

Índice de tablas.

	Página
Tabla 3.1. Resistividad y conductividad de materiales muy comunes en los estudios de prospección.....	132
Tabla 3.2. Valores de v y de γ para diferentes comportamientos del medio (Stanley et al., 1996).....	140
Tabla 4.1. Valores de los parámetros (RF), B_1 , B_2 y B_3 para tres tipos de reflector (Reynolds, 1997).....	187
Tabla 5.1. Bandas de frecuencia y longitudes de onda correspondientes a cada banda para la propagación en el vacío (Cardama et al., 1993).....	222
Tabla 5.2. Espectro de las ondas electromagnéticas.....	222
Tabla 5.3. Características publicadas por "GSSI" para las cuatro antenas consideradas.....	241
Tabla 5.4. Características de los dipolos de espira de las antenas 3101 y 3102 de GSSI (Duke, 1990).....	241
Tabla 6.1. Parámetros electromagnéticos y características de la propagación de las ondas para el aire y el agua. (Conyers y Goodman, 1997; García, 1997; Hänninen, 1997; Reynolds, 1997; Marshall et al., 1996; Lorenzo, 1994; Pilon et al., 1994; Hänninen et al., 1992; Sutinen, 1992; Carmichael, 1990; Davis y Annan, 1989).....	256
Tabla 6.2. Parámetros electromagnéticos y características de la propagación de las radiofrecuencias y microondas utilizadas para prospección en diferentes tipos de rocas. (Conyers y Goodman, 1997; García, 1997; Hänninen, 1997; Reynolds, 1997; Marshall et al., 1996; Lorenzo, 1994; Pilon et al., 1994; Hänninen et al., 1992; Sutinen, 1992; Carmichael, 1990; Davis y Annan, 1989).....	261
Tabla 6.3. Parámetros electromagnéticos para diferentes tipos de suelos y para materiales no compactados. (Conyers y Goodman, 1997; García, 1997; Hänninen, 1997; Reynolds, 1997; Marshall et al., 1996; Lorenzo, 1994; Pilon et al., 1994; Hänninen et al., 1992; Sutinen, 1992; Carmichael, 1990; Davis y Annan, 1989).....	263
Tabla 6.4. Parámetros electromagnéticos y características de la propagación de las ondas electromagnéticas para materiales utilizados en construcción, para diferentes plásticos y otros elementos no clasificados en las tablas anteriores. (Conyers y Goodman, 1997; García, 1997; Hänninen, 1997; Reynolds, 1997; Marshall et al., 1996; Lorenzo, 1994; Pilon et al., 1994; Hänninen et al., 1992; Sutinen, 1992; Carmichael, 1990; Davis y Annan, 1989).....	264
Tabla 6.5. Valores calculados para la permitividad relativa en función de la porosidad (en tanto por uno) y de la saturación (en tanto por uno) según la ecuación de Hara y Sakayama (1984) (ecuación 6.8).....	286
Tabla 6.6. Valores de la permitividad relativa en una mezcla de arena y arcilla con un porcentaje del 1% de arcilla, en función de la porosidad y de la saturación. Los valores mostrados han sido obtenidos a partir de la ecuación 6.3.....	288

