

1.2.4.1.4. Daños y consecuencias del fenómeno	49
1.2.4.1.5. Estudio y control de la subsidencia. Medidas de recuperación del nivel piezométrico	50
1.2.4.1.6. Medidas de protección contra las inundaciones	50
1.3. CONCLUSIONES	52
CAPÍTULO 2. LA SUBSIDENCIA EN MURCIA. TOMA DE DATOS. ZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD	
2.1. LA SUBSIDENCIA EN MURCIA	57
2.1.1. Marco hidrogeológico	57
2.1.1.1. Geomorfología	57
2.1.1.2. Climatología y meteorología	57
2.1.1.3. Hidrología superficial	57
2.1.1.4. Hidrología subterránea. El sistema acuífero de las Vegas Media y Baja del Segura	58
2.1.2. Causas del descenso del nivel piezométrico	59
2.1.2.1. La sequía	59
2.1.2.2. Otras causas	59
2.1.2.2.1. La disminución en la alimentación de agua en el terreno	59
2.1.2.2.2. Los caminos de extracción del agua	60
2.1.2.2.3. La eliminación del riesgo de inundación	61
2.1.2.2.4. El aumento de la demanda de agua	61
2.1.3. La explotación de los recursos hidrogeológicos	61
2.1.4. La situación actual de la Cuenca	62
2.1.4.1. Las dos últimas sequías. Medidas del descenso del nivel piezométrico en Murcia	62
2.1.4.1.1. La sequía de los años 80	62
2.1.4.1.2. La sequía de los años 90	63
2.1.4.2. Estado general de los acuíferos	64
2.1.5. Registros de subsidencia y danos provocados	64
2.1.5.1. Valores de asiento del terreno	64
2.1.5.2. Situación de los edificios con danos	65
2.1.5.3. Danos generales	66
2.1.5.4. Exigencias de responsabilidades	69
2.1.5.5. Relación entre las lesiones y las tipologías estructurales y de cimentación	69
2.1.5.5.1. Distribución de las lesiones en función de la altura de los edificios	69
2.1.5.5.2. Variación de las lesiones según el tipo de cimentación	70
2.1.5.5.3. Relación de las lesiones con las soluciones que combinan diferentes tipologías estructurales y de cimentación	75
2.1.5.6. Estabilización de los asientos	75

2.2. ESTUDIO DEL TERRENO DE LA CIUDAD DE MURCIA	75
2.2.1. Datos para el estudio	75
2.2.2. El perfil del terreno en Murcia	75
2.2.2.1. Caracterización general	75
2.2.2.2. Distribución de la potencia y las profundidades de los estratos en el casco urbano de Murcia	76
2.2.2.2.1. <i>Profundidad del relleno (capas 1)</i>	76
2.2.2.2.2. <i>Espesor y profundidad del muro de la capa de arcilla (capas 2)</i>	76
2.2.2.2.3. <i>Espesor y profundidad del muro de la capa de arena (capas 3)</i>	77
2.2.2.2.4. <i>Profundidad del techo y fondo de la capa de gravas (capa 4)</i>	77
2.2.2.3. Corte medio del terreno del casco urbano de Murcia	78
2.2.3. Estratos del subsuelo de Murcia y propiedades geotécnicas	79
2.2.3.1. Estratos del subsuelo de Murcia	79
2.2.3.2. Valores medios de los parámetros geotécnicos	80
2.2.4. Ensayos edométricos	80
2.3. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA DE LA CIUDAD DE MURCIA	81
2.3.1. Datos del nivel piezométrico en Murcia	81
2.3.1.1. Fuentes de procedencia de los datos	81
2.3.1.2. Evolución general	82
2.3.1.2.1. <i>Variaciones estacionales</i>	82
2.3.1.2.2. <i>Variaciones interanuales</i>	82
2.3.2. Estudio de las variaciones piezométricas interanuales	83
2.3.2.1. Evolución piezométrica de cada localización	83
2.3.2.2. Distribución de las variaciones piezométricas en el casco urbano	83
2.3.2.3. Zonificación piezométrica del casco urbano de Murcia	84
2.3.2.4. Elección de los pozos con mayores descensos del nivel piezométrico	85
2.4. LAS CIMENTACIONES DE LOS EDIFICIOS DE MURCIA	86
2.5. CONCLUSIONES	87

CAPÍTULO 3. **EL USO DE LA CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL EN LA PREDICCIÓN DE LA SUBSIDENCIA PARA UN DESCENSO CONOCIDO DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO**

3.1. EL ESTUDIO DE LA SUBSIDENCIA. UNA REVISIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO	91
3.1.1. Revisión de modelos adoptados en el estudio de la subsidencia	91
3.1.2. La solución unidimensional para la subsidencia	91

