

José Luis de Justo Alpañés
(coordinador)

PILOTES



Editorial Universidad de Sevilla

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

PILOTES



Editorial Universidad de Sevilla

Colección: Monografías de Escuela Técnica Superior de Ingeniería

DIRECTOR DE LA COLECCIÓN

Rodríguez Rubio, Francisco. Universidad de Sevilla

CONSEJO DE REDACCIÓN

Arahal Junco, Consuelo. Universidad de Sevilla

Carballar Rincón, Alejandro. Universidad de Sevilla

Limón Marruedo, Daniel. Universidad de Sevilla

Rodríguez Luis, Alejandro José. Universidad de Sevilla

Rodríguez Rubio, Francisco. Universidad de Sevilla

Salas Gómez, Francisco. Universidad de Sevilla

COMITÉ CIENTÍFICO

Aracil Santonja, Javier. Universidad de Sevilla y Universidad de Málaga

Bernelli Zazzera, Franco. Politecnico di Milano

Chinesta, Francisco. École Centrale de Nantes

Félez Mindan, Jesús. Universidad Politécnica de Madrid

Gallego Sevilla, Rafael. Universidad Politécnica de Madrid

García-Lomas Jung, Francisco Javier. Universidad de Sevilla

Giner Maravilla, Eugenio. Universidad Politécnica de Valencia

González Díez, Isabel. Universidad de Sevilla

Montañés García, José Luis. Universidad Politécnica de Madrid

Montes Martos, Juan Manuel. Universidad de Sevilla

Navarro Esteve, Pablo José. Universidad Politécnica de Valencia

Ollero de Castro, Pedro. Universidad de Sevilla

Verdú, Sergio. Princeton University

José Luis de Justo Alpañés
(coordinador)

PILOTES



SEVILLA 2023

Colección: Monografías de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería
de la Universidad de Sevilla

Núm.: 25

COMITÉ EDITORIAL:

Araceli López Serena
(Directora de la Editorial Universidad de Sevilla)

Elena Leal Abad
(Subdirectora)

Concepción Barrero Rodríguez

Rafael Fernández Chacón

María Gracia García Martín

María del Pópulo Pablo-Romero Gil-Delgado

Manuel Padilla Cruz

Marta Palenque

María Eugenia Petit-Breuilh Sepúlveda

Marina Ramos Serrano

José-Leonardo Ruiz Sánchez

Antonio Tejedor Cabrera

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de la Editorial Universidad de Sevilla.

© Editorial Universidad de Sevilla, 2023
C/ Porvenir, 27 - 41013 Sevilla.
Tlfs.: 954 487 447; 954 487 451; Fax: 954 487 443
Correo electrónico: info-eus@us.es
Web: <https://editorial.us.es>

© José Luis de Justo Alpañés (coord.), 2023

© De los textos, los autores, 2023

Impreso en papel ecológico
Impreso en España-Printed in Spain

ISBN (PDF) 978-84-472-2503-3

DOI: <https://dx.doi.org/10.12795/9788447225033>

Diseño de cubierta: Santi García

Maquetación: Santi García. santi@elmaquetador.es

Realización electrónica: Editorial Universidad de Sevilla

Índice

Prólogo	15
<i>Eduardo Alonso Pérez de Ágreda</i>	
1. Introducción, tipología y construcción de pilotes	19
<i>J.L. Arcos Álvarez</i>	
1.1. Historia	19
1.1. Objeto de los pilotes	21
1.3. Clasificaciones de los tipos de pilote	25
1.4. Pilotes <i>in situ</i> de extracción	26
1.4.1. Pilotes con entubación recuperable (camisa recuperable)	31
1.4.2. Pilotes de entubación definitiva (camisa perdida)	31
1.4.3. Pilotes perforados con lodos	33
1.4.4. Pilotes en seco, sin entubación	34
1.4.5. Pilotes de barrena continua	35
1.4.6. Pilotes perforados de gran diámetro	39
1.4.7. Elementos de pantalla ("barrettes")	40
1.5. Pilotes prefabricados hincados	40
1.5.1. La hinca de pilotes	45
1.6. Otros tipos de pilotes de desplazamiento	50
1.6.1. Pilotes de desplazamiento hormigonados <i>in situ</i>	50
1.6.2. Pilotes apisonados	50
1.6.3. Pilotes metálicos	50
1.6.4. Pilotes de madera	52
1.7. Otros usos de los pilotes	53
1.8. Comparación entre diversos tipos de pilotes	53
1.9. Normativa sobre pilotes	54