Tabla 6.7. Valores de la permitividad relativa en una mezcla de arena y arcilla con un porcentaje del 5% de arcilla, en función de la porosidad y de la saturación. Los valores mostrados han sido obtenidos a partir de la ecuación 6.3.....	290
Tabla 6.8. Valores de la permitividad relativa en un medio formado únicamente por arena (porcentaje de arcilla: 0%), en función de la porosidad y de la saturación. Los valores mostrados han sido obtenidos a partir de la ecuación 6.3.....	292
Tabla 6.9. Valores de la permitividad relativa en un medio formado por arena (un 90%) y arcilla (un 10%), en función de la porosidad y de la saturación. Los valores mostrados han sido obtenidos a partir de la ecuación 6.3.....	293
Tabla 7.1. Esquema del procedimiento para el procesamiento y la interpretación de datos.....	308
Tabla 7.2. Constantes aplicadas a los filtros pasa bajas utilizados para obtener los registros de la figura 7.13. Rango del radargrama: 40.36 ns.....	343
Tabla 7.3. Balance energético durante la trayectoria considerada en la figura 7.38, teniendo en cuenta únicamente la atenuación producida por transmisión o reflexión de la energía en las discontinuidades bruscas y la atenuación producida por expansión geométrica del frente de ondas durante la propagación.....	391
Tabla 8.1. Dimensiones de la placa metálica para que la huella de la antena quede comprendida en ella. Se han calculado para cada antena considerando la máxima distancia utilizada (Dist. máx.).....	415
Tabla 8.2. Resultados obtenidos con la antena de 900 MHz. En cursiva están los valores más dudosos debido a superposiciones de señales. Los tiempos de la tabla son tiempos simples.....	429
Tabla 8.3. Tiempos medidos sobre los radargramas. ΔT_i es el intervalo de tiempo medido entre el inicio del registro y el inicio de la reflexión. ΔT_d es el intervalo de tiempo medido entre el inicio de la onda directa y el de la reflexión. La posición del cero de la antena se obtiene respecto al inicio del registro, T_i y respecto al inicio de la reflexión, T_d restando a los intervalos de tiempo medidos el tiempo esperado T_e	431
Tabla 8.4. Resultados de los ensayos con la antena de 200 MHz y rango 100 ns. En cursiva las distancias para las cuales se observa superposición de señales. En negrita, la posición del cero. Los tiempos esperados y medidos sobre el registro son tiempos simples. σ es la desviación típica.....	436
Tabla 8.5. Resultados de los ensayos con la antena de 200 MHz y rango 50 ns. En cursiva las distancias para las cuales se observa superposición de señales. En negrita, la posición del cero. Los tiempos esperados y medidos sobre el registro son tiempos simples. Las casillas en blanco indican que, para esa distancia, aunque la reflexión se observa, no se puede determinar su instante de arribo.....	436
Tabla 8.6. Resultados obtenidos para las cuatro antenas. Se indica la posición del cero, tomada desde el inicio de la primera señal (los valores negativos indican que el cero queda situado antes del arribo de esta señal). También se describe su situación y la diferencia entre la distancia existente y la distancia medida cuando se toma como cero el inicio de la señal directa (se ha calculado para el caso del aire).....	438

Tabla 8.7. Valores para distintos medios de la distancia máxima de indeterminación (separación mínima entre antena y reflector para que no se produzca superposición de señales) partiendo de un tiempo de indeterminación (duración del evento inicial) de 1.6 ns.....	443
Tabla 8.8. Valores para distintos medios de la distancia máxima de indeterminación (separación mínima entre antena y reflector para que no se produzca superposición de señales) partiendo de un tiempo de indeterminación (duración del evento inicial) de 2.7 ns.....	447
Tabla 8.9. Valores para distintos medios de la distancia máxima de indeterminación (separación mínima entre antena y reflector para que no se produzca superposición de señales) partiendo de un tiempo de indeterminación (duración del evento inicial) de 9.45 y 15 ns.....	449
Tabla 8.10. Valores de T_0 , considerado este parámetro como la longitud (en el eje de tiempos) de la señal inicial. Se incluyen las distancias correspondientes a este intervalo de tiempo doble sobre el registro para el aire y para el agua.....	451
Tabla 8.11. Resultados de amplitudes, obtenidos con la antena de 900 MHz a diferentes distancias. La amplitud de referencia es $A_0=48$ mm. En la última columna se incluye el residuo.....	455
Tabla 8.12. Resultados obtenidos con la antena de 500 MHz. Amplitudes medidas sobre el papel y amplitudes relativas a la de la onda directa ($A_0=48$ mm). La última fila (E) es la diferencia entre el valor medido experimentalmente y el valor que se obtiene para esa misma distancia con el modelo resultante de la regresión de los datos (residuo).....	457
Tabla 8.13. Resultados de amplitud relativa obtenidos con la antena de 200 MHz y un rango de 100 ns. La amplitud de la señal directa es de 68 mm.....	460
Tabla 8.14. Resultados de amplitud relativa obtenidos con la antena de 200 MHz y un rango de 50 ns. La amplitud de la señal directa es de 58 mm.....	461
Tabla 8.15. Resumen de los coeficientes obtenidos para las tres antenas.....	463
Tabla 9.1. Valores de los parámetros que caracterizan el medio estudiado.....	473
Tabla 9.2. Velocidades y permitividades efectivas resultantes para los diferentes rangos y profundidades de agua. Antena de 900 MHz.....	475
Tabla 9.3. Frecuencia central (f_c), picos de mayor amplitud y ancho de banda (Δf) de los espectros obtenidos tanto en el aire como para diferentes profundidades de agua.....	479
Tabla 9.4. Valores experimentales de los parámetros que caracterizan el medio estudiado para la antena de 900 MHz.....	484
Tabla 9.5. Velocidades y permitividades efectivas resultantes para los diferentes rangos y profundidades de agua. Antena 3100.....	485
Tabla 9.6. Frecuencia central (f_c) y ancho de banda ($\Delta f=f_2-f_1$) y frecuencias de corte f_1 y f_2 , para las observaciones con propagación en agua para la antena 3100 (1 GHz).....	488
Tabla 9.7. Valores experimentales de los parámetros que caracterizan el medio estudiado para la antena de 1000 MHz.....	488
Tabla 10.1. Pesos y porcentajes de las muestras utilizadas en los ensayos.....	499
Tabla 10.2. Resultados del ensayo de granulometría para cada uno de los tamices.....	499

