

como en dolinas, poljes o cavernas (figura 123). A menudo el agua perdida vuelve a salir en manantiales cársticos bastante lejos de las zonas de pérdida (figura 128). Estas conexiones hidráulicas subterráneas se investigan mediante ensayos de trazadores (véase págs. 93-98).

### Propiedades de los acuíferos cársticos

Los acuíferos cársticos tienen propiedades bastante diferentes de las de los acuíferos de poros (véase págs 18 y 84-90), ya que el agua de carst no se mueve por una matriz de poros más o menos finos con distribución más o menos homogénea, sino por huecos de disolución en forma de canales y cavernas de diámetro irregular y de distribución por el acuífero muy inhomogénea. En estado bien desarrollado los acuíferos cársticos tienen

- un alto grado de heterogeneidad
- conductividad hidráulica (permeabilidad) alta, por los canales de carst de diámetros grandes
- porosidad (= volumen de cavidad) baja. El volumen de las cavidades de carst representa solamente una parte pequeña del total del acuífero (normalmente 0.5-3%). Véase ejemplo siguiente
- variaciones altas del nivel freático, causadas por la porosidad baja. Véase ejemplo siguiente
- velocidades de flujo altas (con excepción de acuíferos cársticos en posición profunda); hasta 150m/h (acuíferos de poros: hasta 30 m/d)
- mineralización generalmente baja, con excepción del carst de yeso
- capacidad de filtración para suspensiones restringida, falta de poros finos
- superficie interna restringida, por eso capacidad de absorción limitada.

Por sus velocidades de flujo altas y sus capacidades de filtración y de absorción bajas, los acuíferos cársticos tienen poca fuerza de autopurificación, así que este tipo de acuíferos es mucho más susceptible a contaminaciones que los acuíferos de poros. En este respecto los acuíferos de grietas ocupan una posición intermedia.

#### Ejemplo: Variaciones de nivel

En un acuífero cárstico con porosidad de 1% un evento de precipitación con infiltración de 50 mm causa un ascenso del nivel freático de  $0.05 \text{ m}/0.01 = 5 \text{ m}$ .

El mismo evento en un acuífero de gravas con porosidad de 20% causa un ascenso del nivel freático de solamente  $0.05 \text{ m}/0.2 = 0.25 \text{ m}$ .

## Bibliografía

- BÖGLI, A.: *Karst Hydrology and Physical Speleology*.— Springer, Berlin etc., 1980.
- BERTLEFF, B., STICHLER, W., STOBBER, I. & STRAYLE, G.: *Geohydraulische und isotope-hydrologische Untersuchungen im Mündungsbereich zwischen Donau und Iller*.— Abh.Geol.Landesamt Baden-Württ., 11, 7-44, Freiburg, 1985.
- BLYTH, F.G.H. & DE FREITAS, M.H.: *Geología para Ingenieros*.— (Trad.del Inglés), CECSA, México, 1989.
- CASTANY, G.: *Principes et Méthodes de l'Hidrogéologie*.— Dunod, Paris, 1982.
- CHURCH, M.: *Electrochemical and Fluorimetric Tracer Techniques for Streamflow Measurements*.— Geo.Abstr., Techn.Bull.12, 1-72, 1975.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R.: *Hidrología subterránea*.— Omega, Barcelona, 1983.
- DAVIS, S.N. & DE WIEST, R.: *Hidrogeología*.— (Trad.del Inglés), Ariel, Barcelona, 1971.
- DE AZEVEDO NETTO, J.M. & ACOSTA ALVAREZ, G.: *Manual de Hidráulica*.— (Trad.del Portugués), HARL, México, 1976.
- FLINT, R.F. & SKINNER, B.J.: *Physical Geology*.— Wiley, New York etc., 1974.
- FREEZE, R.A. & CHERRY J.A.: *Groundwater*.— Englewood Cliffs, New Jersey, 1979.
- FRIED, J.J.: *Dispersionsuntersuchungen in porösen Medien*.— Gas- und Wasserfach (Wasser/Abwasser) 117, 163-168, München 1976.
- FRITZ, P. & FONTES, J.Ch.: *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*. Vol.I: The Terrestrial Environment A.— Amsterdam-Oxford-New York, 1980.