2. Resistencia de un pilote aislado sometido a compresión axial	57
<i>J.D. Bauzá Castelló y A. Morales Esteban</i>	
2.1. Hundimiento de un pilote	57
2.2. Capacidad portante de un pilote bajo compresión axial	59
2.3. Componentes de la capacidad portante de un pilote	60
2.4. Consideraciones geométricas	62
2.4.1. Características geotécnicas	62
2.4.2. En relación con el área lateral del pilote	62
2.4.3. Área de la punta	63
2.4.4. Tamaño del pilote	63
2.5. Caracterización del terreno	64
2.5.1. Parámetros geotécnicos relevantes	64
2.5.2. Consideraciones sobre el ensayo SPT	64
2.6. Cálculo de la resistencia en terrenos heterogéneos	66
2.6.1. Resistencia por el fuste	67
2.6.2. Resistencia por la punta	67
2.7. Métodos de cálculo de la resistencia de un pilote	70
2.8. Método basado en los parámetros de Mohr-Coulomb	72
2.8.1. Condiciones de aplicación	72
2.8.2. Resistencia unitaria por la punta	72
2.8.3. Resistencia unitaria por el fuste	74
2.8.4. Limitaciones a la resistencia por la punta: profundidad crítica	77
2.8.5. Cálculo en suelos cohesivos saturados en situaciones no drenadas	77
2.9. Cálculo en función del ensayo de penetración SPT	79
2.10. Cálculo a partir de ensayos de penetración estática	82
2.11. Cálculo a partir de ensayos presiométricos	83
2.12. Resistencia de un pilote empotrado en roca	85
2.12.1. Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera	86
2.12.2. Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias ROM 0.5	88
2.12.3. Código Técnico de la Edificación	89
2.13. Coeficiente de seguridad	90
2.14. Resistencia estructural	91
3. Fórmulas de hincas y análisis de la ecuación de onda	93
<i>R. Gil Lablanca y J.L. Arcos Álvarez</i>	
3.1. Fórmulas de hincas	93
3.1.1. Introducción	93
3.1.2. Fundamento	94
3.1.3. Fórmulas dinámicas	96
3.1.3.1. Fórmula de Hiley	96

3.1.3.2. Fórmula Holandesa	100
3.1.3.3. Fórmula Holandesa Modificada	100
3.1.3.4. Fórmula del Engineering News	100
3.1.3.5. Fórmula de Gates	101
3.1.3.6. Fórmula de la energía medida	101
3.1.4. Limitaciones de las fórmulas de hinca	101
3.2. Análisis de ecuación de onda	102
3.3. Efectos del tiempo en la resistencia de los pilotes	105
4. Resistencia de pilotes a tracción	109
<i>J.L. Justo Alpañés y A. Morales Esteban</i>	
4.1. Introducción	109
4.2. Resistencia estructural	109
4.3. Fisuración del hormigón armado	110
4.4. Resistencia al arrancamiento	115
4.4.1. Resistencia unitaria por el fuste en arenas	116
4.4.2. Resistencia al arrancamiento de pilotes sometidos a cargas oblicuas	123
4.4.3. Resistencia unitaria por el fuste en arcillas	124
4.4.4. Pilotes helicoidales	128
5. Cálculo de asientos de un pilote aislado sometido a carga axial	129
<i>E. de Justo Moscardó</i>	
5.1. Introducción	129
5.2. Métodos semiempíricos	129
5.3. Métodos analíticos	130
5.4. El método de la ecuación integral	131
5.4.1. Definición del problema e hipótesis simplificadoras	131
5.4.2. Discretización del pilote y del terreno	132
5.4.3. Ecuaciones de desplazamiento del terreno	132
5.4.4. Ecuaciones de desplazamiento del pilote	133
5.4.5. Compatibilidad de desplazamientos	135
5.4.6. Consideración de terreno estratificado	135
5.4.7. Consideración del deslizamiento entre pilote y terreno	135
5.4.8. Estimación de parámetros del terreno	136
5.5. Ejemplo	137
5.6. Apéndice – integración de las ecuaciones de Mindlin para el cálculo de asientos del terreno	138
6. Ensayos de carga en cimentaciones profundas	143
<i>J.D. Bauzá Castelló y R. Gil Lablanca</i>	
6.1. Introducción	143
6.2. Clasificación y tipos de pruebas de carga	145

