDAD				POROSIDAD INTERGRANULAR (7) FISURACION Y MICROFISURACION (8)	ABIERTOS O CERRADOS		
SIN SATURACION GENERAL	FLUJO POR CONDUCTOS	ACUIFEROS KARSTICOS "SENSU STRICTO"	CON PEQUEÑA ZONA DE SATURACION (9) SIN ZONA DE SATURACION (10)				
		OTRAS TIPOLOGIAS	ACUIFEROS MULTICAPA	COSTEROS MESOZOICOS (11) BICAPAS O TRICAPAS EN CUENCAS TERCIARIAS (12)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acuíferos de gran potencia en los que coexisten las tipologías básicas</li> <li>- Sistemas multicapas con situaciones particulares de flujo para el drenaje de cada capa. Sin embargo, se les puede asimilar una red de flujo virtual y única que demuestra la existencia de áreas de recarga con flujo vertical, transporte con flujo lateral, descarga con flujo ascendente y áreas de estancamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(11) Terminación suroriental del Maestrazgo.</li> <li>(12) Mallorca, algunas depresiones internas de las Béticas.</li> </ul>
			ACUIFEROS AISLADOS CERRADOS EN GRANDES CUENCAS TERCIARIAS (13)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acuíferos con estancamiento de flujo y aguas mineralizadas</li> <li>- Interés como almacén o geotérmico</li> </ul>	(13) Cuenca del Ebro	

Fuente: Bayó Dalmau, A et al, 1986

## A) CONSIDERACIONES TECNICAS

En el cuadro 23 se ha reflejado la relación existente entre los diferentes métodos y algunas consideraciones técnicas como son:

- La facilidad de aplicación, se ha tenido en cuenta tanto la necesidad de contar con técnicos especialistas, como de apoyo informático, cantidad y tipo de datos requeridos, etc.
- Complejidad de los datos requeridos, evaluando si es posible obtener los datos de un estudio hidrogeológico general, de una base de datos o de estudios preexistentes o es necesario realizar ensayos de bombeo, campañas piezométricas o de muestreo, etc.
- Adaptabilidad al modelo hidrogeológico regional, es decir, hasta qué nivel el método empleado considera la singularidad de cada caso adaptándose a él, explicando cualquier hecho particular que pudiera surgir, o si es generalizable o extrapolable a otros casos similares.
- Precisión, ¿en qué medida el perímetro que se obtiene se ajusta al ideal?; si, por ejemplo, se utiliza un criterio de tiempo calculando una isocrona determinada ¿qué tanto por ciento del área encerrada en la isocrona calculada lo estaría en la isocrona real?.

**Cuadro 23. Selección del método en base a consideraciones técnicas**

Métodos	Facilidad de aplicación	Complejidad de los datos requeridos	Adaptabilidad al modelo hidrogeológico regional	Precisión
Radio fijado arbitrariamente	Alta	Baja	Baja	Baja
Radio fijo calculado	Alta	Baja	Media Baja	(1) Media/alta (2) Baja
Métodos analíticos	Media	Media	Media	(1) Alta (2) Media
Métodos hidrogeológicos	Baja	Media/Alta	Alta	(1) Media/baja (2) Media/alta
Modelos matemáticos de flujo y transporte	Baja	Alta	Alta	Alta
Poder autodepurador del terreno	Alta	Baja/Media	Baja	Baja/Media
Empleo de trazadores	Media	Baja/Media	Alta	Alta
Datación con tritio	Alta	Baja	Media/Alta	Media

(1) Gradiente hidráulico bajo y/o sin límites de flujo cercanos a la captación

(2) Gradiente hidráulico alto y/o límites de flujo cercanos a la captación

Fuente: Elaboración propia

Para poder evaluar correctamente la precisión que tienen los distintos métodos es muy interesante compararlos con algún caso en el que la abundancia de información sobre los parámetros hidrogeológicos permita aplicar aquellos de los que se tiene certeza de su elevada precisión.

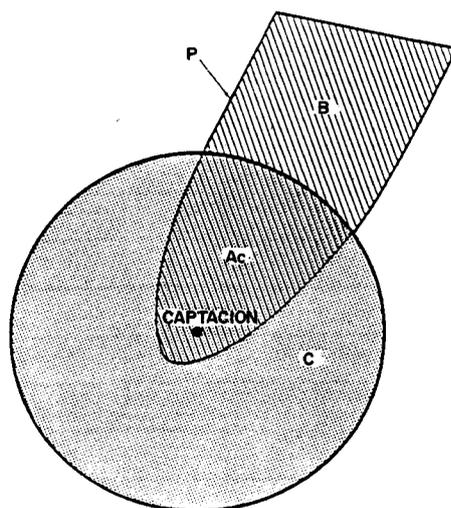
Se trataría de considerar estos métodos técnicamente muy fiables, como podría ser la utilización de modelos numéricos en algunos casos, como patrón, analizando las diferencias que respecto a él presentan los otros.

Por el momento no ha sido posible realizar este análisis en base a casos del territorio español por la escasez de captaciones en las que se ha realizado el perímetro de protección, si bien deberá ser un objetivo en los trabajos que sobre este tema están realizando el ITGE, la Confederación Hidrográfica del Júcar y otros organismos en la actualidad.

En el cuadro 24 se resume el resultado de un trabajo de este tipo realizado por la EPA en EE.UU., en base al perímetro de protección propuesto en tres captaciones, en las que fue posible calibrar con precisión un modelo numérico que se consideró como el patrón para las comparaciones efectuadas con otros métodos.

En dicho cuadro aparecen esquematizadas las principales características del acuífero, lo que permite, en una primera aproximación, extrapolar las conclusiones obtenidas a otros casos parecidos.

En la figura 74 se indica gráficamente lo que representan los porcentajes allí señalados.



Fuente: EPA, 1987

**FIG. 74 AREA PROTEGIDA MEDIANTE LA APLICACION DE DIFERENTES METODOS**

Donde:

*P* es el área dada por el método usado como standard para comparar

*C* es el área dada por el método que se quiere evaluar

Cuadro 24. Análisis comparativo de los perímetros de protección obtenidos por diferentes métodos

Localidad tiempo de tránsito	Sureste de Florida 500 días			Suroeste de Connecticut 5 años			Cape Cod (Massachusetts) 50 años			
Método	R.F.C.	M.A.	M.N.	R.F.C.	M.A.	M.N.	R.F.C.	M.A.	M.N.	
Parámetro de comparación	Función del tiempo de tránsito	Catálogo de formas simples	Modelo de diferencias finitas tridimensional de flujo y transporte	Función del tiempo de tránsito	Catálogo de formas simples	Modelo de diferencias finitas bidimensional de flujo y transporte	Función del tiempo de tránsito	Catálogo de formas simples Método de Horley	Modelo de elementos finitos tridimensional de flujo y transporte	
Porcentaje de área protegida común (A)	57%	100%	100%	100%	91%	100%	41%	79%	100%	
Porcentaje de área sin proteger (B)	43%	0%	0%	0%	9%	0%	59%	21%	0%	
Porcentaje de área protegida sin ser necesario (C)	0%	21%	0%	290%	160%	0%	50%	52%	0%	
CA	Tipo	Libre			Libre			Libre		
	Materiales	Calizas y areniscas			Detriticos: arenas y gravas no consolidadas			Detriticos: arenas y gravas no consolidadas		
	Espesor saturado	b = 91 m			b = 20 m			b = 38 m		
	Transmisividad	T = 1800 m <sup>2</sup> /día			T = 1100 m <sup>2</sup> /día			T = 570 m <sup>2</sup> /día		
	Permeabilidad	K = 20 m/día			K = 55 m/día			K = 15 m/día		
	Gradiente	Bajo (i = n/c)			Alto (i = 0,005)			Alto (i = 0,003)		
	Proximidad a la captación de límites de flujo	No			Sí			Sí		
	Entradas	Infiltración lluvia, ríos, canales y lagos			Infiltración lluvia			Infiltración lluvia		
	Salidas	Bombeos			Bombeos y pequeñas descargas a ríos			Bombeos		

Fuente: Modificado de EPA, 1987.

Legenda: R.F.C.: Radio fijo calculado  
M.A.: Métodos analíticos  
M.N.: Métodos numéricos  
CA: Características del acuífero

Porcentaje de área protegida común (A)  $A_c = \frac{(A_c)}{P} \times 100\%$   
Porcentaje de área sin proteger (B)  $B = \frac{B}{P} \times 100\%$   
Porcentaje de área protegida sin ser necesario (C)  $C = \frac{(C-A_c)}{P} \times 100\%$

Se analizará seguidamente cada caso:

#### - Sureste de Florida

Los resultados obtenidos utilizando el RFC y un método analítico proporcionan unos perímetros con cierta similitud a los señalados mediante el uso de un modelo numérico. Esto se deba a que el gradiente hidráulico es bajo y no existen límites de flujo cercanos.

Aún así debe destacarse que en el primer caso (uso de RFC) queda un 43% del área necesaria sin proteger, en el caso del método analítico está cubierta toda la zona definida por el modelo matemático, representando la zona sobreprotegida tan solo un 21%.

#### - Suroeste de Connecticuta

La aplicación del RFC y un método analítico protege prácticamente toda el área necesaria, pero incluyen en los perímetros amplias zonas que no sería necesario haber incorporado, esta sobreprotección es del 160% al usar procedimientos analíticos llegando hasta el 290% al utilizar el RFC.

La mala aplicabilidad de estos métodos en este caso se debe a que hay límites de flujo cercanos y un gradiente regional importante.

#### - Cape Cod. Massachusetts

La utilización de RFC da un resultado muy poco exacto al cubrir mucha menor área de la precisa e incluir muchas zonas que no sería necesario.

Respecto al empleo de métodos analíticos debe indicarse que al usar el catálogo de formas simples queda una superficie considerable sin proteger, principalmente aguas abajo de la captación y se sobreprotegen amplias zonas aguas arriba en el sentido del flujo.

Los resultados son más exactos al emplear el método de Horsley si bien la sobreprotección es aún elevada. En este caso las divergencias se deben también a la existencia de límites de flujo y un gradiente regional considerable.

En la figura 75 se indican los perímetros calculados por los métodos ya citados en esas mismas ciudades pero para distintos tiempos de tránsito.

Se observa claramente como las diferencias se agudizan al considerar tiempos superiores.

La conclusión general que se obtiene de estos ejemplos es la necesidad de realizar un estudio hidrogeológico previo que indique qué métodos serán compatibles con los condicionantes hidrogeológicos.

Así la existencia de límites de flujo cercanos a la captación y/o altos gradientes hidráulicos puede obligar a descartar el empleo de métodos que no los tienen en consideración, al disminuir enormemente su exactitud, como se puede observar en los ejemplos precedentes.

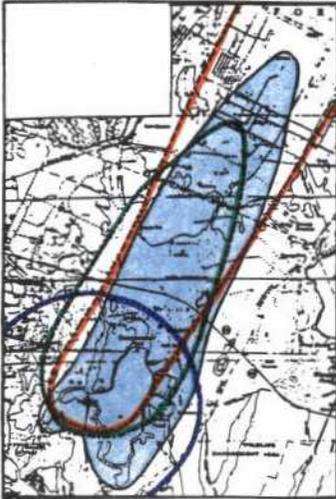
En el cuadro 25 se reflejan los datos necesarios para aplicar cada método, desde el radio fijado arbitrariamente en el que no se necesita dato alguno, hasta el empleo de modelos matemáticos con modelos muy elaborados que requieren una gran variedad de datos, pasando por prácticamente todas las situaciones intermedias. Para un análisis con mayor profundidad de cada uno se remite al lector al apartado 7.1.2. en el que aparecen descritos detalladamente.

De forma general aquellos métodos que necesitan más información para proporcionar una respuesta conseguirán mayor precisión pues tienen en cuenta más factores que pueden influir en las características del acuífero que se intenta proteger, no obstante y también dicho de forma general, es más importante la selección de un método adecuado al caso concreto que la circunstancia a veces superflua de que el método tome en consideración una gran variedad de datos de partida.

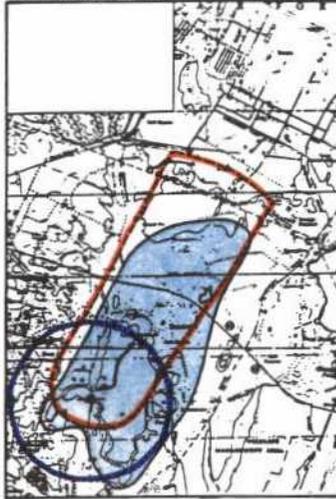
Prácticamente todos los métodos precisan «conocer» las características del acuífero ( $K$ ,  $b$ ,  $T$ ,  $S$ ,  $m_c$ ) así como el caudal de explotación de la captación. No obstante, no suele ser tenida en cuenta la existencia de límites hidrogeológicos, por lo que si en el estudio hidrogeológico, previo se constata su existencia e influencia sobre el desarrollo del perímetro habrá que añadir las consideraciones que se estimen oportunas a la aplicación del método, siendo en ocasiones un criterio excluyente para la elección del método aplicable como se vió previamente.

Un gran número de los datos requeridos provienen de la realización de un ensayo de bombeo en la captación a proteger, por lo que cabe recordar la importancia de la correcta ejecución e interpretación de dicho ensayo.

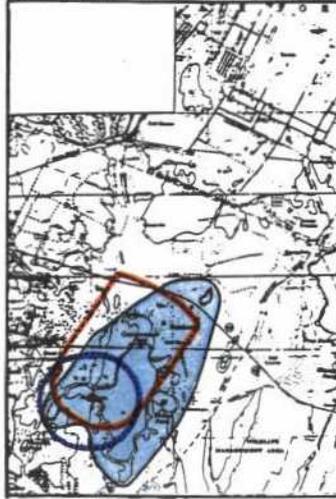
MASSACHUSETTS TT= 50 AÑOS



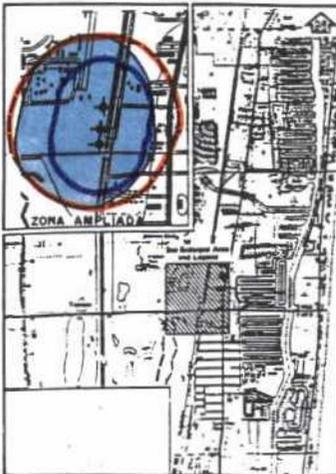
MASSACHUSETTS TT= 25 AÑOS



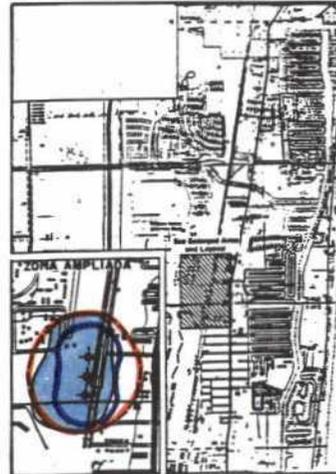
MASSACHUSETTS TT= 10 AÑOS



FLORIDA TT= 500 DIAS



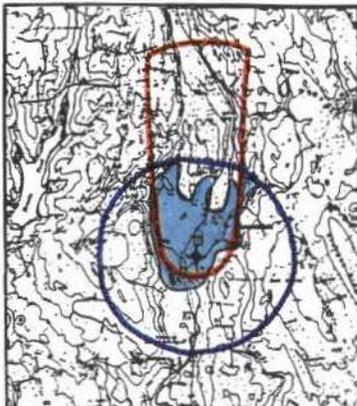
FLORIDA TT= 210 DIAS



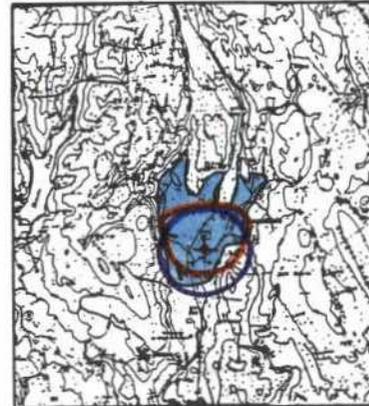
FLORIDA TT= 30 DIAS



CONETICA TT= 5 AÑOS



CONETICA TT= 1 AÑO



LEYENDA

- MODELO NUMERICO
- RADIO FIJO CALCULADO (FUNCION TIEMPO DE TRANSITO)
- MODELO ANALITICO CATALOGO DE FORMAS SIMPLS
- MODELO ANALITICO METODO DE MORSLEY
- + CAPTACION
- T.I. TIEMPO DE TRANSITO
- 0 600m ESCALA

LIMITES DE FLUJO CERCANOS A LA CAPTACION	GRADIENTE HIDRAULICO
SI	ALTO
NO	BAJO
SI	ALTO

Fuente: Modificado de EPA, 1987

Fig.75 ANALISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES METODOS PARA DISTINTOS TIEMPOS DE TRANSITO EN EL SURESTE DE FLORIDA, SUROESTE DE CONETICA Y CAPE COD (MASSACHUSETTS).

**Cuadro 25: Datos necesarios para poder aplicar los diferentes métodos existentes para la delimitación de los perímetros de protección**

Método	K	b	T	S	me	i	Q	I	H	d	t	h	D.l	D.t	Dir y sent. de flujo	Límites hidrogeol.	Geometr. del aulf.	L.ns	L.s	Análisis	Referencia
Radio fijado arbitrariamente																					7.1.2.A.
Radio fijo	Función tiempo				***		***		***												7.1.2.B.1.1.
	Funci. descenso			***	***		***														7.1.2.B.1.2.
Hoffman y Lillich	***	***	***	***	***	***	***			***	***										7.1.2.B.2.
Wyssling	***	***			***	***	***								***						7.1.2.B.3.
Catálogo de formas simples(1)	***	***		***	***	***	***								***						7.1.2.B.4.
Albinet			***	***			***					***									7.1.2.B.5.
Tiempo de tránsito por	Sauty y Tyeri	***	***		***	***	***										***				7.1.2.B.6.2./3.
ábacos		Jacobs y Bear		***	***		***	***	***							***					
Nomógrafo de V.W. y V.D.		***			***		***	***													7.1.2.B.7.
Nomógrafo de Pettyjon	***	***			***	***	***						***	***	***						7.1.2.B.8.
Horsley		***					***	***	***	***	***	***			***	***					7.1.2.C.
Hidrogeológicos												***			***	***	***				7.1.2.D.
Modelos de flujo y transporte	***	***	***	***	***		***	***			***	***	***	***	***	***	***				7.1.2.E.
Rehse	***				***	***												***	***		7.1.2.F.1.
Bolsenkóter	***				***	***												***	***		7.1.2.F.2.
Trazadores																				***	7.1.2.F.3.
Tritio																				***	7.1.2.F.4.

(1) Sólo en la etapa de construcción del catálogo  
Fuente: Elaboración propia.

**Leyenda del Cuadro 25**

Parámetros	Símbolo	Dimensiones
Permeabilidad	K	L/T
Espesor saturado del acuífero	b	L
Transmisividad	T	L <sup>2</sup> /T
Coefficiente de almacenamiento	S	Adimensional
Porosidad eficaz	me	Adimensional
Gradiente hidráulico	i	Adimensional
Caudal	Q	L <sup>3</sup> /T
Infiltración	I	L/T
Espesor saturado en la captación	H	L
Descenso	d	L
Tiempo bombeado	t	T
Piezometría previa al bombeo	h	L
Dispersividad longitudinal	D.l	L
Dispersividad transversal	D.t	L
Longitud en zona no saturada	L.ns	L
Longitud en zona saturada	L.s	L

El perímetro de protección propuesto en base a la aplicación del método elegido debe ser defendible, es decir que proponga proteger áreas con límites claramente definidos en base a sólidos argumentos científicos lo que dificultará las posibles acciones legales que pudieran plantear los afectados. A este respecto los métodos de mayor complejidad técnica como es el caso de los modelos matemáticos conllevan un elevado coste de ejecución como veremos en el siguiente apartado, pero los resultados que se obtienen de ellos son más fiables y por tanto será más difícil que prosperen los recursos que puedan plantearse que en el caso de aquellos de muy bajo coste pero de menor rigor científico como el empleo de radio fijo. Estos podrían obligar a realizar expropiaciones en zonas en las que no sería necesario hacerlo quedando otras que sí deberían protegerse fuera del perímetro o dar lugar a perímetros sobredimensionados que, si bien garantizarían la protección requerida, incrementarían notablemente los costes de su aplicación como se verá posteriormente.

## **B) CONSIDERACIONES ECONOMICAS**

### **B1. Coste de la determinación del perímetro según los diferentes métodos.**

El aspecto económico de la elección de un método es un factor muy importante, principalmente cuando se trata de realizar una planificación regional.

Una forma de actuar en dicha planificación podría ser calcular en un principio perímetros de protección mediante métodos sencillos y económicos en un gran número de captaciones, empleando estos resultados como base para la aplicación posterior de otros métodos más exactos pero que implican un desembolso económico mayor.

Es muy difícil cuantificar el coste de un modo general, puesto que los trabajos necesarios para su utilización pueden ser muy diferentes en los distintos

casos prácticos, incluso cuando el método elegido sea el mismo. Esto se debe a que el conocimiento de los parámetros hidrogeológicos es muy dispar en las diferentes regiones.

En el cuadro 26 puede observarse una estimación del coste que supone cada uno de los métodos.

El intervalo existente en el número de horas, y por tanto coste, se debe a la experiencia de los técnicos encargados de su realización y/o a la disponibilidad de los datos. En cualquier caso al elaborar dicho cuadro se ha partido de la presunción de que es fácil la obtención de los parámetros hidrogeológicos requeridos, es decir el importe calculado corresponde esencialmente al coste de las labores de gabinete en la utilización del método una vez que se dispone de los datos técnicos necesarios o cuando su obtención no supone un importe elevado.

Por su parte la columna de sobrecoste potencial que se ha incluido en el cuadro 26 se refiere principalmente a la obtención de los datos de los estudios previos, que fueron descritos en el capítulo 4, y que pueden hacer que el coste real de la delimitación del perímetro de protección se multiplique. En el cuadro 27 se exponen a modo orientativo algunos factores que pueden suponer un sobrecoste apreciable.

Así por ejemplo la obtención de la transmisividad y/o el coeficiente de almacenamiento puede hacer necesaria la realización de un ensayo de bombeo lo que implicaría un gasto adicional de unas 200.000 Ptas.

**Cuadro 26: Coste de la determinación del perímetro de protección según los diferentes métodos**

Métodos	Tiempo requerido para cada captación (horas)	Nivel de experiencia (*)	Coste aproximado por captación	Sobrecoste potencial
Radio fijado arbitrariamente	1-5	1	3500-17500	Bajo
Radio fijo calculado	1-10	2	4500-45500	Bajo
Métodos analíticos	2-20	3	11000-110000	Medio/Alto
Métodos hidrogeológicos	4-40	3	22000-221000	Medio/Alto
Modelos matemáticos de flujo y transporte	10-200	4	77000-1545000	Alto
Poder autodepurador del terreno	1-10	2	4500-45500	Bajo/Medio
Empleo de trazadores	2-20	3	11000-110000	Bajo/Medio
Datación con Tritio	2-20	3	11000-110000	Bajo

(\*) Proyectos por contrata (ITGE 1990)

1. Técnico superior con experiencia menor de cuatro años (3479 ptas/hora)
2. Técnico superior con experiencia entre cuatro y siete años (4562 ptas/hora)
3. Técnico superior con experiencia entre siete y diez años (5523 ptas/hora)
4. Técnico superior especialista (7724 ptas/hora)

Nota: Estos costes llevan incluidos los gastos generales de estructura. Se suponen jornadas de 8 horas, 20 días al mes, 11 meses al año.

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 27: Sobrecoste potencial en la determinación del perímetro de protección**

CONCEPTO		Importe Unitario (*)	Total Estimado
ANALISIS DE LA SITUACION DEL ABASTECIMIENTO			50.000/150.000
ESTUDIO HIDROGEOLOGICO			100.000/500.000
INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA		7.500	75.000
INVENTARIO DE FOCOS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES			100.000/200.000
ESTUDIO DE VULNERABILIDAD			50.000/200.000
ENSAYOS DE BOMBEO (CONTROL E INTERPRETACION)		200.000	200.000
TOMA DE MUESTRAS		5.300	53.000
ANALISIS QUIMICO NORMAL		7.500	37.500
ANALISIS QUIMICO COMPLETO		22.000	110.000
ANALISIS MICROBIOLOGICO		7.800	78.000
ANALISIS ISOTOPICO	TRITIO	25.000	25.000
	O <sup>18</sup> , DEUTERIO	15.000	15.000
TRAZADORES			**
ESTUDIO SOCIOECONOMICO SOBRE EL IMPACTO DE APLICACION DEL PERIMETRO			100.000/200.000
MECANOGRAFIA Y DELINEACION			200.000

\* Precio aplicable a los proyectos del ITGE en 1991

\*\* Precio muy variable dependiendo de las características hidrogeológicas locales

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo el inventario de puntos de agua y la realización una campaña de control piezométrico para determinar el gradiente hidráulico y otros trabajos suponen un aumento considerable del gasto que debe realizarse.

En los perímetros de protección de captaciones de abastecimiento urbano realizados por el ITGE y la Confederación Hidrográfica del Júcar en los años 1989 y 1990 cuyo importe por población, en la que se protegen sus captaciones oscila de 700.000 a 1.400.000 en función del número de las mismas y sus peculiaridades, la aplicación del método una vez que se dispone de los datos previos necesarios supone tan solo un 20% a un 30% del importe total. Es decir la mayor parte del gasto corresponde a lo que en el cuadro 26 se ha llamado sobrecostes. En ninguna de esas poblaciones se utilizaron modelos matemáticos, resolviéndose mediante el empleo de diferentes métodos analíticos por lo que pueden variar dichos porcentajes en otros casos.

## **B.2. Impacto socioeconómico de la aplicación del perímetro de protección**

Una vez dimensionado el perímetro de protección, fijados sus límites y su distribución en zonas, establecidas las restricciones de actividad sobre la superficie de dichas zonas y diseñado el sistema de vigilancia y alerta que asegura su óptimo funcionamiento como sistema de salvaguarda contra la contaminación, es necesaria su implantación sobre el terreno, dicha implantación llevará consigo un coste que puede dividirse en dos apartados:

### **1. Coste técnico objetivo**

Derivado de la aplicación del perímetro e independiente de las características socioeconómicas del lugar donde se vaya a implantar, básicamente consiste en las obras e instalaciones en la captación, acondicionamiento de la zona inmediata o de protecciones absolutas, instalación de sistemas automatizados de control, etc.

### **2. Coste variable**

Producto de las posibles restricciones impuestas a la actividad socioeconómica sobre cada una de las áreas del perímetro se derivarán unos costes extraordinariamente variables en los cuales se engloban:

- Modificación del uso del suelo
- Expropiaciones, indemnizaciones
- Modificación de obras civiles
- Modificación/traslado de actividades potencialmente contaminantes (industriales, agrícolas, ganaderas, etc.)

En algunas ocasiones es muy recomendable incluir en estos gastos la realización de campañas informativas que expliquen la necesidad de su aplicación y los beneficios que reportará a la comunidad.

Para calcular estos costes es imprescindible estudiar la calificación de los terrenos que serán afectados por el perímetro (ver apartado 4.4.), analizar si será necesario indemnizar a los propietarios por las limitaciones o condicionantes al uso de los mismos que el perímetro suponga, y evaluar en su caso el coste de dichas indemnizaciones.

El ITGE y la Confederación Hidrográfica del Júcar realizaron en 1989 un estudio sobre el marco legal existente obteniendo las siguientes conclusiones:

En primer lugar se señala la improcedencia de solicitar indemnizaciones respecto a la limitación del otorgamiento de nuevas concesiones de agua o autorizaciones de vertidos dada su previa inexistencia.

El Artículo 173 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico establece en sus apartado 4 y 5 la posibilidad de imponer limitaciones al otorgamiento de nuevas concesiones y autorizaciones de vertidos en los perímetros de protección, así como condicionamientos a las actividades que puedan afectar a la calidad o cantidad de las aguas subterráneas, las cuales aparecen listadas en el apartado 6 del citado artículo.

Por lo que respecta a actividades ya existentes, el problema es más complejo.

Como se vió anteriormente las actividades a las que pueden imponerse limitaciones aparecen reflejadas en el artículo 173, apartado 6 del Reglamento. Se indica en el apartado 7 del mismo artículo que dichos condicionamientos «*deberán ser tenidos en cuenta en los diferentes planes urbanísticos o de ordenación del territorio con los que se relacionan*».

La pregunta que debe plantearse es si se puede considerar como limitación al normal ejercicio de los derechos el cumplimiento de las obligaciones impuestas por la legislación hidráulica. De su respuesta dependerá la obligación de indemnizar por tales limitaciones y obligaciones.

Estas limitaciones aparecen reflejadas en los siguientes artículos:

Ley de Aguas. Art. 84, en el que se indica la necesidad de impedir la acumulación de compuestos que puedan contaminar las aguas subterráneas.

Ley de Aguas. Art. 89, en el que se prohíbe efectuar vertidos directos o indirectos que contaminen las aguas. Así como el ejercicio de actividades dentro de los perímetros de protección fijados en los Planes Hidrológicos cuando pudieran constituir un peligro de contaminación o degradación del Dominio Público Hidráulico.

Ley de Aguas. Art. 92, en el que se indica la necesidad de someter a autorización administrativa aquellas actividades susceptibles de provocar la contaminación o degradación del Dominio Público Hidráulico.

RDPH Art. 254 y sucesivos, establecen sendas relaciones de sustancias nocivas anexas a su título especificándose en el Art. 257 las prohibiciones y limitaciones de éstas.

La respuesta a ese interrogante ha de ser necesariamente negativa.

La legislación urbanística en el Art. 87 del actual texto refundido de la Ley del Suelo indica:

*«La ordenación del uso de los terrenos y construcciones enunciada en los artículos precedentes no conferirá derecho a los propietarios a exigir indemnización, por implicar meras limitaciones y deberes que definen el contenido normal de la propiedad según su calificación urbanística»*

Esta consideración del contenido del derecho de propiedad no limitado, sino definido como parte integrante del mismo por su función social, ha sido claramente expuesta por el Tribunal Constitucional en su Sentencia de 26 de marzo de 1987, que parte a su vez de la doctrina sentada sobre el contenido esencial de los derechos en su precedente sentencia de 8 de abril de 1981.

Así pues, en la medida que las limitaciones o condicionantes respondan a obligaciones impuestas por la legislación hidráulica, no generan indemnización por cuanto tales obligaciones conforman el contenido esencial del derecho de propiedad en este ámbito.

Es pertinente también la referencia, en este caso, a la normativa reguladora de las actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas.

Tanto en el viejo Reglamento aprobado por Decreto 2415/61 de 30 de Noviembre, como en la más reciente Ley de la Generalitat Valenciana 3/89 de 2 de mayo (de aplicación sólo en su ámbito), se prevé la posibilidad de imponer, con posterioridad a la obtención de licencia de inicio de las actividades, las medidas

correctoras suplementarias que resulten imprescindibles, aún cuando excedan de las contempladas en el Proyecto y en la Licencia.

La conclusión final, obtenida en ese estudio, fue que surgirá el derecho a indemnizar tan sólo en aquellos casos en que actividades preexistentes ajustadas al ordenamiento de aplicación devengan radicalmente incompatibles o económicamente inviables a consecuencia de las limitaciones o condicionantes impuestos por la delimitación del perímetro; en tales supuestos, la indemnización procedente derivará del juego de los preceptos contenidos en la legislación de expropiación forzosa.

Si en base a las consideraciones efectuadas previamente se determinase que el coste final de aplicación del perímetro de protección propuesto fuese demasiado elevado, podría optarse entre:

- a) Aplicar otro método más exacto para la delimitación del perímetro cuando exista la posibilidad de que esté sobredimensionado, recurriéndose normalmente al empleo de modelos numéricos.

En esta elección se asume que el incremento en el coste de definición quedará compensado al reducir el área a expropiar a la estrictamente necesaria, lo que en ocasiones puede suponer un ahorro considerable.

- b) Evaluar la posibilidad de trasladar la captación a otro lugar en el que la actividad socioeconómica no suponga un riesgo para la calidad y cantidad del agua extraída.

Esta segunda opción debe analizarse con sumo cuidado sobre todo si se considera la necesidad de asegurar los caudales que proporciona la captación que pretende ser sustituida.

- c) Una solución intermedia consistiría en disminuir el caudal de explotación del sondeo (suplementando el déficit con alguna fuente alternativa) a fin de limitar la extensión del perímetro. Esta tercera solución es difícilmente aplicable en acuíferos kársticos (sensu stricto) donde se emplea como método para definir el perímetro la existencia de límites hidrogeológicos, pues la dinámica del agua en el acuífero, es muy rápida y una disminución del caudal de bombeo no modifica necesariamente la extensión del perímetro.

## 7.2. Protección de la cantidad

Todos los métodos que han sido descritos en el apartado 7.1. tienen como objetivo salvaguardar la calidad de las aguas extraídas en las captaciones de aguas subterráneas.

No obstante, la legislación española obliga a garantizar igualmente la permanencia de los caudales obtenidos en las mismas.