- GABENER, H.-G.: *Über die Abweichungen vom DARCY'schen Gesetz bei der Durchströmung bindiger Böden.*— Bautechnik, **61**, 351–358, Berlin 1984.
- GUIDEBOOK ON NUCLEAR TECHNIQUES IN HYDROLOGY 1983.— Technical Reports Series **91**. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1983.
- HEM, J.D.: *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water.*—U.S.Geol.Surv.Water-Supply-Paper 1437 (1970).
- HERRMANN, R.: *Einführung in die Hydrologie.*— Teubner, Stuttgart, 1977.
- HOEFS, J.: *Stable Isotope Geochemistry.*— New York, 1973.
- JÄCKLI, H.: *Schwankungen des Grundwasserspiegels als Folge von Erdbeben.*— Vierteljahrschrift Naturforsch.Ges.Zürich, **123**, 291–302, Zürich 1978.
- KÄSS, W.: *Geohydrologische Markierungstechnik.*— Lehrbuch der Hydrogeologie, **9**. Berlin — Stuttgart 1992.
- LANGGUTH, H.R. & VOIGT, R.: *Hydrogeologische Methoden.*— Springer, Berlin etc., 1980.
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER, Grupo de Autores): *Pumpversuche in Porengrundwasserleitern.* Arbeitsblatt. Stuttgart, 1979.
- LEET, L.D. & JUDSON, S.: *Fundamentos de Geología Física.*— (Trad. del Inglés), Limusa, México etc., 1986.
- LERNER, D.M., ISSAR, A.S. & SIMMERS, I.: *Groundwater Recharge. A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge.*— Internat.Assoc.of Hydrogeologists, **8**, Hannover, 1990.
- LINSLEY, P.K., KOHLER, M.A. & PAULHUS, J.L.H.: *Hidrología para Ingenieros.*— (Trad.del Inglés), McGraw Hill, México etc., 1983.
- LOHMAN, S., W.: *Hidráulica subterránea.*— (Trad. del Inglés), Barcelona etc., 1977.
- RANGEL, M.: *Hidrogeología de la Ciudad Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, México.*— Tesis de Diploma, Technische Universität Darmstadt, 1989 (mscr.).
- SCHILDKNECHT, F. & SCHNEIDER, W.: *Über die Gültigkeit des DARCY-Gesetzes in bindigen Sedimenten bei kleinem hydraulischem Gradienten-stand der wissenschaftlichen Diskussion.*— Geol.Jb., C 48, Hannover 1987.
- SCHREINER, A.: *Erläuterungen zu Blatt 8119 Eigeltingen.*— Geol.Karte 1:25000 Baden-Württ., Stuttgart 1978.
- SCHWEIZER, R., STOBBER, J. & STRAYLE, G.: *Auswertungsmöglichkeiten und Ergebnisse von Tracerversuchen im Grundwasser.*— Abh.Geol.Landesamt Baden-Württ., **11**, 93–139, Freiburg 1985.
- STOBBER, I.: *Die Anwendbarkeit des DARCY-Gesetzes in der Hydrogeologie—alternative Fliessgesetze.*— Jh.Geol.Landesamt Baden-Württ., **31**, 215–231, Freiburg 1989.

- STRAYLE, G., STOBBER, I. & SCHWEIZER, R.: *Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen.*— Geol. Landesamt Baden-Württ., Informationen **3**, Freiburg 1994.
- VILLINGER, E.: *Über Potentialverteilung und Strömungssysteme im Karstwasser der Schwäbischen Alb (Oberer Jura, SW-Deutschland).*— Geol.Jb., C18, Hannover 1977.
- VILLINGER, E.: *Zur Karsthydrologie des Blautopfs und seines Einzugsgebietes (Schwäb. Alb).*— Abh.Geol.Landesamt Baden-Württ. **8**, 59–127, Freiburg 1978.
- WERNER, J.: *Die Thermalwasserbohrung Saulgau (Württemberg).*— Abh. Geol.Landesamt Baden-Württ. **8**, 129–164, Freiburg 1978.
- WOHLENBERG, J.: *The Subsurface Temperature Field of the Federal Republic of Germany.*— Geol.Jb., Reihe E, H.15, Hannover 1979.