6.2.1. Tipos de ensayos	145
6.2.2. Objeto de la prueba de carga	145
6.3. Instrumentación de las pruebas de carga	146
6.4. Pruebas de carga estática	147
6.4.1. Fundamento	147
6.4.2. Ensayos de carga estática a compresión	148
6.4.2.1. Instrumentación y sistemas de reacción	148
6.4.2.2. Procedimiento de carga	151
6.4.2.3. Interpretación de los resultados	152
6.4.2.4. Otros procedimientos de carga	155
6.4.3. Ensayos de carga estática a tracción	156
6.4.3.1. Instrumentación y sistemas de reacción	156
6.4.3.2. Interpretación de los resultados	158
6.4.4. Ensayos de carga estática lateral	158
6.4.4.1. Instrumentación y sistemas de reacción	158
6.4.4.2. Procedimiento de carga e interpretación de los resultados	160
6.5. Pruebas de carga bidireccional	160
6.5.1. Fundamento	160
6.5.2. Interpretación de resultados	163
6.5.3. Particularidades de las pruebas de carga bidireccionales	163
6.6. Pruebas de carga dinámica	165
6.6.1. Fundamento	165
6.6.2. Instrumentación y equipo	166
6.6.3. Métodos de interpretación	169
6.6.3.1. Método directo CASE	169
6.6.3.2. Métodos basados en la modelización matemática	172
6.6.4. Aplicación de las pruebas de carga dinámicas a pilotes perforados	173
6.6.5. Características específicas de las pruebas dinámicas	175
6.7. Ensayos de carga rápida	177
6.7.1. Ensayos de carga rápida	177
6.7.2. Tipos de ensayo de carga rápida	178
6.7.2.1. Método Statnamic	178
6.7.2.2. Método StatRapid	179
6.7.3. Análisis e interpretación de los resultados	181
6.7.4. Otros aspectos específicos de las pruebas de carga rápida	185
6.8. Frecuencia de los ensayos de carga	185
6.9. Obtención de la carga de trabajo de un pilote a partir de pruebas de carga	187
6.10. Aspectos constructivos	188