Esta protección debe enmarcarse en un contexto más amplio que el correspondiente a una sola captación, puesto que carecería de sentido salvaguardar unos volúmenes de extracción elevados en unas poblaciones, las primeras en las que se realizase el perímetro de protección, sin considerar su influencia en otras captaciones de abastecimiento urbano, por lo que debe analizarse en un marco más amplio que sería el correspondiente a los distintos planes hidrológicos.

Asimismo debe destacarse que la delimitación de áreas con el objetivo de salvaguardar los caudales extraídos por las captaciones de abastecimiento requiere una metodología diferente a la empleada en esta guía cuyo objetivo es proteger la calidad de las mismas, por lo que sólo cabe aquí hacer algunas consideraciones sobre el marco legal referente a esta materia.

En el Artículo 40 de la Ley de Aguas se especifica que los Planes Hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente:

- a) *El inventario de los recursos hidráulicos*
- b) *Los usos y demandas existentes y previsibles*
- c) *Los criterios de prioridad y de compatibilidad de usos, así como el orden de preferencia entre los distintos usos y aprovechamientos*
- d) *La asignación y reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuras, así como para la conservación o recuperación del medio natural.*

Por otra parte respecto a las prioridades en la concesión de volúmenes de extracción, en el Artículo 58 de la misma Ley se indica:

1. *En las concesiones se observará, a efectos de su otorgamiento, el orden de preferencia que se establezca en el Plan Hidrológico de la cuenca correspondiente, teniendo en cuenta las exigencias para la protección y conservación del recurso y su entorno.*

2. *Toda concesión está sujeta a expropiación forzosa, de conformidad con lo dispuesto en la legislación general sobre la materia, a favor de otro aprovechamiento que le preceda según el orden de preferencia establecido en el Plan Hidrológico de cuenca.*

*A falta de dicho orden de preferencia regirá con carácter general el siguiente:*

- 1º. *Abastecimiento de población, incluyendo en su dotación la necesaria para industrias de poco consumo de agua situadas en los núcleos de población y conectadas a la red municipal.*
- 2º. *Regadíos y usos agrarios.*
- 3º. *Usos industriales para producción de energía eléctrica.*
- 4º. *Otros usos industriales no incluidos en los apartados anteriores.*
- 5º. *Acuicultura.*
- 6º. *Usos recreativos.*
- 7º. *Navegación y transporte acuático.*
- 8º. *Otros aprovechamientos.*

*El orden de prioridades que pudiere establecerse específicamente en los planes hidrológicos de cuenca, deberá respetar en todo caso la supremacía del uso consignado en el apartado 1º de la precedente enumeración.*

Por lo que respecta a las extracciones de aguas minerales y termales, al ser un recurso minero, no son contempladas por la Ley de Aguas, sino por la Ley de Minas, la cual en el artículo 26.3. señala: «... Asimismo, en todos los expedientes relativos a aguas minerales y termales, informarán los Ministerios de Obras Públicas y de Agricultura en relación con otros posibles aprovechamientos que se estimen de mayor conveniencia. De no existir conformidad entre los Departamentos citados y el de Industria, se resolverá el expediente por acuerdo del Consejo de Ministros».

No obstante debe considerarse que las competencias en materia de aguas minerales y termales están transferidas a las Comunidades Autónomas, por lo que será necesario dirigirse al organismo de éstas que se haya hecho cargo de las mismas.

Afortunadamente, la mayoría de las unidades hidrogeológicas poseen recursos suficientes para cubrir las necesidades de las poblaciones en ellas asentadas, así como otros usos (agrícolas, industriales, etc.).

El problema que suele plantearse es que la distribución de las captaciones no es homogénea por lo que podrían producirse afecciones entre ellas, aunque el volumen total no supere a los recursos medios renovables de la unidad hidrogeológica.

A este respecto cabe señalar que en el Artículo 184 del Reglamento del dominio público hidráulico (RDPH) se entiende por afección:

*«Una disminución del caudal realmente aprovechado o un deterioro de su calidad que lo haga inutilizable para el fin a que se dedicaba, y que sea consecuencia directa y demostrada del nuevo aprovechamiento, pero no la simple variación del nivel del agua en un pozo, o la merma de caudal en una galería o manantial, si el remanente disponible es igual o superior al anteriormente aprovechado».*

Los condicionantes generales que la legislación establece para evitar la afección de las nuevas captaciones a las ya existentes son escasos.

Así en el apartado 2 del Artículo 87 del RDPH se establece:

2. *Cuando la extracción de las aguas sea realizada mediante apertura de pozos, las distancias mínimas entre éstos o entre pozos y manantial, serán las que señale el Plan Hidrológico de cuenca y en su defecto, para caudales inferiores a 0,15 litros/segundo, la de diez metros en suelo urbano, de veinte metros en suelo no urbanizable, y de cien metros en caso de caudales superiores al mencionado. Iguales distancias deberán guardarse, como mínimo, entre los pozos de un predio y los estanques o acequias no impermeabilizados de los predios vecinos.*

En el Artículo 184 del RDPH, se establece que la concesión debería ajustarse a las siguientes condiciones:

- a) *Las que fije, en su caso, el Plan Hidrológico de cuenca para cada acuífero o unidad hidrogeológica. Dichas condiciones se referirán al caudal máximo instantáneo, distancias a otros aprovechamientos y corrientes de agua naturales o artificiales, profundidad de la obra y de la colocación de la bomba y demás características técnicas que se consideren en dicho plan.*

- b) *A falta de definición en el Plan Hidrológico, la distancia entre los nuevos pozos y los existentes o manantiales no podrá ser inferior a 100 metros sin el permiso del titular del aprovechamiento preexistente legalizado. Excepcionalmente, se podrán otorgar concesiones a menor distancia si el interesado acredita la no afección a los aprovechamientos anteriores legalizados. Si, una vez otorgada la concesión en las condiciones señaladas en este párrafo, resultaren afectados los aprovechamientos anteriores, se clausurará el nuevo sin derecho a indemnización.*

En base a estas limitaciones legales en las zonas en las cuales no está elaborado el Plan Hidrológico pueden realizarse nuevas captaciones con muy pocos condicionantes previos, pero éstas podrán ser clausuradas si afectan a aprovechamientos anteriores, por lo que parece necesario analizar esta posibilidad con antelación.

Los estudios necesarios para evaluar la posible afección entre diversas captaciones, y poder definir las regulaciones precisas en una zona para garantizar el volumen extraído en la captación objeto de análisis, serán de diferente índole en cada caso, obteniéndose zonas de protección de la cantidad de extensión muy variable.

En el caso de que el sondeo que se pretende proteger capte un acuífero en el cual las extracciones sean superiores o similares a los recursos, las restricciones a las extracciones podrán afectar a la totalidad del acuífero.

No obstante, en la mayoría de los casos su extensión será mucho menor, pudiendo incluso quedar incluida en el ámbito de las zonas de protección de la calidad.

Para definirla debe utilizarse el análisis hidrogeológico que permite estimar en una primera aproximación la posible interrelación entre diferentes captaciones, siendo muy recomendable complementarlo con otros métodos que permitan cuantificar la misma.

En este sentido el empleo de modelos matemáticos de flujo adquiere una gran importancia al poder simular diferentes hipótesis de extracción de aguas subterráneas obteniendo los efectos en el acuífero. Esto nos permitirá evaluar las interrelaciones existentes entre los diferentes aprovechamientos y la influencia que tendría en su área determinada la puesta en funcionamiento de nuevas captaciones, definiendo en

base a esto el área de protección y las restricciones adecuadas a cada caso.

Como se ve la definición de la zona de protección de la cantidad es un trabajo sumamente complejo, siendo un objetivo inabordable en la mayoría de los estudios para delimitar perímetros de protección de captaciones en aquellos casos en los que aún no esté elaborado el Plan Hidrológico de cuenca correspondiente.

### 7.3. Mecanismos de control de los perímetros de protección

#### 7.3.1. Sistema de vigilancia

El establecimiento de un perímetro de protección no garantiza por sí solo de forma absoluta la calidad del agua extraída en una captación ya que su propia delimitación dista a veces del «ideal teórico» y además la posibilidad de fenómenos accidentales suele ser grande, en especial en lugares donde la intensidad o características de la actividad humana (industrias, vías de comunicación, agricultura, etc.) impongan un fuerte riesgo añadido.

La forma más eficaz de asegurar esta protección consiste en el diseño de un sistema de vigilancia que permita detectar en cualquier momento la presencia de un fenómeno contaminante con tiempo suficiente para detener el bombeo, evitándose la entrada del contaminante en la red general de distribución y tomando las medidas más adecuadas, con el fin de eliminar la contaminación.

La necesidad de establecer un sistema de estas características ha de evaluarse en función de al menos tres parámetros:

- **Riesgo de accidentes contaminantes.** La ponderación de este riesgo resultará sencilla si en la definición del perímetro se realizó un buen estudio sobre focos potenciales de contaminación.
- **Vulnerabilidad del acuífero frente a la contaminación,** estudio que también parte de los trabajos previos de definición del perímetro.
- **Exactitud del perímetro.** En principio es adecuado suponer que aquellos perímetros realizados mediante el empleo de técnicas más elaboradas serán más exactos, proporcionando un mayor nivel de defensa frente a la contaminación.

El sistema de vigilancia, para ser eficaz ha de cumplir al menos dos objetivos:

- Detectar cualquier variación en la composición del agua que va a ser extraída en la captación. Este punto reviste una especial dificultad, sobre todo de orden económico, pues si bien teóricamente la realización de análisis «completos» solventaría el problema, éstos, en especial la determinación de metales y compuestos orgánicos traza, son muy caros. Será necesario pues, diseñar los análisis en función de los contaminantes que presumiblemente pueden aparecer, además de realizar controles de parámetros menos específicos pero fácilmente determinables (pH, Eh, Tª, Conductividad, etc.) debiendo ser valorada la conveniencia del establecimiento de controles continuos.
- Detectar la contaminación con tiempo suficiente para poder actuar. Para ello será preciso un estudio exhaustivo de los puntos en los que con mayor probabilidad pueda producirse un fenómeno puntual de contaminación, en especial vías de comunicación, depósitos, almacenes, nudos ferroviarios, industrias, zonas de vertidos, etc.

No obstante, es conveniente realizar algunas consideraciones en torno a las limitaciones que la propia dinámica del acuífero o de los contaminantes imponen al rendimiento exigido al sistema de vigilancia.

1. El movimiento del agua en el seno del acuífero es, por lo general, un proceso muy lento (excepto en materiales kársticos o fisurados), y pueden transcurrir meses o incluso años desde que se produjo la contaminación hasta que es detectada por el sistema de vigilancia. La velocidad del movimiento del contaminante en el acuífero está determinada fundamentalmente por la del agua (que a su vez, claro está, viene determinada por las características hidrodinámicas del acuífero) tratándose de un parámetro muy variable; basta como ejemplo considerar la diferencia en la velocidad del agua que puede haber cuando se mueve a través de unas gravas limpias (valores de  $K \approx 10^{-2}$  m/s o la de unas arenas finas arcillosas (con K del orden de  $10^{-9}$  m/s).

No obstante puede paliarse el problema del retardo entre el momento de la contaminación y su detección, incrementando la densidad de puntos de muestreo en las zonas con posibles focos de contaminación, con la esperanza de obtener una alerta más rápida al disminuir el recorrido que deberá hacer el

contaminante entre el vertido y su detección.

2. Los contaminantes sufren variaciones en su naturaleza, debido a procesos químicos o biológicos que modifican su estructura molecular, estos procesos serán más intensos cuanto mayor sea el tiempo transcurrido desde la liberación de la sustancia madre, debido a que el contacto con los agentes modificadores será también mayor.

La principal consecuencia de este hecho consiste en que, con gran frecuencia, la especie química detectada en el punto de control es muy diferente a la que produjo la contaminación primaria.

Los principales procesos que causan la modificación de los contaminantes son:

- El agua, al atravesar el terreno, sufre un filtrado mecánico cuya intensidad dependerá de las características del propio terreno (será menor a mayor tamaño de poro y así mismo, el filtrado es más eficiente cuanto más homogénea es la distribución del poro). Este filtrado es capaz en ciertas ocasiones de retener no sólo ramas, hojas, arena, limos, arcillas, residuos sólidos, etc., sino que pueden llegar a ser retenidas algunas bacterias, algas y hongos.

No se retendrán sustancias en disolución ni líquidas por este proceso, aunque, en función de la viscosidad del mismo (grasas o aceites muy viscosos), su avance puede llegar a ser inapreciable.

El proceso de filtrado es prácticamente inexistente en zonas kársticas o intensamente fisuradas.

- Una vez superada esta fase de filtrado comienza un proceso que perdurará durante todo el recorrido del contaminante por el acuífero. Se trata del fenómeno de dilución, que se produce al irse mezclando el contaminante con el agua que circula de forma natural. La dilución (especialmente en aguas superficiales) y dispersión de contaminantes, ha sido durante muchos años la única forma de deshacerse de productos no deseables; este método, nada recomendable en aguas de superficie lo es aún menos en las subterráneas, debido no sólo a que no se asegura la destrucción o inactivación del contaminante, sino que además, se produce un fenómeno de almacenamiento (de forma que, aunque en un principio los niveles pueden ser aceptables), pueden provocarse situaciones puntuales de sobreconcentración y en cualquier caso a la larga se alcanzarían niveles no adecuados. Por otro

lado las características propias del medio subterráneo implican un lento movimiento del agua y por ello una lenta dilución.

- Otro proceso de gran influencia sobre la composición final del agua son los de absorción y adsorción, ambos muy dependientes tanto de la naturaleza del terreno como de los propios contaminantes, el principal efecto producido por estos fenómenos consiste en un fuerte retardo en la circulación del agente extraño por el terreno e incluso puede llegarse a una retención total.

La absorción y adsorción presentan un «límite de saturación» a partir del cual el terreno ya no es capaz de retener más sustancia; cuando se producen fenómenos de esta naturaleza se pueden producir aumentos repentinos y de difícil explicación en la concentración de alguna sustancia que al principio era fuertemente retenida hasta que, llegando al límite de saturación de forma repentina deja de serlo y aparece en las muestras de agua.

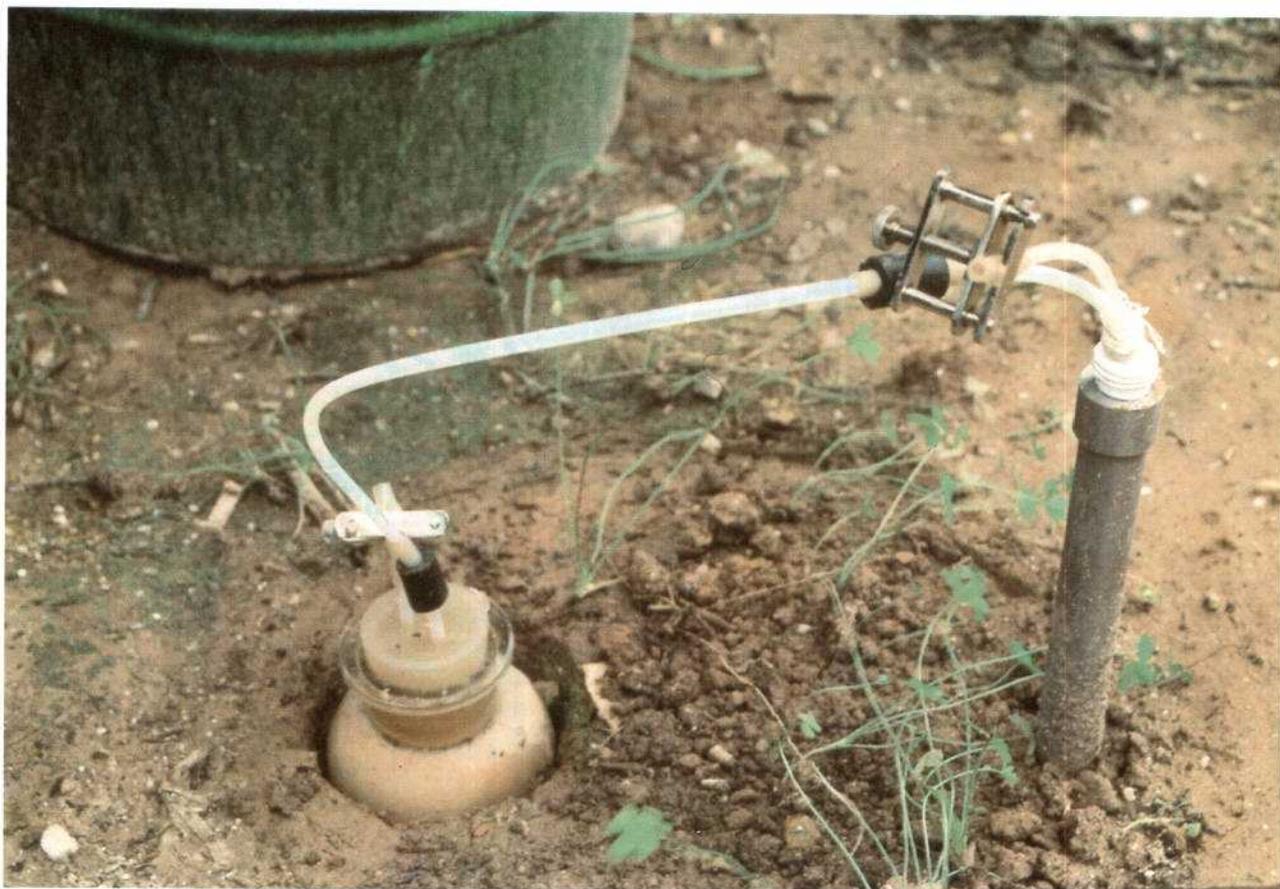
Los metales pesados, que pueden ser adsorbidos por otros iones y tradicionalmente se consideraban relativamente inmóviles, han sido descubiertos a grandes distancias de su lugar de vertido. Estos movimientos parecen estar favorecidos por coloides y macromoléculas, dispersándose más rápidamente que el flujo subterráneo medio, si bien su impacto está aún insuficientemente evaluado.

Hasta aquí se han descrito procesos cuyo único efecto es el de retener la sustancia extraña y aunque no modifican directamente su naturaleza, al aumentar el tiempo de contacto con el medio, facilitan la interacción con los agentes modificadores. Se hace a continuación una descripción de éstos:

### **Procesos de Oxidación-Reducción**

Los procesos de oxidación se relacionan generalmente de forma directa por el oxígeno disuelto en el agua, pudiendo oxidarse moléculas con un potencial reductor suficiente. El ambiente más fuertemente oxidante corresponde a los niveles superiores de la zona no saturada, pero también pueden continuar estos procesos en la zona saturada si aún queda oxígeno disuelto o existe algún otro oxidante.

Por otra parte existen procesos microbiológicos anaerobios capaces de producir la oxidación de materia orgánica a partir de la reducción de nitratos, sulfatos o compuestos férricos o mangánicos presentes en el medio.



Estos fenómenos son causa de la precipitación o redisolución de sustancias (es típica por ejemplo la producción de sulfuros insolubles, o la precipitación de sales ferrosas).

Los fenómenos bacterianos anaeróbicos dan lugar a una gran variedad de productos intermedios de reacción, que confieren al agua malos olores (producción de aminas, como la putrescina o cadaverina), malos sabores o incluso coloraciones anómalas. Es de destacar el comportamiento de los compuestos nitrogenados (pues muy frecuentemente son causa de contaminación y son empleados normalmente como índice de la misma). El producto final de degradación nitrogenado que se detecte en el agua dependerá fundamentalmente de las circunstancias redox por las que haya atravesado; así puede encontrarse  $\text{NO}_3^-$  o éste ser reducido a  $\text{N}_2$  o  $\text{NH}_4^+$  a su vez el  $\text{NH}_4^+$  se oxida con frecuencia al  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}_2^-$  o  $\text{NO}_3^-$ , etc.

El ion  $\text{NO}_2^-$  muy raramente se encuentra en las aguas naturales empleándose por ello como seguro indicador de contaminación orgánica;  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{S}_2^-$ ,  $\text{SH}_2^-$ , pueden ser producto no sólo de un medio reductor, porque la descomposición de materia orgánica en medio no muy oxidante también los produce.

### Intercambio iónico

Cuando existe en el terreno una cierta proporción de minerales de arcilla (algunos polímeros orgánicos naturales también producen estos fenómenos) se producen procesos de intercambio iónico, mediante los cuales pueden quedar retenidos de forma permanente iones como el amonio o, el potasio, o lo que es más frecuente variar la relación de concentraciones de iones como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Sr}^{++}$ . Obsérvese como el amonio, que es en general un buen indicador de contaminación, puede llegar a ser retenido de forma irreversible por los materiales del suelo, es éste un claro ejemplo de cómo puede llegar a modificarse el contenido original en algunas sustancias del agua, debido a la interacción con el medio.

### Desintegración radiactiva

Como ya se ha explicado el movimiento del agua en el acuífero puede ser muy lento, si se produce una contaminación por isótopos radiactivos de muy corta vida (por ejemplo los empleados en medicina y biología como trazadores I-131 con una semivida de ocho días, el Na-24 con semivida de 15 h o el K-42 con semivida de 2,5 h) puede suceder que su presencia llegue a ser indetectable mediante las técnicas normalmente empleadas en análisis de aguas cuando llegue al punto de control.

## Fenómenos de precipitación y coprecipitación

Para valores de pH comprendidos entre 6 y 8 se provoca la formación de hidróxidos férricos y mangánicos ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Mn}(\text{OH})_2$ ) que al ser insolubles precipitan arrastrando consigo por fenómenos de precipitación y coprecipitación, cationes pesados y algunos aniones como  $\text{F}^-$  o  $(\text{PO}_4)_2^{3-}$ .

Otra de las causas frecuentes de precipitaciones es la formación de sulfuros insolubles a partir del  $\text{SH}_2$  procedente de la actividad bacteriana reductora.

Los contaminantes orgánicos serán transportados por el agua, mejor o peor, en función de su polaridad; los compuestos polares se disuelven con el agua formando puentes de hidrógeno, mientras que los apolares son generalmente inmiscibles.

La principal vía de degradación de estos compuestos es la metabolización bacteriana, pudiendo producirse tres tipos de procesos:

- Activación, si el producto resultante es más tóxico que la sustancia madre.
- Detoxificación o inactivación, si el metabolito pierde sus propiedades tóxicas.
- Degradación, si la molécula pierde complejidad al ser metabolizada, la degradación puede dar lugar a una nueva molécula, más o menos tóxica que la primitiva.

La adsorción y volatización son también de gran peso en el caso de sustancias orgánicas.

3. Una muestra de agua tomada en un punto representa, en el mejor de los casos la calidad de un área muy restringida. En realidad, la extensión de este área es muy variable, dependiendo básicamente de las características hidrodinámicas del acuífero. Cuando se esté ante un acuífero de alta permeabilidad, donde el agua se mueve de forma relativamente rápida, el área representada por cada punto de muestreo será mayor; también será mayor en acuíferos muy homogéneos. No obstante, como se ha dicho, ese área será siempre reducida.
4. Una vez introducida una sustancia en el seno del acuífero suele ser muy difícil de eliminar (a veces imposible), en especial cuando las características propias del acuífero impongan un movimiento muy lento al agua.

Establecida la necesidad de un sistema de vigilancia así como los objetivos que ha de cumplir y sus limitaciones, se debe establecer de forma práctica su

diseño. El éxito del sistema dependerá de un gran número de circunstancias difícilmente valorables de forma general, pero desde el punto de vista del diseño estrictamente, se puede decir que tendrá éxito si es posible responder adecuadamente a tres cuestiones:

- ¿Dónde han de ser localizados los puntos de control?
- ¿Qué determinaciones físicas o químicas es necesario realizar?
- ¿Cual será la frecuencia de muestreo?

Los puntos de control estarán situados en el área de acuífero que alimenta a la captación, de forma que corten las líneas de flujo hacia ésta, a una distancia tal que permitan una actuación en el intervalo entre la contaminación, la detección, y su llegada al sondeo. Además los puntos del control deberán estar próximos a los focos potenciales de contaminación.

La frecuencia de muestreo viene dada por las características dinámicas del acuífero, siendo mayor cuando dicha dinámica implique un rápido movimiento del agua (acuíferos muy permeables como los kársticos o fisurados) pues presentan una rápida respuesta al vertido. También es necesario valorar el tipo de contaminante que presumiblemente puede encontrarse, pues su naturaleza física (sólido disuelto, o en suspensión, líquido miscible o no con el agua, gases), sus propiedades físico-químicas, el nivel de absorción y adsorción por el terreno, el factor de biodegradabilidad, fotosensibilidad, reactividad con compuestos del medio o con otros contaminantes, etc., son factores de fuerte influencia sobre la frecuencia idónea de muestreo. Así por ejemplo, una sustancia muy tóxica pero rápidamente neutralizable por algún agente del medio (sería el caso de algunos venenos orgánicos biodegradables) podría provocar la aparición de intoxicaciones puntuales difíciles de determinar si la red no dio la alarma a tiempo y el producto ya ha sido degradado.

Esta fácil transformación de algunas sustancias es causa por otro lado, de que en función del tiempo transcurrido entre la toma de muestras se puedan detectar especies químicas de diversa naturaleza, todas procedentes de una misma sustancia original.

Por último, los parámetros a controlar serán definidos según el tipo de actividad contaminante predominante en la zona ya sea industria (metalúrgica, textil, papelería, etc.), agricultura, actividad urbana, etc.

Ha de hacerse una mención especial de aquellos casos en los que exista riesgo de procesos de intrusión marina, pues el control de la posición del frente de intrusión requiere por lo general de la instalación de un sistema de registro continuo (conductividad y  $T^a$ , al menos) en cuantos puntos se estime necesario.



A título de ejemplo se refleja el esquema de funcionamiento del plan de socorro del Ministerio de Agricultura Francés (ver figura 76), que muy bien pudiera servir de base a la implantación de uno similar en nuestro país.

### 7.3.2. Plan de intervención

De nada serviría disponer de un eficaz sistema de alerta si luego se carece de los medios adecuados para combatir o evitar los efectos que conlleva el fenómeno contaminante, por ello ha de establecerse un plan general de intervención a nivel de cuenca, adaptándolo a cada caso concreto.

El plan contemplará al menos los siguientes puntos:

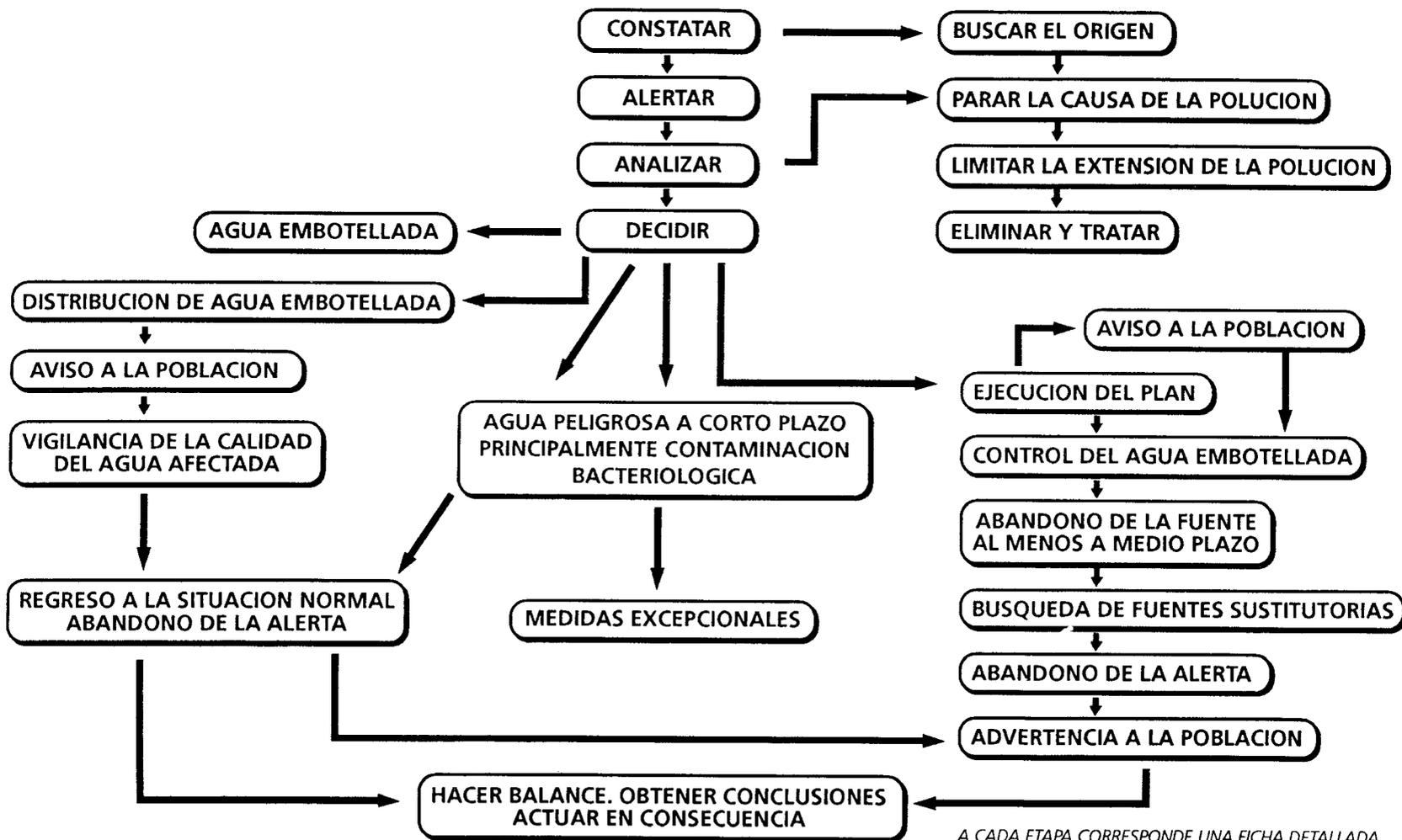
- Servicio centralizado de control, que poniendo en práctica los diferentes sistemas de vigilancia conoce en cada momento la situación de la calidad del agua y la aparición de posibles contaminaciones.
- Plan de intervención inmediato, con capacidad de actuar con vistas a parar el bombeo de agua cuando sea necesario, además debe disponerse

de un sistema de abastecimiento alternativo en previsión de que el corte de suministro se prolonge en el tiempo o incluso sea necesario cerrar la captación definitivamente.

- Sistema de lucha contra la contaminación.

Una vez asegurada la protección de la salud pública será necesario actuar frente a la contaminación, el problema es extraordinariamente complejo, requiriendo de personal muy cualificado que analizando cada caso concreto pueda decidir las medidas más adecuadas a tomar.

**POLUCION O AMENAZA DE POLUCION DE LAS AGUAS CONTINENTALES.  
MEDIDAS A TOMAR**



Fuente: A. Lallemand-Barrés, J-C Roux, 1989

A CADA ETAPA CORRESPONDE UNA FICHA DETALLADA  
NO CORTAR EL SUMINISTRO SIN CONSULTAR ESAS FICHAS

**Fig. 76.- PLAN DE INTERVENCION ANTE UNA CONTAMINACION DEL AGUA DE CONSUMO**

## 8. CONCLUSIONES

La delimitación de perímetros de protección con el objetivo de proteger la calidad de las aguas subterráneas adquiere una transcendental importancia ante la creciente demanda de dicho recurso y el riesgo potencial que supone la actividad antrópica en los alrededores de la captación que pretende protegerse. Antes estas circunstancias la legislación crea la figura del «perímetro de protección» como garante de la calidad del agua, tanto para abastecimiento como en el caso de las aguas minerales y termales.

Son muchas las normas que recogen esta figura (Código Alimentario Art. 3-27-23, Decreto 3069/1972, por el que se regulan las aguas de bebida envasadas, Reglamentación Técnico Sanitaria de aguas potables de consumo público, Ley de Minas, etc.) pero entre todas destaca la Ley de Aguas (29/1985) y el Reglamento del dominio público hidráulico que la desarrolla en parte. No obstante cabe resaltar el hecho de que las aguas de abastecimiento y las minerales y termales aún cuando se regulan por normas diferentes (Ley de Aguas Art. 1.4) y por ello el procedimiento administrativo para establecer un perímetro no es el mismo la metodología empleada y los estudios necesarios son en muchos casos semejantes.

El perímetro consigue su objetivo de protección del recurso recurriendo a la restricción o prohibición graduada de las actividades susceptibles de modificar la calidad del agua subterránea. Para ello se crea una serie de zonas de protección (zona inmediata o de restricciones absolutas, zona próxima o de restricciones máximas, zona alejada o de restricciones moderadas, zona satélite de protección, área de protección contra la salinización) donde, en función de su situación respecto a la captación, se van a prohibir, regular o permitir las actividades potencialmente contaminantes.

Claro está, el correcto dimensionamiento de estas zonas, parte de un exhaustivo conocimiento de las características de la captación, y de las del acuífero sobre el que se asiente, por ello, se ha de hacer un especial hincapié en el apartado referente a los estudios previos, analizando la situación actual del abastecimiento (captaciones, conducciones y depósitos de agua potable), red de alcantarillado, estaciones depuradoras; también se consideran datos referidos a demanda urbana y aspectos económicos y de ordenación del territorio.