## Índice alfabético

## A

- abatimiento 66, 67, 70, 72, 75  
de presión 59  
absorción 91, 164  
acidez, grado de 107  
ácido carbónico 108  
agresivo 108  
excedente 108  
libre 108  
ligado 108  
ácido silícico (H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) 118  
acuifero 7, 15, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 32, 45, 47, 52, 54, 55, 78, 93, 146  
artesiano 22  
cárstico 18, 19, 84, 85, 86, 187, 90, 113, 118, 158, 164  
cerrado 16  
colgado 24, 37  
confinado 21, 22, 29, 47, 48, 57, 59, 68, 71, 73  
de estratos múltiples 24, 87  
de grietas 18, 19, 32, 84, 85, 86, 87, 90  
de poros 18, 19, 50, 51, 86  
definición 17  
libre 21, 24, 29, 47, 48, 57, 65, 71  
profundo 7, 79, 150  
reacciones elásticas del 59  
semiconfinado 23  
termal 139  
acuífugo 17, 20  
acuitados 17  
aforo 68  
agua  
ácida 121  
adsorptiva 14, 52, 58, 63  
bicarbonatada 112  
capilar 14, 15  
cárstica 160  
clorurada 113  
de cristal 16  
de lluvia 112, 114, 116, 117, 121, 122, 156  
de mar 104, 112, 116, 156  
de mar, intrusiones de 113  
de mezcla 129, 130  
de rellenos sanitarios 105  
de riego 114  
de suelo 15  
definiciones 14  
dura 113  
estancada 112  
fósil 113, 116, 157  
fría 145  
geológica 7  
gravífica 14  
infiltrada 8  
juvenil 7  
libre 14  
lixiviada 110, 120, 151  
mineral 112  
muerta 16  
potable 112, 114, 120, 146  
potable (TSD) 155  
reacciones elásticas del 59  
reducida 119, 121, 122  
salada 157  
suave 113  
subterránea, definiciones 16  
subterránea, pisos de 23  
sulfatada 113  
termal 55, 79, 80, 102, 118, 120, 127, 139, 145, 152  
usada 120  
vadosa 15  
alcalinidad 110, 118  
almacenamiento 6, 12, 13, 39  
cambio de 3, 10, 12, 76  
capacidad de 57, 58, 62, 85  
amoníaco NH<sub>3</sub> 118  
análisis  
granulométricos 50  
químico 102, 110, 111, 120