7. Pilotes sometidos a carga lateral	191
<i>P. Durand Neyra y J. M. Sánchez Langeber</i>	
7.1. El pilote aislado sometido a carga lateral	191
7.2. Resistencia lateral de un pilote aislado	192
7.2.1. Teoría de Broms	192
7.2.1.1. Suelos cohesivos	193
7.2.1.2. Suelos no cohesivos	197
7.2.2. Normativas. CTE	201
7.2.2.1. CTE-SE-C. Carga de rotura del pilote sometido a carga lateral	202
7.3. Desplazamiento lateral y esfuerzos del pilote aislado	208
7.3.1. Modelo de Broms	208
7.3.1.1. Módulo k_n constante con la profundidad (arcillas)	210
7.3.1.2. Módulo k_n que varía linealmente con la profundidad (arenas)	212
7.3.2. Modelo p - y	215
7.3.2.1. Curva p - y de Matlock (1970)	216
7.3.2.2. Curva p - y de Reese <i>et al.</i> (1974)	218
7.3.3. Método elástico	220
7.4. Normativas para el pilote aislado. CTE	225
7.4.1. Normativa CTE: Desplazamiento del pilote aislado sometido a carga lateral	226
7.4.2. CTE. Cálculo de esfuerzos cuando se sustituye el pilote por una varilla rígida	230
7.5. Otras normativas. Recomendaciones geotécnicas para obras marítimas r.O.M.-0.5-05	231
7.6. Resistencia lateral de un grupo de pilotes	232
7.7. Desplazamiento de un grupo de pilotes sometido a carga lateral	235
7.7.1. Método del coeficiente de balasto	235
7.7.2. Método elástico	236
7.8. Normativas para grupos de pilotes. CTE SE-C	240
7.8.1. Resistencia del terreno frente a acciones horizontales	240
7.8.2. Movimientos horizontales	240
7.8.2.1. Pilotes articulados en cabeza	241
7.8.2.2. Pilotes empotrados en cabeza	243
7.8.3. Esfuerzos en los pilotes	245
8. Rozamiento negativo	247
<i>M. Vázquez Boza</i>	
8.1. Introducción	247
8.2. Rozamiento negativo provocado por el asiento de un suelo subconsolidado	247
8.3. Rozamiento negativo producido por un descenso del nivel freático	251
8.4. Rozamiento negativo debido a la hinca de pilotes	252
8.5. Reducción del rozamiento negativo	253

9. Pandeo de pilotes	255
<i>J.L. Justo Alpañés y A. Morales Esteban</i>	
9.1. Introducción	255
9.2. Problemas de pandeo	255
9.3. Ecuación diferencial del pandeo	256
9.4. Hipótesis del coeficiente de balasto	258
9.4.1. Pilotes totalmente embebidos en el terreno	258
9.4.2. Pilotes parcialmente embebidos en el terreno	261
9.5. Suponiendo un terreno lineal-elástico	262
9.6. Otros métodos	262
10. Grupo de pilotes verticales bajo carga vertical	265
<i>J.L. Justo Alpañés y M. Vázquez Boza</i>	
10.1. Introducción	265
10.2. Separación entre los pilotes de un grupo	266
10.3. Carga de hundimiento de un grupo de pilotes bajo carga vertical y centrada	267
10.3.1. Carga de hundimiento de un grupo de pilotes en arcilla	267
10.3.2. La carga de hundimiento de grupos de pilotes en arena	270
10.3.3. Distribución de la carga entre pilotes	271
10.4. Asiento de un grupo de pilotes verticales bajo carga vertical	271
10.4.1. Cálculo de asientos de grupos de pilotes a partir de ensayos de laboratorio	272
10.4.2. Asiento de pilotes cuya punta descansa en un estrato duro	273
10.4.3. Asiento de grupos de pilotes de fricción en arcilla	274
10.4.4. Asiento de grupos de pilotes en arena	274
10.5. Métodos elásticos. El método de la ecuación integral	277
10.5.1. Coeficientes de interacción	277
10.5.2. Solución matricial	279
10.5.3. Grupo de pilotes columna que descansa en un estrato rígido	283
11. Pilotes inclinados	285
<i>J. L. Justo y J. M. Sánchez Langeber</i>	
11.1. Introducción	285
11.2. Método de análisis	286
11.2.1. Movimiento del pilote inclinado aislado	287
11.2.2. Interacción entre dos pilotes inclinados	291
11.2.3. Matriz de movimientos de interacción entre dos pilotes	293
11.2.4. Resultados sobre la interacción entre dos pilotes	294
11.2.5. Conclusiones respecto a la interacción entre pilotes inclinados en un grupo de pilotes	294