Por otra parte se debe hacer un estudio del marco geológico que comprenderá cartografía, litoestratigrafía y tectónica, en cuanto a la hidrogeología se estudiarán los acuíferos captados por el punto de abastecimiento (geometría, tipo de acuífero, funcionamiento

hidrogeológico, piezometría e hidroquímica) haciendo un especial énfasis en la hidrogeología del entorno de las captaciones (materiales acuíferos, evolución piezométrica, flujo subterráneo, características hidrodinámicas, calidad del agua subterránea).

Dentro de este apartado de estudios previos es necesario un estudio de vulnerabilidad del acuífero frente a la contaminación mediante el inventario de focos contaminantes (areales o no y conservativos o no), puntuales o difusos.

Capital importancia reviste el estudio de la perdurabilidad de la contaminación en las aguas subterráneas, diferenciando contaminantes biológicos y químicos en cuanto que su comportamiento se rige por diferentes principios. La perdurabilidad de los contaminantes va a ser la justificación última de las dimensiones y localización de las diferentes áreas del perímetro.

Un aspecto crítico en la delimitación del perímetro es la elección del criterio de dimensionado (distancia, descenso, criterios hidrogeológicos, poder autodepurador del terreno), aún cuando en la práctica se recurre a un criterio mixto, predominando el tiempo de tránsito y circunstancias hidrogeológicas.

La puesta en práctica del criterio requiere del empleo de un método para el cálculo de las diferentes zonas, los métodos son muy variados, desde sistemas puramente arbitrarios (radio fijado arbitrariamente) sin precisión alguna, sistemas más desarrollados como es el radio fijo calculado (ya sea en función del tiempo de tránsito o del descenso), más elaborados son otros métodos analíticos, que son los más empleados, (Hoffmann y Lillich, Wyssling, catálogo de formas simples) y luego los gráficos (Albinet, Jacobs y Bear, pozo próximo a un río, batería de pozos, nomogramas, nomógrafos), no hay que olvidar el método de Horsley y los hidrogeológicos. Por último hay que sopesar la posibilidad de empleo de modelos matemáticos de flujo y transporte que si bien proporcionan la mayor exactitud, siendo capaces de considerar todos los aspectos relacionados con la dinámica del agua y de los contaminantes, resultan la mayor parte de las veces demasiado caros para ser aplicados.

Esta gran cantidad de métodos hace necesario dedicar un capítulo íntegro a su elección considerando su aplicabilidad según el tipo de materiales, datos necesarios para su aplicación, adaptabilidad al modelo hidrogeológico regional, precisión, personal necesario, aspectos económicos, etc.

Los datos generales necesarios para un estudio de perímetro de protección se encuentran desperdigados en multitud de referencias bibliográficas requiriendo

un enorme esfuerzo su consecución, por ello, además del apartado referido a la bibliografía se ha recogido un anexo con la normativa referente al agua, otro con la legislación sobre composición, muestreo y análisis de aguas, tablas para el cálculo del poder contaminante de

diferentes sustancias, etc. También se proporcionan ábacos y fichas modelos y un glosario de los términos empleados en la obra y que pudieran causar confusión. Finalmente se incluye un modelo de informe de perímetro de protección.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- ALBINET, M., MARGAT, J., (1970). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Bull BRGM Section III, n° 4, 1970.
- ALBINET, M., (1971). Détermination des périmètres de protection des captages d'eau destinée à l'alimentation publique. Mise au point préliminaire. Note technique aux géologues officiels, n° 1, BRGM 71 SGN 211 HYD.
- ALBINET, M. et coll. (1972). Contribution à la délimitation des périmètres de protection des captages d'eau souterraine. Essai de détermination de l'aire d'alimentation de captages en nappes libres. Note technique n° 3, BRGM 72 SGN 370 AME.
- ALLER, L, BENNETT, LEHR, J.H., PETTY, R. (1986). A system to evaluate the pollution potential of hydrogeologic setting by pesticides. «Evaluation of pesticides in ground water» ACS Symposium, Series 315, Washington DC, pp. 141-158.
- AVIAS, J. (1977). Sur les principes et sur la méthodologie pratique de protection des aquifères karstiques. Coll. nat. Protection des eaux souterraines captées por l'alimentation humaine. BRGM Orléans.
- BALLESTER RODRIGUEZ, A. (1989). Instalación y diseño de grupos de bombeo en pozos profundos. Curso Internacional de Hidrogeología Aplicada. Madrid.
- BAYO DALMAU, A., CASTIELLA MURUZABAL, J., CUSTODIO GIMENA, E., NIÑEROLA PLA, S., VIRGOS SORIANO, L. (1986). Ensayo sobre las diversas tipologías de acuíferos en rocas carbonatadas de España. Identificación, técnicas de estudio y formas de captación y explotación. I Master en Tecnología Hidrogeológica.
- BEAR, J., JACOBS, M. (1965). On the movement of water bodies injected into aquifers. J. Hydrology n° 1-3, pp. 37-57.
- BENITO DE SANTOS, G. (1987). Los virus, el SIDA y el medio hídrico. Tecnología del agua n° 38, pp. 69-74.
- BITTON, G., FARRAH, S.R., RUSKIN, R.H., BUTNER, J., CHOU, Y.J. (1983). Survival of pathogenic and indication organism in ground-water. Ground-water Vol. 21 n° 4, pp. 405-410.
- BITTO, G., GERBO, C.P. (1984). Ground water pollution microbiology. John Wiley and Sons Eds. 377 pp.
- BOLSENKOTTER, H., BUSSE, R., DIEDERICH, G., HOLTING, B., HOHBERGER, K., REGENHARDT, H., SEHLOZ, W., WILLINGER, E., WERNER, J. (1984). Hydrogeologische kriterien bei der bemessung von Wasserschutzgebieten für Grundwasserfassungen. Geologisches Jahrbuch Reihe C. Heft 36. Hannover 1984.
- BOUCHARD, J.P. (1985). Sûreté des captages d'eau souterraine à proximité des rivières. La houille blanche, n° 1, 1985, pp. 53-71.
- CABO DE LA FUENTE y CATALAN (1972). Bacteriología y potabilidad del agua 261 pp. Aportación de los autores al año internacional del libro.
- COHEN, D.B. (1986). Ground water contamination by toxic substances a California assessment. Evaluation of pesticides in ground water. ACS Symposium. Series 315, Washington D.C., pp. 499-529.
- COHEN, S.Z., EIDEN, C., CORBER, M.N. (1986). Monitoring groundwater for pesticides. Evaluation of pesticides in groundwater. ACS Symposium Series 315, Washington D.C., pp. 170-195.
- COMPAIRE FERNANDEZ, C. (1981). La ganadería y el medio ambiente. Revista «Nuestra Cabaña».
- CUSTODIO, E. (1988). La intrusión marina y los perímetros de protección en la nueva Ley de Aguas. Jornadas sobre la aplicación de la nueva Ley de Aguas en la gestión de las aguas subterráneas. Zaragoza, pp. 111-138.
- DOMINGUEZ VIVANCOS, A. (1978). Abonos minerales. Ministerio de Agricultura.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1985). A standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrogeologic settings. US EPA n° 600 (2-85) 018.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1987). Guidelines for delineation of wellhead protection areas.
- EVERETT, A.G. (1987). Some significant attributes of aquifers as related to wellhead protection considerations. Unpublished report to the U.S. Environmental Protection Agency, office of groundwater protection.
- FAO (1975). Contaminación de las aguas subterráneas. Tecnología, economía y gestión. AGL: DP/SPA/73001. Informe técnico 1.
- FERNANDEZ RUIZ, L., MONTSERRAT REBULL, F.X., CRISTOBAL, F.P. (1990). Residuos sólidos urbanos. Curso Internacional de hidrogeología aplicada. Madrid.
- FERTILIZANTES ESPAÑOLES (1989). Abonado del viñedo, almendro, cítricos y olivos.
- FWPCA (1968). The cost of clean water.
- GRAVES, L.S. (1981). Groundwater monitoring requirevnts of RCA. Groundwater monitoring Revie. Spring.
- HARVEY, R.W., GEORG, L.H. (1986). Population dynamics of free-living bacteria in an organically-contaminated aquifer. Sumary of the American Geophysical Union Chapman

- Conference on Microbial Processes in the transport, fate and in situ treatment of subsurface contaminants. Oct 1-3 (1986) Snowbird Utah.
- HOFMANN, W., LILLICH, W. (1973). Problematik der bemessung der engeren schutzzones für lockergesteinsaquifere. Z. Deutsch, Geol. Gesellschaft Band 124, 1 Abb Hannover, 1973.
  - HORSLEY, SCOTT, W. (1983). Delineating zones of contribution for public supply wells to protect groundwater proceedings of the national water well conference. National water well association. Worthington, Ohio.
  - IDEAL (1987). Manual bombas IDEAL.
  - ITGE (1982). Calidad de las aguas subterráneas en Andalucía: situación actual y focos potenciales de contaminación.
  - ITGE (1984). Protección de las aguas subterráneas en los abastecimientos urbanos.
  - ITGE (1985). Inventario de focos potenciales de contaminación de las aguas subterráneas y evaluación de la calidad de las mismas en la cuenca media y baja del Júcar.
  - ITGE (1985). Cuantificación de bombeos en pozos mediante el consumo de energía eléctrica.
  - ITGE (1988). Estudio de la influencia de los pesticidas en la calidad de las aguas subterráneas.
  - ITGE (1988). Perímetros de protección en sondeos de abastecimiento urbano.
  - ITGE (1989). Notas de divulgación relativas a la protección de la calidad de las aguas subterráneas en los abastecimientos urbanos.
  - ITGE (1989). Estudio de la influencia de los pesticidas en la calidad de las aguas subterráneas.
  - ITGE y CONFEDERACION HIDROGRAFICA DEL JUCAR (1989). Estudio metodológico para la definición de los perímetros de protección de captaciones para el abastecimiento urbano. Proyecto de delimitación del perímetro de protección del abastecimiento a las poblaciones de Alacuás (Valencia), Almazora (Castellón), Benisa (Alicante), Calig (Castellón), Genovés (Valencia), Montichelvo (Valencia), Orba (Alicante) y Sot de Ferrer (Valencia). Convenio de colaboración y asistencia técnica entre la Confederación Hidrográfica del Júcar y el Instituto Tecnológico Geominero de España.
  - ITGE y CONSELLERIA D'INDUSTRIA, COMERÇ Y TURISME DE LA GENERALITAT VALENCIANA (1990). Estudio para la definición del perímetro de protección de la Fuente del Cañar (Almedijar-Castellón). Estudio para la definición del perímetro de protección de la Font Calda (Villavieja-Castellón). Evaluación del estado actual de las aguas minerales y de bebida envasadas en la Comunidad Valenciana (2ª Fase).
  - ITGE (1990). Estudio metodológico de los procesos de contaminación bacteriológica en las aguas subterráneas. Aplicación a los acuíferos del norte de España.
  - ITGE (1990). Investigación sobre el estado de las captaciones subterráneas para abastecimiento en el sector noroccidental de la provincia de Granada. Definición de normas y recomendaciones de explotación de los acuíferos. Estudio de asesoramiento en materia de aguas subterráneas a organismos de cuenca y comunidades autónomas (1988-1990).
  - ITUR (1987). Manual bombas ITUR.
  - KEITH, S.J. (1983). Sources of spatio-temporal variability ground-water quality data and methods of control. Ground-water monitorin rewie. Spring.
  - LALLEMAND-BARRES, A. (1984). Traceurs artificiels en hydrogéologie. Rapport BRGM 84 SGN 319 EAU.
  - LALLEMAND-BARRES, A. (1985). Utilisation des traceurs por définir les périmètres de protection. 1 - Modélisation de la rétention des ions dans les terrains saturés - Revue bibliographique - Rapport BRGM 85 SGN 490 EAU por Ministère de l'Environnement.
  - LALLEMAND-BARRES, A. (1987). Carte à 1/ 500.000 des teneurs en nitrates des nappes phréatiques de la France - Etat des connaissances 2ª édition 1986 - BRGM 87 SGN 237 EAU pour Ministère de l'Environnement.
  - LALLEMAND-BARRES, A. (1987). Méthodologie de contrôle d'une pollution ponctuelle affectant les eaux souterraines - Rapport BRGM 87 SGN 463 EAU pour Ministère de l'Environnement.
  - LALLEMAND-BARRES, A., ROUX, J.C. (1989). Guide méthodologique d'establissement des périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinee a la consommation humaine. Manuels et methodes BRGM.
  - LOPEZ GETA, J.A., MARTINEZ NAVARRETE, C., MORENO MERINO, L. (1991). Protección de la calidad de las aguas subterráneas de abastecimiento mediante perímetros de protección. 9ª Conferencia internacional sobre hidrología general y aplicada. Zaragoza, pp. 139 - 145.
  - LOPEZ GETA, J.A., MORENO MERINO, L., MARTINEZ NAVARRETE, C., (1991). Captaciones de agua subterránea. Perímetros de protección. Tecnoambiente, 8, pp. 33 - 39.
  - LORA, F., MIRO, J., (1978). Técnicas de defensa del medio ambiente. Editorial Labor, 1978.
  - MARA, D.D., ORAGUI, J. (1985) Bacteriological methods for distinguishing between human and animal faecal pollution of water: results of fieldwork in Nigeria and Zimbague. Bulletin of the World Health Organization, 63 (4), pp. 773-783.

- MARTINEZ NAVARRETE, C., MORENO MERINO, L., LOPEZ GETA, J.A. (1991). Análisis comparativo de los métodos para la determinación de perímetros de protección de las captaciones de aguas subterráneas. III Simposio sobre el agua en Andalucía. Cordoba, pp. 513 - 524.
- MATTHESS, G., PEKDEGER, A., SHROTER, J. (1985). Behaviour of contaminants of groundwater. Theoretical background, hydrogeology and practice of groundwater protection water. Vol. 6, 1985, éd. Heise.
- MATTHESS, G., et al. (1985). Der stofftransport in grundwasser und die wasserschutzzeibietsrichtlinie W101. Umweltbundesamtes. Berichte 7/85, Erich Schmidt, Verlag, Berlin, West Germany.
- MATTHESS, G., PEKDEGER, A., SHROTER, J. (1988). Persistence and transport of bacteria and viruses in groundwater. A conceptual evaluation. J. Contaminant Hydrology, 2 (1988), 171-188.
- MORENO, L. (1989). Redes de control de la calidad del agua subterránea. Curso Internacional de hidrogeología aplicada. Madrid.
- NAVARRETE MARTINEZ, P. (1988). Vigilancia de la calidad del agua subterránea. Inédito.
- PEKDEGER, A., MATTHESS, G. (1982). Factors of bacteria and virus transport in groundwater IAH Memoires, vol. XVI, part. 2 proceeding Prague 1982.
- PETTYJOHN, W.A. (1987). Protection of public water supplies for groundwater contamination. Nays Data Corp New-Jersey USA.
- PLEUGER (1987). Manual bomba PLEUGER.
- QUINLAN, J.F., and R.O. EWERS (1985). Ground water flow in limestone terranes: strategy rationales and procedure for reliable, efficient monitoring of groundwater quality in karst areas. National symposium and exposition on aquifer restoration and ground water monitoring. National water well association. Worthington, Ohio.
- REHSE, W. (1977). Abbaubare organische Verunreinigungen pathogene Keime und Viren-Rapport n° 401 77 Eidgenössisches Amt für Umweltschutz (Office de l'environnement à Berne).
- REHSE, V. (1977). Elimination und Abbau von organische Fremdstoffen, pathogenen Keimen und Viren in Lockergestein Z. dt geol. ges. 128; 319-329 Hannover.
- SAINZ MORENO, L., COMPAIRE FERNANDEZ, C. (1984). Animales y contaminación biótica ambiental. Serie técnica Instituto de estudios agrarios, pesqueros y alimentarios.
- SAUTY, J.P. (1985). Utilisation des traceurs pour définir les périmètres de protection. 2. Manuel pour la prise en compte des transferts hidrodispersifs dans l'interprétation des traçades et la delimitation des périmètres. BRGM 85 SGN 660 EAU.
- SEOANEZ CALVO (1977). La contaminación agraria. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
- STEVE, L., NACHT, J. (1983). Ground water monitoring system considerations. Ground water monitoring rewiew. Spring.
- VAN WAEGENINGH, H.G. (1981). A proposal for the dimensions of protection areas. Quality of groundwater: Princ. of an Int. Symp. Noordwijkerhout. The Netherlands 23-27 mars 1981. Studies in Environmental Sciences, vol. 17. Ed. Van Duijvenbooden et al.
- VAN WAEGENINGH, H.G. (1983). Basic concepts of groundwater managements in relation to land use planning. Proc. Seminar Athènes, Grèce 10-14 October 1983. Groundwater protection - Strategies practices.
- VAN WAEGENINGH, H.G. (1983). Protection of groundwater quality. Proc. Seminar Athènes, October 1983. Groundwater protection - Strategies practices.
- VAN WAEGENINGH, H.G. (1985). Overview of the protection of groundwater quality, in «chapitre 6» «Theoretical background, hydrogeology and practice of groundwater protection zones». I.A.H. Unesco, vol. 6, ed. Heise.
- VAN WAEGENINGH, H.G. (1986). Borderlands of groundwater protection zones symposium on groundwater protection areas - 19th congress AIH. Karlovy Vary 8-15 Sept. 1986, Tchecoslovaquie.
- VILLANUEVA MARTINEZ, M., IGLESIAS LOPEZ, A. (1984). Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. ITGE.
- WYSSLING, L. (1979). Eine neue formel zur Berechnung der Zuflussdauer der Grundwasser zu einem Grundwasser Pumpen. Eclogae geol. Helv. 72, pp. 401-406.

**ANEXOS**

## **ANEXO 10-1 NORMATIVA REFERENTE AL AGUA**

Real Decreto ley aprobando el estatuto que se inserta sobre la explotación de las aguas minero-medicinales (Gaceta de Madrid de 26/4/1928). Los títulos I y II y el artículo 77 están derogados.

Reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas Real Decreto 2414/1961 de 30 de noviembre (BOE 292 del 7/12/1961).

Código alimentario español, Decreto 2484/1967 de 21 de septiembre. (BOE del 23/10/1967).

Directiva 80/68 sobre la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación producida por determinadas sustancias peligrosas de 17/12/1979 (CEE80/68).

Decreto 3069/1972 de 26 de octubre por el que se regulan las aguas de bebida envasadas (BOE del 8/11/1972) (todo derogado excepto en sus artículos 9, 10, y 11).

Ley de minas 22/1973 de 11 de julio y su reglamento (decreto 2857/1978 de 25 de agosto).

Reglamento de policía sanitaria y mortuoria en decreto de 20/7/1974 (en especial los artículos 50 y 51) (BOE 17/8/1974).

Ley sobre desechos y Residuos Sólidos Urbanos 42/1975 de 19 de noviembre.

Directiva del consejo (80/777CEE) de 15 de julio de 1980 relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre explotación y comercialización de aguas minerales naturales. (Diario oficial de las Comunidades Europeas nº 229/11 de 30/8/80).

Directiva del consejo (80/778) de 15 de julio de 1980 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. (Diario oficial de las comunidades europeas nº 229/11 de 30/8/80).

Real Decreto 2119/1981 de 24 de julio aprobando la Reglamentación técnico sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de las aguas de bebida envasadas (BOE del 21/9/1981).

Corrección de errores del Real Decreto 2119/1981, de 24 julio por el que se aprueba la reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de aguas de bebida envasadas. (BOE del 3/12/1981).

Ley de Aguas 29/1985 (BOE del 8/8/1985). Esta ley deroga por completo la anterior de 13-6-1879.

Reglamento del Dominio Público Hidráulico (BOE del 30/4/1986) que desarrolla los títulos preliminares I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de aguas, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 de Abril.

Real Decreto legislativo de evaluación de impacto ambiental 1302/1986 de 28 de junio (BOE del 30/6/1986) y su reglamento, Real Decreto 1131/1988 de 30 de septiembre de 1986 (BOE del 5/10/1981).

Ley Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos de 14/5/1986 (BOE del 20/5/1986) y su reglamento Real Decreto 833/1988 de 20 de julio (BOE del 30/7/1988).

Ley de Costas de 28 de julio de 1988.

Orden del 13 de octubre de 1989 por la que se determinan los métodos de caracterización de los residuos tóxicos y peligrosos (BOE del 10/11/1989).

Reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de la calidad de las aguas potables de consumo público. Real Decreto 1138/1990 de 14 de septiembre (BOE de 20/9/1990).

## ANEXO 10-2 LEGISLACION SOBRE CLASIFICACION, COMPOSICION, MUESTREO Y ANALISIS DE AGUA

### 1. Clasificación del agua.

La legislación española por medio de la «Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público» RD 1138/1990 de 14 de septiembre, BOE del 20 de septiembre de 1990, regula todo lo referido a aguas de abastecimiento, excluyendo de forma explícita las de bebida envasadas, así como las minero-medicinales reconocidas como tales, que se regulan por medio de la «Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de aguas de bebida envasadas» RD 2119/1981 de 24 de julio, BOE del 21 de septiembre.

Estas reglamentaciones fijan unos límites en cuanto a la composición de las aguas en virtud de la clasificación que de ellas hacen. Resulta de gran interés transcribir la clasificación que se hace del agua en función de su origen y empleo posterior a fin de unificar la terminología empleada a la hora de referirse a los diferentes tipos de agua.

**El RD 1138/1990 clasifica el agua de la siguiente forma:**

*Art 2º. A los efectos de esta Reglamentación se establecen las siguientes definiciones:*

*2.1 Aguas potables: Aquellas cuyos caracteres cumplen lo especificado en el artículo 3º de esta Reglamentación.*

*2.2 Aguas potables de consumo público: Son aquellas aguas potables utilizadas para este fin, cualquiera que sea su origen, bien en su estado natural o después de un tratamiento adecuado, ya sean aguas destinadas directamente al consumo o aguas utilizadas en la industria alimentaria para fines de fabricación, tratamiento, conservación o comercialización de productos o sustancias destinadas al consumo humano y que afecten a la salubridad del producto alimenticio final.*

*2.3 Agua tratada: Es aquella que, habiendo sido sometida a un tratamiento adecuado, reúne las características propias de las aguas potables.*

*2.4 Niveles guía: Son los valores de los parámetros representativos de los caracteres de potabilidad, correspondientes a una calidad deseable en el agua potable.*

*2.5 Concentraciones máximas admisibles: Son los valores de los parámetros representativos de los caracteres de potabilidad, correspondientes a la mínima calidad admisible en el agua potable. Estos valores no deberán ser rebasados ni en cantidades significativas, ni de modo sistemático.*

*2.6 Sistema de abastecimiento de aguas potables de consumo público: Conjunto de zonas de protección, obras e instalaciones que permiten en el caso más general la captación en las condiciones previstas por la Ley 29/1985 de 2 de agosto, de Aguas, y sus disposiciones reglamentarias, de agua destinada a la producción de agua potable, la transformación de la misma en agua potable y la distribución de ésta hasta las acometidas de los consumidores y usuarios, con la dotación y calidad previstas en esta Reglamentación.*

**Para el Real Decreto 2119/1981 el agua puede clasificarse en:**

*Art 2º Aguas de bebida envasadas.- Se entiende por aguas de bebida envasadas las distintas aguas presentadas como mineromedicinales, minerales naturales, de manantial y potables preparadas, que se comercializan envasadas, así como aquellas de consumo público que, por circunstancias accidentales, excepcionalmente se distribuyan envasadas, cumpliendo las especificaciones que para cada grupo se establecen en esta Reglamentación.*

*Art 3º Aguas Mineromedicinales envasadas.- Las aguas mineromedicinales son aquellas que emergen espontáneamente en la superficie de la tierra o se captan mediante labores practicadas al efecto, habiéndose obtenido para ellas la declaración de utilidad pública, de acuerdo con lo estipulado en el Decreto-Ley de 25 de abril de 1928, o bien que hayan sido clasificadas como tales y posean autorización de aprovechamiento del Ministerio de Industria y Energía, al amparo de lo dispuesto en la ley de Minas del 21 de julio de 1973 y las disposiciones que la desarrollan. Estas aguas han de ser aptas para tratamientos terapéuticos en el área de emergencia o balneario, disponer de estudios clínicos sobre evolución de procesos específicos y conservar, una vez envasadas, efectos útiles sobre los mismos. Deberán reunir las características señaladas en el artículo 15 de esta reglamentación.*

*Art 4º Aguas minerales naturales envasadas.- Las aguas minerales naturales son aquellas que poseen los mismos requisitos legales expuestos en el artículo 3º. Estas aguas han de tener una acción favorable complementaria de las funciones fisiológicas, sin llegar a poseer propiedades terapéuticas fuera del área de emergencia o balneario, y reunirán las características señaladas en el artículo 16 de esta Reglamentación.*

**Art 5° Aguas de manantial envasadas.** - Son las potables que emergen espontáneamente en la superficie de la tierra con un caudal continuo o se captan mediante labores practicadas al efecto, habiéndose obtenido para ellas las autorizaciones administrativas expresadas en los artículos 9°, 10° y 11° del Decreto 3069/1972, de 26 de octubre. Deberán reunir las características señaladas en el artículo 17 de esta Reglamentación.

**Art 6° Aguas potables preparadas envasadas.** - Las aguas potables preparadas son las que, previa autorización de la autoridad sanitaria competente, han sido sometidas a los tratamientos necesarios para que reúnan las características establecidas en el artículo 18 de esta reglamentación.

**Art 7° Aguas de consumo público envasadas.** - Son aquellas aguas potables de consumo público envasadas coyunturalmente para la distribución domiciliar gratuita, previa autorización de la autoridad sanitaria competente, con el único objeto de suplir ausencias o insuficiencias accidentales de las aguas de consumo público distribuidas por la red general. Deberán reunir las características señaladas en el artículo 19° de esta Reglamentación.

## 2. Composición según el tipo de agua

### Aguas potables de consumo público.

Para las aguas reguladas por el RD 1138/1990 se indican los siguientes valores:

#### ANEXO A: Caracteres organolépticos

Parámetros	Expresión de los resultados	Nivel Guía	Concentración máxima admisible	Observaciones
1. Color	mg/l escala Pt/Co	1	20	Medición sustituida en determinadas circunstancias por la de la transparencia valorada en metros con el disco de Secchi: - Nivel guía: 6 metros - Concentración máxima admisible: 2 metros. Relacionar con las determinaciones gustativas.
2. Turbidez	mg/l SiO <sub>2</sub>	1	10	
	Unidades Jackson	0,4	4	
	Unidades nefelométricas de fomacina (U.N.F.)	1	6	
3. Olor	Índice de dilución	0	2 a 12 °C 3 a 25 °C	Relacionar con las determinaciones olfativas.
4. Sabor	Índice de dilución	0	2 a 12 °C 3 a 25 °C	

## ANEXO B: Caracteres físico-químicos

(En relación con la estructura natural de las aguas)

Parámetros	Expresión de los resultados	Nivel Guía	Concentración máxima admisible	Observaciones
5. Temperatura	°C	12	25	<p>El agua no debería ser agresiva.</p> <p>Los valores del pH no se aplican a las aguas acondicionadas. Ver anexo F.</p> <p>En correspondencia con la mineralización de las aguas. Valores correspondientes de la resistencia específica en ohm/cm: 2.500</p> <p>Concentración aproximada más allá de la cual cabe el peligro de que se produzcan efectos: 200 mg/l</p> <p>Ver anexo F.</p> <p>Valor de saturación &gt; 75%, excepto para las aguas subterráneas. Ver anexo F.</p> <p>El agua no debería ser agresiva</p>
6. Concentración en ión hidrógeno	Unidad pH	6,5 ≤ pH ≤ 8,5	9,5	
7. Conductividad	S. cm <sup>-1</sup> 20 °C	400	-	
8. Cloruro	mg/l Cl	25	-	
9. Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub>	25	250	
10. Sílice	mg/l SiO <sub>2</sub>	-	-	
11. Calcio	mg/l Ca	100	-	
12. Magnesio	mg/l Mg	30	50	
13. Sodio	mg/l Na	20	150	
			(Con un percentil 80 y período de referencia de tres años.)	
14. Potasio	mg/l K	10	12	
15. Aluminio	mg/l Al	0,05	0,2	
16. Dureza total	-	-	-	
17. Residuo Seco	mg/l después del secado a 180°C	-	1.500	
18. Oxígeno disuelto	% O <sub>2</sub> de saturación	-	-	
19. Anhídrido carbónico libre	mg/l CO <sub>2</sub>	-	-	

**ANEXO C: Caracteres relativos a sustancias no deseables**

**(Cantidades excesivas) (1)**

Parámetros	Expresión de los resultados	Nivel Guía	Concentración máxima admisible	Observaciones	
20. Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub>	25	50	Medición hecha en caliente y en medio ácido. Cualquier causade aumento de las concentraciones habituales, habrá de investigarse.  No detectable desde el punto de vista organoléptico  Excluidos los fenoles naturales que no reaccionan con el cloro  La concentración en haloformos se habrá de reducir en la medida de lo posible  Por encima de 3.000 µg/l pueden aparecer sabores astringentes, teñidos y corrosiones	
21. Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub>	-	0,1		
22. Amonio	mg/l NH <sub>4</sub>	0,05	0,5		
23. Nitrogeno Kjeldahl (N de NO <sub>2</sub> y NO <sub>3</sub> excluidos)	mg/l N	-	1		
24. Oxidabilidad (KMnO <sub>4</sub> )	mg/l O <sub>2</sub>	2	5		
25. Carbono orgánico total (TOC)	mg/l C	-	-		
26. Hidrógeno Sulfurado	mg/l S	-	No detectable desde el punto de vista organoléptico		
27. Substancias extraíbles al cloroformo	Residuo seco mg/l	0,1	-		
28. Hidrocarburos disueltos o emulsionados (después de extracción por éter); aceites minerales	µg/l	-	10		
29. Fenoles (índice de fenoles)	µg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	-	0,5		
30. Boro	µg/l B	1.000	-		
31. Agentes tensioactivos (que reaccionan con el azul del metileno)	µg/l (lauril sulfato)	-	200		
32. Otros compuestos organoclorados no incluidos en el parámetro número 55	µg/l	1	-		
33. Hierro	µg/l Fe	50	200		
34. Manganeso	µg/l Mn	20	50		
35. Cobre	µg/l Cu	100	-		
		A la salida de las Instalaciones de bombeo y/o de preparación y de sus dependencias 3.000			

Parámetros	Expresión de los resultados	Nivel Guía	Concentración máxima resultados	Observaciones
36. Zinc	$\mu\text{g/l Zn}$	Después de doce horas de estancamiento en la canalización y en el punto de puesta a disposición del consumidor 100  A la salida de las instalaciones de bombeo y/o preparación y de sus dependencias 5.000  Después de doce horas de estancamiento en la canalización y en el punto de puesta a disposición del consumidor 400		Por encima de 5.000 $\mu\text{g/l}$ pueden aparecer sabores astringentes, opalescencia y depósitos granulosos
37. Fósforo	$\mu\text{g/l P}_2\text{O}_3$	400	5.000	Concentración máxima admisible variable en función de la temperatura media del área geográfica considerada
38. Flúor	$\mu\text{g/l F}$	-		
	8-12°C		1.500	
39. Cobalto	25-30°C $\mu\text{g/l Co}$	-	700	
40. Materias en suspensión	-	Ausencia	-	
41. Cloro residual	$\text{mg/l Cl}$	-	-	Ver artículo 20 de la Reglamentación Técnico-Sanitaria
42. Bario	$\mu\text{g/l Ba}$	100	-	Si, en caso excepcional, se hiciere un uso no sistemático de la plata para el tratamiento de las aguas, se podrá admitir un valor tolerable de 80 $\mu\text{g/l}$
43. Plata	$\mu\text{g/l Ag}$	-	10	

(1) Algunas de estas sustancias pueden incluso ser tóxicas cuando se hallan presentes en cantidades considerables

### ANEXO D: Caracteres relativos a las sustancias tóxicas

Parámetros	Expresión de los resultados	Nivel Guía	Concentración máxima resultados	Observaciones	
44. Arsénico	µg/l As	-	50	En el caso de canalizaciones de plomo, el contenido en plomo no debería ser superior a 50 µg/l en una muestra extraída después de desagüe. Si la muestra se extrae directamente o después de desagüe y el contenido en plomo supera con frecuencia o sensiblemente los 100µg/l, habrá que adoptar las medidas pertinentes para reducir los riesgos de exposición al plomo que tenga el consumidor	
45. Berilio	µg/l Be	-	-		
46. Cadmio	µg/l Cd	-	5		
47. Cianuros	µg/l CN	-	50		
48. Cromo	µg/l Cr	-	50		
49. Mercurio	µg/l Hg	-	1		
50. Níquel	µg/l Ni	-	50		
51. Plomo	µg/l Pb	-	50 ( en agua corriente)		
52. Antimonio	µg/l Sb	-	10		
53. Selenio	µg/l Se	-	10		
54. Vanadio	µg/l V	-	-		
55. Plaguicidas y productos similares:	µg/l	-	-	Se entiende por plaguicidas y productos similares:	
- por sustancia individualizada		-	(0,1)		- los insecticidas: · organoclorados persistentes · organofosforados · carbamatos
- en total		-	(0,5)		- los herbicidas - los fungicidas - los PCB y los PCT
56. Hidrocarburos policíclicos aromáticos	µg/l	-	0,2	Substancias de referencia: - fluoranteno - benzo 3,4 fluoranteno - benzo 11,12 fluoranteno - benzo 3,4 pireno - benzo 1,12 perileno - indeno (1,2,3-ed) pireno	

Los valores de concentración máxima admisible entre paréntesis son provisionales

## ANEXO E: Caracteres microbiológicos

Parámetros	Resultados volumen de la muestra (en ml)	Nivel Guía	Concentración máxima admisible	
			Método de membranas filtrantes	Método de tubos múltiples (NMP)
57. Coliformes totales	100	-	0 *	NMP < 1 *
58. Coliformes fecales	100	-	0	NMP < 1
59. Streptococos fecales	100	-	0	NMP < 1
60. Clostridium sulfitorreductores	20	-	-	NMP ≤ 1

Este valor en la red de distribución podrá ser rebasado en un 5 por 100 de las muestras como máximo, siempre que ninguna muestra contenga más de 10 bacterias coliformes por 100 ml de agua y que en ningún caso se encuentren bacterias coliformes en 100 ml de agua en dos muestras consecutivas.