- ancho de acuífero 48  
anhidrita 16, 122  
aniones 103, 110, 114, 116, 123, 127  
anisotropía 21, 32, 56, 86  
horizontal 70, 79, 87  
vertical 24, 36, 50, 56, 70, 79, 87  
anomalías de calor 151  
arcilla 14, 106  
área lineal 52, 53  
prelineal 52, 53  
área sin flujo 52, 53  
ascenso capilar 117, 118  
atmósfera 6, 7  
autopurificación 164  
avenida 40, 62, 157  
azufre (S) 117
- B**  
B, 110, 120  
bacterias 119  
balance  
de iones 123  
hídrico 7, 10  
químico 110  
bancos de gravas 60  
basamento cristalino 84  
bicarbonato 108, 114, 117  
biósfera 7  
bióxido de carbono 117, 121, 152, 160  
(CO<sub>2</sub>) 104, 107, 108, 120, 121  
bomba térmica 146  
boro 112, 120  
bosques 5
- C**  
Ca<sup>2+</sup>, 106, 115  
CaCO<sub>3</sub>, 103, 108  
calcio 108, 115  
calcita 108  
caliche 156  
calizas 158  
calor solar 145, 147, 150  
terrestre 150  
terrestre, flujo de 145  
cambios climáticos 7  
campo, capacidad de 6, 10, 11, 12, 40, 155  
canal de gravas 34  
canales de carst 53, 85, 164  
capa  
almacenadora, modelo de 89, 90  
conductora, modelo de 89, 90  
semipermeable 79  
capacidad del pozo 76, 77  
capilaridad 12  
captaciones de agua 121  
captaciones de manantiales 28  
carbonato 102, 107, 114, 117, 121, 158, 163  
carst 93, 158  
de conos 163  
de yeso 111, 164  
carstificación 85, 121, 158  
proceso de 107  
carta  
de concentración 126, 128  
hidrogeológica 14, 34, 37, 39, 40  
hidroquímica 124  
isotérmica 152  
piezométrica 30, 31, 32, 33, 34, 37, 49, 89  
cascadas 108  
cationes 103, 106, 110, 114, 123  
cauce de río 7, 13, 28, 32  
caudal 9, 10, 37, 45, 66, 67, 68, 69, 72, 76, 129, 160  
de flujo 47, 48  
específico 53, 60  
técnico 70  
cavernas 160, 163, 164  
cavidades de carst 85, 89  
centipoise 54  
CH<sub>4</sub>, 121, 122  
ciclo hidrológico 3, 5, 6, 8, 16, 134, 140  
Cl<sup>-</sup>, 116  
clasificación química 112  
clima 5, 13, 155, 157  
diagrama de 9  
cloruro 112, 116, 157  
CO<sub>2</sub>, 110, 117, 120, 121  
CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, 117  
coeficiente  
de almacenamiento 57, 58, 62, 63, 64, 70, 72, 75, 79, 83  
de dispersión 92, 95  
de equipo 9, 12  
de permeabilidad 46, 47, 48, 50, 54, 55  
de uniformidad 50, 51  
columna de agua 69, 79  
compresión 59, 82  
concentración de sales 157  
concentración equivalente 123  
condensación 134, 147  
conducción térmica 146  
conductímetro 104  
conductividad  
eléctrica 103, 107, 130, 156  
hidráulica 19, 46, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 85, 93, 164  
térmica 146  
conexión al acuífero 90  
connate water 7  
cono  
de abatimiento (de descenso) 58, 64, 65, 66, 71, 77, 78, 79  
de dispersión 91  
contaminaciones 30, 61, 93, 98, 99, 110, 118, 126, 151, 164

contaminante 62, 92  
 convección 91  
 térmica 146  
 COOPER y JACOB 73  
 corriente de calor geotérmica 146  
 corrosión  
 de enfriamiento 108  
 de mezcla 108  
 cuenca  
 de drenaje 4, 5  
 hidráulica 93  
 hidrogeológica 10  
 cuevas 28, 121  
 curva de paso 98  
 de trazador 95

**D**

D. 137  
 $\delta^{18}\text{O}$ , 134, 138  
 DARCY, Henri 45, 51, 54  
 DARCY, ley de 10, 30, 32, 37, 45, 47, 48, 49, 53, 55, 56, 66, 89, 97  
 DARCY, límites de la ley de 51  
 DARCY, validez de la ley de 52  
 DARCY, velocidad de 46, 47, 60, 98  
 datos climáticos 9, 10, 11, 13  
 $\delta\text{D}$ , 134, 138  
 deformaciones elásticas 82  
 densidad 54, 79  
 descarga 8, 26, 38, 132  
 descargas artificiales 28  
 descenso 65, 67, 69, 70, 72  
 de presión 68  
 residual 70, 72  
 desechos, depósitos de 17  
 desorción 91  
 detergentes 110, 120  
 diaclasas 84, 87  
 diagrama de clima 11  
 diámetro efectivo 50  
 difusión molecular 91, 92  
 difusividad hidráulica 62  
 dipolos de agua 14, 106  
 dirección de flujo 30, 87, 141  
 disociación electrolítica 103  
 disolución 101, 103, 104  
 de carbonatos 109  
 dispersión  
 hidrodinámica 91, 92, 93  
 mecánica 91, 92  
 dispersividad 93  
 dolinas 161, 163, 164  
 dolomías 158  
 drenaje 58, 64, 90  
 dureza 110, 113, 115