Tabla 10.3. Porcentajes de muestra retenida y muestra que pasa para cada uno de los tamices.....	500
Tabla 10.4. Resultados obtenidos con el ensayo de sedimentación.....	502
Tabla 10.5. Resultados del ensayo para obtener el peso específico del suelo.	505
Tabla 10.6. Resultados de la muestra M1 que dan un valor para la densidad de 1.2 gr/cm ³ y para el contenido de agua de 0.14 gr/cm ³	516
Tabla 10.7. Frecuencias centrales y ancho de banda para los registros de la antena de 900 MHz para cada espesor de suelo. En la primera columna se indica el espesor del material, en la segunda el pico más importante o la frecuencia central a la banda y en la tercera el ancho de banda y las frecuencias de corte.....	518
Tabla 10.8. Frecuencias centrales y ancho de banda para los registros de la antena de 1 GHz para cada espesor de suelo.....	520
Tabla 10.9. Resultados para la antena de 900 MHz (3101 de GSSI). La velocidad calculada con esta antena es de 16 cm/ns y la permitividad efectiva de 3.5.....	524
Tabla 10.10. Resultados para la antena de 1 GHz (3100 de GSSI). La velocidad calculada con esta antena es de 15 cm/ns y la permitividad efectiva de 4.1.....	524
Tabla 10.11. Resultados obtenidos en los ensayos para caracterizar físicamente y geotécnicamente la muestra.....	528
Tabla 10.12. Frecuencias centrales y ancho de banda para los registros de la antena de 900 MHz para cada espesor de suelo. En la primera columna se indica el espesor del material, en la segunda el pico más importante o la frecuencia central a la banda y en la tercera el ancho de banda y las frecuencias de corte.....	529
Tabla 10.13. Picos máximos del espectro, ancho de banda y frecuencias de corte para la antena de 1 GHz para los diferentes espesores.....	531
Tabla 10.14. Resultados para la antena de 900 MHz (3101 de GSSI). La velocidad calculada con esta antena es de 8.6±0.3 cm/ns y la permitividad efectiva de 12±1.....	534
Tabla 10.15. Resultados para la antena 3100 que tiene una frecuencia central en el aire de 1000 MHz. La velocidad calculada con esta antena es de 9.3±0.3 cm/ns y la permitividad efectiva de 10.6±0.9.....	534
Tabla 10.16. Resultados de los ajustes mostrados en la figura 10.17.....	536
Tabla 10.17. Resultados obtenidos en los ensayos para caracterizar físicamente y geotécnicamente la muestra.....	539
Tabla 10.18. Frecuencias centrales y ancho de banda para los registros de la antena de 900 MHz para cada espesor de suelo.....	541
Tabla 10.19. Frecuencias centrales y ancho de banda para los registros de la antena de 1 GHz para cada espesor de suelo.....	542
Tabla 10.20. Resultados para la antena 3101 de GSSI La velocidad calculada con esta antena es de aproximadamente 7.8±0.1 cm/ns y la permitividad efectiva de 14.8±0.5.....	543
Tabla 10.21. Resultados para la antena 3100 de GSSI. La velocidad calculada es de aproximadamente 7.34±0.04 cm/ns y la permitividad efectiva de 16.7±0.2.....	544