\* Las aguas potables de consumo público no deberán contener organismos patógenos.

\* A fin de completar, dado que es necesario, el examen microbiológico de las aguas potables de consumo público conviene buscar, además de los gérmenes que figuran en el anexo E, los gérmenes patógenos, en particular:

- Las salmonellas
- Los estafilococos patógenos
- Los bacteriófagos fecales
- Los enterovirus

\* Por otro lado, las aguas no deberán contener:

- Ni organismos parásitos
- Ni algas
- Ni otros elementos figurados (animáculos)

Parámetros		Resultados volumen de la muestra (en ml)	Nivel Guía	Concentración máxima admisible	Observaciones
61. Recuento de los gérmenes totales en las aguas destinadas al consumo	37°C	1	10 (1) (2)	-	-
	22°C	1	100 (1) (2)	-	-
62. Recuento de los gérmenes totales para las aguas acondicionadas	37°C	1	5	20	-
	22°C	1	20	100	-

(1) Para las aguas desinfectadas los valores correspondientes habrán de ser netamente inferiores a la salida de la estación de tratamiento.

(2) Toda extralimitación de estos valores que persista durante sucesivas extracciones de muestras habrá de estar sujeta a comprobación.

#### ANEXO F: Concentración mínima exigida para las aguas potables de consumo público que hayan sido sometidas a un tratamiento de ablandamiento

Parámetros	Expresión de los resultados	Concentración mínima exigida (agua ablandadas)	Observaciones
1. Dureza Total	mg/l Ca	60	Calcio o cationes equivalentes
2. Concentración en ión hidrógeno	pH	-	-
3. Alcalinidad	mg/l HCO <sub>3</sub>	30	El agua no debería ser agresiva
4. Oxígeno disuelto	-	-	-

- Las disposiciones relativas a la dureza, a la concentración en ión hidrógeno, al oxígeno disuelto y al calcio se aplicarán también a las aguas que hayan sido sometidas a desalación.

- Si debido a su excesiva dureza natural el agua ha sido ablandada con arreglo al anexo F de dedicarla al consumo, su contenido en sodio podrá, en casos excepcionales, ser superior a los valores que figuran en la columna de las concentraciones máximas admisibles. De todas formas, habrá que esforzarse por mantener estos niveles

los más bajos que sea posible, y no se podrán dejar de considerar los imperativos impuestos para la protección de la salud pública.

## ANEXO G: Caracteres relativos a radiactividad

Parámetros	Expresión de los resultados	Nivel Guía	Concentración máxima admisible	Observaciones
63 Radiactividad alfa global	Bequerelios/l	0,1*	-	-
64. Radiactividad beta global	Bequerelios/l	1*	-	-

\* Con estos valores se superan las dosis equivalentes a que se refiere el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones

Las Comunidades Autónomas, en el ámbito de sus competencias, podrán autorizar excepciones a las concentraciones máximas admisibles que figuran en los anexos citados en el apartado 3.1 en los siguientes supuestos:

- a) Cuando deban ser tenidas en cuenta situaciones relativas a la naturaleza y a la estructura de los terrenos del área de la que depende el recurso hídrico considerado, precisando los motivos de la excepción. En este supuesto las excepciones no podrán referirse, en ningún caso a los caracteres tóxicos y microbiológicos, ni entrañar un riesgo para la salud pública
- b) Cuando deban ser tenidas en cuenta situaciones relativas a determinadas circunstancias meteorológicas excepcionales, precisando los motivos de la excepción. En este supuesto las excepciones no podrán referirse, en ningún caso, a los caracteres tóxicos y microbiológicos ni entrañar un riesgo para la salud pública.
- c) En el caso de circunstancias accidentales graves, precisando los motivos y la duración probable de dichas excepciones. En este supuesto podrá ser autorizada durante un período de tiempo limitado, y hasta alcanzar un valor máximo por ellas fijado, la distribución de agua, en la medida en que ello no suponga algún riesgo inaceptable para la salud pública y allí donde el suministro de agua destinada al consumo humano no pueda ser asegurado de ninguna otra forma.
- d) Por razón de circunstancias que obliguen a recurrir, para el suministro de agua potable,

a un agua superficial que no alcance las concentraciones imperativas del tipo de agua A3, conforme al anexo II de la Orden de Obras Públicas y Urbanismo de 11 de mayo de 1988 (Boletín Oficial del Estado de 24 de mayo) y que, además, no hagan posible la puesta en práctica de un tratamiento adecuado para obtener a partir de tal agua superficial utilizada, un agua potable, de acuerdo con el apartado 3.1 de este artículo, precisando los motivos y la duración probable de la excepción. En este supuesto podrá ser autorizada durante un periodo de tiempo limitado, y hasta un valor máximo por ellas fijado que puedan superarse las concentraciones máximas admisibles, en la medida que ello no suponga algún riesgo inaceptable para la salud pública.

### Aguas de bebida envasada.

La legislación referente a las aguas de bebidas envasadas, indica los siguientes límites:

- A) Para las aguas minero-medicinales no se imponen límites, Art 15.3 del Reglamento:

*Art. 15.3. En virtud de sus propiedades medicinales no se pueden fijar límites máximos en cuanto a sus componentes químicos o características físicas. No obstante, cuando la autoridad sanitaria competente estime que alguna de las particularidades de un agua determinada pueda resultar contraindicada para un sector de la población, podrá denegar la autorización para su envasado, u obligar a advertir de ello en las etiquetas y publicidad del agua en cuestión.*

Lo que si se hace es mención de la «ausencia de contaminantes»:

*Art. 15.6. Estar exenta de cloro residual, compuestos fenólicos, agentes tensioactivos, pesticidas,*

difenilos clorados, hidrocarburos, aceites, grasas y cualesquiera otros productos, en cuanto sean indicadores de posible contaminación.

Art. 15.7 Las características microbiológicas de estas aguas, determinadas mediante las técnicas analíticas aprobadas por Resolución de la Secretaría de Estado para la Sanidad, serán las siguientes:

15.7.1 En el punto de emergencia

Ausencia en 100 mililitros de:

Parásitos y microorganismos patógenos

Enterobacteriáceas: *Escherichia coli* y *Salmonellae*  
*Streptococos fecales* (grupo D)

Esporos de *Clostridium sulfito-reductores*

15.7.2 En envase dispuesto para el consumo

Ausencia en 100 mililitros de :

Todos los microorganismos indicados en 15.7.1

*Pseudomonas aeruginosa*

*Staphylococcus aureus*

- B) Las limitaciones en las aguas minerales naturales son idénticas a las de minero- medicinales
- C) Las aguas de manantial han de ajustarse a los siguientes límites.

Art. 17.1 Carecer de olor y de sabor desagradables, así como de coloración, turbidez y sedimentos perceptibles. Su radiactividad por litro no sobrepasará los siguientes límites:

Alfa: Tres Picocurios

Beta: Treinta picocurios

Art. 17.2 Sus características químicas no excederán los límites máximos que se señalan, expresados en miligramos por litro:

Residuos a 110 por 100 C: 750

Cloruros (Cl): 250

Sulfatos (SO<sub>4</sub>): 250

Nitratos (NO<sub>3</sub>): 50

Fluoruros (F): 1,5

Calcio (Ca): 150

Magnesio (Mg): 50

Hierro (Fe) : 0,1

Manganeso (Mn): 0,05

Cobre (Cu) : 1,5

Cinc (Zn) : 1,5

Cadmio (Cd): 0,01

Plomo (Pb): 0,1

Selenio (Se) : 0,01

Cromo (Cr): 0,05

Mercurio (Hg): 0,001

Arsénico (As): 0,05

Cianuro (Cn): 0,01

Materia Orgánica (O<sub>2</sub>): 3

Amoníaco: Ausencia

Nitritos: Ausencia

Sulfuros : Ausencia

Compuestos fenólicos: Ausencia

Agentes tensioactivos: Ausencia

Pesticidas y difenilos policlorados: Ausencia

Hidrocarburos, aceites y grasas: Ausencia

Cloro Residual: Ausencia

Otros productos indicadores de contaminación: Ausencia

Art. 17.3 Cumplir las especificaciones físicas, químicas y biológicas declaradas en su expediente de Registro Sanitario, las cuales deberán corresponder a las características del agua en la emergencia, sin otras variaciones que las autorizadas por la presente Reglamentación.

Art. 17.5 Las características microbiológicas de estas aguas, determinadas mediante las técnicas analíticas aprobadas por Resolución de la Secretaría de Estado para la Sanidad, serán las indicadas en los apartados 15.7.1 y 15.7.2

D) Las aguas Potables preparadas deberán cumplir las siguientes condiciones:

Art. 18.1 Carecer de olor y sabor desagradables, así como de coloración, turbidez y sedimentos perceptibles y su radiactividad por litro, no sobrepasará los siguientes límites:

Alfa: Tres picocurios

Beta: Treinta picocurios

Art. 18.2 Sus características químicas no excederán los límites máximos señalados para las aguas de manantial en el artículo 17.2

Art. 18.3 Dado que la composición química del agua de partida se puede modificar artificialmente mediante los tratamientos señalados en el artículo 13.4.2 de esta Reglamentación, las oscilaciones de la composición química declarada del agua que se envase no podrán exceder del 20 por 100, en más o en menos, sin sobrepasar nunca el límite máximo indicado en 18.2. Las oscilaciones de los componentes minoritarios estarán sujetas a los criterios sanitarios que se establezcan en cada caso mediante el estudio de la documentación analítica aportada en el expediente de solicitud de autorización sanitaria.

Art. 18.4 Las características microbiológicas de estas aguas, determinadas mediante las técnicas analíticas aprobadas por resolución de la Secretaría de Estado para la Sanidad, serán las siguientes:

18.4.1 Agua de partida, en el punto de captación

No contener más de 100 colonias de bacterias aerobias en un mililitro

No contener más de dos coliformes, o estreptococos fecales (grupo D), o esporos de Clostridium sulfitorreductores en 100 mililitros.

Ausencia de Escherichia coli, Salmonella, parásitos y microorganismos patógenos en 100 mililitros

18.4.2 En envase dispuesto para el consumo:

Ausencia en 100 mililitros de los gérmenes indicados en 15.7.2

E) Finalmente las Aguas de Consumo público envasadas, tienen las siguientes limitaciones:

Art. 19.1 Carecer de olor y sabor desagradables así como de coloración, turbidez y sedimentos perceptibles. Su radiactividad, por litro, no sobrepasará los siguientes límites:

Alfa: Tres picocurios

Beta: Treinta picocurios

Art. 19.2 Sus características químicas no excederán los límites máximos del agua de consumo público habitualmente utilizada en la población en que se distribuye, con excepción del contenido de cloro residual.

Art. 19.3 Las características microbiológicas de estas aguas determinadas mediante las técnicas analíticas aprobadas por resolución de la Secretaría de Estado para la Sanidad, serán las siguientes:

Ausencia total de bacterias aerobias en un mililitro

Ausencia en 100 mililitros de:

Enterobacteriáceas: Escherichia coli y Salmonella

Estreptococos fecales (grupo D)

Esporos de Clostridium sulfitorreductores

Pseudomonas aeruginosa

Staphylococcus aureus

Parásitos y microorganismos patógenos

### 3. Análisis requeridos para las aguas de consumo público

#### Métodos analíticos de referencia

##### A. Parámetros organolépticos

1. Color: Método fotométrico calibrado con arreglo a la escala Pt/Co.

2. Turbidez: Método del sílice. Método de formacina. Método de Secchi.

3. Olor: Por disoluciones sucesivas, mediciones hechas a 12°C o a 25°C.

4. Sabor: Por disoluciones sucesivas, mediciones hechas a 12°C o a 25°C.

## **B. Parámetros físico - químicos**

5. *Temperatura: Termometría.*
6. *Concentración en ión hidrógeno: Electrometría.*
7. *Conductividad: Electrometría.*
8. *Cloruros: Titrimetría. Método de Mohr.*
9. *Sulfatos: Gravimetría. Complexometría. Espectrofotometría.*
10. *Sílice: Espectrofotometría de absorción.*
11. *Calcio: Absorción atómica. Complexometría.*
12. *Magnesio: Absorción atómica.*
13. *Sodio: Absorción atómica.*
14. *Potasio: Absorción atómica.*
15. *Aluminio: Absorción atómica. Espectrofotometría de absorción.*
16. *Dureza total: Complexometría.*
17. *Residuo Seco: Desecado a 180°C y pesada.*
18. *Oxígeno disuelto: Método de Winkler. Método con electrodos específicos.*
19. *Anhidrido carbónico libre: Acidimetría.*

## **C. Parámetros relativos a las sustancias no deseables**

20. *Nitratos: Espectrofotometría de absorción. Método con electrodos específicos.*
21. *Nitritos: Espectrofotometría de absorción.*
22. *Amonio: Espectrofotometría de absorción.*
23. *Nitrógeno Kjeldahl: Oxidación. Titrimetría/espectrofotometría de absorción.*
24. *Oxidabilidad: KMnO<sub>4</sub> hasta ebullición durante 10 minutos en medio ácido.*
25. *Carbono orgánico total (TOC): no tiene.*
26. *Hidrógeno sulfurado: Espectrofotometría de absorción.*
27. *Substancias extraíbles con cloroformo: Ex-*

*tracción líquido/ líquido por medio de cloroformo purificado con pH neutro pesada del residuo.*

28. *Hidrocarburos (disueltos o emulsionados); aceites minerales; Espectrofotometría de absorción infrarroja.*

29. *Fenoles (Índice de fenoles): Espectrofotometría de absorción, método de la paranitranilina y método con amino -4-antipirina.*

30. *Boro: Absorción atómica. Espectrofotometría de absorción.*

31. *Agentes tensoactivos (que reaccionan con el azul de metileno): Espectrofotometría de absorción, con azul de metileno.*

32. *Otros compuestos organoclorados: Cromatografía en fase gaseosa o líquida después de extracción por medio de disolventes adecuados y purificación. Identificación, si fuera necesaria de los componentes de las mezclas. Determinación cuantitativa.*

33. *Hierro: Absorción atómica. Espectrofotometría de absorción.*

34. *Manganeso: Absorción atómica. Espectrofotometría de absorción.*

35. *Cobre: Absorción atómica. Espectrofotometría de absorción.*

36. *Zinc: Absorción atómica. Espectrofotometría de absorción.*

37. *Fósforo: Espectrofotometría de absorción.*

38. *Fluor: Espectrofotometría de absorción. Método con electrodos específicos.*

39. *Cobalto: No tiene.*

40. *Materias en suspensión: Método por filtración sobre membrana porosa 0,45 o centrifugación ( tiempo mínimo 15 minutos y aceleración media entre 2.800 y 3.200 g) secado a 105 °C y pesada.*

41. *Cloro residual: Titrimetría. Espectro-fotometría de absorción.*

42. *Bario: Absorción atómica.*

## **D. Parámetros relativos a las sustancias tóxicas**

43. *Plata: Absorción atómica.*

44. Arsénico: Espectrofotometría de absorción. Absorción atómica.

45. Berilio: No tiene.

46. Cadmio: Absorción atómica.

47. Cianuros: Espectrofotometría de absorción.

48. Cromo: Absorción atómica. Espectrofotometría de absorción.

49. Mercurio: Absorción atómica.

50. Níquel: Absorción atómica.

51. Plomo: Absorción atómica.

52. Antimonio: Espectrofotometría de absorción.

53. Selenio: Absorción atómica.

54. Vanadio: No tiene.

55. Plaguicidas y productos similares. Ver método contemplado en el punto 32.

56. Hidrocarburos policíclicos aromáticos: Medición de la intensidad de fluorescencia por ultravioleta después de extracción con hexano. Cromatografía en fase gaseosa o medición de la fluorescencia por ultravioleta después de cromatografía en capas finas. Mediciones comparativas con relación a una mezcla de seis sustancias patrón con la misma concentración (1).

## E. Parámetros microbiológicos

57. Coliformes totales (2): Fermentación en tubos múltiples. Traslado de los tubos positivos en medio de confirmación. Recuento según la cantidad más probable (NMP) o filtrado sobre membrana y cultivo en medio apropiado como gelosa lactosada con tergitol, gelosa de endo, caldo de teepol al 0,4 por 100, traslado e identificación de las colonias sospechosas. Para los coliformes totales, temperatura de incubación 37°C. Para los coliformes fecales, temperatura de incubación 44°C.

58. Coliformes fecales (2): Fermentación en tubos múltiples. Traslado de los tubos positivos en medio de confirmación. Recuento según la cantidad más probable (NMP) o filtrado sobre membrana y cultivo en medio apropiado como gelosa lactosada con tergitol, gelosa de endo, caldo de teepol al 0,4 por 100, traslado e identificación de las colonias sospechosas. Para los coliformes totales, temperatura de incubación 37°C. Para los coliformes fecales, temperatura de incubación 44°C.

59. *Estreptococos fecales* (2): Método con ácido de sodio (Litsky). Recuento según el número más probable.

60. *Clostridium sulfitorreductores* (2): Después de calentamiento de la muestra a 80°C, recuento de las esporas por:

- siembra en medio con glucosa, sulfito de hierro y recuento de las colonias con halo negro
- filtrado sobre membrana, depósito del filtro invertido sobre un medio con glucosa, sulfito y hierro, recubierto de gelosa, recuento de colonias negras
- distribución en tubos de medio <<DRCM>> (Differential Reinforced Clostridia Medium) traslado de los tubos negros en un medio con leche tornasolada, recuento según el número más probable.

61-62. Recuento de los gérmenes totales (2): Inoculación por incorporación en gelosa nutritiva.

### Test complementarios

*Salmonelas*: Concentración por filtrado sobre membrana. Inoculación en medio de enriquecimiento previo. Enriquecimiento, traslado en gelosa de aislamiento. Identificación

*Estafilococos patógenos*: Filtrado sobre membrana y cultivo en medio específico (por ejemplo, medio hipersalado de Chapman). Visualización de los caracteres patógenos

*Bacteriófagos fecales*: Técnica de Guelin

*Enterovirus*: Concentración por filtrado, por floculación o por centrifugación e identificación.

*Protozoos*: Concentración por filtrado sobre membrana, examen microscópico, test patológico.

*Animáculos (gusanos-larvas)*: Concentración por filtrado sobre membrana. Examen microscópico. Test patológico.

*Alcalinidad*: Acidimetría con anaranjado de metilo.

(1) Sustancias patrón que deberán tomarse en cuenta: fluoranteno, benzo-3.4 fluoranteno, benzo-1.12 fluoranteno, benzo-1.12 perileno e indeno (1.2.3.cd) pireno.

(2) Nota: Por lo que se refiere al periodo de incubación, éste suele ser de veinticuatro o cuarenta y ocho horas, excepto en el caso de los recuentos totales, en los que se es de cuarenta y ocho o de setenta y dos horas.

## **Modelos de análisis tipo.**

**Art. 23.** Para el control analítico de la potabilidad de las aguas distribuidas se establecen cinco modelos de análisis-tipo:

1. Análisis mínimo

2. Análisis normal

3. Análisis completo

4. Análisis ocasional

5. Análisis inicial

**Art. 23.1** El análisis mínimo incluye las siguientes determinaciones:

*Caracteres organolépticos*

- Olor (Valoración cualitativa)
- Sabor (valoración cualitativa)

*Caracteres fisico-químicos:*

- Conductividad

*Caracteres relativos a sustancias no deseables:*

- Nitritos
- Amoníaco

*Caracteres microbiológicos:*

- Coliformes totales
- Coliformes fecales

*Agente desinfectante:*

- Cloro residual (u otro agente desinfectante autorizado)

**23.2** El análisis normal incluye las siguientes determinaciones:

*Caracteres organolépticos:*

- Olor

- Sabor

- Turbidez

*Caracteres fisico- químicos:*

- Temperatura

- pH

- Conductividad

*Caracteres relativos a sustancias no deseables:*

- Nitratos

- Nitritos

- Amoníaco

- Oxidabilidad

*Caracteres microbiológicos:*

- Coliformes totales

- Coliformes fecales

- Bacterias aerobias a 37 °C y a 22 °C

*Agentes desinfectantes:*

- Cloro residual (u otro agente desinfectante autorizado)

**23.3** El análisis completo consistirá en la determinación de los parámetros correspondientes al análisis normal, más la de aquellos otros parámetros que figuran en el apartado 3.1 del artículo tercero de esta Reglamentación, y para los cuales están fijadas concentraciones máximas admisibles, junto con la determinación de los parámetros que permitan la valoración del balance iónico de los componentes.

**23.4** El análisis ocasional consistirá en la determinación de cuantos parámetros, comprendidos o no en el apartado 3.1 del artículo tercero de esta Reglamentación, sean fijados por la Administración Sanitaria competente, en orden a garantizar la potabilidad del agua suministrada por un sistema de abastecimiento de aguas de consumo público, en situaciones particulares o accidentales que requieran una especial vigilancia sanitaria del agua del sistema.

23.5 El análisis inicial consistirá en la determinación, previa a la explotación de un recurso hídrico potencialmente utilizable para abastecimiento de agua potable de consumo público de los parámetros que integran el citado análisis normal, además de aquellos otros parámetros comprendidos en el apartado 3.1 del artículo tercero de esta Reglamentación, que la Administración Sanitaria competente estime en cada caso, el número mínimo de toma de muestras y los intervalos entre ellas serán los adecuados para la representatividad del recurso a explotar.

23.6 La periodicidad y el número mínimo de toma de muestras en cada sistema de abastecimiento será:

23.6.1 A la salida de cada planta de tratamiento y/o antes de la entrada en la red de distribución:

a) Para el análisis mínimo:

Población abastecida (habitantes)	Intervalo recomendado entre tomas sucesivas	Número mínimo de muestras/año
Hasta 2.000	Un mes	12
De 2.000 a 5.000	Una quincena	24
De 5.000 a 10.000	Una semana	52
De 10.000 a 50.000	Un día	360
De 50.000 a 100.000	Un día	360
De 100.000 a 150.000	Un día	360
De 150.000 a 300.000	Un día	360
De 300.000 a 500.000	Un día	360
De 500.000 a 1.000.000	Un día	360
Más de 1.000.000	Un día	360

b) Para el análisis normal:

Población abastecida (habitantes)	Intervalo recomendado entre tomas sucesivas	Número mínimo de muestras/año
Hasta 2.000	-	-
De 2.000 a 5.000	-	-
De 5.000 a 10.000	-	-
De 10.000 a 50.000	-	-
De 50.000 a 100.000	-	-
De 100.000 a 150.000	Dos meses	6
De 150.000 a 300.000	Un mes	12
De 300.000 a 500.000	Un mes	12
De 500.000 a 1.000.000	Doce días	30
Más de 1.000.000	Doce días	30

23.6.2 En la red de distribución:

a) Para el análisis mínimo:

Población abastecida (habitantes)	Intervalo recomendado entre tomas sucesivas	Número mínimo de muestras/año
Hasta 2.000	Un mes	12
De 2.000 a 5.000	Un mes	12
De 5.000 a 10.000	Una quincena	24
De 10.000 a 50.000	Una semana	48
De 50.000 a 100.000	Tres días	120
De 100.000 a 150.000	Un día	360
De 150.000 a 300.000	Un día	360
De 300.000 a 500.000	Un día	360
De 500.000 a 1.000.000	Un día	720
Más de 1.000.000	Un día	12 por cada 10.000 habitantes

Estos intervalos deberán ser coordinados con los establecidos en el cuadro 23.6.1 a) de forma que los intervalos entre dos tomas sucesivas para el conjunto del sistema de abastecimiento se aproximen en lo

posible al resultado de dividir trescientos sesenta días por la suma de los números mínimos de muestras de ambos cuadros.

b) Para el análisis normal:

Población abastecida (habitantes)	Intervalo recomendado entre tomas sucesivas	Número mínimo de muestras/año
Hasta 2.000	Un año	1
De 2.000 a 5.000	Seis meses	2
De 5.000 a 10.000	Cuatro meses	3
De 10.000 a 50.000	Dos meses	6
De 50.000 a 100.000	Un mes	12
De 100.000 a 150.000	Un mes	12
De 150.000 a 300.000	Una quincena	24
De 300.000 a 500.000	Una semana	48
De 500.000 a 1.000.000	Cuatro días	90
Más de 1.000.000	Cuatro días	90

Estos intervalos deberán ser coordinados con los establecidos en el cuadro 23.6.1 b) de forma que los intervalos entre dos tomas sucesivas para el conjunto del sistema de abastecimiento se aproximen en lo

posible al resultado de dividir trescientos sesenta días por la suma de los números mínimos de muestras de ambos cuadros.

23.6.3 Para el análisis completo:

Población abastecida (habitantes)	Intervalo recomendado entre tomas sucesivas	Número mínimo de muestras/año
Hasta 2.000	Un año (cinco años)	1(1 cada cinco años)
De 2.000 a 5.000	Un año (tres años)	1(1 cada tres años)
De 5.000 a 10.000	Un año	1
De 10.000 a 50.000	Un año	1
De 50.000 a 100.000	Seis meses	2
De 100.000 a 150.000	Cuatro meses	3
De 150.000 a 300.000	Dos meses	6
De 300.000 a 500.000	Un mes	12
De 500.000 a 1.000.000	Un mes	12
Más de 1.000.000	Un mes	12

En los supuestos de que los respectivos sistemas no se utilicen para el abastecimiento de industrias alimentarias, las cifras a utilizar serán las que figuren entre paréntesis.

23.6.4 Para el análisis ocasional: Los que determine en cada caso la Administración Sanitaria competente

23.6.5 En todo caso los puntos de toma de muestras o estaciones de muestreo se fijarán atendiendo a la máxima representatividad de las muestras. En particular, en la red de distribución se tendrán en cuenta para su localización las variaciones de caudal, los tramos con mayor riesgo de contaminación y los de bajo consumo.

Art 24. El número mínimo de análisis a realizar en todo sistema de abastecimiento de aguas potables de consumo público será:

24.1 Coincidente con el número de muestras recogidas conforme a lo establecido en el apartado 23.6 del artículo 23, para los análisis-tipo mínimo, normal, completo y ocasional.

24.2 Por cada proyecto de nuevo sistema de abastecimiento o por cada supuesto de incorporación de un nuevo recurso hídrico a un sistema de explotación y para el análisis-tipo inicial, uno por cada muestra a que se refiere el apartado 23.5 del artículo 23.

24.3 Uno al día: para la determinación del cloro residual, u otro agente desinfectante autorizado, tanto a la salida de la planta de tratamiento y antes de la entrada en la red de distribución, y ello con dependencia de las determinaciones que del mismo corresponda actuar en virtud de lo establecido en el apartado 24.1 de este artículo.

24.4 Cuando los valores de los resultados obtenidos de los análisis-tipo mínimo, normal y completo, a que se refiere el apartado 24.1 de este artículo sean, durante los dos años anteriores, constantes y significativamente mejores que los límites previstos en los anejos A, B, C, D, E, F y G y siempre que no se haya detectado ningún factor que pueda empeorar la calidad del agua, el número mínimo de dichos análisis-tipo podrá ser reducido:

- A la mitad, para las aguas superficiales. Esta reducción no afecta a los parámetros microbiológicos.
- A la cuarta parte para las aguas subterráneas

24.5 La valoración de la potabilidad del agua de una fuente pública no conectada hidráulicamente a un sistema de abastecimiento de agua potable de consumo público se realizará mediante la determinación de los caracteres correspondientes a un análisis-tipo mínimo. El número de estos análisis, efectuados sobre muestras representativas del recurso hídrico, será, como mínimo, de 4 al año, con un intervalo recomendado entre tomas de muestras sucesivas de tres meses.

### ANEXO 10.3 CALCULO DEL POTENCIAL CONTAMINANTE

#### 1. RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

##### - *Volumen de residuos sólidos urbanos generados en las poblaciones*

En los estudios realizados por diversos autores en diferentes áreas de la geografía española los residuos sólidos urbanos generados en las poblaciones allí asentadas oscilaban entre 0,5 a 1 kg/hab/día si bien predominaban los valores comprendidos entre 0,5 a 0,8 kg/hab/día.

La distribución de la producción per cápita estimada según el nivel de poblaciones de los núcleos urbanos es la siguiente:

	Kg/hab/día
Ciudades con más de 1.000.000 hab.	0,90-1,00
Ciudades entre 100.000 y 1.000.000 hab.	0,75-0,85
Ciudades entre 20.000 y 100.000 hab.	0,65-0,70
Ciudades con menos de 20.000 hab.	0,55-0,60

Fuente: Fernández, et al, 1.990

En la figura 77 se indican estos valores para cada provincia española, según datos de 1.988.

##### - *Composición de los residuos sólidos urbanos*

En las tablas 11 y 12 se indican la composición de dichos residuos en diversos países y ciudades españolas.



Tabla 11: Composición de los residuos sólidos urbanos en diferentes países

		% en peso						
		España	Francia	Alemania	Polonia	Italia	U.S.A.	Canadá
<b>Inertes</b>	Metales	6	5	5	1	3	8	5
	Vidrios	10	4	10	3	7	6	5
	Escorias y cenizas	6	24	30	21	25	10	5
	Papel-cartón	30	29	20	6	20	42	70
<b>Combustibles</b>	Plásticos	12	4	5	—	15	5	5
	Madera	4	—	—	—	—	—	—
	Gomas y cueros	1	—	—	—	—	—	—
	Textiles	3	—	—	—	—	—	—
<b>Fermentables</b>	Materia orgánica	60	24	21	45	25	22	10

Tabla 12: Composición de los residuos sólidos urbanos en diferentes ciudades españolas

	Madrid 1976	Málaga 1973	Palma de Mallorca 1974	Sta. Cruz Tenerife 1974	Almería 1975	Las Palmas 1976	Mataró 1977	Pamplona 1975	Córdoba 1975	S. Sebastián 1977
Metales	3.0	3.5	3.0	7.1	3.0	2.7	2.8	2.8	4.1	2.5
Vidrio	5.2	6.4	6.1	3.0	2.1	9.4	5.9	5.3	5.2	5.8
Rest. rep. domic.	3.1	1.0	1.3	2.0	1.0	2.1	1.3	1.3	0.5	0.8
Tierras y cenizas	5.0	5.7	1.2	1.5	2.2	1.9	4.6	3.9	0.4	4.2
Materia orgánica	53.6	50.2	50.9	69.3	70.7	46.0	54.3	61.6	68.2	53.3
Papel	14.1	14.4	12.8	6.7	2.5	15.5	11.3	10.2	9.4	10.5
Cartón	5.0	5.9	7.3	1.0	8.0	7.8	2.5	4.5	4.7	7.9
Plásticos	5.0	7.6	7.3	5.6	5.5	7.3	8.6	5.7	4.6	7.2
Madera	2.6	2.4	5.5	0.5	1.0	3.5	1.5	1.1	0.5	3.3
Gomas, cueros, var	1.5	1.0	1.3	0.7	1.5	1.9	1.8	1.4	1.0	2.2
Textiles	1.9	1.9	3.3	2.6	2.5	1.9	5.4	2.2	1.4	2.3

Fuente: ENADIMSA

## 2. RESIDUOS LIQUIDOS URBANOS

### - Volumen de residuos líquidos urbanos

En los estudios realizados por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE, en numerosos municipios de la geografía española se obtuvo que como media el 85% del agua utilizada en esas poblaciones, la cual se calculó mediante dotaciones y encuestas, se convertía en residuos líquidos urbanos.

### - Composición de las aguas residuales

La composición de las aguas residuales es muy variable. Incluso en un mismo núcleo urbano es diferente según la estación e incluso sufre modificaciones diarias.

En ella se encuentran las aguas de origen doméstico (lavado corporal y de ropa, limpiezas en general y cocina) y las aguas residuales. Por otra parte es muy común que engloben productos de actividades industriales anejas tales como pequeños talleres, fábricas de reducidas dimensiones e incluso agrícolas al considerar el riego en los jardines, etc.

Estas aguas se mezclan con las aguas de lluvia, obteniéndose un líquido turbio que contiene cantidades variables de materia en suspensión de carácter mineral y orgánico, materias grasas y coloidales.

Por todo esto es recomendable la realización directa de análisis en cada caso concreto.