**E**

ecuación de balance de agua 12, 13  
 ecuaciones de mezcla 129  
 edad relativa 141  
 edades absolutas 140, 141  
 edades glaciales 138, 157  
 efecto  
 continental 136  
 de altura 134, 136, 147  
 de cantidad 136  
 de evaporación 138, 139  
 de latitud 135  
 de temperatura 134  
 estacional 137  
 paleoclimático 138  
 efectos de pozo 77  
 efluencia 28, 32, 33, 34, 69  
 elasticidad 82  
 energía  
 calorífica 48  
 cinética 48, 53  
 del sol 145  
 geotérmica 145  
 pérdida de 48, 49  
 potencial 48  
 ensayo  
 de acuífero 70, 90  
 de bombeo 51, 56, 61, 63, 64, 66, 70, 76, 77, 89, 98  
 de trazador 63, 93, 95, 98, 161, 164  
 eosina 95  
 equilibrio cal-bióxido de carbono 108, 115  
 erupción 80, 121  
 escombros de talud 26  
 escurrimiento 155  
 en tiempos secos 5  
 subterráneo 4, 5, 8, 10  
 superficial 4, 5, 10, 13, 156  
 espectro-fotometría 95  
 espectrómetro de masa 133  
 espejo de pozo 29  
 espeleología 160  
 espesor del acuífero 32, 37, 48, 56, 57, 66, 68, 89  
 estación pluviométrica 136  
 estalacmitas 161  
 estalactitas 161  
 estándar 133, 141  
 estructura tectónica 87  
 evaporación 3, 4, 5, 11, 13, 117, 132, 139, 147, 148, 157  
 altura de 10  
 potencial 6, 155  
 real 6  
 evaporímetro 6, 9, 10, 11  
 evaporitas 17, 113  
 evapotranspiración 3, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 40, 155

exceso de deuterio 138  
 exfiltración 28, 32, 151  
 exocarst 160  
 explotación 70

**F**

F-, 120  
 falla 27, 34, 84  
 $\text{Fe}^{2+}$ , 119  
 $\text{Fe}^{3+}$ , 119  
 fenómenos cársticos 158  
 filtración 164  
 filtro 65  
 de grava 77  
 flotador con cordel 30  
 fluido 54, 57, 79, 93  
 flujo  
 de calor geotérmico 149  
 horizontal 16  
 laminar 53, 89  
 turbulento 48, 53, 89  
 flujómetro 9, 10  
 fluoruro 120  
 formation water 116  
 fórmula de mezcla 151  
 fósiles 157  
 fraccionamiento de isótopos 133, 134  
 fracturas 84  
 de intemperismo 18  
 franja capilar 16  
 freatofitas 5  
 fricción 48, 53  
 frío de evaporación 148  
 fuerzas LONDON-VAN DER WAALS 14  
 función de THEIS 72

**G**

gas 80  
 gas-lift 80, 121  
 gases 101, 104, 110, 114, 120, 146  
 gases nobles 120, 122  
 geohidráulica 43  
 glaciares 3, 6, 7  
 gradiente 32  
 de flujo 30  
 de inicio 53  
 de la línea recta 78  
 de límite 53  
 geotérmico de temperatura 149  
 hidráulico 46, 47, 48, 49  
 piezométrico 30, 31, 34, 36, 37, 45, 52, 53, 157  
 granulometría 50, 51, 86  
 gravas, canal de 21  
 gravedad 14, 16, 54, 58, 63, 64  
 gravitación 82

grietas 84  
 grupos de salinidad 125  
 grupos químicos 124  
 grutas 162

**H**

$\text{H}_2\text{S}$ , 121, 122  
 HAZEN 50, 51  
 $\text{HCO}_3^-$ , 106, 117, 121  
 helio, temperaturas de 122  
 heterogeneidad 21, 70, 86, 164  
 hidráulica  
 de los acuíferos 43  
 del agua subterránea 43  
 hidrocarburos 54, 112, 120  
 hidrógeno 104  
 hidrogeología  
 aplicada 13, 61, 70, 77, 79, 89, 90, 95, 99, 110, 126, 140  
 de carst 158, 160  
 hidrogeoquímica 99  
 hidrogeotermia 143  
 hidróxido de hierro  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  119  
 hierro 107, 112, 119  
 homogeneidad 19, 86, 90  
 horizonte de manantiales 26  
 horizontes del suelo 5  
 HUBBERT 48  
 humus 160