11.3. Grupo de pilotes	296
11.3.1. Movimiento de un pilote en un grupo de pilotes inclinados	296
11.3.2. Grupo de pilotes con encepado rígido	296
11.3.3. Grupo de pilotes empotrados	297
11.3.4. Grupo de pilotes articulados	298
11.3.5. Resultados sobre el asiento de un grupo de pilotes inclinados	298
11.3.6. Conclusiones respecto al asiento en un grupo de pilotes inclinados	299
12. Pilotes en suelos parcialmente saturados sometidos a cambios de humedad	301
<i>J.L. Justo Alpañés, E. de Justo Moscardó y M. Vázquez Boza</i>	
12.1. Introducción	301
12.2. Primeros métodos de análisis	302
12.3. Soluciones basadas en el método de la ecuación integral	303
12.3.1. Soluciones para un pilote incompresible	304
12.3.1.1. Efecto del desplazamiento el terreno	305
12.3.2. Deslizamiento entre suelo y pilote	308
12.3.3. Efecto de la carga axil	308
12.3.4. Rotura a compresión del pilote	309
12.3.5. Rotura a tracción del pilote	309
12.4. Aplicación del método de Xiao <i>et al.</i> (2011) para pilotes en terreno sometidos a cambios de volumen	309
12.4.1. Caso 1: el pilote bajo carga vertical	310
12.4.2. Caso 2: el pilote sometido a cambios de volumen del terreno	311
12.4.2. Caso 3: el pilote sometido a la carga en cabeza y a la presión de hinchamiento del terreno	313
13. Métodos no destructivos de control de pilotes	315
<i>J.D. Bauzá Castelló y B. Bauzá Montojo</i>	
13.1. Incertidumbres en las cimentaciones profundas	315
13.2. Control de ejecución de pilotes	316
13.3. Ensayos sobre pilotes terminados	317
13.3.1. Verificación de la alineación mediante inclinometría	318
13.3.2. Ensayos dinámicos de carga	318
13.3.3. Métodos sónicos de reflexión o impedancia mecánica	319
13.3.4. Ensayos de impedancia mecánica	325
13.3.5. Métodos de transparencia sónica o cross-hole	327
13.4. Frecuencia de ejecución de los ensayos	333
13.5. Aplicación y limitaciones de los ensayos no destructivos	333

14. El método de elementos finitos en el cálculo de pilotes	335
<i>J.L. Justo, E. de Justo Alpañés y M. Vázquez Boza</i>	
14.1. Introducción	335
14.2. Modelos de materiales del suelo	337
14.3. Modelos de pilotes en EF	338
14.3.1. Pilotes embebidos	338
14.3.2. Pilotes volumétricos (PV)	342
14.3.3. Métodos de comparación	342
14.4. Validación de los modelos	342
14.5. Resultados	344
14.6. Caso 1: Pilote hueco extendido con un micropilote	344
14.6.1. Pilote a compresión	346
14.6.2. Pilote a tracción	347
14.6.3. Pilotes bajo carga lateral	347
14.7. Caso 2: Comparación con el método de la ecuación integral en un pilote individual	349
14.8. Caso 3: Pilote aislado bajo carga lateral. Comparación de diferentes modelos de pilotes	351
14.9. Conclusiones	355
Referencias	357
Índice de palabras	369

Prólogo

Los pilotes hincados de madera surgieron como un procedimiento para cimentar con seguridad monumentos, edificios y obras civiles sobre terrenos muy deformables y de baja capacidad portante. En el libro, Capítulos 1 y 2, se recoge una breve e interesante historia del desarrollo de las cimentaciones profundas hasta tiempos modernos (primeras décadas del siglo XX). Lo cierto es que su uso era bien conocido por los gremios de la construcción. La torre campanario de la Catedral de Pisa fue seguramente una buena candidata para ser cimentada sobre pilotes, por la altura y esbeltez prevista, y por las arcillas, limos y arenas compresibles de la ciudad. Pero no fue así. Giorgio Vasari (1511-1574) en uno de sus libros, *Vida de Arnolfo di Lapo*, 1550, sobre la obra de ilustres arquitectos, pintores y escultores, dice así:

Se dice que este Guglielmo, junto con el escultor Bonnano, cimentaron la torre campanario de la Catedral de Pisa en el año 1174. Pero como estos arquitectos no estaban acostumbrados a las prácticas de cimentación en Pisa y, por tanto, no usaron pilotes como debían, antes de que se alcanzara la mitad de la altura de la torre, ésta se inclinó hacia el lado más débil y así, está desplomada seis brazas y media hacia el lado en que la cimentación asentó. En la base no parece demasiado, pero en la coronación es tanto que nadie puede creer que esté todavía en pie sin colapsar.