En la tabla 13 se indican los resultados obtenidos por el ITGE en 1982 en las poblaciones siguientes:

Antequera	36.000 habitantes
Frigiliana	2.000 habitantes
Vélez-Málaga	42.000 habitantes
Ubeda	29.000 habitantes
Jódar	12.000 habitantes

Todas ellas pertenecen a las provincias de Málaga y Jaén.

Finalmente en la tabla 14 se muestran los valores proporcionados por Lora en 1978.

Tabla 13: Composición de las aguas residuales urbanas

Constituyente	Mínimo	Máximo
Cloruro (mg/l)	42,5	156
Sulfato (mg/l)	5,7	235,7
Bicarbonato (mg/l)	256,3	1.208
Carbonato (mg/l)	0	0
Nitrato (mg/l)	0	73,5
Sodio (mg/l)	43,4	133
Magnesio (mg/l)	17	77,8
Calcio (mg/l)	72,1	160,3
Potasio (mg/l)	12,1	271,2
Nitrito (mg/l)	0	5,86
Litio (mg/l)	0,60	5
Boro (mg/l)	0	0,19
Flúor (mg/l)	0,05	0,13
Amoniaco (mg/l)	0	0,84
Fosfatos (mg/l)	7,35	10,45
Conductividad ( $\mu$ S/cm)	687	2.010
Sólidos disueltos (mg/l)	745,7	1.957,72
pH	7,2	8
Zinc (mg/l)	0,06	0,23
Cobre (mg/l)	0,01	0,04
Hierro (mg/l)	0,3	0,95
Plomo (mg/l)	0,02	0,28
Detergentes (mg/l)	< 0,05	18,30
Fenoles (mg/l)	< 0,02	0,08
Cromo (+6) (mg/l)	< 0,01	< 0,01
D.Q.O.	256	

Fuente: ITGE, 1982.

**Tabla 14: Composición típica de las aguas residuales urbanas**

Constituyente	Concentración ppm		
	Alta	Media	Baja
Sólidos totales	1.200	700	350
Sólidos disueltos	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Sólidos en suspensión	350	200	100
Fijos	75	50	30
Volátiles	275	150	70
Materia decantable (ml/l)	20	10	5
DBO <sub>5</sub>	300	200	100
DQO	100	500	250
Nitrógeno (como N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniaco libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total (como P)	20	10	6
Orgánico	5	3	2
Inorgánico	15	7	4
Cloruros (1)	100	50	30
Alcalinidad (1) (como CO <sub>3</sub> Ca)	200	100	50
Aceites y Grasas	150	100	50

(1) Estos valores serán incrementados con la concentración inicial del agua de aportación

Fuente: Lora, 1978

**- Residuos líquidos urbanos consecuencia del lixiviado de vertederos de residuos sólidos**

El líquido que segrega el basurero, su lixiviado, ha sido analizado en laboratorio, encontrando diversos compuestos en concentraciones importantes, muy variables según el tipo de RSU, los cuales a su vez dependen (según se ha comentado anteriormente) del tipo de núcleo de población. Los valores medios de concentración de los elementos analizados demuestran el poder contaminante del lixiviado. A título orientativo, se acompañan los valores del análisis químico de los componentes principales para el lixiviado de 4 vertederos españoles:

Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	390-627 mg/l de lixiviado
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	481-1729 mg/l de lixiviado
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	366-884 mg/l de lixiviado
Sodio (Na <sup>+</sup> )	53-450 mg/l de lixiviado
Potasio (K <sup>+</sup> )	4-340 mg/l de lixiviado
Magnesio (Mg <sup>++</sup> )	72-218 mg/l de lixiviado
Calcio (Ca <sup>++</sup> )	84-400 mg/l de lixiviado
TSD (Total sólidos disueltos)	126-3970 mg/l de lixiviado
Acidez (pH)	7,1-7,7 unidades

Fuente: ITGE, 1989

En la tabla 15 se indica los valores obtenidos por otros autores.

Tabla 15: Composición de los lixiviados de vertederos (mg/l)

	Estados Unidos		Diputación de Barcelona		
	Valores Medios	Vertedero Reciente	Vertedero Antiguo	Residuos vertidos hace:	
				Dos años	Diez años
Cloro	600-800	742	187	500-3000	100-500
Hierro	210-325	500	1,5	100-2500	10-400
Manganeso	75-125	49	-	-	-
Zinc	10-30	45	0,16	-	-
Magnesio	165-250	277	81	-	-
Calcio	900-1700	2136	254	500-3000	100-500
Potasio	295-310	-	-	200-1000	50-400
Sodio	450-500	-	-	500-3000	<500
Fosfatos	-	7,35	4,96	5-150	<5
Cobre	0,5	0,5	0,1	-	-
Plomo	1,5	-	-	-	-
Cadmio	0,4	-	-	-	-
Sulfatos	400-650	-	-	50-2000	<50
Sólidos totales disueltos	10000-14000	12620	1444	8000-50000	1000-3000
Materia en suspensión	100-700	327	266	-	-
Nitrógeno	-	988	7,51	100-1500	<100
DBO <sub>5</sub>	7500-10000	14950	-	5000-60000	<1500
DQO	16000-22000	22650	81	10000-100000	100-800
T.O.C.	-	-	-	1000-20000	<200
pH	5,2 a 6,4	5,2	7,3	5 a 6,5	6,5 a 8,5

Fuente: Modificado de Fernández et al, 1990.

### 3. AGUAS RESIDUALES DE MATADERO

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en diferentes países.

#### - Volumen de vertidos de aguas residuales de mataderos.

País	Vacuno	Cerda
U.S.A. (m <sup>3</sup> /cabeza)	1,5	0,54
U.R.S.S. (m <sup>3</sup> /tm. de canal)	8	2,5
Polonia (m <sup>3</sup> /tm. de canal)	7	2
BRD (m <sup>3</sup> /cabeza)	5	2
España (m <sup>3</sup> /cabeza)	1,2	0,8

Fuente: Seoanez Calvo, 1977.

#### - Composición de las aguas residuales de mataderos

Algunos datos sobre la composición media de las aguas residuales de matadero, en mg/l son:

M.E.S. sedimentables	10,8 - 50
pH	7 - 7,7
Residuo fijo	80,0
M.E.D.	1.000 - 1.300
DBO <sub>5</sub>	830 - 1.900
Grasas	100 - 310
M.E.S.	580 - 750

Fuente: Seoanez Calvo, 1977.

Además contienen pelos, cuernos, sangre, carne, grasas, forrajes, excretas, residuos de los contenidos de

panza, etc. El volumen de sangre suele ser de 2 l/cabeza de vacuno y 0,4 l/cabeza de cerda por pérdidas. Pueden contener también microorganismos e incluso gérmenes patógenos.

### 4. CONTAMINACIÓN DE ORIGEN INDUSTRIAL

En las tablas 16 y 17 y en el cuadro 28 se exponen las principales características de las aguas residuales producidas por diversas actividades industriales según diferentes autores:

**Tabla 16: Principales parámetros de la contaminación generada por algunas actividades industriales, así como el volumen de agua contaminada por un vertido unidad**

Actividad	Parámetros	Volumen contaminado
Conservas	DBO, MS	21,5
Manipulación pescados	DBO	5,9
Alcoholes	DBO, MS, OD	9,2
Lavado vehículos	GA, DBO, MS, OD	32,0
Reparación vehículos	GA, DBO, MS, OD, Pb	42,0
Cerámica	MS, DBO, Cr, B	4,3
Muebles	DBO, MS, OD	14,4
Galvanotecnia	DBO, Ni, Zn, Cr, Cu	2,5

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno  
 MS: Materias en suspensión  
 OD: Oxígeno disuelto  
 GA: Grasas y Aceites

Fuente: Benet, 1988.

**Tabla 17: Carga potencialmente contaminante aportada por la actividad industrial anualmente en la Cuenca Media y Baja del Júcar**

Actividad Industriales	Número de (kg/año)	DBO <sub>5</sub> (kg/año)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Metales pesados (kg/año)
Siderometalurgia	75	519.120	1.473.799	—
Cerámica y vidrio	728	4.922.691	1.217.270	20.458
Química	292	5.055.680	3.603.600	—
Galvanotecnia	215	1.113.701	2.016.700	163.152
Alimentación	691	12.926.044	3.855.494	—
Textil	240	6.854.230	2.439.360	—
Curtidos	109	438.900	120.120	1.871
Muebles	2.162	32.714.640	6.815.550	—
Papel	55	2.118.000	252.000	—

Fuente: Modificado de ITGE, 1985.

Cuadro 28: Algunas características sobresalientes de las aguas residuales de los principales tipos de industrias

Tipo de industria	pH < 7	pH > 7	Color	Olor	S.S.(1)	T.(2)	DBO <sub>5</sub>	DQO	G.A.(3)	Det.(4)	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	S <sup>=</sup>	F <sup>-</sup>	CN <sup>-</sup>	P(5)	N(6)	Cr	Pb	Cd	Cu
Cárnica		X			X	X	X		X		X					X	X				
Azúcar	X	X			X		X		X								X				
Textil	X	X	X	X	X		X		X	X		X	X				X	X			X
Papel		X	X		X	X	X		X	X	X	X	X				X				
Química de base	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Plásticos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
Fertilizantes	X					X								X		X	X				
Refino petróleo	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X				X				
Curtidos	X	X	X		X		X				X	X	X		X		X	X		X	X
Acero	X	X			X	X	X	X	X		X		X	X	X		X				
Automóvil	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X	X	X	X

(1) S.S.: Sólidos en suspensión

(2) T : Temperatura

(3) G.A.: Grasas y aceites

(4) Det.: Detergentes-Surfactantes

(5) P : Fósforo en alguna de sus formas: fósforo, fosfatos

(6) N : Nitrógeno en alguna de sus formas: nitrato, nitrito, amoníaco,....

(7) S.O.: Sustancias orgánicas: fenoles, lignina, mercaptano, tanino,....

Fuente: FWPCA, 1968.

## 5. CONTAMINACION DE ORIGEN AGRICOLA

En las tablas 18 y 19 aparecen reflejadas las necesidades de abonado de los diferentes cultivos en las distintas regiones españolas.

Se adjuntan igualmente (ver tablas 20 y 21) otros datos útiles para el cálculo de la contaminación de origen agrícola.

**Tabla 18: Necesidades medias de abonado**

Cultivos	Producción Base kg/ha	Kg/ha		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Cereales:</b>				
Trigo seco	1.500	40-80	40-60	40-60
Trigo regadío	6.000	150-240	60-120	90-120
Cebada seco	2.000	50-80	45-70	45-60
Cebada regadío	5.000	150-200	50-120	75-100
Avena	1.200	30-60	30-50	45-60
Arroz	6.000	150-220	100-120	140-160
Maíz seco	3.000	75-100	40-100	75-100
Maíz regadío	10.000	200-300	80-160	80-150
Sorgo seco	2.000	75-100	75-90	80-100
Sorgo regadío	8.000	200-300	80-160	80-180
<b>Leguminosas:</b>				
Habas	2.000	30-50	120-150	100-120
Judías	2.200	30-50	80-100	120-160
Guisantes	1.800	30-50	80-100	100-120
<b>Raíces y tubérculos:</b>				
Patata seco	10.000	50-80	60-80	100-150
Patata regadío	25.000	150-250	80-120	150-250
Remolacha	60.000	150-240	100-150	150-250
Batata	16.000	60-80	50-70	80-110
<b>Plantas Industriales:</b>				
Algodón seco	800	60-80	50-70	40-60
Algodón regadío	3.000	150-250	80-130	90-220
Caña de azúcar	60.000	150-250	50-80	300-350
Girasol	2.000	80-100	60-80	100-120
Soja	2.500	80-120	120-150	130-160
Tabaco	1.500	80-140	50-100	150-200
Cáñamo	1.700	100-120	100-130	150-200
Kenaf (verde)	80.000	100-150	60-90	70-100
Lino	1.600	70-90	100-120	136-160
<b>Praderas y plantas forrajeras:</b>				
Prados gramíneas (heno)	6.000	120-200	100-140	100-180

Fuente: Domínguez Vivancos, 1978.

Tabla 18: Necesidades medias de abonado (Continuación)

Cultivos	Producción Base kg/ha	Kg/ha		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Prados leguminosas (heno)	10.000	40-50	120-180	100-220
Maíz forrajero (verde)	60.000	150-250	90-120	100-180
Alfalfa (heno)	12.000	20-40	80-220	150-300
Trébol (heno)	4.000	30-60	60-80	80-100
Soja (heno)	4.000	60-80	50-70	120-160
Remolacha semiazucarera	60.000	150-250	100-120	120-150
<b>Frutales:</b>				
De hueso	25.000	150-250	70-150	200-240
De pepita	20.000	150-250	80-120	150-200
Agrios	30.000	200-300	100-150	180-250
Vid (vino)	5.000	40-60	50-100	60-120
Vid (uva de mesa)	10.000	80-120	80-140	120-150
Parral	30.000	150-300	120-150	180-250
Olivo de secano (kg. por árbol)	20	0,4-0,6	0,4-0,6	0,5-0,7
Olivo de regadío (kg. por árbol)	80-100	0,8-1,2	0,6-0,8	0,8-1
Arboles forestales	—	50-60	50-60	60-90
Platano	30.000	200-350	80-120	150-300
Arboles de desarrollo:				
Agrios y frutales (hasta 3 años)	—	20-60	10-30	20-50
Agrios y frutales ( hasta 6 años)	—	60-150	30-60	50-100
<b>Hortícolas:</b>				
Zanahoria	30.000	100-120	60-80	80-100
Pepino	40.000	60-150	70-100	80-100
Cebollas	40.000	150-200	100-120	120-150
Tomates	40.000	200-300	150-200	200-300
Pimientos	30.000	150-250	120-180	150-200
Berenjena	6.000	125-140	100-120	180-220
Repollo	60.000	200-250	100-150	180-220
Col y coliflor	40.000	160-200	80-120	180-220
Alcachofa	12.000	200-300	100-150	120-160
Espárrago	2.500	100-139	80-100	150-180
Espinacas	15.000	75-100	40-60	50-80
Lechuga	25.000	60-100	50-75	50-75

Fuente: Domínguez Vivancos, 1978.

**Tabla 19: Recomendaciones de abonado en los principales cultivos de cada zona**

**Castilla la Vieja, Aragón y Rioja, Navarra**

Frutales de Hueso Edad	En invierno, abonado en U.F.(1) por árbol			En primavera, U.F. de N/árbol	En verano, U.F. de N/árbol
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	N
Implantación	0,03	0,03	0,25	0,3	—
Entrada en producción	0,11	0,11	0,22	0,4	0,3
Plena producción	0,20	0,20	0,40	0,8	0,8

Frutales de Pepita Edad	En invierno, abonado en U.F.(1) por árbol			En primavera, U.F. de N/árbol	En verano, U.F. de N/árbol
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	N
Implantación	0,03	0,03	0,03	0,3	—
Entrada en producción	0,10	0,10	0,10	0,4	0,3
Plena producción	0,20	0,20	0,20	0,8	0,8

Cereales	En sementera U.F./Ha			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Secano	25	50	25	30 a 50
Secano húmedo	50	100	50	60 a 80
Regadío	70	140	70	100 a 120

Patata	En sementera U.F./Ha			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Secano	40	70	100	50 a 60
Regadío	100	180	220	100 a 130

Remolacha	En sementera U.F./Ha			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Secano	60	80	110	50
Regadío	100	150	200	100

(1) U.F. = Unidades fertilizantes

Olivar - Producción posible, kilos/árbol	En otoño U.F./árbol			A la salida del invierno U.F. de N/árbol
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Menos de 15	0,25	0,50	0,70	0,25
De 15 a 30	0,40	0,70	0,90	0,30
De 30 a 50	0,50	0,90	1,10	0,40

Viñedo - Producción posible, kilos/cepa	En febrero o marzo U.F./Ha		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
De 2 a 3	30	40	60
De 3 a 5	50	70	90
Más de 5	60	80	100

Maíz regadío Ciclos	En sementera U.F./Ha			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Tardíos a medios	130	130	130	150
Semiprecoces a precoces	100	100	100	120

## Zona Centro

Cereales	En sementera U.F./Ha			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Secano	30	60	30	45
Regadío	70	140	70	70

Olivo - Producción posible, kilos/árbol	En otoño U.F./árbol			A la salida del invierno U.F. de N/árbol
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Menos de 15	0,2	0,4	0,6	0,3
De 15 a 30	0,35	0,7	1	0,5
De 30 a 50	0,45	0,9	1,3	0,75
Más de 50	0,5	1,0	1,5	1,0

Viñedo - Producción posible, kilos/cepa	En febrero o marzo U.F./Ha		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
De 2 a 3	35	35	70
De 3 a 5	45	45	90
Más de 5	60	60	120

Maíz regadío Ciclos	En sementera U.F./Ha			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Semitardíos o medios	120	120	120	120
Semiprecoces o precoces	90	90	90	110

### Andalucía y Extremadura

Cereales	En sementera U.F./Ha			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Secano	30	60	30	30 a 40
Secano fresco	45	90	45	50
Regadío	80	150	80	80

Maíz regadío Ciclos	En sementera U.F./Ha			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Muy tardíos o tardíos	150	150	150	150
Medios	120	120	120	120
Semiprecoces o precoces	90	90	90	90

Viña - Producción posible, kilos/cepa	En febrero o marzo U.F./Ha		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
De 2 a 3	35	35	70
De 3 a 5	45	45	90
Más de 5	60	60	120

Olivo - Producción posible, kilos/árbol	En otoño U.F./árbol			A la salida del invierno U.F. de N/árbol
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Menos de 15	0,2	0,4	0,6	0,2
De 15 a 30	0,35	0,5	0,75	0,35
De 30 a 50	0,5	0,65	0,80	0,5
Más de 50	0,6	0,8	1,0	0,75

Remolacha U.F./Ha	En sementera En cobertera			U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Secano	50	100	150	120
Regadio	90	150	200	150

Girasol	En sementera U.F./Ha			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Secano	30	60	30	40

## Levante y Cataluña

Frutales de Hueso	En Febrero o Marzo, U.F./árbol			Abril-Mayo U.F. de N/árbol N	Julio-Agosto U.F. de N/árbol N
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
Implantación	0,1	0,2	0,4	0,15	0,10
Entrada en producción	0,3	0,6	1	0,15	0,10
Plena producción	0,4	0,8	1,2	0,15	0,10

Frutales de Pepita	En Febrero o Marzo, en U.F./árbol			Abril-Mayo U.F. de N/árbol N	Julio-Agosto U.F. de N/árbol N
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
Implantación	0,1	0,2	0,4	0,15	0,10
Entrada en producción	0,2	0,4	0,8	0,15	0,10
Plena producción	0,3	0,6	1,0	0,15	0,10

## Agrios

Limonero Especie y variedad	Epoca	U.F./árbol		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Limón fino	Febrero-marzo	0,5	0,25	0,25
Verna	Febrero-marzo	0,2	0,2	0,2
	Julio	0,4	0,2	0,2
	Octubre	0,4	0,2	0,2

Naranja Variedades tempranas -Edad	En Febrero o Marzo U.F./árbol			Ultimos de Julio U.F./árbol		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
De 6 a 8 años	0,4	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
De 9 a 12 años	0,5	0,25	0,15	0,3	0,15	0,15
De 12 a 15 años	0,5	0,25	0,20	0,4	0,2	0,2
Más de 15 años y producción menor de 100 kg por árbol	0,6	0,3	0,3	0,5	0,2	0,2
Más de 15 años y producción mayor de 100 kg por árbol	0,7	0,35	0,35	0,5	0,2	0,2

Naranja Variedades medias - Edad	En Febrero o Marzo U.F./árbol			Ultimos de Julio U.F./árbol		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
De 6 a 8 años	0,4	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
De 9 a 12 años	0,55	0,25	0,15	0,2	0,1	0,1
De 12 a 15 años	0,6	0,30	0,20	0,25	0,15	0,15
Más de 15 años y producción menor de 100 kg por árbol	0,65	0,35	0,25	0,5	0,2	0,2
Más de 15 años y producción mayor de 100 kg por árbol	0,80	0,40	0,35	0,5	0,2	0,2

Naranja Variedades tardías - Edad	Febrero	Después recolección U.F./árbol			Final de Agosto U.F./árbol			Octubre-Noviembre U.F./árbol		
	U.F. de N/árbol	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
6 - 8 años	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	—	—	—
8 - 12 años	0,12	0,25	0,12	0,12	0,1	0,1	0,1	—	—	—
12 - 15 años	0,2	0,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1
Más de 15 años y producción menor de 100 kg/árbol	0,25	0,35	0,17	0,17	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Más de 15 años y producción mayor de 100 kg/árbol	0,3	0,4	0,2	0,2	0,20	0,20	0,20	0,17	0,17	0,17

Maíz Ciclos	En sementera U.F./Ha			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Muy tardíos o semitardíos	150	150	150	150
Medios o precoces	110	110	110	120

Cereales	En sementera U.F./Ha			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Secano	25	50	25	40
Secano fresco	40	80	40	60
Regadío	70	140	70	110

Olivo - Producción posible, kilos/árbol	En otoño U.F./árbol			A la salida del invierno U.F. de N/árbol
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Menos de 15	0,25	0,5	0,7	0,25
De 15 a 30	0,3	0,6	0,8	0,3
De 30 a 50	0,5	1	1,2	0,4
Más de 50	0,6	1,2	1,4	0,5

Viña - Producción posible, kilos/cepa	En febrero		
	N	U.F./Ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
De 2 a 3	25	30	40
De 3 a 4	35	50	65
De 4 a 5	45	50	80
Más de 5	60	75	100

### Galicia y Cantábrico

Maíz Ciclos	En sementera			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	U.F./Ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Precoz:				
Secano	90	90	90	65
Regadío	120	120	120	80
Semiprecoz:				
Secano	105	105	105	70
Regadío	130	130	130	90

Cereales	En sementera			En cobertera U.F. de N/Ha
	N	U.F./Ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Secano	35	70	35	40
Regadío	50	100	50	70

Praderas	En Septiembre			Abril-Mayo		
	N	U.F./Ha. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	U.F./Ha. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Secano	20	50	20	20	50	20
Secano fresco	30	70	30	30	70	30
Regadío	40	90	40	40	90	40

Después de cada corte se pueden aplicar 50 U. de N. sobre todo en las praderas de gramíneas.

Fuente: Domínguez Vivancos, 1978.

**Tabla 20: Densidad de población (Número de plantas por hectárea) de los cultivos, según su marco de plantación**

Distancia entre líneas (cm)	Distancia entre plantas dentro de la línea (cm)											
	10	15	10	15	20	35	40	45	50	1m	2m	3m
20	500.000	332.000	250.000	200.000	166.000	143.000	125.000	111.000	100.000	50.000	25.000	16.000
25	400.000	265.000	200.000	160.000	133.000	114.000	100.000	89.000	80.000	40.000	20.000	13.300
30	330.000	220.000	166.000	133.000	111.000	95.000	83.000	74.000	66.000	33.000	16.600	11.100
35	286.000	190.000	143.000	114.000	95.000	81.000	72.000	63.000	57.000	28.600	14.300	9.500
40	250.000	166.000	125.000	100.000	83.000	71.000	63.000	55.000	50.000	25.000	12.500	8.300
45	220.000	146.000	111.000	89.900	74.000	63.000	55.000	49.000	44.000	22.000	11.000	7.400
50	200.000	133.000	100.000	80.000	66.000	57.000	50.000	44.000	40.000	20.000	10.000	6.600
55	182.000	120.000	91.000	73.000	60.000	52.000	45.000	40.000	36.000	18.000	9.000	6.000
60	166.000	110.000	83.000	67.000	55.000	48.000	41.000	37.000	33.000	16.500	8.250	5.500
65	154.000	102.000	77.000	62.000	50.000	44.000	38.000	34.000	30.000	15.000	7.500	5.000
70	143.000	94.000	71.000	57.000	47.000	41.000	35.000	32.000	28.000	14.000	7.000	4.700
75	133.000	87.000	67.000	53.000	44.000	38.000	33.000	30.000	26.000	13.000	6.500	4.400
80	125.000	83.000	63.000	50.000	41.000	35.000	31.000	28.000	24.000	12.500	6.250	4.100
90	111.000	74.000	55.000	44.000	37.000	32.000	28.000	25.000	22.000	11.000	5.500	3.700
1m	100.000	66.000	50.000	40.000	33.000	28.000	25.000	22.000	20.000	10.000	5.000	3.320
1,5 m	66.000	44.400	33.200	26.500	22.000	19.000	16.600	14.600	13.300	6.650	3.320	2.200
2 m	50.000	33.200	25.000	20.000	16.600	14.300	12.500	11.000	10.000	5.000	2.500	1.660
2,5 m	40.000	26.500	20.000	16.000	13.300	11.400	10.000	8.900	8.000	4.000	2.000	1.330
3 m	33.000	22.000	16.600	13.300	11.100	9.500	8.300	7.400	6.600	3.300	1.660	1.100
4 m	25.000	16.600	12.500	10.000	8.300	7.100	6.300	5.500	5.000	2.500	1.250	830
5 m	20.000	13.300	10.000	8.000	6.600	5.700	5.000	4.400	4.000	2.000	1.000	660

Fuente: Domínguez Vivancos, 1978.

**Tabla 21: Equivalencias de las antiguas medidas superficiales usuales en nuestras provincias, relacionadas con la hectárea**

Provincias	Medidas antiguas	Areas	Provincias	Medidas antiguas	Areas
Alava	Fanega	25,10	Lérida	Jornal	43,58
Albacete	Fanega	70,05	Logroño	Fanega	19,01
Alicante	Hanegada	8,31	Lugo	Ferrado	4,37
Almería	Fanega secano (de Castilla)	64,39	Madrid	Fanega	34,24
	Tahulla, regadio	11,18	Málaga	Fanega	60,37
Ávila	Fanega	39,30	Murcia	Hanegada de secano	67,08
Badajoz	Fanega (de Castilla)	64,39	Navarra	Robada	8,98
Baleares	Cuarterada	71,03	Orense	Ferrado	6,29
Barcelona	Cuartera	24,48	Oviedo	Día de buey	12,58
Burgos	Fanega (de Castilla)	64,39	Palencia	Obrada	53,83
Cáceres	Fanega (de Castilla)	64,39	Pontevedra	Ferrado	6,29
Cádiz	Fanega (de Castilla)	64,39	Salamanca	Fanega de linaza	22,34
	Aranzada	44,72		Peonada de viña	2,32
Canarias	Fanegada	52,48	Santander	Carro de tierra	1,79
Castellón	Hanegada	8,31	Segovia	Obrada	39,30
Ciudad Real	Fanega (de Castilla)	64,39	Sevilla	Fanega	59,45
Córdoba	Fanega	64,39 y 61,21		Aranzada	47,56
	Aranzada	36,72	Soria	Fanega	22,36
Coruña (La)	Ferrado de 900 varas	6,39	Tarragona	Cana de rey	60,84
Cuenca	Fanega (de Castilla)	64,39	Teruel	Yunta	44,72
Gerona	Besana	21,37	Toledo	Fanega de 500 estadales	46,97
Granada	Fanega (de Castilla)	64,39		Fanega de 400 estadales	37,58
	Marjal	5,28	Valencia	Hanegada	8,31
Guadalajara	Fanega	31,5	Valladolid	Obrada	46,58
Guipúzcoa	Golde	33,33	Vizcaya	Peonada	3,80
Huelva	Fanega	36,89	Zamora	Fanega	35,54
Huesca	Fanega	7,15		Cahíz	66,75
Jaén	Fanega	62,62	Zaragoza	Cuartal	2,38
León	Hemira de secano	9,39			

Fuente: Domínguez Vivancos, 1978.

Así mismo se recomienda acudir a las cámaras agrarias que proporcionarán una información detallada de las necesidades de cada zona.

Igualmente las diferentes empresas de fertilizantes poseen información sobre las necesidades de abo-

nado de los diferentes cultivos empleando sus productos.

A modo de ejemplo adjuntamos la documentación proporcionada por una de estas empresas para diversos cultivos (Tablas 22, 23, 24 y 25).

**Tabla 22: RECOMENDACIONES DE ABONADO DE LOS CITRICOS**

**Abonado para árboles en plena producción**

Variedades	Abonado	Kg/Ha	Fecha
Navel, navelina, salustiana	20-10-5S-2 Mg. N.A. 33,5% o Nitromagnesio	1440-1800 540-600 840-900	Marzo Finales de Julio Finales de Julio
Satsumas	20-10-5S-2 Mg. 20-10-5S-2 Mg. N.A. 33,5% o Nitromagnesio	600-720 720-840 480-720 720-1080	Febrero Marzo Julio Julio
Clementinas	20-10-5S-2 Mg. N.A. 33,5% o Nitromagnesio	1560-1680 480-720 720-900	En dos veces en Fe/Ma En dos veces a los largo del verano
Variedades de media estación (Grupo Sanguinas, doble fina, etc)	20-10-5S-2 Mg. N.A. 33,5% o Nitromagnesio	1440-1560 600 900	Después recolección Agosto Agosto
Variedades tardías (Valencia Late, Vernas, etc.)	20-10-5S-2 Mg.  N.A. 33,5% 20-10-5S-2 Mg.	1440-1560  480 480	En dos veces en Fe/Ma después recolección Agosto Octubre-Noviembre

Fuente: Fertilizantes españoles, 1989.

**Tabla 23: RECOMENDACIONES DE ABONADO DEL OLIVO (Kg/Ha)**

**Abonado fraccionado**

Producción/Arbol	FONDO		COBERTERA
	Suelos equilibrados 12-12-24 ó 9-18-27	Suelos ricos en Potasio 8-15-15	Urea
Menos de 20 Kg	2-3 kg/árbol	2-3 kg/árbol	1-1,5 kg/árbol
De 20 a 40 Kg	3-4 kg/árbol	3-4 kg/árbol	1,5-2 kg/árbol
Más de 40 Kg	4-5 kg/árbol	4-5 kg/árbol	2-3 kg/árbol

**Abonado en una sola vez**

Producción/Arbol	Suelos equilibrados 15-15-15	Suelos pobres en Potasio 12-12-24 ó 9-18-27
Menos de 20 Kg	4-5 kg/árbol	4-5 kg/árbol
De 20 a 40 Kg	5-6 kg/árbol	5-6 kg/árbol
Más de 40 Kg	6-7 kg/árbol	6-7 kg/árbol

Fuente: Fertilizantes españoles, 1989.

**Tabla 24: RECOMENDACIONES DE ABONADO DEL ALMENDRO (Kg por árbol)**

Producción	Tipos de abono		
	FONDO		COBERTERA
	Suelos equilibrados 12-12-24	Suelos ricos en Potasio 15-15-15	Nitrato Amón. 33,5% (1)
Menos 10 kg/árbol	1,5-3	2-3	0,2-0,3
Más 10 kg/árbol	3-4	3-4,5	0,3-0,4

(1) Según el tipo de suelo se puede sustituir el N.A. 33,5% por N.A.C. 26% incrementando la dosis en un 30%

En regadío aumentar las dosis señaladas en un 50% incorporando en todos los casos Nitrato Amónico 33,5% para el engorde.

Fuente: Fertilizantes españoles, 1989.

**Tabla 25: RECOMENDACIONES DE ABONADO DEL VIÑEDO (Kg/Ha)**

Producción por cepa	Productos (según suelos)	
	Equilibrados 12-12-24	Pobres en fósforo 9-18-27
Hasta 2 Kg	200-250	250-300
De 2 - 3 Kg	250-350	300-350
De 3 - 5 Kg	350-500	350-550
Más de 5 Kg	500-650	550-700

Fuente: Fertilizantes españoles, 1989.

## 6. CONTAMINACION DE ORIGEN GANADERO

Para el cálculo de la contaminación de origen ganadero se pueden seguir las siguientes fases:

### 1. Producción de estiércol

La producción de estiércol puede estimarse empleando la ecuación siguiente:

Estiércol (tm) = n° cabezas x F1 x Rendimiento (Ver tabla 26)

**Tabla 26:  
Valores del rendimiento y F1 (factor de peso) para diferentes especies animales.**

Especie	F1	Rendimiento
Bovino	0.350	19
Ovino	0.030	16
Caprino	0.030	16
Equino	0.300	16
Porcino	0.060	18
Aves	0.0025	16
Conejos	0.0035	17

## 2. Cálculo carga contaminante mineral: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O

A partir de la cantidad de estiércol obtenida en 1 y los valores de la tabla 27 se obtiene la composición mineral de los residuos animales.

**Tabla 27: Composición del estiércol en diferentes especies animales.**

	Composición estiércol (kg por 1000 kg producto)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Bovino	3.4	1.3	3.6
Ovino, Caprino	8.2	2.1	8.3
Equino	6.7	2.3	7.2
Porcino	4.5	2.1	6.0
Aves	20	23	12
Conejos	13.5	23.5	7

Fuente: Modificado de Seoanez Calvo, 1977

## 3. Cálculo DBO<sub>5</sub>

Se obtiene multiplicando el número de cabezas de ganado de cada especie por los valores de la tabla 28.

**Tabla 28: DBO5 producido por diferentes especies animales.**

Especie	DBO5
Bovino	320 kg/año
Ovino	25 kg/año
Caprino	30 kg/año
Equino	200 kg/año
Porcino	45 kg/año
Aves	1.6 kg/año
Conejos	5.5 kg/año

Fuente: Carlos Compaire Fernández, 1982

## 4. Cálculo de la población equivalente

Se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Población equivalente (hab)} = \frac{\text{DBO5 (tm/año)}}{0,027375}$$

Otra manera de evaluar la contaminación de origen ganadero es empleando los datos reflejados en las tablas 29, 30, 31, 32, 33 y 34.