**I**

inercia 53  
 infiltración 4, 5, 8, 10, 12, 13, 32, 40, 70, 129, 136, 147, 155, 156  
 efectiva 8  
 influencia 32, 33, 34  
 inhomogeneidad 21, 32, 78  
 intercambio  
 catiónico 106, 116, 125  
 de calor 146  
 intercepción 5, 6  
 interface 156  
 interflujo 5  
 inyección 91, 93, 95  
 de sal 10  
 iones 103  
 isopiezas 30, 31, 66  
 isótopo  
 estable 95, 133, 139, 141  
 ligero 133  
 pesado 133  
 radioactivo 133, 140  
 isótopo-hidrología 132  
 isótopos 130, 132  
 isotropía 19, 21, 86

**J**

juntas 89  
de estratos 84

**K**

K<sup>+</sup>, 116, 123  
karren 160  
Karst 158

**L**

lagos 7, 13, 34  
leakance 90  
leaky acuífero 79  
límite de acuífero 78  
línea de flujo 30, 31, 49, 66  
líneas equipotenciales 49  
lisímetro 10, 40  
lodo de perforación 80  
longitud de dispersión 93

**M**

magnesio 115  
manantial 5, 27, 32, 93, 119, 160  
de carst 108, 111, 164  
episódico 161  
frío 147  
intermitente 28, 161  
sub-acuático 27  
termal 111, 130, 147, 150  
tipos de 26  
manganeso 119, 120  
mareas de tierra firme 81, 82  
MARIOTTE 3  
matriz 89  
meq/l, 123  
metales pesados 102, 107, 112  
metano (CH<sub>4</sub>) 120, 122  
meteoric water line 138  
método de línea recta 73, 74, 75  
Mg<sup>2+</sup>, 115  
milidarcy 55  
minas 28  
mineralización 54, 80, 101, 102, 104,  
145, 155, 157, 164  
baja 112, 116  
mmhos/cm, 104  
Mn<sup>2+</sup>, 119, 120  
Mn<sup>4+</sup>, 119, 120  
modelo de dos porosidades 89  
modelos de flujo 50  
montmorillonita 106  
mSiemens/cm, 104  
muestreo 112

**N**

N<sub>2</sub>, 122  
Na<sup>+</sup>, 115, 123  
nitrate 118  
nitrito 118  
nitrogeno (N<sub>2</sub>) 104, 120, 122  
nivel  
de presión 29, 76  
dinámico 65, 66  
estático 65, 66  
freático 15, 29  
piezométrico 8, 29, 31, 38, 40, 79, 80, 81, 82, 90  
piezométrico, variaciones del 37, 80, 83  
nivelación 30, 37  
no-conductoras 17  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 118  
norias 28, 29

**O**

O<sub>2</sub>, 110, 120, 121  
onda de temperatura 149  
OSANN, diagrama de 124, 126  
oxidación 104, 105, 121  
óxido de hierro 105  
oxígeno (O<sub>2</sub>) 104, 105, 120, 121