En 1550 su inclinación era de 4,7° y todavía se inclinaría cerca de un grado adicional en los siglos siguientes.

Como ocurre con otras artes constructivas que acabaron integrándose en nuestro moderno concepto de Geotecnia los pilotajes constituyeron una especialidad con sus técnicas constructivas, el desarrollo de artefactos de hinca progresivamente más potentes o las “fórmulas dinámicas” que permitieron estimar la capacidad portante y previsible asentamiento de pilotes hincados. Pero el diseño, cálculo y construcción de pilotes, como otros campos de la Geotecnia, requiere información adicional de la Geología,

las técnicas de reconocimiento, la experimentación *in situ*, técnicas constructivas, modelos de cálculo y sin dudas la contribución conceptual de la Mecánica del Suelo.

En relación con este último aspecto y también con la figura de Agustín de Betancourt, cuya “instrucción” para la hinca de pilotes de la cimentación de la Catedral de San Petersburgo se describe en el Capítulo 1 del libro, es interesante evocar la catastrófica rotura de la presa de gravedad de Puentes, construida a partir de 1785 en el cauce del río Guadalentín, aguas arriba de la villa de Lorca. El apoyo de la presa de mampostería y 50 m de altura se resolvió mediante un grupo de pilotes verticales de madera de 5,40 m de longitud y puntaza metálica con el fin de facilitar su hincado en el lecho arenoso del cauce. Las cabezas de estos pilotes se unieron con un enrejado de vigas y los huecos se rellenaron con mampostería. Pero no se conocía la potencia de las arenas de cimentación. Betancourt, encargado por el Rey Carlos IV de preparar un informe de las causas de la rotura, determinó que el origen fue la decisión de apoyar la presa sobre “estacadas y emparrillado sin tener en cuenta las leyes de la hidráulica”. Y resolvió que la falta de instrucción de los arquitectos de la obra en esta materia fue determinante en la catástrofe. Los testigos presenciales de la rotura, que se produjo cuando el embalse había alcanzado su máxima cota, observaron la formación de surtidores de agua turbia aguas abajo del cimientado, la salida de arena, “estacas” y entablonado, arrastrados por una “inmensa cantidad de agua” y finalmente el colapso de la zona central de la presa.

Hoy entendemos bien esta rotura. Nada impidió el flujo de agua a través de la arena de cimentación y su salida aguas abajo con fuertes gradientes verticales. Un cálculo sencillo indica que esos gradientes eran cercanos a uno, lo que provocó el sifonamiento de las arenas, su arrastre y también la eliminación de la capacidad resistente, frente a esfuerzos verticales y horizontales, del denso grupo de pilotes cortos de cimentación. En esta rotura está en el origen, a instancias de Betancourt, de los “Estudios de hidráulica del Buen Retiro” y poco después de los “Estudios de la Inspección General de Caminos y Canales” que dieron lugar a la carrera de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. No extraña con estos antecedentes que Betancourt fuera más tarde muy cuidadoso para especificar el procedimiento de hincado de pilotes y el criterio para dar por bueno un pilote a partir de la penetración conseguida en una tanda de golpes, un procedimiento que se ha precisado en las “Fórmulas dinámicas” o “Fórmulas de hincado” que se describen en detalle en el tercer capítulo del libro, que incluye también una sección sobre el análisis de la ecuación de onda para estimar con más precisión las pérdidas de energía asociadas a la hincado.

Con el tiempo, la tipología y procedimientos de construcción de las cimentaciones profundas han crecido hasta convertirse en una especialidad amplia, siempre en evolución, bien ilustrada en el primer capítulo del libro. Junto a ello, se han elaborado métodos de cálculo que se extienden desde la aplicación de sencillas fórmulas empíricas hasta métodos numéricos generales, típicamente los métodos de elementos finitos. En paralelo, el control *in situ* de las previsiones de proyecto mediante pruebas de carga estáticas y dinámicas y los ensayos no destructivos han alcanzado un desarrollo notable. Todo ello se examina en detalle en el libro.