Tabla 10.22. Resultados de los ajustes mostrados en la figura 10.22.....	546
Tabla 10.23. Resultados comparativos entre los tres casos. Se puede observar una disminución importante de la velocidad y un aumento de la absorción al disminuir la porosidad y aumentar la saturación.....	554
Tabla 10.24. Valores para la resolución vertical y horizontal para las dos antenas en cada uno de los tres casos ensayados. La resolución horizontal se ha tomado para un espesor de suelo de 37 cm. La frecuencia y el ancho de banda son los característicos de cada antena y los observados en los ensayos.....	556
Tabla 11.1. Datos de cada muestra analizada, necesarios para calcular con un modelo la permitividad dieléctrica relativa de la mencionada muestra.....	570
Tabla 13.1. Resultados de tiempos dobles, velocidades y permitividades para los perfiles de la figura 13.9.....	668
Tabla 13.2. Velocidad de propagación de la onda y profundidad calculada para los reflectores más característicos del radargrama de la figura 13.12, identificados a partir de su tiempo doble de propagación, para los dos valores extremos de la permitividad que se pueden asociar con los materiales del medio.	676
Tabla 13.3. Factor de atenuación (), penetración nominal (d) y relación entre la amplitud de la señal que alcanza la discontinuidad situada a 60 ns de tiempo doble de propagación respecto la amplitud inicial de la onda.....	677
Tabla 15.1. Valores de la resolución vertical estimados para la antena de 500 MHz.....	708
Tabla 16.1. Ejemplos de errores y errores relativos asociados a profundidades para diferentes permitividades y valores de $Err(\epsilon_r)$ (figura 16.9). El tiempo t es tiempo doble.....	774

Índice de tablas de los anexos

	Página
Tabla A2.1. Resultados de la muestra M1. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.2\text{gr/cm}^3$, porosidad $n=60.7\%$ y saturación $S_a=23.6\%$	851
Tabla A2.2. Resultados de la muestra M2. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.5\text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=40.8\%$ y saturación $S_a=28.8\%$	851
Tabla A2.3. Resultados de la muestra M3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.4\text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=52.7\%$ y saturación $S_a=28.5\%$	852
Tabla A2.4. Resultados de la muestra M4. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.4\text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=50.1\%$ y saturación $S_a=24.3\%$	852
Tabla A2.5. Resultados de la muestra M5. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.4\text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=52.9\%$ y saturación $S_a=27.4\%$	853
Tabla A2.6. Resultados de la muestra M6. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.3\text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=53.4\%$ y saturación $S_a=18.8\%$	854

Tabla A2.7. Resultados de la muestra M7. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.4 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=52.5\%$ y saturación $S_a=24.5\%$	854
Tabla A2.8. Resultados de la muestra M8. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.4 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=51.6\%$ y saturación $S_a=25.3\%$	855
Tabla A2.9. Resultados de la muestra M9. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.4 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=53.2\%$ y saturación $S_a=26.1\%$	855
Tabla A2.10. Resultados de la muestra M10. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.5 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=45\%$ y saturación $S_a=41\%$	856
Tabla A2.11. Resultados de la muestra M1. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.5 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=50.1\%$ y saturación $S_a=32.5\%$	857
Tabla A2.12. Resultados de la muestra M2. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.5 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=47.4\%$, saturación $S_a=29.6\%$	857
Tabla A2.13. Resultados de la muestra M3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.7 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=44\%$, saturación $S_a=40\%$	858
Tabla A2.14. Resultados de la muestra M4. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.6 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=45.8\%$, saturación $S_a=36.7\%$	858
Tabla A2.15. Resultados de la muestra M5. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.7 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=43.7\%$, saturación $S_a=39.3\%$	859
Tabla A2.16. Muestra M1 del ensayo E3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.8 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=43.1\%$, saturación $S_a=73.2\%$	860
Tabla A2.17. Muestra M2 del ensayo E3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.9 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=41.1\%$, saturación $S_a=75.5\%$	860
Tabla A2.18. Muestra M3 del ensayo E3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.96 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=43.6\%$, saturación $S_a=67.5\%$	861
Tabla A2.19. Muestra M4 del ensayo E3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.97 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=41.7\%$, saturación $S_a=73.5\%$	861
Tabla A2.20. Muestra M5 del ensayo E3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.98 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=42.8\%$, saturación $S_a=70.6\%$	862
Tabla A2.21. Muestra M6 del ensayo E3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.9 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=39.8\%$, saturación $S_a=65.3\%$	863
Tabla A2.22. Muestra M7 del ensayo E3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.8 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=41.2\%$, saturación $S_a=65\%$	863
Tabla A2.23. Muestra M8 del ensayo E3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.8 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=42\%$, saturación $S_a=62\%$	864
Tabla A2.24. Muestra M9 del ensayo E3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.9 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=38.8\%$, saturación $S_a=71.4\%$	864
Tabla A2.25. Muestra M10 del ensayo E3. Peso específico aparente de $\gamma_n=1.9 \text{ gr/cm}^3$, porosidad $n=40.5\%$, saturación $S_a=67.4\%$	865