3.2. LA ECUACIÓN UNIDIMENSIONAL PARA LA SUBSIDENCIA DE UN SUELO SATURADO	92
3.2.1. Soluciones explícitas	94
3.2.1.1. Solución general	94
3.2.1.2. Variación lineal de h	98
3.2.2. Resolución por métodos de cálculo numérico	101
3.2.2.1. Cálculo de presiones intersticiales	101
3.2.2.1.1. <i>Diferencias finitas</i>	101
3.2.2.1.2. <i>Método de predictor-corrector</i>	103
3.2.2.2. Cálculo de asientos	104
3.3. LA ECUACIÓN UNIDIMENSIONAL PARA LA SUBSIDENCIA DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO	118
3.3.1. Resolución por diferencias finitas	122
3.3.2. Resolución por el método de predictor-corrector	127
3.4. LA SUBSIDENCIA UNIDIMENSIONAL EN UN ESTRATO COMPRESIBLE PROFUNDO SEGÚN SU CONSOLIDACIÓN	135
3.5. CONCLUSIONES	139
CAPÍTULO 4. CÁLCULO DE LA SUBSIDENCIA PRODUCIDA EN LAS LOCALIZACIONES MÁS DESFAVORABLES DE MURCIA	
4.1. SELECCIÓN DE SONDEOS REPRESENTATIVOS	143
4.1.1. Conceptos de elección	143
4.1.2. Datos de los puntos seleccionados	143
4.2. CÁLCULO DE LA SUBSIDENCIA	144
4.2.1. Sondeo S'13. Pozo P17	144
4.2.2. Sondeo S'46. Pozo P20	148
4.2.3. Sondeo SR1. Pozo P35	152
4.2.4. Sondeo S'16. Pozo P34	156
4.2.5. Sondeo S'18. Pozo P58	159
4.2.6. Sondeo S1. Pozo P18	163
4.3. CONCLUSIONES. CUADRO RESUMEN DE LOS CÁLCULOS REALIZADOS	167

CAPÍTULO 5. CÁLCULO DE ROZAMIENTO NEGATIVO EN PILOTES PRODUCIDO POR LA SUBSIDENCIA UNIDIMENSIONAL

5.1. EFECTO DE LA SUBSIDENCIA SOBRE LAS CIMENTACIONES PROFUNDAS	171
5.1.1. Interacción suelo-cimentación	171
5.1.2. Rozamiento negativo en pilotes provocado por la subsidencia	171
5.1.2.1. Origen del fenómeno	171
5.1.2.2. Resistencia del pilote con rozamiento negativo	172
5.1.2.3. Desarrollo del fenómeno según el tipo de pilote	173
5.1.2.4. Influencia de la tasa de asiento del terreno	175
5.1.2.5. Rozamiento negativo en pilotes cargados inicialmente en cabeza	175
5.2. MÉTODO DE CÁLCULO	176
5.2.1. Revisión de los métodos de cálculo empleados para el rozamiento negativo en pilotes	176
5.2.2. Método elasto-plástico para el cálculo de pilotes	177
5.2.2.1. Hipótesis de cálculo	177
5.2.2.2. Datos de partida	177
5.2.2.3. Proceso de cálculo	178
5.2.2.4. Salida de resultados	180
5.2.3. Incorporación de la subsidencia	180
5.2.3.1. Modificación del programa	180
5.2.3.2. Chequeo del programa	181
5.2.3.2.1. <i>Pilote columna</i>	181
5.2.3.2.2. <i>Pilote flotante</i>	182
5.3. CÁLCULO DEL ROZAMIENTO NEGATIVO EN LOS PUNTOS DE MURCIA MÁS DESFAVORABLES EN CUANTO A LA SUBSIDENCIA	186
5.3.1. Pilotes	186
5.3.1.1. Sondeo S'25. Pozo P39	186
5.3.1.1.1. <i>Pilote empotrado</i>	187
5.3.1.1.2. <i>Pilote flotante</i>	190
5.3.1.2. Sondeo S'46. Pozo P20	193
5.3.1.2.1. <i>Pilote empotrado</i>	193
5.3.1.3. Sondeo S1. Pozo P18	196
5.3.1.3.1. <i>Pilote empotrado</i>	197
5.3.1.3.2. <i>Pilote flotante</i>	200
5.3.2. Micropilotes	203
5.3.2.1. Sondeo S'16. Pozo P34	203
5.3.2.1.1. <i>Micropilote empotrado</i>	204
5.3.2.1.2. <i>Micropilote flotante</i>	207

5.3.2.2. Sondeo S1. Pozo P18	210
5.3.2.2.1. Micropilote empotrado	210
5.3.2.2.2. Micropilote flotante	213
5.4. CONCLUSIONES. CUADRO RESUMEN DE LOS CÁLCULOS DE ROZAMIENTO NEGATIVO REALIZADOS	216
CAPÍTULO 6. EFECTOS SOBRE LOS EDIFICIOS. MEDIDAS CONTRA LA SUBSIDENCIA. CONCLUSIONES GENERALES	
6.1. EFECTOS SOBRE LOS EDIFICIOS	223
6.1.1. El asiento del terreno	223
6.1.1.1. Los asientos diferenciales	223
6.1.1.2. Relación con la normativa	224
6.1.1.3. Recuperación de los asientos	225
6.1.2. Relación de los asientos con las tipologías de cimentación	225
6.2. ACTUACIONES PARA FRENAR LA SUBSIDENCIA EN MURCIA	227
6.2.1. Necesidad de creación de una comisión de seguimiento	227
6.2.2. Medidas contra la subsidencia	227
6.2.2.1. Medidas para la recuperación del nivel piezométrico	227
6.2.2.2. Medidas a nivel de proyecto	229
6.2.2.3. Medidas en los edificios con danos	230
6.3. CONCLUSIONES GENERALES	231
6.4. APORTACIONES. UTILIDAD DEL TRABAJO	236
6.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ABIERTAS	237
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	241