Tabla 29: Producción de nitrógeno de las distintas especies de ganado.

Especie de ganado	Deyec. diarias (kg/día.cabeza)		Concentración de Nitrógeno (%)		Producción de Nitrógeno por cabeza (gr/día)	Producción de DBO <sub>5</sub> por cabeza (kg/año)
	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido		
BOVINO						
Terneros	16.0	10.0	0.35	0.7	126	320
Resto	22.0	12.0	0.35	0.7	163	
OVINO						
Corderos	0.6	1.2	0.30	0.30	5	25
Resto	2.5	5.0	0.30	0.30	22	
CAPRINO						
Cabritos	0.6	1.2	0.30	0.30	5	30
Resto	2.5	5.0	0.30	0.30	22	
EQUINO						
Crías	4.0	1.0	0.5	1.2	32	200
Resto	20.0	5.0	0.5	1.2	160	
PORCINO						
Lechones	1.2	1.8	0.5	0.4	13	45
Resto	3.6	5.5	0.5	0.4	40	
AVIAR	0.16		1.40		2.2	1.6
CUNIL	0.23		1		2.3	5.5

Fuente: Sainz Moreno, L. y Compaire Fernández, C., 1984.

**Tabla 30: CANTIDAD Y CARACTERISTICAS DEL LISIER SEGUN EL TIPO DE ANIMALES**

Característica	Vacas lecheras			Bovino de engorde			Porcino			Ovino			Aves		
	Peso	Producción de lisier		Peso	Producción de lisier		Peso	Producción de lisier		Peso	Producción de lisier		Peso	Producción de lisier	
Autor	En kg.	En kg./día	En % de peso vivo	En kg	En kg/día	En % del peso	En kg.	En kg./día	En % del peso	En kg.	En kg./día	En % peso	En kg.	En kg./día	En % del peso
Maddex.	630	40	6.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.11	5.5
	450	30	6.6	450	30	6.6	45	3	7	-	-	-	-	-	-
	340	22	6.4	340	22	6.4	80	5.6	7	-	-	-	-	-	-
Tietjen.	600	54	9	-	-	-	40	3.6	9	-	-	-	2	0.2	10
	(vaca lactante)	-	-	-	-	-	60	4.2	7	-	-	-	-	-	-
	600 (vaca gestante)	42	7	-	-	-	90	4.5	5	-	-	-	-	-	-
Ekesho	-	45	-	-	20	-	cerda PE 20-90 Kg.	12	-	-	2.5	-	-	-	-
Jones	540	40	7.5	-	-	-	54	5.4	10	-	-	-	2.2	0.11	5

Fuente: Seoanez Calvo, 1977

Tabla 31: COMPOSICION DEL LISIER, en gr./Kg.

Características		Cantidad Kg./día	M.S.	M.m.	N total	N amoniacal	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Acidez (pH)
Especie y naturaleza de las deyecciones											
Bovino mayor	Orina	15	70	30	7	-	0.05	15	0.05	-	-
	Sólido	30	170	35	4	0.4	2.3	2	5	-	-
	Lisier completo fresco	45	140	33	4.5	0.5	2	6	4	1.6	6.7
	Lisier líquido (20% de agua)	55	100	28	3.5	1.7	1.6	5	3	1.3	6.9
	Lisier pastoso	?	150	40	3.6			2.5	4	-	6.7
	Estiércol	?	220	50	4.6	0.5	3	6	6	1.4	7.9
Bovino menor	Lisier	5.8	88	28	1.8	0.25	0.55	0.68	4	1.6	7.6
Cerdos 100 Kg	Orina	6.7	40	-	4	-	0.05	5	-	-	-
	Heces	3.3	230	-	5	-	3	3	-	-	-
	Lisier	?	50	16	4.5	3	2.3	3	3	0.8	7
Ovino	Orina	?	130	-	12	-	0.05	13	-	-	-
	Heces	?	300	-	8	-	4.5	4.8	-	-	-
	Lisier	2.5	250	69	8	-	8	9.5	12.5	4	-
Aves	Lisier	0.2	150	-	13	-	11	6	15	1.3	-
Conejos	Lisier	0.17	400	-	12	-	10	7	15	-	7.2

Fuente: Seoanez Calvo, 1977

**Tabla 32: VARIACIONES DE LA CARGA CONTAMINANTE SEGUN LAS ESPECIES**

Carga contaminante  Especie (100 Kg.)	MS (kg./día)	MO (kg./día)	DBO <sub>5</sub> Kg./día	Equivalencia habitante		DBO
				DBO	MO	DQO (%MS)
Vaca lechera	9.0-8.9	7.2	1.7-1.6	1.3	0.36	12.8
Cerdo	7.2-6.9	5.9	2.1-3.1	1.6	0.29	30.7
Aves	16.8-17.4	12.3	3.1-4.4	3.4	0.61	23.2
Vacuno de carne	7.9	6.1	2.04	1.6	0.3	17.4
Ovino	10.7	10.8	0.8	0.6	0.54	7.8
Hombre	25.0	20.0	1.3	1.0	1.0	-

Fuente: Seoanez Calvo, 1977.

**Tabla 33: COMPOSICION QUIMICA DE LOS RESIDUOS DE GALLINA**

Característica	Condiciones de explotación			
	Cama reciclada	Cama acumulada	Jaula	Gallinero abierto
N	1.83	2.79	3.71	3.18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.43	2.84	3.79	3.29
K <sub>2</sub> O	0.76	1.48	2.02	1.84
Agua	4.72	15.8	74.35	70.16

Fuente: Seoanez Calvo, 1977.

**Tabla 34: COMPOSICION FISICO-QUIMICA COMPARADA DEL ESTIERCOL Y DEL LISIER DE BOBINO**

Característica	Contenidos de compuestos en % del producto fresco					
	M.S.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	M.O.
Estiercol	21	0.55	0.25	0.54	0.60	7.9
Lisier	12.9	0.50	0.24	0.62	0.36	8.1

Fuente: Seoanez Calvo, 1977.

## 7. VALORES DE LOS FACTORES CRIPTAS

### - CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

RANGO/m/dia	VALOR
0,04 - 4	1
4 - 12	2
12 - 28	4
28 - 40	6
40 - 80	8
>80	10

### - TOPOGRAFIA

RANGO/% pendiente	VALOR
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

### - RECARGA NETA

RANGO/mm	VALOR
0 - 50	1
50 - 100	3
100 - 180	6
180 - 255	8
>255	10

### - ROCA DEL ACUIFERO

RANGO	VALOR	TIPICO
PIZARRAS Y ARCILLAS MASIVAS	1-3	2
METAMORFICAS/IGNEAS COMPACTAS	2-5	3
METAMORFICAS O IGNEAS METEORIZADAS	3-5	4
CAPAS FINAS DE ARENISCAS, CALIZAS Y PIZARRAS	5-9	6
ARENISCAS MASIVAS	4-9	6
CALIZAS MASIVAS	4-9	6
ARENAS Y GRAVAS	4-9	8
BASALTOS Y/O ROCAS IGNEAS O METAMORFICAS		
MUY FRACTURADAS	2-10	9
CALIZAS KARSTIFICADAS	9-10	10

### - IMPACTO DE LA ZONA NO SATURADA

RANGO	VALOR	TIPICO
LIMO/ARCILLA	1 - 2	1
PIZARRAS	2 - 5	3
CALIZAS	2 - 7	6
ARENISCAS	4 - 8	6
CALIZAS EN CAPAS, ARENISCAS Y PIZARRAS	4 - 8	6
ARENAS Y GRAVAS CON LIMO Y ARCILLA	4 - 8	6
METAMORFICAS/IGNEAS	2 - 8	4
ARENAS Y GRAVAS	6 - 9	8
BASALTO	2 - 10	9
CALIZAS KARSTIFICADAS	8 - 10	10

### - TIPO DE SUELO

RANGO	VALOR
FINO O AUSENTE	10
GRAVA	10
ARENA	9
TURBA	8
ARCILLAS AGREGADAS	7
MARGA ARENOSA	6
MARGA	5
MARGAS ALUVIALES	4
MARGAS ARCILLOSAS	3
MANTILLO	2
ARCILLAS NO AGREGADAS	1

### - PROFUNDIDAD DEL AGUA

RANGO/m	VALOR
0 - 1,5	10
1,5 - 4,6	9
4,6 - 9,1	7
9,1 - 15,2	5
15,2 - 22,9	3
22,9 - 30,5	2
>30,5	1



ANEXO 10 - 4 ABACOS Y FICHAS MODELO



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España  
División de Aguas Subterráneas

## INVENTARIO DE VERTIDOS

PROVINCIA:.....

TERMINO MUNICIPAL:.....

Superficie:.....

Población residente fija:.....

Población estacional:.....

Precipitación anual media (mm):.....

Temperatura anual media (°C):.....

Sistema acuífero:.....

Cuenca hidrográfica - U.H.:.....

Comunidad autónoma:..........

**Instrucciones para el completado de la ficha de vertidos:**

Los campos precedidos por un asterisco son de caracter obligatorio.

**PORTADA**

- \*Provincia: número de la provincia.
- \*Término municipal: codificación del término establecido en la publicación del Instituto Nacional de Estadística.
- Superficie en Km<sup>2</sup>.
- Temperatura anual media en °C.
- \*Cuenca hidrográfica.
- \*U.H.: Unidad Hidrogeológica, nomenclatura M.O.P.U.
- \*Comunidad Autónoma.

**VERTIDO DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS**

- \*Número: Provincia, T.M., número correlativo.
- \*Procedencia: pueblo o pueblos de los que proceden los residuos.
- Tipo: tipo de industria que genera los residuos.
- Estudio previo del sistema de tratamiento: contestar si, no o blanco (S/N/).
- Toponimia: nombre del paraje en que se encuentra localizado el vertedero.
- Estudio previo del vertido: contestar si, no o blanco (S/N/).
- Incineración, Compost, Reciclaje, vertedero: Al menos 1 debe ser distinto de 0 o blanco.
- Impermeabilización: contestar si, no o blanco (S/N/).
- Recogida de lixiviados: contestar si, no o blanco (S/N/).
- Alta densidad: contestar si, no o blanco (S/N/).
- Sistema de vertido: controlado (C), Semicontrolado (S), incontrolado (I) o blanco.
- Sellado: contestar si, no o blanco (S/N/).
- Fecha: decir cual es la fecha del sellado, si lo está.
- Control de gases: contestar si, no o blanco (S/N/).
- Gestión: contestar Municipal (M), Autonómica (A), Privada (P) o blanco.

**VERTIDO DE RESIDUOS LIQUIDOS URBANOS**

- \*Número: Provincia, T.M., número correlativo.
  - \*Procedencia: pueblo o pueblos de los que proceden los residuos.
  - Red de saneamiento: contestar si, no o blanco (S/N/).
  - Depuración: contestar si, no o blanco (S/N/).
  - Nombre: nombre de la depuradora.
  - Lagunaje: contestar si, no o blanco (S/N/).
  - Nombre: nombre de la laguna.
  - Fosas sépticas: contestar si, no o blanco (S/N/).
  - Tanque Imhof: contestar si, no o blanco (S/N/).
  - Ninguno: contestar si, no o blanco (S/N/).
  - Estudio previo del sistema de tratamiento: contestar si, no o blanco (S/N/).
  - Descripción del punto de vertido: indicar en líneas generales las características del punto de vertido.
  - Tipo de cultivo: indicar para que tipo de cultivo se utilizan los residuos líquidos.
- Al menos 1 debe ser distinto de blanco.

**VERTIDO DE SOLIDOS INDUSTRIALES**

- \*Número: Provincia, T.M., número correlativo.
- Naturaleza: contestar Inertes (I), asimilables a urbanos (U), Tóxicos y peligrosos (T) o blanco.
- Clasificación: codificación de la industria generadora del vertido según la tabla del CNAE.
- Actividad: indicar cual es la actividad que realizan las industrias.
- Número de industrias: indicar si el vertido procede de una o varias industrias.
- Materias primas o residuos: indicar si el vertido es de materias primas (P) o de residuos (R).
- Naturaleza: indicar la naturaleza de los residuos.
- Toponimia: Nombre del lugar en el que se encuentra localizado el vertedero.
- Estudio previo del vertido: contestar si, no o blanco (S/N/).
- Impermeabilización: contestar si, no o blanco (S/N/).
- Recogida de lixiviados: contestar si, no o blanco (S/N/).
- Sistema de vertido: controlado (C), Semicontrolado (S), incontrolado (I) o blanco.
- Sellado: contestar si, no o blanco (S/N/).
- Fecha: decir cual es la fecha del sellado, si lo está.
- Gestión: contestar Municipal (M), Autonómica (A), Privada (P) o blanco.



**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES HABITUALES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 pH :   
 Conduct. a 25 °C (µS/cm):   
 D.Q.O. (mg/l) :   
 Cl<sup>-</sup> (mg/l) :   
 SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 CO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l) :   
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/l) :   
 Na<sup>+</sup> (mg/l) :   
 K<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Ca<sup>++</sup> (mg/l) :   
 Mg<sup>++</sup> (mg/l) :   
 SiO<sub>2</sub> (mg/l) :

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES NO USUALES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 F<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Br (mg/l) :   
 Li<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Fe (mg/l) :   
 Mn (mg/l) :   
 Cu (mg/l) :   
 Zn (mg/l) :   
 Pb (mg/l) :   
 Cr (mg/l) :   
 Ni (mg/l) :   
 Cd (mg/l) :   
 As (mg/l) :   
 Sb (mg/l) :   
 Se (mg/l) :   
 Al (mg/l) :   
 CN<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Hg (mg/l) :

**ANALISIS QUIMICOS -  
OTRAS DETERMINACIONES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 Turbidez (U.N.):   
 D.B.O. (mg/l) :   
 B (mg/l) :   
 Detergentes (mg/l):   
 Fenoles (mg/l):   
 Hidrocarburos arom. polic. (mg/l):   
 Plaguicidas totales (mg/l):   
 Radiaciones α Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Radiaciones β Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Sólidos en suspensión (mg/l):   
 R.S. a 110 °C (mg/l):

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES ISOTOPICAS**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la Muestra:   
 Deuterio Signo:   
 Valor:   
 Tritio:   
<sup>13</sup>C Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>C :   
<sup>18</sup>O Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>N/<sup>15</sup>N (δ <sup>15</sup>N‰):

## VERTIDO DE RESIDUOS LIQUIDOS URBANOS

### GENERACION DE RESIDUOS

Procedencia: .....  
 Población residente fija: .....  
 Población estacional: .....  
 Volumen anual de vertido (m<sup>3</sup>/año): .....  
 Volumen máximo (m<sup>3</sup>/día): .....  
 Volumen mínimo (m<sup>3</sup>/día): .....  
 Red de saneamiento: .....  
 Observaciones: .....

NUMERO .....

### TIPO DE TRATAMIENTO

Depuración:  Nombre: .....  
 Lagunaje:  Nombre: .....  
 Fosas sépticas:  Tanque Imhoff:  Ninguno:   
 Estudio previo del sistema de tratamiento:

### DESCRIPCION DEL PUNTO DE VERTIDO

.....

### UTILIZACION DE EFLUENTES LIQUIDOS PARA REGADIO

Volumen anual servido (hm<sup>3</sup>/año): ..... Superficie regada (ha): .....  
 Tipo de cultivo: .....

### OBSERVACIONES:

.....

## DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

### GEOGRAFICOS

Distancia al nucleo urbano (Km): .....

Acceso: .....

Morfología: .....

### CLIMATICOS

Temperatura anual: .....  
 Precipitación anual: ..... mm      ..... mm/mes      ..... mm/mes  
 Dirección vientos: .....

### IMPACTO AMBIENTAL

Riesgo de contaminación atmosférica: .....  
 Riesgo de contaminación A. superficiales: .....  
 Riesgo de contaminación A. subterráneas: .....  
 Impacto paisajístico: .....

### COORDENADAS U.T.M.

	X	Y	HUSO
1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

### OBSERVACIONES:

.....

## CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL EMPLAZAMIENTO

### ZONA NO SATURADA

Permeable:       Espesor (m): .....      Litología: .....  
 Permeabilidad (m/día): .....

### ZONA SATURADA

Espesor (m): .....      Litología: .....  
 Permeabilidad (m/día): .....      Transmisividad (m<sup>2</sup>/día): .....  
 Coef. Alm.: .....

Calidad natural del agua del acuífero: .abastecimiento: .....  
 .agricultura: .....

Puntos de agua próximos:  .....

Riesgo de contaminación aguas abajo:  .....

### OBSERVACIONES:

.....

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES HABITUALES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 pH .....   
 Conduct. a 25 °C (µS/cm):   
 D.Q.O. (mg/l) :   
 Cl<sup>-</sup> (mg/l) :   
 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/l) :   
 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l) :   
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/l) :   
 Na<sup>+</sup> (mg/l) :   
 K<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Ca<sup>++</sup> (mg/l) :   
 Mg<sup>++</sup> (mg/l) :   
 SiO<sub>2</sub> (mg/l) :

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES NO USUALES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 F<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Br<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Li<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Fe (mg/l) :   
 Mn (mg/l) :   
 Cu (mg/l) :   
 Zn (mg/l) :   
 Pb (mg/l) :   
 Cr (mg/l) :   
 Ni (mg/l) :   
 Cd (mg/l) :   
 As (mg/l) :   
 Sb (mg/l) :   
 Se (mg/l) :   
 Al (mg/l) :   
 CN<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Hg (mg/l) :

**ANALISIS QUIMICOS -  
OTRAS DETERMINACIONES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 Turbidez (U.N.):   
 D.B.O. (mg/l) :   
 B (mg/l) :   
 Detergentes (mg/l):   
 Fenoles (mg/l):   
 Hidrocarburos arom. polic. (mg/l):   
 Plaguicidas totales (mg/l):   
 Radiaciones α Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Radiaciones β Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Sólidos en suspensión (mg/l):   
 R.S. a 110 °C (mg/l):

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES ISOTOPICAS**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la Muestra:   
 Deuterio Signo:   
 Valor:   
 Tritio:   
<sup>13</sup>C Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>C :   
<sup>18</sup>O Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>N/<sup>15</sup>N (δ<sup>15</sup>N‰):



**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES HABITUALES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 pH :   
 Conduct. a 25 °C (μS/cm):   
 D.Q.O. (mg/l) :   
 Cl<sup>-</sup> (mg/l) :   
 SO<sub>4</sub><sup>=</sup> (mg/l) :   
 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 CO<sub>3</sub><sup>=</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l) :   
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/l) :   
 Na<sup>+</sup> (mg/l) :   
 K<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Ca<sup>++</sup> (mg/l) :   
 Mg<sup>++</sup> (mg/l) :   
 SiO<sub>2</sub> (mg/l) :

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES NO USUALES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 F<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Br (mg/l) :   
 Li<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Fe (mg/l) :   
 Mn (mg/l) :   
 Cu (mg/l) :   
 Zn (mg/l) :   
 Pb (mg/l) :   
 Cr (mg/l) :   
 Ni (mg/l) :   
 Cd (mg/l) :   
 As (mg/l) :   
 Sb (mg/l) :   
 Se (mg/l) :   
 Al (mg/l) :   
 CN<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Hg (mg/l) :

**ANALISIS QUIMICOS -  
OTRAS DETERMINACIONES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 Turbidez (U.N.):   
 D.B.O. (mg/l) :   
 B (mg/l) :   
 Detergentes (mg/l):   
 Fenoles (mg/l):   
 Hidrocarburos arom. polic. (mg/l):   
 Plaguicidas totales (mg/l):   
 Radiaciones α Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Radiaciones β Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Sólidos en suspensión (mg/l):   
 R.S. a 110 °C (mg/l):

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES ISOTOPICAS**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la Muestra:   
 Deuterio Signo:   
 Valor:   
 Tritio:   
<sup>13</sup>C Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>C :   
<sup>18</sup>O Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>N/<sup>15</sup>N (δ<sup>15</sup>N‰):

## VERTIDO DE LIQUIDOS INDUSTRIALES

### GENERACION DE RESIDUOS

NUMERO   ▲  ▲  

Clasificación: CNAE	Actividad	Núm. de industr.	Naturaleza	Volumen Tm/año
1 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	.....	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>
2 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	.....	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>
3 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	.....	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>
4 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	.....	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>
5 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	.....	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>
6 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	.....	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>
7 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	.....	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>

Observaciones: .....

### TIPO DE TRATAMIENTO DESCRIPCION DEL PUNTO DE VERTIDO

Medidas correctoras: .....

Depuración:  Nombre: ..... UTILIZACION DE EFLUENTES LIQUIDOS PARA REGADIO

Descripción: ..... Volumen anual servido (hm<sup>3</sup>/año)   ▲  

Balsa:  Nombre: ..... Superficie regada (ha):   

Naturaleza: ..... Tipo de cultivo: .....

Estudio previo del sistema de tratamiento:  OBSERVACIONES: .....

## DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

**GEOGRAFICOS**

Distancia al nucleo urbano (Km):   ▲  

Acceso: .....

Morfología: .....

**CLIMATICOS**

Temperatura anual: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  ▲  </span>	media	máxima	mínima
Precipitación anual: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span> mm		<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span> mm/mes	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span> °C
Dirección vientos: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>		<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span> mm/mes	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span> mm/mes

**IMPACTO AMBIENTAL**

Riesgo de contaminación atmosférica:

Riesgo de contaminación A. superficiales:

Riesgo de contaminación A. subterráneas:

Impacto paisajístico:

**COORDENADAS U.T.M.**

	X	Y	HUSO
1	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>
2	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>
3	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>
4	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span>

OBSERVACIONES: .....

## CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL EMPLAZAMIENTO

**ZONA NO SATURADA**

Permeable:  Espesor (m):    Litología: .....

Permeabilidad (m/día):   

**ZONA SATURADA**

Espesor (m):    Litología: .....

Permeabilidad (m/día):    Transmisividad (m<sup>2</sup>/día):   

Coef. Alm.:   ▲  

Calidad natural del agua del acuífero: .abastecimiento:

.agricultura:

Puntos de agua próximos:  .....

Riesgo de contaminación aguas abajo:  .....

OBSERVACIONES: .....

### ANALISIS QUIMICOS - DETERMINACIONES HABITUALES

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 pH :   
 Conduct. a 25 °C (μS/cm):   
 D.Q.O. (mg/l) :   
 Cl<sup>-</sup> (mg/l) :   
 SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 CO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l) :   
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/l) :   
 Na<sup>+</sup> (mg/l) :   
 K<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Ca<sup>++</sup> (mg/l) :   
 Mg<sup>++</sup> (mg/l) :   
 SiO<sub>2</sub> (mg/l) :

### ANALISIS QUIMICOS - DETERMINACIONES NO USUALES

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 F<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Br<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Li<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Fe (mg/l) :   
 Mn (mg/l) :   
 Cu (mg/l) :   
 Zn (mg/l) :   
 Pb (mg/l) :   
 Cr (mg/l) :   
 Ni (mg/l) :   
 Cd (mg/l) :   
 As (mg/l) :   
 Sb (mg/l) :   
 Se (mg/l) :   
 Al (mg/l) :   
 CN<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Hg (mg/l) :

### ANALISIS QUIMICOS - OTRAS DETERMINACIONES

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 Turbidez (U.N.):   
 D.B.O. (mg/l) :   
 B (mg/l) :   
 Detergentes (mg/l):   
 Fenoles (mg/l):   
 Hidrocarburos arom. polic. (mg/l):   
 Plaguicidas totales (mg/l):   
 Radiaciones α Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Radiaciones β Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Sólidos en suspensión (mg/l):   
 R.S. a 110 °C (mg/l):

### ANALISIS QUIMICOS - DETERMINACIONES ISOTOPICAS

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la Muestra:   
 Deuterio Signo:   
 Valor:   
 Tritio:   
<sup>13</sup>C Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>C :   
<sup>18</sup>O Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>N/<sup>15</sup>N (δ<sup>15</sup>N‰):

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES HABITUALES**

Nº Reg. nac.

X  Y  HUSO

Naturaleza

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:

pH

Conduct. a 25 °C (µS/cm):

D.Q.O. (mg/l)

Cl<sup>-</sup> (mg/l)

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/l)

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (mg/l)

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l)

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/l)

Na<sup>+</sup> (mg/l)

K<sup>+</sup> (mg/l)

Ca<sup>2+</sup> (mg/l)

Mg<sup>2+</sup> (mg/l)

SiO<sub>2</sub> (mg/l)

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES NO USUALES**

Nº Reg. nac.

X  Y  HUSO

Naturaleza

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:

F<sup>-</sup> (mg/l)

Br (mg/l)

Li<sup>+</sup> (mg/l)

Fe (mg/l)

Mn (mg/l)

Cu (mg/l)

Zn (mg/l)

Pb (mg/l)

Cr (mg/l)

Ni (mg/l)

Cd (mg/l)

As (mg/l)

Sb (mg/l)

Se (mg/l)

Al (mg/l)

CN<sup>-</sup> (mg/l)

Hg (mg/l)

**ANALISIS QUIMICOS -  
OTRAS DETERMINACIONES**

Nº Reg. nac.

X  Y  HUSO

Naturaleza

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:

Turbidez (U.N.):

D.B.O. (mg/l)

B (mg/l)

Detergentes (mg/l):

Fenoles (mg/l):

Hydrocarburos arom. polic. (mg/l):

Plaguicidas totales (mg/l):

Radiaciones α Valor (pci/l):

Error (pci/l):

Radiaciones β Valor (pci/l):

Error (pci/l):

Sólidos en suspensión (mg/l):

R.S. a 110 °C (mg/l):

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES ISOTOPICAS**

Nº Reg. nac.

X  Y  HUSO

Naturaleza

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la Muestra:

Deuterio Signo:

Valor:

Tritio

<sup>13</sup>C Signo:

Valor:

<sup>14</sup>C

<sup>18</sup>O Signo:

Valor:

<sup>14</sup>N/<sup>15</sup>N (δ<sup>15</sup>N‰):

ACTIVIDAD AGRICOLA

Número

250

CULTIVOS Y APROVECHAMIENTOS	SUPERFICIE Has.	FERTILIZACION UTILIZADA					PLAGUICIDAS			ORIGEN DEL AGUA Y SUPERFICIE REGADA				
		DOSIS U. F. / Ha			EPOCA APLICACION		HERBI-CIDAS	FUNGI-CIDAS	PLAGUI-CIDAS GENERAL	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS SUBTERRANEAS	PROBLEMAS DE DRENAJE	VOLUMEN hm <sup>3</sup> / año Aguas Superf.	VOLUMEN hm <sup>3</sup> / año Aguas Subte.
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	01-I	Pr-Ver								
<b>REGADIO</b>														
Arroz.....														
Caña de azucar.....														
Huerta.....														
Cultivos forzados.....														
Otros cultivos herbáceos.....														
Cítricos.....														
Frutales no cítricos.....														
Viñedo.....														
Olivar.....														
Prados regados.....														
Especies forestales.....														
<b>SECANO</b>														
Labor intensiva.....														
Labor extensiva.....														
Cítricos.....														
Frutales no cítricos.....														
Viñedo.....														
Olivar.....														
Prados naturales.....														
Pastizales.....														
Matorrales.....														
Coníferas.....														
Frondosas.....														
Mezcla coníferas y frondosas.....														

DATOS DEL EMPLAZAMIENTO	<b>GEOGRAFICOS</b>	Distancia al nucleo urbano (Km)..... <input type="text"/>
	Acceso.....	
	Morfología.....	
	<b>CLIMATICOS</b>	Temperatura anual..... <input type="text"/> media <input type="text"/> máxima <input type="text"/> mínima <input type="text"/> °C
	Precipitación anual..... <input type="text"/> mm <input type="text"/> mm/mes <input type="text"/> mm/mes	
Dirección vientos..... <input type="text"/>		
<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	COORDENADAS U.T.M. X <input type="text"/> Y <input type="text"/> HUSO <input type="text"/>	
Riesgo de contaminación atmosférica..... <input type="checkbox"/>	1 <input type="text"/>	
Riesgo de contaminación A. superficiales..... <input type="checkbox"/>	2 <input type="text"/>	
Riesgo de contaminación A. subterránea..... <input type="checkbox"/>	3 <input type="text"/>	
Impacto paisajístico..... <input type="checkbox"/>	4 <input type="text"/>	
OBSERVACIONES:.....		

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL EMPLAZAMIENTO	<b>ZONA NO SATURADA</b>	Permeable..... <input type="checkbox"/>	Esesor (m)..... <input type="text"/>
	Permeabilidad (m/día)..... <input type="text"/>	Litología.....	
	<b>ZONA SATURADA</b>	Permeabilidad (m/día)..... <input type="text"/>	Esesor (m)..... <input type="text"/>
	Coef. Alm..... <input type="text"/>	Litología.....	
	Calidad natural del agua del acuífero : abastecimiento..... <input type="checkbox"/>	Transm. (m <sup>2</sup> /día)..... <input type="text"/>	
Puntos de agua próximos <input type="checkbox"/>	agricultura..... <input type="checkbox"/>		
Riesgo de contaminación aguas abajo <input type="checkbox"/>			
OBSERVACIONES:.....			

## ACTIVIDAD GANADERA

NUMERO...

	Bovino	Ovino	Caprino	Porcino	Equino	Aves	Conejos
Nº de cabezas	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Estabulado	<input type="checkbox"/>						

TRATAMIENTO Y UTILIZACION DE EFLUENTES: .....

OBSERVACIONES: .....

## DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

### GEOGRAFICOS

Distancia al nucleo urbano (Km):.....

Acceso: .....

Morfología: .....

### CLIMATICOS

	media		máxima		mínima	
Temperatura anual:	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	°C
Precipitación anual:	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	mm	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	mm/mes	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	mm/mes
Dirección vientos:	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>					

### COORDENADAS U.T.M.

### IMPACTO AMBIENTAL

	X	Y	HUSO
Riesgo de contaminación atmosférica:..... <input type="checkbox"/>	1 <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
Riesgo de contaminación A. superficiales:..... <input type="checkbox"/>	2 <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
Riesgo de contaminación A. subterráneas:..... <input type="checkbox"/>	3 <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
Impacto paisajístico:..... <input type="checkbox"/>	4 <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>

OBSERVACIONES: .....

## CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL EMPLAZAMIENTO

### ZONA NO SATURADA

Permeable:.....  Espesor (m):.....  Litología: .....

Permeabilidad (m/día):.....

### ZONA SATURADA

Espesor (m):.....  Litología: .....

Permeabilidad (m/día):.....  Transmisividad (m<sup>2</sup>/día):.....

Coef. Alm.:.....

Calidad natural del agua del acuífero: .abastecimiento:.....

.agricultura:.....

Puntos de agua próximos:  .....

Riesgo de contaminación aguas abajo:  .....

OBSERVACIONES: .....

### ANALISIS QUIMICOS - DETERMINACIONES HABITUALES

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 pH :   
 Conduct. a 25 °C (μS/cm):   
 D.Q.O. (mg/l) :   
 Cl<sup>-</sup> (mg/l) :   
 SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 CO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l) :   
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/l) :   
 Na<sup>+</sup> (mg/l) :   
 K<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Ca<sup>++</sup> (mg/l) :   
 Mg<sup>++</sup> (mg/l) :   
 SiO<sub>2</sub> (mg/l) :

### ANALISIS QUIMICOS - DETERMINACIONES NO USUALES

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 F<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Br (mg/l) :   
 Li<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Fe (mg/l) :   
 Mn (mg/l) :   
 Cu (mg/l) :   
 Zn (mg/l) :   
 Pb (mg/l) :   
 Cr (mg/l) :   
 Ni (mg/l) :   
 Cd (mg/l) :   
 As (mg/l) :   
 Sb (mg/l) :   
 Se (mg/l) :   
 Al (mg/l) :   
 CN<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Hg (mg/l) :

### ANALISIS QUIMICOS - OTRAS DETERMINACIONES

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 Turbidez (U.N.):   
 D.B.O. (mg/l) :   
 B (mg/l) :   
 Detergentes (mg/l):   
 Fenoles (mg/l):   
 Hidrocarburos arom. polic. (mg/l):   
 Plaguicidas totales (mg/l):   
 Radiaciones α Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Radiaciones β Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Sólidos en suspensión (mg/l):   
 R.S. a 110 °C (mg/l):

### ANALISIS QUIMICOS - DETERMINACIONES ISOTOPICAS

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la Muestra:   
 Deuterio Signo:   
 Valor:   
 Tritio:   
<sup>13</sup>C Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>C :   
<sup>18</sup>O Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>N/<sup>15</sup>N (δ<sup>15</sup>N‰):

## CEMENTERIO

NUMERO 

Procedencia: .....

Población residente:

Fosas:   %

Nichos:   %

Incineración:   %

OBSERVACIONES: .....

.....

## DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

### GEOGRAFICOS

Distancia al nucleo urbano (Km):

Acceso: .....

Morfología: .....