**P**

paleoclima 138  
parábola de toma 33  
partes por billón [ppb] 103  
partes por millón [ppm] 103  
parteaguas 4, 5, 13, 33, 37, 95, 160  
PENMAN, fórmula de 6  
percolación 16  
pérdida de agua 93, 160, 163  
pérdida de presión 76, 77  
permeabilidad 19, 21, 32, 34, 45, 48, 56, 58, 63, 84,  
85, 87, 89, 90, 121, 158, 164  
baja 14, 23, 24, 51, 52  
baja, rocas de 17  
horizontal 56  
intrínseca 19, 54, 55, 57  
vertical 56  
permeámetro 51  
PERRAULT 3  
peso atómico 123  
peso específico 54, 79, 80  
peso molecular 123  
pH 102, 107, 117, 118, 120  
piezometría 29  
piezómetros 29, 47  
PIPER, diagrama de 124  
pirita 105  
pisos de agua subterránea 36, 84, 112  
plantas 5, 109, 118, 120

pleistoceno (a) 7, 157  
pluviómetro 9, 10  
poljes 163, 164  
poros 47  
poros, intersticios 18  
porosidad 19, 57, 58, 60, 61, 62, 63,  
85, 87, 89, 98, 164  
cinemática 61, 63, 93, 98  
drenable 63  
efectiva 61, 63, 98  
potasio 116  
potencial 56, 63, 68, 79, 90  
hidráulico 23, 36, 45, 48, 49  
redox 102, 106  
pozo  
artesiano 23, 36, 49, 69  
característica de 67, 68, 69  
completo 76  
de bombeo 72  
de monitoreo 29  
de observación 29, 37, 72  
de perforación 28  
incompleto 76, 77  
precipitación 3, 4, 8, 9, 11, 12, 13, 37,  
38, 103, 136, 147, 155, 156  
de bosque 5, 6  
eventos de 40  
presa 34  
presión 49, 52, 122  
artesiana 23, 69  
atmosférica 81  
barométrica 81  
del acuífero 79, 81  
del aire 82  
dinámica 68  
estática 68  
nivel de 22  
parcial 121  
procesos redox 105  
proteínas 118  
puente de medición 10  
**R**  
radio de influencia 66, 68  
radio de pozo 77  
radiocarbón 140  
reacciones de presión 62  
reacciones elásticas 58, 63, 64  
recarga 8, 11, 12, 13, 24, 132, 134, 142, 155  
tasa de 10, 13, 14, 155  
recta meteórica 138  
recuperación 67, 70, 72, 74, 75, 77, 79  
reducción 104, 105  
registros de temperatura de pozos 151  
rendimiento específico 57, 58, 63, 69  
resistencia de entrada 77  
retención 14

REYNOLD, número de 53  
rezume 23, 24, 36, 79, 90  
río infiltrante 62  
roca firme 84  
rocas  
arcillosas 14  
carstificadas 18  
consolidadas 18  
de permeabilidad baja 51

**S**

S<sup>-2</sup>, 122  
sal común 112  
sales 156  
salmueras 104, 112, 114, 115, 116, 117, 120  
saturación 102  
SCHOELLER, diagrama de 124  
sección de flujo 47  
selvas 5  
tropicales 109  
silbato de pozo 30  
sílice 102, 107, 110, 118  
sismos 81, 83  
sistema  
de flujo 24, 99, 145, 148, 150, 151  
hidrogeológico 8, 9, 10, 12, 13, 14, 24, 101  
hidrogeológico cerrado 8  
roca-fluido 54  
SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, 117, 122  
sobre abono 118  
sobreexplotación 13  
sodio 115  
sólidos disueltos, total de 114  
solubilidad 102  
solución 102  
sonda  
acústica 30  
automática 30  
de luz 30  
specific yield 58  
Sr, 110  
subsistencia cárstica 163  
subzona capilar 15  
subzona intermedia 15  
succión capilar 14  
suelo 6, 10, 11, 12, 39, 101, 118, 120, 121,  
141, 155, 156, 160  
capacidad de campo del 8  
humedad de 7  
zona del 15  
suelos arcillosos 14  
sulfato 105, 114, 117  
sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) 105, 117, 120, 122  
sustancias  
orgánicas 105  
sólidas 101  
sólidas disueltas 112

**T**

temperatura 48, 50, 54, 79, 80, 102, 104, 108, 129, 130, 145, 147, 151, 155  
 mediciones de 28  
 tendencia 77  
 tensión de superficie 14  
 teoría de potencial 50  
 THEIS 72  
 THOMPSON, vertedor de medición de 9  
 TICKEL, diagrama de 124, 125  
 tiempo de flujo 96, 97  
 tiempo seco 10  
 tipos aniónicos 112  
 toma de muestras 110  
 total de sólidos disueltos (TSD) 103  
 toxicidad 121  
 tramo de rezume 77  
 transmisibilidad 56  
 transmisividad 56, 58, 62, 66, 70, 72, 75, 78, 79, 83  
 intrínseca 57  
 transpiración 5, 11  
 transporte de sustancias 61, 91  
 travertinos 103, 108  
 traza, constituyentes de 112  
 trazador 62, 91, 92, 95  
 involuntario 120, 140  
 trazadores, ensayos de 61  
 trend 77  
 triángulo hidrológico 30, 31, 34, 89  
 tritio 95, 133, 140  
 de la bomba 140  
 TU (unidad de tritio; tritium unit) 140  
 tubo capilar 14  
 ranurado 37, 65  
 túneles 28

**U**

unidad darcy 54  
 uranina 95, 96

**V**

V-SMOW 133  
 valencia 104, 123  
 variación  
 barométrica 81, 82  
 piezométrica 37, 39, 77  
 rítmica 83  
 variaciones  
 del nivel freático 164  
 estacionales de temperatura 148  
 temporales de recarga 155  
 vegetación 5, 11, 39

velocidad

cinemática 61  
 de camino 59  
 de distancia 47, 60  
 de filtración (de DARCY) 60  
 de flujo 9, 45, 46, 49, 59, 61, 87, 93, 95, 97, 141, 164  
 de flujo efectiva 60, 93  
 de flujo real 59  
 del sonido 62  
 efectiva 60, 98  
 ficticia 60  
 hidrodinámica 60, 61, 97  
 máxima de distancia 62  
 media de distancia 62  
 vertedor de medición 9, 10  
 vida media 140  
 Vienna Standard of Mean Ocean Water 133  
 viscosidad 52, 53, 54  
 volumen  
 de cavidad 164  
 de cavidad cárstica 85  
 de grietas 19, 85  
 de huecos cársticos 19  
 de poros 19, 58, 62  
 representativo elemental 86, 90  
 VRE 86, 90

**Y**

yacimientos  
 de agua potable 157  
 de hidrocarburos 122  
 minerales 99  
 yeso 16, 113, 122, 163

**Z**

zanjas de construcción 28  
 zona (subzona)  
 capilar 15  
 de aeración 119  
 intermedia 15  
 no saturada 12, 15, 24, 101, 141, 156, 158  
 saturada 12, 101, 141, 158, 163  
 vadosa 15, 162  
 zonas áridas 155, 157  
 zonas húmedas 156

$^{14}\text{C}$  moderno, 140  
 $\mu\text{mhos/cm}$ , 104  
 $\mu\text{Siemens/cm}$ , 104  
 $^{13}\text{C}$ , 141  
 $^{14}\text{C}$ , 140  
 $^{18}\text{O}$ , 136  
 $^3\text{H}$ , 140

*Introducción a la hidrogeología se terminó de imprimir en el mes de septiembre de 1996. La edición estuvo al cuidado de la Dirección de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Nuevo León.*

**E**ste libro pretende llenar un hueco en la gama modesta de los libros de texto de hidrogeología disponibles en castellano.

Los caminos y el comportamiento del agua subterránea, generalmente invisibles y por eso considerado como algo misterioso desde tiempos inmemoriales, son el objetivo de la hidrogeología. El autor ha tratado de presentar esta materia complicada en una forma breve mas bién ilustrada por 132 figuras de texto y por ejemplos, tomados en gran parte de su propia experiencia.

La obra servirá para introducir a la hidrogeología general, no solo a los estudiantes de la geología y de las demás ciencias de la tierra, sino también a los de áreas afines, tales como ingeniería civil e hidrología, así como a ecólogos sin formación en hidrogeología que quieran familiarizarse con el agua subterránea.

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ciencias de la Tierra

**Introducción a la Hidrogeología**  
**Joerg Werner**

ISBN 968-6337-89-X / primera edición, 1996  
Linares, Nuevo León, México