### CLIMATICOS

Temperatura anual:  **media**  **máxima**  **mínima**  °C

Precipitación anual:  mm  mm/mes  mm/mes

Dirección vientos:

### IMPACTO AMBIENTAL

Riesgo de contaminación atmosférica:

Riesgo de contaminación A. superficiales:

Riesgo de contaminación A. subterráneas:

Impacto paisajístico:

COORDENADAS U.T.M.			
	X	Y	HUSO
1	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
2	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
3	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
4	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>

OBSERVACIONES: .....

.....

## CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL EMPLAZAMIENTO

### ZONA NO SATURADA

Permeable:  Espesor (m):  Litología: .....

Permeabilidad (m/día):

### ZONA SATURADA

Espesor (m):  Litología: .....

Permeabilidad (m/día):  Transmisividad (m<sup>2</sup>/día):

Coef. Alm.:

Calidad natural del agua del acuífero: .abastecimiento:

.agricultura:

Puntos de agua próximos:

Riesgo de contaminación aguas abajo:

OBSERVACIONES: .....

.....

.....

.....

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES HABITUALES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 pH :   
 Conduct. a 25 °C (μS/cm):   
 D.Q.O. (mg/l) :   
 Cl<sup>-</sup> (mg/l) :   
 SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 CO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l) :   
 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l) :   
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/l) :   
 Na<sup>+</sup> (mg/l) :   
 K<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Ca<sup>++</sup> (mg/l) :   
 Mg<sup>++</sup> (mg/l) :   
 SiO<sub>2</sub> (mg/l) :

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES NO USUALES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 F<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Br (mg/l) :   
 Li<sup>+</sup> (mg/l) :   
 Fe (mg/l) :   
 Mn (mg/l) :   
 Cu (mg/l) :   
 Zn (mg/l) :   
 Pb (mg/l) :   
 Cr (mg/l) :   
 Ni (mg/l) :   
 Cd (mg/l) :   
 As (mg/l) :   
 Sb (mg/l) :   
 Se (mg/l) :   
 Al (mg/l) :   
 CN<sup>-</sup> (mg/l) :   
 Hg (mg/l) :

**ANALISIS QUIMICOS -  
OTRAS DETERMINACIONES**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la muestra:   
 Turbidez (U.N.):   
 D.B.O. (mg/l) :   
 B (mg/l) :   
 Detergentes (mg/l):   
 Fenoles (mg/l):   
 Hidrocarburos arom. polic. (mg/l):   
 Plaguicidas totales (mg/l):   
 Radiaciones α Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Radiaciones β Valor (pci/l):   
 Error (pci/l):   
 Sólidos en suspensión (mg/l):   
 R.S. a 110 °C (mg/l):

**ANALISIS QUIMICOS -  
DETERMINACIONES ISOTOPICAS**

FECHA:  ANALISIS:

Referencia de la Muestra:   
 Deuterio Signo:   
 Valor:   
 Tritio:   
<sup>13</sup>C Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>C :   
<sup>18</sup>O Signo:   
 Valor:   
<sup>14</sup>N/<sup>15</sup>N (δ<sup>15</sup>N‰):

#### VERTIDO DE LIQUIDOS INDUSTRIALES

Clasificación: codificación de la industria generadora de los residuos según la tabla del CNAE.

Actividad: indicar cual es la actividad que realizan las industrias.

Número de industrias: indicar si el vertido procede de una o varias industrias.

Naturaleza: indicar la naturaleza de los residuos.

Descripción del punto de vertido: indicar en líneas generales las características del punto de vertido.

Medidas correctoras: indicar si se están llevando a cabo y cuales.

Depuración: contestar si, no o blanco (S/N/).

Nombre: nombre de la depuradora.

Descripción: indicar las características de la depuradora.

Balsa: contestar si, no o blanco (S/N/).

Nombre: nombre de la balsa.

Naturaleza: indicar las características de la balsa.

Estudio previo del sistema de tratamiento: contestar si, no o blanco (S/N/).

Tipo de cultivo: indicar que tipo de cultivo se riega con los residuos líquidos.

#### ACTIVIDAD AGRICOLA

Tipo de cultivo: indicar el tipo de cultivo.

Problemas de drenaje: contestar si, no o blanco (S/N/).

Pesticidas utilizados: indicar en el caso de que se utilicen pesticidas, cuales son.

#### ACTIVIDAD GANADERA

Estabulado: indicar si, no o blanco (S/N/).

Tratamiento y utilización de efluentes: indicar si se están tratando o utilizando los efluentes.

#### CEMENTERIO

Procedencia: indicar el pueblo o pueblos a los que sirve.

Fosas: indicar si, no o blanco (S/N/) y porcentaje.

Nichos: indicar si, no o blanco (S/N/) y porcentaje.

Incineración: indicar si, no o blanco (S/N/) y porcentaje.

#### DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

\*Distancia al núcleo urbano: obligatorio para todos los vertidos excepto Agricultura y Ganadería.

Acceso: indicar la forma de acceder al lugar de vertido.

Morfología: indicar la morfología del emplazamiento.

Riesgo de contaminación atmosférica: contestar Alto (A), Medio (M), Bajo (B) o blanco.

Riesgo de contaminación A. superficiales: contestar Alto (A), Medio (M), Bajo (B) o blanco.

Riesgo de contaminación A. subterráneas: contestar Alto (A), Medio (M), Bajo (B) o blanco.

Impacto paisajístico: contestar Alto (A), Medio (M), Bajo (B) o blanco.

#### CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL EMPLAZAMIENTO

Permeable: contestar si, no o blanco (S/N/).

Calidad natural del agua del acuífero: abastecimiento y agricultura. Contestar Buena (B), Mala (M) o blanco.

Puntos de agua próximos: contestar si, no o blanco (S/N/).

Riesgo de contaminación aguas abajo: contestar si, no o blanco (S/N/).

#### ANALISIS QUIMICOS - DETERMINACIONES HABITUALES, DETERMINACIONES NO USUALES, OTRAS DETERMINACIONES Y DETERMINACIONES ISOTOPICAS.

Fecha: indicar la fecha de análisis.

Análisis: indicar que tipo de análisis es.

#### CONTRAPORTADA

Indicar el número de cada uno de los vertidos existentes en el término municipal.

Indicar la naturaleza de cada uno de estos vertidos.

Indicar el nombre que recibe cada uno de ellos.

#### CODIGOS DE LA NATURALEZA DE LOS VERTIDOS

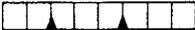
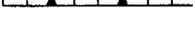
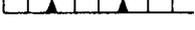
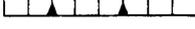
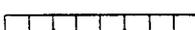
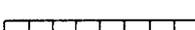
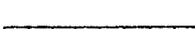
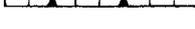
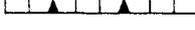
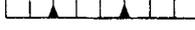
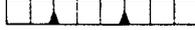
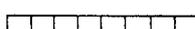
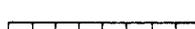
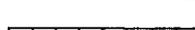
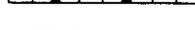
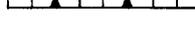
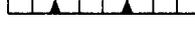
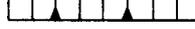
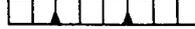
Urbanos:	{	sólidos: US.
		líquidos: UL.
Industriales:	{	sólidos: IS.
		líquidos: IL.

Agricultura: A

Ganadería: G

Cementerio: C

### Contenido de esta carpeta

Nº	Naturaleza	Nombre
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....
	.....	.....

**FICHA RESUMEN DE DATOS MUNICIPALES**

**INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE)**

**CONFEDERACION HIDROGRAFICA DEL JUCAR (CHJ)**

**1. DEMOGRAFIA Y URBANISMO**

NOMBRE \_\_\_\_\_  
COMARCA \_\_\_\_\_  
PROVINCIA \_\_\_\_\_

**PEDANIAS**

NOMBRE \_\_\_\_\_  
NOMBRE \_\_\_\_\_  
NOMBRE \_\_\_\_\_  
NOMBRE \_\_\_\_\_

POBLACION PERMANENTE ACTUAL \_\_\_\_\_ Hab.  
POBLACION PERMANENTE PREVISTA \_\_\_\_\_ Hab.  
POBLACION ESTACIONAL ACTUAL \_\_\_\_\_ Hab.  
POBLACION ESTACIONAL PREVISTA \_\_\_\_\_ Hab.  
POBLACION TURISTICA ACTUAL \_\_\_\_\_ Hab.  
POBLACION TURISTICA PREVISTA \_\_\_\_\_ Hab.

PLANEAMIENTO URBANISTICO VIGENTE \_\_\_\_\_  
FECHA DE APROBACION \_\_\_\_\_

**POLIGONOS INDUSTRIALES**

NOMBRE \_\_\_\_\_  
SUPERFICIE \_\_\_\_\_ Ha.  
NOMBRE \_\_\_\_\_  
SUPERFICIE \_\_\_\_\_ Ha.  
NOMBRE \_\_\_\_\_  
SUPERFICIE \_\_\_\_\_ Ha.  
NOMBRE \_\_\_\_\_  
SUPERFICIE \_\_\_\_\_ Ha.

**URBANIZACIONES**

NOMBRE \_\_\_\_\_  
Nº DE HABITANTES \_\_\_\_\_  
NOMBRE \_\_\_\_\_  
Nº DE HABITANTES \_\_\_\_\_  
NOMBRE \_\_\_\_\_  
Nº DE HABITANTES \_\_\_\_\_  
NOMBRE \_\_\_\_\_  
Nº DE HABITANTES \_\_\_\_\_

## 2. ABASTECIMIENTO

<b>CAPTACION</b>	
TIPO _____	PROFUNDIDAD _____ m. NIVEL PIEZOMETRICO _____ m.
POTENCIA DE LA BOMBA _____ C.V.	CAPACIDAD _____ l/min.

<b>DISTRIBUCION</b>	
TIPO DE DEPOSITO _____	CAPACIDAD _____ m <sup>3</sup>
LUNGITUD RED EN ALTA _____ m.	DIAMETRO _____ mm
DIAMETOS RED DE BAJA _____ mm,	_____ mm, _____ mm.

<b>GESTION DEL ABASTECIMIENTO</b>	
TIPO DE GESTION _____	
TIPO DE CONTADORES _____	
TIPO DE TARIFA _____	
ACOMETIDA _____ pts.	CUOTA DE SERVICIO _____ pts/mes.
PRECIO m <sup>3</sup>	De _____ m <sup>3</sup> a _____ m <sup>3</sup> _____ pts.
	De _____ m <sup>3</sup> a _____ m <sup>3</sup> _____ pts.
	De _____ m <sup>3</sup> a _____ m <sup>3</sup> _____ pts.

## 3. SANEAMIENTO

TIPO DE RED _____	ESTADO DE LA RED _____
Nº DE DEPURADORAS _____	TIPO _____
FUNCIONAMIENTO DEPURADORAS _____	
PUNTOS DE VERTIDO _____	

<b>GESTION DE SANEAMIENTO</b>	
TIPO DE GESTION _____	
ACOMETIDA _____ pts.	CUOTA DE SERVICIO _____ pts/mes.
PRECIO m <sup>3</sup> VERTIDO _____	pts.

## 4. OTROS DATOS MUNICIPALES

PRESUPUESTO MUNICIPAL _____ pts.	PRESUPUESTO MUNICIPAL/HABITANTE _____
INGRESOS TOTALES _____	INGRESOS TOTALES/HABITANTE _____
RENTA PER CAPITA _____	

**FICHA RESUMEN DEL PERIMETRO DE PROTECCION A LAS CAPTACIONES DE ABASTECIMIENTO A LA POBLACION DE \_\_\_\_\_**

**1.- SITUACION**

POBLACION _____	CUENCA HIDROGRAFICA _____
COMARCA _____	UNIDAD HIDROGEOLOGICA _____
PROVINCIA _____	ACUIFERO _____

**2.- ABASTECIMIENTOS**

PUNTOS DE ABASTECIMIENTO \_\_\_\_\_

NOMBRE DEL MANANTIAL	CAUDAL MAX l/seg.	CAUDAL MIN. l/seg.	CAUDAL MED. l/seg.	VOLUMEN EXTRAIDO m <sup>3</sup> /año	OBSERVACIONES

NOMBRE DEL POZO o SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	DIAMETRO (mm)	CAUDAL l/seg.	VOLUMEN EXTRAIDO m <sup>3</sup> / AÑO	OBSERVACIONES

CONSUMO ANUAL \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/año DOTACION \_\_\_\_\_ l/hab/dia

**3.- FOCOS CONTAMINANTES EN EL TERMINO MUNICIPAL**

**AFECCION AL ACUIFERO**

	1	2	3	4
SANEAMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RESIDUOS SOLIDOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INDUSTRIA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AGRICULTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GANADERIA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OTROS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DEPURACION SI NO

VERTIDO CONTROLADO SI NO

TIPO \_\_\_\_\_

REGADIO \_\_\_\_\_ Ha. SECANO \_\_\_\_\_ Ha. FORESTAL \_\_\_\_\_ Ha.

Nº DE CABEZAS \_\_\_\_\_

1.- NULO , 2.- BAJO , 3.- MODERADA , 4.- ALT.

#### 4.- DELIMITACION DEL PERIMETRO DE PROTECCION

VERTICE N°	COORDENADAS U.T.M			OBSERVACIONES
	X	Y	Z (m)	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				



ACTIVIDADES	1			2			3		
	P	R	A	P	R	A	P	R	A
Canteras,minas y extracción de áridos.									
Fosas sépticas.									
Cementerios.									
Almacenamiento y tratamiento de residuos sólidos.									
Almacenamiento,transporte y tratamiento de aguas residuales.									
Depósito y distribución de fertilizantes y plaguicidas.									
Riego con aguas residuales.									
Granjas.									
Almacenamiento,transporte y tratamiento de hidrocarburos.									
Transporte de sustancias contaminantes.									
Depósitos de líquidos y sólidos inflamables.									
Almacenamiento,transporte y tratamiento de productos químicos y farmacéuticos.									
Almacenamiento,transporte y tratamiento de productos radioactivos.									
Industrias alimenticias.									
Mataderos.									
Campings.									
Zonas de baño.									
Pozos y sondeos.									
Almacenamiento de productos químicos.									
Excavaciones.									
Inyección de residuos y sustancias contaminantes.									
Estaciones de servicio.									
Sondeos petrolíferos y geotécnicos.									
Construcciones.									
Usos agrícolas.									
Obras varias, infraestructuras.									

- 1.- ZONA DE RESTRICCIONES DE USO MODERADOS  
2.- ZONA DE RESTRICCIONES DE USO MAXIMAS  
3.- ZONA DE RESTRICCIONES DE USO ABSOLUTOS

- P : Prohibido.  
R : Reglamentado.  
A : Autorizado.

**5.- MAPA DEL PERIMETRO DE PROTECCION.**

ESCALA=1:







## ANEXO 10-5. CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES CONDUCTORES

**Tabla 35.1. Características técnicas y de aplicación de los cables rígidos armados con aislamiento y cubierta de PVC. Tipo VVMV. Tensión nominal 0,6/1 kV**

**Tabla 35.1.a. Carga máxima en servicio permanente. Temperatura máxima de servicio en el conductor 66,5°C**

Sección en mm <sup>2</sup>	Carga en A
4 x 2,5	22
4 x 4	30
3 x 6	38
3 x 10	57
3 x 16	75
3 x 25	96
3 x 35	117
3 x 50	147
3 x 70	182
3 x 95	223
3 x 120	258
3 x 150	300
3 x 185	340
3 x 240	400
3 x 300	465

**Tabla 35.1.b. Factores de corrección de la intensidad admisible por colocación**

Cables trifásicos tendidos sobre bandejas perforadas con separación entre cables igual a un diámetro, distancia a la pared > 2 cm y distancia aproximada entre bandejas de 30 cm.					
Número de bandejas	Número de cables				
	1	2	3	6	9
1	1	0,98	0,96	0,93	0,92
2	1	0,95	0,93	0,90	0,89
3	1	0,94	0,92	0,89	0,88
6	1	0,93	0,90	0,87	0,86
Cables trifásicos tendidos sobre estructuras o sobre la pared, con separación entre cables igual a un diámetro y distancia a la pared > 2 cm.					
Factor de corrección	Número de cables				
	1	2	3	6	9
Factor de corrección	1	0,93	0,90	0,87	0,86

**Tabla 35.1.c. Factores de corrección de la intensidad admisible por variación de la temperatura ambiente**

t °C	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Factor	1,15	1,10	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,66

**Tabla 35.1.d. Densidad de corriente de cortocircuito en A/mm<sup>2</sup>**

Duración del cortocircuito (segundo)									
0,08	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
393	351	248	202	157	111	91	78	70	64

La temperatura máxima en servicio permanente es de 66,5°C y la máxima de cortocircuito 152°C. De esta manera el incremento de temperatura es de 85,5°C.

**Tabla 35.1.e. Características mecánicas**

Sección mm <sup>2</sup>	Diámetro cubierta estanca		Diámetro alambres armadura mm	Diámetro exterior máximo mm	Longitud de cable autoportada	
	min. mm	máx. mm			Coeficiente de seguridad	
					3	5
4 x 2,5	10,5	12,5	0,8	18,7	405	245
4 x 4	12,5	14,5	0,8	20,7	360	215
3 x 6	13,0	15,0	0,8	21,2	315	190
3 x 10	15,0	17,0	0,8	23,2	245	150
3 x 16	17,0	19,5	1,6	27,3	390	235
3 x 25	20,5	23,0	1,6	31,2	360	215
3 x 35	23,0	25,5	1,6	33,7	340	205
3 x 50	26,0	28,5	2,0	37,9	350	210
3 x 70	29,0	32,0	2,0	41,4	295	175
3 x 95	34,5	37,5	2,0	47,3	250	150
3 x 120	37,5	40,5	2,5	51,7	270	160
3 x 150	41,5	44,5	2,5	55,7	250	150

Tabla 35.1.f. Características eléctricas

Sección	Resistencia eléctrica máx. del conductor a 20 °C en cc	Resistencia eléctrica máx. de la armadura a 20 °C en cc	Resistencia eléctrica máx. del conductor a 66.5 °C en cc y 50 Hz	Reactancia X a la frecuencia de 50 Hz
mm <sup>2</sup>	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km por fase
4 x 2,5	7,410	7,410	8,764	0,099
4 x 4	4,610	4,610	5,452	0,099
3 x 6	3,080	3,080	3,643	0,090
3 x 10	1,830	1,830	2,164	0,084
3 x 16	1,150	1,150	1,360	0,080
3 x 25	0,727	1,150	0,860	0,079
3 x 35	0,524	1,150	0,620	0,078
3 x 50	0,387	0,774	0,458	0,076
3 x 70	0,268	0,536	0,317	0,075
3 x 95	0,193	0,386	0,229	0,074
3 x 120	0,153	0,306	0,182	0,073
3 x 150	0,124	0,248	0,148	0,073

**Tabla 35.2. Características técnicas y de aplicación de los cables flexibles armados aislados con EPR. Tipo DM2N. Tensión nominal 0,6/1 kV**

**Tabla 35.2.a. Carga máxima en servicio permanente. Temperatura máxima de servicio en el conductor 85,5 °C**

Sección en mm <sup>2</sup>	Carga en A
2,5	27
4	37
6	47
10	65
16	87
25	114
35	141
50	174
70	217
95	272
120	315

**Tabla 35.2.b. Factores de corrección de la intensidad admisible por colocación**

Cables trifásicos tendidos sobre bandejas perforadas con separación entre cables igual a un diámetro, distancia a la pared > 2 cm y distancia aproximada entre bandejas de 30 cm.					
Número de bandejas	Número de cables				
	1	2	3	6	9
1	1	0,98	0,96	0,93	0,92
2	1	0,95	0,93	0,90	0,89
3	1	0,94	0,92	0,89	0,88
6	1	0,93	0,90	0,87	0,86
Cables trifásicos tendidos sobre estructuras o sobre la pared, con separación entre cables igual a un diámetro y distancia a la pared > 2 cm.					
Factor de corrección	Número de cables				
	1	2	3	6	9
	1	0,93	0,90	0,87	0,86

**Tabla 35.2.c. Factores de corrección de la intensidad admisible por variación de la temperatura ambiente**

t °C	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Factor	1,11	1,7	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

**Tabla 35.2.d. Densidad de corriente de cortocircuito en A/mm<sup>2</sup>**

Duración del cortocircuito (segundo)												
0,005	0,01	0,05	0,08	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1965	1390	621	491	439	310	254	196	139	113	98	88	80

La temperatura máxima en servicio permanente es de 85,5°C y la máxima de cortocircuito 273, °C. De esta manera el incremento de temperatura es de 152 °C.

**Tabla 35.2.e. Características mecánicas**

Sección mm <sup>2</sup>	Diámetro bajo armadura		Diámetro exterior	
	Mínimo mm	Máximo mm	Mínimo mm	Máximo mm
5 x 2,5	14	16,5	22	25,5
4 x 4	14	16,5	22	25,5
5 x 6	17	19,5	25	28,5
3 x 16 + 3 x 6 + 1 x 2,5 P*	24	27	33	37
3 x 25 + 3 x 10 + 1 x 2,5 P*	28	31	37,5	41,5
3 x 50 + 3 x 10 + 1 x 2,5 P*	35,5	38,5	48	53
3 x 70 + 3 x 16 + 1 x 2,5 P*	39	42,5	51,5	56,5
3 x 95 + 3 x 16 + 1 x 2,5 P*	44	47,5	56,5	62
3 x 150 + 3 x 25	50	53,5	63,5	69,5

(\*) con relleno central preformado

**Tabla 35.1.f. Características eléctricas**

<b>Sección</b>	<b>Resistencia eléctrica máx. del conductor principal en cc</b>	<b>Resistencia eléctrica máx. del conductor principal a 50 Hz</b>	<b>Reactancia X a la frecuencia de 50 Hz</b>
<b>mm<sup>2</sup></b>	<b>Ω/km a 20 °C</b>	<b>Ω/km a 85,5 °C</b>	<b>Ω/km por fase</b>
5 x 2,5	8,210	10,3234	0,1067
4 x 4	5,090	6,4002	0,0985
5 x 6	3,390	4,2626	0,0928
3 x 16 + 3 x 6 + 1 x 2,5 P*	1,240	1,5592	0,1098
3 x 25 + 3 x 10 + 1 x 2,5 P*	0,795	0,9996	0,1044
3 x 50 + 3 x 10 + 1 x 2,5 P*	0,393	0,4942	0,0929
3 x 70 + 3 x 16 + 1 x 2,5 P*	0,277	0,3483	0,0878
3 x 95 + 3 x 16 + 1 x 2,5 P*	0,210	0,2641	0,0843
3 x 150 + 3 x 25	0,132	0,1660	0,0735

(\*) con relleno central preformado

**Tabla 35.3. Características técnicas y de aplicación de los cables flexibles aislados con EPR. Tipo DS1N (simétrico). Tensión nominal 0,6/1kV**

**Tabla 35.3.a. Carga máxima en servicio permanente. Temperatura máxima de servicio en el conductor 85,5 °C**

Sección en mm <sup>2</sup>	Carga en A
2,5	27
4	37
6	47
10	65
16	87
25	114
35	141
50	174
70	217
95	272
120	315

**Tabla 35.3.b. Factores de corrección de la intensidad admisible por arrollamiento**

Número de capas	Factor de corrección
1	0,76
2	0,58
3	0,47
4	0,40

**Tabla 35.3.b. Factores de corrección de la intensidad admisible por variación de la temperatura ambiente**

t °C	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Factor	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

**Tabla 35.2.d. Densidad de corriente de cortocircuito en A/mm<sup>2</sup>**

Duración del cortocircuito (segundos)												
0,005	0,01	0,05	0,08	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1965	1390	621	491	439	310	254	196	139	113	98	88	80

La temperatura máxima en servicio permanente es de 85,5°C y la máxima de cortocircuito 273, °C. De esta manera el incremento de temperatura es de 152 °C.

**Tabla 35.1.f. Características eléctricas**

Sección	Diámetro exterior		Resistencia eléctrica máx. del conductor principal en cc	Resistencia eléctrica máx. del conductor principal a 50 Hz	Reactancia X a la frecuencia de 50 Hz
	mm <sup>2</sup>	Mín.	Máx.	Ω/km a 20 °C	Ω/km a 85,5 °C
3 x 4 + 1 x 4 + 1 x 4	25	28	5,090	6,4002	0,1202
3 x 10 + 1 x 10 + 1 x 2,5	34,5	38	1,950	2,4520	0,1189
3 x 16 + 3 x 6 + 3 x 1,5	38	42	1,240	1,5592	0,1178
3 x 25 + 3 x 10 + 3 x 1,5	43,5	48	0,795	0,9996	0,1122
3 x 50 + 3 x 10 + 3 x 1,5	51,5	57	0,393	0,4942	0,1029
3 x 70 + 3 x 16 + 3 x 1,5	57	63	0,277	0,3483	0,0975
3 x 95 + 3 x 25 + 3 x 1,5	61,5	68	0,210	0,2641	0,0942

**Tabla 35.4. Características técnicas y de aplicación de los cables flexibles aislados con EPR. Tipo DN/3E. nominal 0,6/1kV**

**Tabla 35.4.a. Carga máxima en servicio permanente. Temperatura máxima de servicio en el conductor 85,5 °C**

Sección en mm <sup>2</sup>	Carga en A
2,5	27
4	37
6	47
10	65
16	87
25	114
35	141
50	174
70	217
95	272
120	315

**Tabla 35.4.b. Factores de corrección de la intensidad admisible por variación de la temperatura ambiente**

t °C	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Factor	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

**Tabla 35.4.c. Densidad de corriente de cortocircuito en A/mm<sup>2</sup>**

Duración del cortocircuito (segundo)												
0,005	0,01	0,05	0,08	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1965	1390	621	491	439	310	254	196	139	113	98	88	80

La temperatura máxima en servicio permanente es de 85,5°C y la máxima de cortocircuito 273, °C. De esta manera el incremento de temperatura es de 152 °C.

**Tabla 35.4.d. Características mecánicas**

Sección	Diámetro exterior	
	Mínimo mm	Máximo mm
mm <sup>2</sup>		
3 x 6 + 3 x 6 / 3E + 3 x 2,5	26,5	29,5
3 x 10 + 3 x 10 / 3E + 3 x 2,5	26,5	29,5
3 x 16 + 3 x 16 / 3E + 3 x 2,5	27,5	31
3 x 25 + 3 x 16 / 3E + 3 x 2,5	32,5	36,5
3 x 50 + 3 x 25 / 3E + 3 x 2,5	43,5	47,5
3 x 70 + 3 x 25 / 3E + 3 x 2,5	47	52
3 x 95 + 3 x 50 / 3E + 3 x 2,5	54	59

**Tabla 35.4.e. Características eléctricas**

Sección	Resistencia eléctrica máx. del conductor principal en cc	Resistencia eléctrica máx. del conductor principal a 50 Hz	Reactancia X a la frecuencia de 50 Hz
mm <sup>2</sup>	Ω/km a 20 °C	Ω/km a 85,5 °C	Ω/km por fase
3 x 6 + 3 x 6 / 3E + 3 x 2,5	3,390	4,2626	0,1182
3 x 10 + 3 x 10 / 3E + 3 x 2,5	1,950	2,4520	0,1034
3 x 16 + 3 x 16 / 3E + 3 x 2,5	1,240	1,5592	0,0912
3 x 25 + 3 x 16 / 3E + 3 x 2,5	0,795	0,9996	0,0890
3 x 50 + 3 x 25 / 3E + 3 x 2,5	0,393	0,4942	0,0839
3 x 70 + 3 x 25 / 3E + 3 x 2,5	0,277	0,3483	0,0804
3 x 95 + 3 / 3E + 3 x 2,5	0,210	0,2641	0,0798

**Tabla 35.5. Características técnicas y de aplicación de los cables flexibles aislados con EPR. Tipo DS1N (asimétrico). Tensión nominal 0,6/1kV**

**Tabla 35.5.a. Carga máxima en servicio permanente. Temperatura máxima de servicio en el conductor 85,5 °C**

Sección en mm <sup>2</sup>	Carga en A
2,5	27
4	37
6	47
10	65
16	87
25	114
35	141
50	174
70	217
95	272
120	315

**Tabla 35.5.b. Factores de corrección de la intensidad admisible por arrollamiento**

Número de capas	Factor de corrección
1	0,76
2	0,58
3	0,47
4	0,40

**Tabla 35.5.c. Factores de corrección de la intensidad admisible por variación de la temperatura ambiente**

t °C	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Factor	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

**Tabla 35.5.d. Densidad de corriente de cortocircuito en A/mm<sup>2</sup>**

Duración del cortocircuito (segundo)												
0,005	0,01	0,05	0,08	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1965	1390	621	491	439	310	254	196	139	113	98	88	80

La temperatura máxima en servicio permanente es de 85,5°C y la máxima de cortocircuito 273, °C. De esta manera el incremento de temperatura es de 152 °C.

**Tabla 35.5.e. Características mecánicas**

Sección	Diámetro exterior	
	Mínimo mm	Máximo mm
3 x 4 + 2 x 4 + 1 x 4	22,5	26,5
3 x 10 + 2 x 10 + 1 x 10	35	39
3 x 16 + 2 x 10 + 1 x 10	35	39
3 x 25 + 2 x 10 + 1 x 10	39,5	44
3 x 35 + 2 x 10 + 1 x 10	39,5	44
3 x 50 + 2 x 16 + 1 x 16	44,5	49,5
3 x 70 + 2 x 25 + 1 x 25	52,5	58
3 x 95 + 2 x 25 + 1 x 25	52,5	58

**Tabla 35.5.f. Características eléctricas**

Sección	Resistencia eléctrica a 20 °C	Resistencia eléctrica a 85,5 °C	Reactancia eléctrica a 50 Hz
mm <sup>2</sup>	Ω/km a 20 °C	Ω/km a 85,5 °C	Ω/km por fase
3 x 4 + 2 x 4 + 1 x 4	5,090	6,4040	0,1304
3 x 10 + 2 x 10 + 1 x 10	1,950	2,4520	0,1284
3 x 16 + 2 x 10 + 1 x 10	1,240	1,5590	0,1133
3 x 25 + 2 x 10 + 1 x 10	0,795	0,9990	0,1084
3 x 35 + 2 x 10 + 1 x 10	0,565	0,7100	0,0963
3 x 50 + 2 x 16 + 1 x 16	0,393	0,4940	0,0930
3 x 70 + 2 x 25 + 1 x 25	0,277	0,3480	0,0945
3 x 95 + 2 x 25 + 1 x 25	0,210	0,2640	0,0844

## **ANEXO 10 - 6 MODELO DE INFORME**

El informe definitivo no deberá emitirse, hasta que todos los trabajos previos, estudios, y cuantas actuaciones encaminadas a obtener la información necesaria para el cálculo del perímetro, estén acabados.

Este será breve en la medida de lo posible, pero mostrando todos los pasos y aspectos tratados para su elaboración. No deberá olvidarse que junto a los aspectos técnicos se han de adjuntar las consideraciones legales, económicas o de cualquier otra índole que colabore a su comprensión y defensa ante posibles reclamaciones.

En el deben desarrollarse los apartados que serán mencionados seguidamente y que han sido descritos detalladamente en la presente guía.

### **1. INTRODUCCION**

La introducción del informe sobre un perímetro de protección debe encuadrar dicho perímetro en la política general de protección de la calidad del agua subterránea, (en especial la destinada al consumo humano) y explicar la salvaguarda que ello supone de la salud pública.

Se debe así mismo referenciar los preceptos legales que regulan los perímetros tanto a nivel general (Ley de Aguas) como a nivel particular (Plan Hidrológico de Cuenca y otros).

También se explicará en la introducción quién demanda la elaboración del perímetro, y la relación del estudio con otros o su inclusión en proyectos superiores.

### **2. ESTUDIOS PREVIOS**

#### **2.1 Situación actual del abastecimiento**

2.1.1 PUNTOS DE ABASTECIMIENTO

2.1.2 CONDUCCIONES DE AGUA POTABLE

2.1.3 DEPOSITOS

2.1.4 RED DE ALCANTARILLADO

2.1.5 ESTACIONES DEPURADORAS

#### **2.2 Demanda urbana**

2.2.1 DATOS DE POBLACION Y SU EVOLUCION

2.2.2 VOLUMENES CONSUMIDOS

### **2.3 Aspectos económicos**

### **2.4 Ordenación del territorio**

### **2.5 Marco geológico**

2.5.1. CARTOGRAFIA

2.5.2. LITOSTRATIGRAFIA

2.5.3. TECTONICA

### **2.6 Hidrogeología**

2.6.1 MARCO HIDROGEOLOGICO

2.6.2 ACUIFEROS CAPTADOS POR LOS PUNTOS DE ABASTECIMIENTO

A) GEOMETRIA

B) TIPO DE ACUIFERO

C) FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO

D) PIEZOMETRIA

E) HIDROQUIMICA

2.6.3 HIDROGEOLOGIA DEL ENTORNO DE LAS CAPTACIONES

A) MATERIALES ACUIFEROS

B) EVOLUCION PIEZOMETRICA

C) FLUJO SUBTERRANEO

D) CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS

E) CALIDAD DEL AGUA

### **2.7 Vulnerabilidad del acuífero frente a la contaminación**

2.7.1 INVENTARIO DE FOCOS DE CONTAMINACION

2.7.2 VULNERABILIDAD DE LAS DIFERENTES ZONAS

El apartado de estudios previos contempla como se ve, todos los aspectos que de una u otra forma pueden influir en el dimensionamiento del perímetro. Conviene hacer un análisis especialmente cuidadoso en los siguientes apartados:

- El capítulo dedicado a la situación del abastecimiento, prestará una especial atención a la captación a proteger, describiendo de forma minuciosa, sus características técnicas y constructivas.
- La previsión de demanda futura por cuanto puede modificar los caudales a extraer y ello puede modificar las dimensiones del perímetro.
- La ordenación del territorio.
- La geología e hidrogeología, especialmente con vistas a dejar perfectamente definida la necesidad o no del empleo de criterios hidrogeológicos al calcular el perímetro.
- En el estudio sobre vulnerabilidad debe incluirse una relación de los focos potenciales de contaminación clasificándolos por sus características (areales o puntuales, conservativas, no conservativas).

### **3. PERIMETRO DE PROTECCION DE CADA CAPTACION**

#### **3.1 Analisis de la metodologia empleada**

##### 3.1.1 PROTECCION DE LA CALIDAD

##### 3.1.2 PROTECCION DE LA CANTIDAD

#### **3.2 Zonificación del perimetro de protección**

##### 3.2.1 DELIMITACION Y RESTRICCIÓN DE ACTIVIDADES EN LA ZONA INMEDIATA DE RESTRICCIÓNES ABSOLUTAS

##### 3.2.2 DELIMITACION Y RESTRICCIÓN DE ACTIVIDADES EN LA ZONA PROXIMA DE RESTRICCIÓNES MAXIMAS

##### 3.2.3 DELIMITACION Y RESTRICCIÓN DE ACTIVIDADES EN LA ZONA ALEJADA DE RESTRICCIÓNES MODERADAS

##### 3.2.4 DELIMITACION Y RESTRICCIÓN DE ACTIVIDADES EN LA ZONA DE PROTECCION CONTRA LA INTRUSION MARINA

##### 3.2.5 DELIMITACION Y RESTRICCIÓN DE ACTIVIDADES EN LA ZONA DE REGULACION DE EXPLOTACIONES

Este capítulo recogerá la delimitación y justificación técnica del perímetro diseñado. Antes de la delimi-

tación física del perímetro se incluirá la descripción de la metodología empleada tanto en el apartado de cantidad como en el de calidad, y los datos que ha sido necesario obtener, así como el desarrollo completo (gráfico y/o matemático) que conduce a la concreción del perímetro.

Es importante aclarar con precisión, no sólo el método empleado sino también el criterio que ha conducido a la selección de dicho método.

Se separa protección de cantidad y calidad (3.1.1 y 3.1.2) pues como se ha visto en apartados anteriores requieren de una metodología de estudio diferentes aún cuando conduzcan a la definición de un perímetro único.

Por último (3.2) se procede a la descripción pormenorizada de las diferentes zonas en las que ha sido dividido el perímetro, así como de la restricción de actividades impuestas sobre cada zona.

Cada zona será delimitada mediante una «poligonal envolvente» cuyos vértices serán expresados en coordenadas UTM. Conviene tomar como referencias, puntos singulares del terreno fácilmente identificables y que eviten en la medida de lo posible cualquier confusión (carreteras, vías de tren, vértices geográficos, monumentos característicos, etc.)

En el area inmediata se incluirá además un esquema detallado de su preparación e instalación (limpieza, vallado, etc.)

La restricción de actividades sobre cada zona se presentará en forma de cuadro, en el que se indicarán las actividades prohibidas o condicionadas.

#### **3.3 Mecanismos de control de los perimetros de protección**

Si se ha estimado necesario el diseño de un sistema de control del perímetro, éste deberá incluir al menos tres puntos:

- Justificación técnica detallada de las razones que conducen a esta necesidad.
- Diseño completo del sistema indicando los puntos que han de ser muestreados (incluso la necesidad de realizar piezómetros de control), la frecuencia y fecha de muestreo, y los parámetros a muestrear así como alguna recomendación sobre la toma de muestras, su transporte y conservación.

- Explicación del protocolo de actuación en caso de contaminación o accidente imprevisto, haciendo referencia a los posibles planes existentes a nivel de cuenca, ayuntamiento o comunidad autónoma.

### **3.4 Impacto socioeconómico**

Las restricciones sobre las zonas del perímetro implican muchas veces una fuerte limitación al uso del suelo revistiendo una especial importancia cuando se trata de actividades ya establecidas y por lo tanto preexistentes a la delimitación del perímetro, y es precisamente este punto el que pueda plantear mayores inconvenientes a la hora de aplicar el perímetro de forma práctica. Por ello y en función de las circunstancias particulares de cada perímetro, el correcto desarrollo de este apartado puede ser fundamental.

Tendrá que incluir una valoración exacta de la actividad socioeconómica de la zona, con un análisis en detalle de las áreas que serán afectadas de forma directa (en especial las zonas de restricciones máximas y absolutas) valorándose el costo económico que se derive de la aplicación del perímetro, permitiendo de esta manera que el gestor del agua inicie las actuaciones necesarias para llevar a cabo dicha aplicación.

Deberá incluirse cuantas consideraciones y referencias de tipo legal se estime oportuno en aras de conseguir una mayor claridad en la exposición de la necesidad de limitar las actividades preexistentes y las medidas que pudieran derivarse.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Se resumirá muy escuetamente los trabajos que deben realizarse, las conclusiones que de ellos puede extraerse y cuantas recomendaciones de orden práctico faciliten llevar a buen fin la aplicación del perímetro.

### **ANEXOS**

Por último se deberán incluir los siguientes anexos:

#### **Anexo 1**

Se incluirán las siguientes fichas:

- Resumen de datos municipales
- Inventario de puntos acuíferos
- Análisis químicos
- Inventario de vertidos
- Resumen del perímetro de protección de las captaciones analizadas

#### **Anexo 2**

- Ensayo de bombeo u otros trabajos complementarios cuando haya sido preciso realizarlos.

## ANEXO 10-7 GLOSARIO

### ABSORCION

El proceso por el cual las sustancias en forma sólida, líquida o gaseosa se disuelven o mezclan con otras sustancias.

### ACUIFERO

Formación, grupo de formaciones o parte de una formación que está saturada y es lo suficientemente permeable para transmitir cantidades de agua económicamente rentables a captaciones y manantiales.

### ACUIFERO CONFINADO

Es aquel que está absolutamente aislado en el subsuelo, es decir, rodeado de materiales impermeables por todos sus lados. El nivel de agua en los acuíferos confinados está por encima del techo de dicho material acuífero. Están a presión o en carga, debido al peso de los materiales superiores. El agua que ceden procede de la descompresión de estas capas superiores, cuando se produce la depresión en el nivel piezométrico.

### ACUIFERO LIBRE

Acuífero en el cual el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. El agua que cede es la que tiene almacenada en sus poros.

### ACUIFERO SEMICONFINADO

Es aquel en el que los materiales que lo rodean no son todos impermeables. Así el paquete superior o semiconfinante lo constituyen formaciones semipermeables que permiten el paso del agua de otros acuíferos superiores al inferior semiconfinado.

### ADSORCION

Asimilación de gas, vapor o materia disuelta en una solución acuosa por la superficie del material sólido con el cual está en contacto.

### ADVECCION

Proceso por el cual los solutos son transportados por el flujo de agua subterránea.

### AGRESIVIDAD (AGUAS)

Son aguas agresivas aquellas que por sus características físico-químicas (bajo pH, exceso de  $\text{CO}_2$  disuelto, etc.) provocan la disolución de los materiales con los

que tienen contacto, especial importancia cobran cuando afectan a la entubación o instalación de los sondeos.

### ALTURA MANOMETRICA

Altura que deberá vencer una bomba en un sistema para elevar un caudal de líquido determinado a través de una tubería desde un nivel inferior a otro superior. En el caso más frecuente de realizar la elevación de un líquido entre dos niveles sometidos ambos a la misma presión atmosférica se expresa por:

$$H_m = H_d + Z.$$

Donde:

$H_d$  = altura o desnivel geométrico entre el nivel inferior y superior del líquido.

$Z$  = Pérdida de carga dinámica a lo largo de la tubería instalada incluyendo sus accesorios.

### ANISOTROPIA (ACUIFERO)

Condición bajo la cual una o más propiedades hidráulicas de un acuífero varían en función de la dirección en que se miden.

### ARCILLA (CLAY)

Sedimento detrítico formado por partículas cuyo diámetro es menor de 0,005 mm.

### AREA DE ALIMENTACION O RECARGA (DEL ACUIFERO)

Superficie del acuífero en la cual el agua infiltrada pasará a formar parte de sus recursos.

### AREA DE ALIMENTACION (DE LA CAPTACION)

Zona del área de recarga del acuífero de la cual toda o parte del agua infiltrada puede ser extraída desde la captación.

### AREA DE INFLUENCIA

Zona del área de alimentación en la cual puede apreciarse un descenso piezométrico consecuencia del bombeo.

### AREA DE LLAMADA (ZONA DE LLAMADA)

Parte del área de alimentación en la cual puede apreciarse un descenso piezométrico consecuencia del bombeo, dirigiéndose las líneas de corriente a la captación.

## ARENA (SAND)

Sedimento detrítico formado por partículas cuyo diámetro está comprendido entre 2 mm y 1/16 mm.

## BARRERA HIDROGEOLOGICA

Elemento que modifica el sistema de flujo del agua subterránea restringiendo o impidiendo el citado flujo a través de ella.

## CALIBRACION (MODELO)

Ajuste de los datos de entrada hasta que el ordenador proporcione valores similares a los obtenidos realmente en el campo.

## CAUDAL ESPECIFICO

Cociente entre el caudal bombeado y el descenso de nivel producido por estas extracciones transcurrido un período de tiempo tras el cual los niveles están estabilizados.

## CEMENTO

Pasta química que se deposita posteriormente a los detritos trabándolos.

## CLASTO

Todo fragmento sólido de mineral o roca.

## COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

Cantidad de agua que cede un prisma de acuífero de base cuadrada unitaria cuando se le deprime la unidad. Consecuentemente no tiene dimensiones.

## COEFICIENTE DE DIFUSION MOLECULAR (D)

El coeficiente de difusión en el fluido se calcula mediante la ley de Fick.

$$F = -D \frac{dc}{dx}$$

Donde:

F = Cantidad de masa de una sustancia que pasa por difusión a través de una sección dada por unidad de tiempo [ML<sup>2</sup>T]

C = Concentración del soluto [ML<sup>-3</sup>]

$\frac{dc}{dx}$  = Gradiente de concentración. Es negativo en la dirección de la difusión.

El coeficiente de difusión es dependiente de la temperatura y se expresa en [L<sup>2</sup>/T]

En medios porosos se debe emplear el coeficiente de difusión aparente D\* (D\* < D).

$$D^* = w D$$

Donde:

D = Coeficiente de difusión molecular.

w = Coeficiente empírico que considera el efecto de la fase sólida del medio poroso en la difusión w < 1 predominando los valores de 0,5 a 0,01.

## COEFICIENTE DE DISPERSION HIDRODINAMICA

Parámetro matemático empleado como medida de la dispersión de una sustancia que fluye debido a la suma de los efectos de dispersión mecánica y la difusión molecular en un medio poroso.

Se considera un coeficiente de dispersión longitudinal y otro transversal en función de su orientación respecto a la dirección principal del flujo del agua subterránea definiéndose como:

$$D_L = A_L V_e + D^*$$
$$D_T = A_T V_e + D^*$$

Donde:

D<sub>L</sub> = Coeficiente de dispersión longitudinal [L<sup>2</sup>/T]

D<sub>T</sub> = Coeficiente de dispersión transversal [L<sup>2</sup>/T]

A<sub>L</sub> = Dispersividad longitudinal [L]

A<sub>T</sub> = Dispersividad transversal [L]

V<sub>e</sub> = Velocidad eficaz [L/T]

D\* = Coeficiente de difusión molecular [L<sup>2</sup>/T]

Para velocidades bajas puede considerarse: D = D\*

Para velocidades altas puede considerarse: D = A V<sub>e</sub>

## COLMATACION

Efecto por el cual un material poroso permeable deja de serlo al rellenarse los huecos existentes entre las partículas que lo forman por materiales más finos.

## COLOIDE

Un sistema coloidal consta de partículas en las que al menos una dimensión está comprendida entre 30 y 10.000 Å y de un medio en el cual esas partículas están dispersas. Las partículas se llaman partículas coloidales o fase dispersa; el medio es llamado medio de dispersión o fase continua.

## **CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA**

Ver permeabilidad.

## **CONO DE BOMBEO**

Cono de depresión en el nivel piezométrico producido por el bombeo de una captación.

## **CONO DE DESCENSO**

Ver cono de bombeo.

## **CONTAMINANTE**

Materia o forma de energía extraña a la composición natural del agua que de modo directo o indirecto implique una alteración de su calidad en relación con sus usos posteriores o su función ecológica.

## **DIFUSION**

Es el proceso por el cual los constituyentes iónicos o moleculares de una solución se mueven debido a la influencia de su energía cinética en la dirección de su gradiente de concentración.

La difusión cesa solamente cuando desaparece el gradiente de concentraciones.

El proceso de difusión se conoce como difusión molecular y se mide mediante el coeficiente de difusión molecular.

## **DIFUSION MOLECULAR**

Proceso mediante el cual los solutos son transportados a nivel microscópico debido a las variaciones en la concentración de solutos entre las fases fluidas.

## **DILUCION**

- Inversa de la concentración
- Mezcla de contaminante con el agua propia del acuífero y que de forma paulatina disminuye la concentración inicial de éste.

## **DISPERSION**

Aparición y evolución de una zona de transición entre dos dominios de diferente composición. La evolución de la zona de transición entre dos fluidos miscibles en movimiento, puede ser interpretada como una tendencia hacia la homogeneización química de la composición de la mezcla. Cuando la velocidad es alta la dispersión mecánica es la principal responsable de la dispersión mientras que con velocidades bajas lo es la difusión molecular.

## **DISPERSION HIDRODINAMICA**

Dispersión a nivel macroscópico del frente del soluto durante el transporte debido a la dispersión mecánica y a la difusión molecular.

## **DISPERSION MECANICA**

Procesos por los cuales los solutos son mezclados mecánicamente durante el transporte debido a las variaciones de la velocidad a nivel microscópico.

## **DISPERSIVIDAD**

Propiedad física intrínseca de los medios porosos (y de la sustancia específica o fluido) que determina las características de dispersión del contaminante en ese medio.

Se considera una dispersividad longitudinal y otra transversal en función de su orientación respecto a la dirección principal del flujo del agua subterránea.

Se expresa en unidades de longitud [L].

También se conoce como dispersividad dinámica.

## **ENSAYO DE BOMBEO**

Método de análisis de los pozos de captación de aguas subterráneas y del acuífero en que se encuentran. La metodología de su realización consiste en bombear los pozos y sondeos, bien a caudal constante o bien a caudal variable, siguiendo la evolución del nivel del agua, debida al bombeo, tanto en el mismo pozo de bombeo como en otros cercanos cuando los hubiere. El estudio de las variaciones de los niveles es precisamente en lo que consiste el ensayo de bombeo y lo que permite obtener información, tanto sobre la captación en sí como sobre las características y circunstancias del acuífero en sus inmediaciones.

## **ESPESOR NO SATURADO**

Fracción superior del espesor total del acuífero cuyos poros no se encuentran llenos de agua.

## **ESPESOR SATURADO**

Fracción inferior del total del acuífero cuyos poros se encuentran llenos de agua.

## **EVAPOTRANSPIRACION**

Pérdida de agua de un terreno durante un período de tiempo debido a la evaporación desde el suelo y transpiración de las plantas.

### **EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL**

Evapotranspiración que se produciría en unas condiciones climáticas determinadas si la humedad del suelo fuese ilimitada.

### **EVAPOTRANSPIRACION REAL**

Evapotranspiración que se produce realmente bajo unas condiciones climáticas y de humedad del suelo determinadas.

### **FRENTE DE LLAMADA**

Ancho de la zona de llamada.

### **GRADIENTE HIDRAULICO**

Gradiente producido por el diferente nivel entre dos puntos de una superficie de agua.

### **HETEROGENEIDAD**

Característica de un medio que implica que la propiedades de sus materiales varían de un lugar a otro.

### **HOMOGENEIDAD**

Característica de un medio que implica que las propiedades de sus materiales son idénticas en toda su extensión.

### **INFILTRACION EFICAZ**

Fracción de la infiltración total que contribuye a los recursos del acuífero.

### **ISOBATA**

Curva que une los puntos de una superficie situada a una misma profundidad bajo la tierra o bajo el agua.

### **ISOCRONA**

Línea que pasa por los puntos en los cuales un contaminante tardaría el mismo tiempo en llegar a la captación.

### **ISOHIPSA**

Curva que une puntos de una superficie situados a una misma altura (por encima del nivel del mar).

### **ISOPACAS**

Línea que pasa por todos los puntos de igual espesor.

### **ISOPIEZA**

Línea que pasa por todos los puntos de igual presión hidrostática. En el caso de acuíferos libres se emplea para definir los puntos de igual nivel (que también lo son de igual presión).

### **ISOTROPO**

Un material se dice que es isótropo para una determinada propiedad física cuando el valor que ésta toma es independiente de la dirección en que se mida.

### **LIMO (SILT)**

Sedimento detrítico formado por partículas cuyo diámetro está comprendido entre 1/16 mm y 0,005 mm.

### **LINEA DE FLUJO**

Línea que indica la dirección seguida por el agua subterránea hacia los puntos de descarga. Las líneas de flujo son perpendiculares a las isopiezas.

### **LISIER**

Mezcla de heces sólidas y orines, diluido con agua.

### **MATRIZ**

Pasta detrítica que se deposita simultáneamente con los detritos trabándolos.

### **METABOLITO**

Sustancia producida por el metabolismo de un ser vivo, pueden ser anabolitos cuando resultan de un proceso de síntesis o catabolitos si surgen de un proceso de degradación.

### **MODELO ANALITICO**

Modelo que proporciona soluciones exactas o aproximadas para formas simplificadas de las ecuaciones diferenciales que definen el movimiento del agua y el transporte de solutos.

### **MODELO MATEMATICO DE FLUJO**

Modelo digital para ordenadores que proporciona mediante métodos numéricos una solución aproximada a las ecuaciones diferenciales que definen el flujo del agua subterránea.

## MODELO MATEMATICO DE TRANSPORTE DE SOLUTOS

Modelo matemático que permite predecir el movimiento de solutos (generalmente contaminantes) en un acuífero a lo largo del tiempo.

### NIVEL ESTÁTICO

Es el nivel piezométrico que existe en el acuífero en ausencia de bombeos.

### NIVEL DINAMICO

Nivel del agua en el acuífero modificado por el bombeo.

### NIVEL FREÁTICO

Profundidad a la que se encontrará el agua en un acuífero libre.

### OLIGOTROFICAS (CONDICIONES)

Se denominan así las situaciones de escasez de nutrientes.

### PENETRANTE (CAPTACION)

Un pozo o sondeo atraviesa el acuífero en mayor o menor medida, cuando atraviesa el espesor total del acuífero se dice que es «totalmente penetrante», denominándose «parcialmente penetrante» si solo atraviesa una porción de éste.

### PERIMETRO DE PROTECCION

Area entorno a una captación de aguas en la cual de forma graduada se restringen o prohíben las actividades o instalaciones susceptibles de introducir una contaminación en el agua subterránea.

### PERFIL EDAFOLOGICO

Descripción de los niveles de que consta un suelo entendiéndose éste como el resultado de las transformaciones que sufre la roca madre por efecto de los diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que actúan sobre ella.

### PERMEABILIDAD

Flujo de agua que atraviesa una sección unitaria de acuífero, bajo la influencia de un gradiente unitario a temperatura de campo.

$$K = \frac{c d^2 \gamma}{\mu}$$

Donde:  $K$  = permeabilidad  
 $c$  = constante adimensional  
 $d^2$  = factor que depende de la superficie intergranular  
 $\gamma$  = peso específico del líquido  
 $\mu$  = viscosidad del líquido a la temperatura  $T$

Sus dimensiones son  $[L/T]$ .

### PIEZOMETRO

Sondeo de pequeño diámetro diseñado para servir como punto de observación del agua subterránea (medidas de niveles, toma de muestras, etc.).

### POLIGONAL ENVOLVENTE

Línea poligonal que delimita la extensión del perímetro de protección o de cada una de sus zonas. Normalmente se define mediante una tabla en la cual se reflejan las coordenadas UTM de los vértices de dicha poligonal.

### POROSIDAD

Porcentaje del volumen total de roca o sedimento que es ocupado por huecos tanto aislados como interconectados.

### POROSIDAD EFICAZ

Cantidad de poros interconectados a través de los cuales puede pasar el fluido. Se expresa como porcentaje respecto al volumen total.

### PURINES

Orines descompuestos diluidos con agua.

### RADIO DE INFLUENCIA

Distancia desde el centro de una captación hasta el punto en el que no existen descensos del nivel freático o de la superficie piezométrica debidos al bombeo en dicha captación.

### RADIO DE LLAMADA

Distancia desde la captación hasta el punto donde las líneas de corriente dejan de dirigirse a ella.

### RECUBRIMIENTO

Materiales superpuestos a la roca sin alterar.

## RECURSOS RENOVABLES

Fracción de los recursos que se renuevan de forma natural y puede ser explotada sin afectar a las reservas.

### REGIMEN PERMANENTE

Régimen en el cual el nivel piezométrico permanece invariable o prácticamente invariable después de un cierto tiempo de bombeo o tiempo de estabilización.

### REGIMEN TRANSITORIO (O REGIMEN VARIABLE)

Régimen en el cual el nivel piezométrico va disminuyendo a lo largo del tiempo, sin estabilizarse.

### RESERVAS

Agua contenida en el acuífero susceptible de ser extraída.

### SISTEMA ACUIFERO

Conjunto de materiales de diferente permeabilidad, compuesto de dos o más unidades permeables separadas al menos localmente por materiales impermeables que los independizan pero sin afectar a la continuidad hidrogeológica del sistema a escala regional.

### SOLUTOS

Substancias disueltas en el agua.

### SUPERFICIE PIEZOMETRICA

Superficie que resulta de unir todos los puntos de igual piezometría del acuífero.

### TEXTURA

Resultado que produce en la forma de los clastos la dinámica del transporte.

### TIEMPO DE LLEGADA

Ver tiempo de tránsito.

### TIEMPO DE TRANSITO

Tiempo que transcurre entre la entrada de sustancia en el seno del acuífero y su salida o extracción (ver tiempo de tránsito convectivo y velocidad).

## TIEMPO DE TRANSITO CONVECTIVO

De la noción de velocidad efectiva puede ligarse el tiempo de tránsito convectivo.

$$t_c = \frac{m_e l}{ki}$$

$m_e$  = porosidad eficaz

$l$  = distancia según una línea de corriente entre el punto de inyección y el de muestreo.

$K$  = permeabilidad

$i$  = gradiente hidráulico

## TRANSMISIVIDAD

Volumen de agua que atraviesa una banda de acuífero de ancho unitario en la unidad de tiempo y bajo la carga de un metro. Es representativa de la capacidad que tiene el acuífero para ceder agua. Sus dimensiones son  $[L^2/T]$ .

## TRAZADORES

Sustancias ajenas al acuífero que se introducen en éste de forma artificial y se determinan más tarde en puntos diferentes al de inyección a fin de conocer las características hidrodinámicas del sistema (ver capítulo específico de trazadores).

## UNIDAD HIDROGEOLOGICA

Conjunto de materiales que funcionan hidrogeológicamente de un modo unitario. Puede comprender diversos acuíferos separados localmente por materiales impermeables siempre que estén interconectados hidráulicamente a nivel regional.

## VALVULA DE COMPUERTA

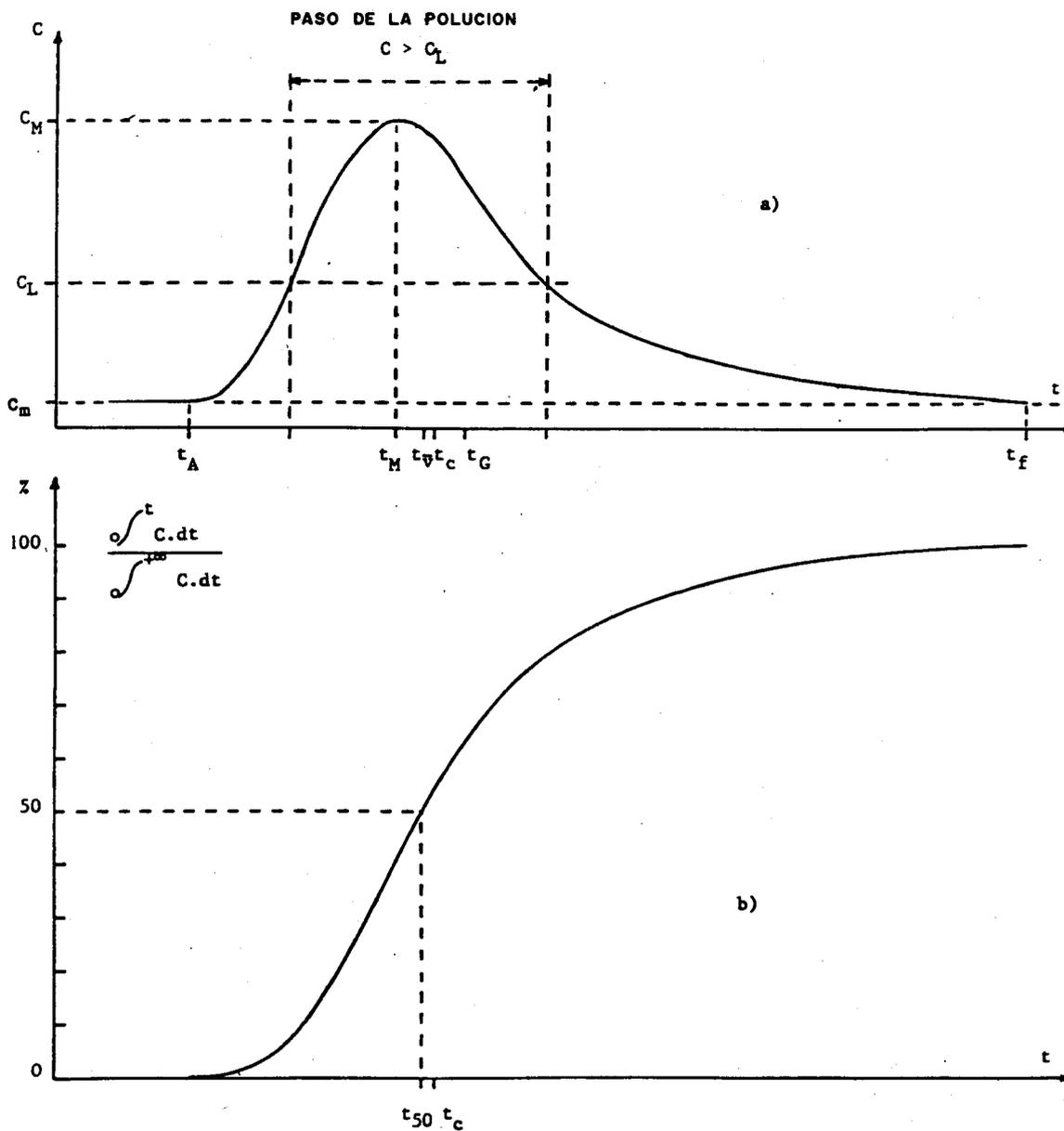
Válvula cuyo objetivo es regular el caudal que pasa por una tubería.

## VALVULA DE RETENCION

Válvula cuyo objetivo es impedir el retorno brusco del agua en una tubería (golpe de ariete) al cesar el bombeo en una captación.

## VELOCIDAD (TRAZADORES)

La velocidad de desplazamiento deducida de los datos obtenidos por experimentación (con trazadores principalmente) puede ser (ver figura 78):



**CURVAS DE SEGUIMIENTO DE UNA INYECCION BREVE**

**a) CURVA DE CONCENTRACION INSTANTANEA - TIEMPO**

**b) CURVA DE CONCENTRACIONES ACUMULADAS**

Fuente: N. Compon; E. Cartier, 1981

**Fig. 78 EVOLUCION DE LA CONCENTRACION FRENTE AL TIEMPO DE UN AGENTE CONTAMINANTE EN INYECCION BREVE.**

- Una velocidad de desplazamiento máxima, obtenida del tiempo de llegada de la primera partícula de contaminante (tiempo de llegada).

$$V_A = \frac{l}{t_A}$$

Este tiempo es relativo pues depende de la concentración preexistente o del límite de detección.

- Velocidad de desplazamiento modal, obtenida del tiempo modal, que es el obtenido al llegar la concentración máxima de trazador.

$$V_M = \frac{l}{t_M}$$

- Una velocidad media correspondiente a un tiempo medio:

$$V = \frac{l}{t}$$

- Una velocidad relativa al tiempo del medio  $t_{50}$

$$V_{50} = \frac{l}{t_{50}}$$

#### VELOCIDAD CONVECTIVA

Ver velocidad efectiva.

#### VELOCIDAD DE DARCY

Producto de la permeabilidad por el gradiente hidráulico,

$$V = Ki$$

Donde: K = coeficiente de permeabilidad.  
i = gradiente hidráulico.

#### VELOCIDAD EFECTIVA

Velocidad media del flujo de agua subterránea a través de las rocas o sedimentos. La velocidad efectiva se puede derivar de la Ley de Darcy, se expresa por:

$$U = \frac{Ki}{m_e}$$

Donde:

K = coeficiente de permeabilidad.

i = gradiente hidráulico.

$m_e$  = porosidad eficaz.

Son sinónimos los términos velocidad convectiva, velocidad eficaz y velocidad masica media.

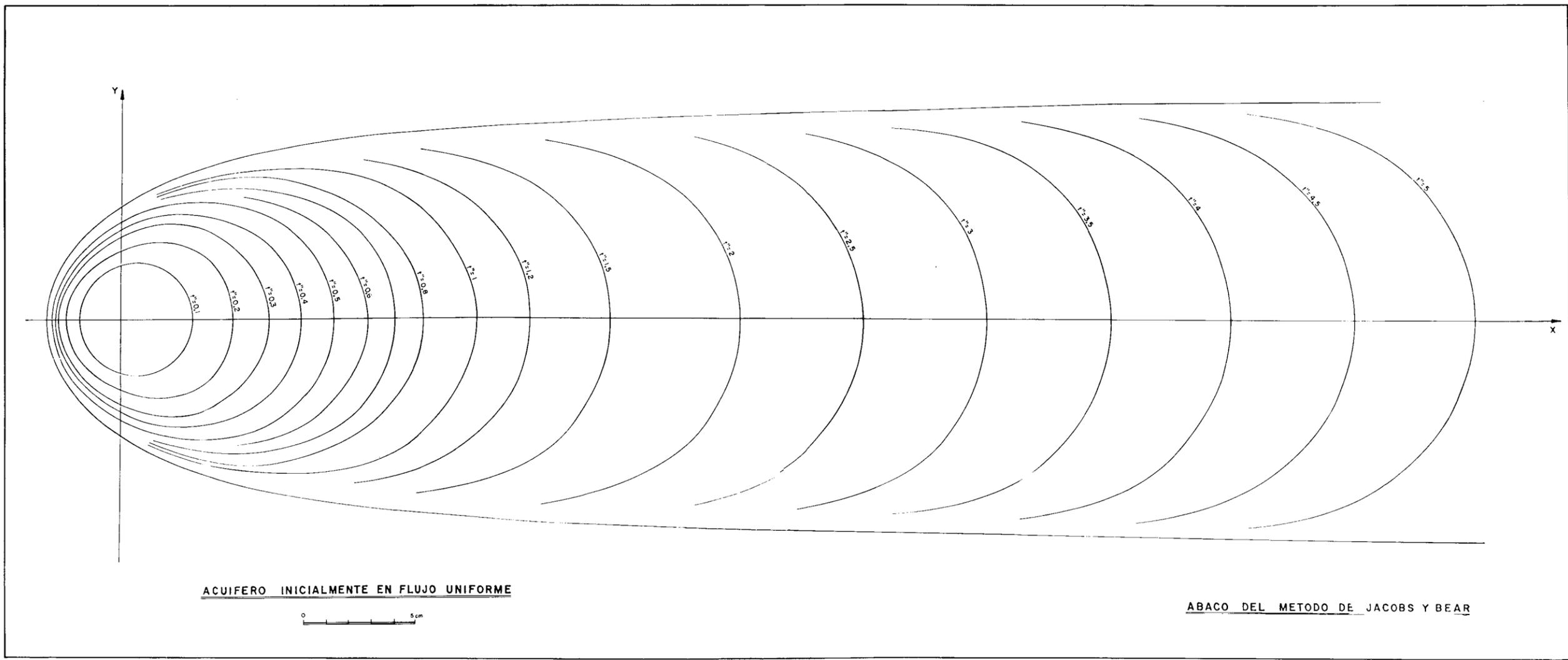
#### VELOCIDAD EFICAZ

Ver velocidad efectiva.

#### VELOCIDAD MASICA MEDIA

Ver velocidad efectiva.





ACUIFERO INICIALMENTE EN FLUJO UNIFORME



ABACO DEL METODO DE JACOBS Y BEAR