El estudio del comportamiento del pilote, aislado o en grupo, bajo la aplicación de cargas estáticas o dinámicas ha atraído durante décadas la atención de muchos investigadores. Se adivina que existen dificultades que, seguramente, no se encuentran en las cimentaciones superficiales. Si hubiera que aislar un rasgo fundamental de esa dificultad y también de ese interés es que un pilote es el arquetipo de la interacción suelo-estructura. No hace falta explicarlo aquí pero sí recordar que un avance fundamental para entender esa interacción fue la utilización de una solución fundamental de la elasticidad, concretamente la solución de Mindlin para carga concentrada en el interior de un semiespacio, con el fin de entender y cuantificar esa interacción. Los métodos de análisis que surgieron, también conocidos como “métodos de la integral de contorno” simplemente resuelven la compatibilidad de movimientos entre pilotes y suelo (elástico). Estos métodos se describen y están presentes en varios capítulos del libro y han recibido gran atención en la literatura científica y técnica a partir de los años 1970. El origen y la idea fundamental de estos métodos fue el artículo de Jiménez Salas y Belzunce (1965), publicado en el Congreso Mundial de la Sociedad Internacional de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Cimentaciones.

Frente a carga lateral, la determinación de la deformada suele hacerse, en la práctica, a través de la representación de la rigidez del suelo mediante un coeficiente de balasto. Los métodos basados en las soluciones elásticas fundamentales también están disponibles. Pero la facilidad de solución del problema de la viga elástica soportada en muelles independientes y su compatibilidad con el cálculo de estructuras han generalizado su uso. La posibilidad de utilizar coeficientes de balasto no lineales con el desplazamiento, como es el caso del método p - y , común en los EEUU y adoptado por el American Petroleum Institute para el cálculo de pilotes, explican la popularidad de este procedimiento.

El libro ofrece una información extensa sobre los tipos de pilote disponibles en el mercado, una guía para su elección y para la aplicación de la normativa existente, ofrece soluciones para estimar la resistencia y deformación de pilotes aislados o en grupo, bajo cargas de todo tipo, incluida la tracción o el rozamiento negativo. Los resultados se sintetizan en gráficos o tablas de fácil aplicación y existe también un esfuerzo docente para entrenar al lector en la resolución de algunos problemas, como es el caso de los pilotes o grupos de pilotes bajo carga horizontal. Se incluyen también soluciones teóricas que no suelen encontrarse en los manuales de cimentaciones, como, por ejemplo, el pandeo de pilotes, el asiento de grupos de pilotes determinado mediante el método de la ecuación integral y los pilotes inclinados. En el último capítulo, dedicado al método de elementos finitos, es especialmente interesante la comparación de dos alternativas disponibles: representar los pilotes mediante barras “estructurales” embebidas en la malla de elementos finitos o bien mediante un pilote “volumétrico” discretizado en elementos finitos.

El libro es muy completo. Quizá en futuras revisiones pueda extenderse a algunas aplicaciones o problemas que surgen en ocasiones: la estabilización de deslizamientos mediante barreras de pilotes, el efecto de la excavación de túneles en medio

urbano sobre grupos de pilotes y el uso de pilotes como limitadores de asientos de cimentaciones superficiales o terraplenes.

El desarrollo e investigación del comportamiento de pilotes de gran capacidad para resistir cargas horizontales y verticales cíclicas han sido intensos en las últimas décadas debido a la construcción “offshore” de plataformas de exploración y explotación de hidrocarburos y al desarrollo más reciente de generadores eólicos, que habitualmente se cimentan en pilotes aislados de gran diámetro. A pesar de que los métodos tradicionales (tipo $p-y$) se utilizan en su diseño, se observa un uso creciente de los métodos de elementos finitos y leyes constitutivas más próximas al comportamiento del suelo. Seguramente los avances en proyecto, cálculo y procedimientos constructivos que han requerido la cimentación de estas estructuras se generalizarán a otras aplicaciones “terrestres”, especialmente en proyectos singulares.

Eduardo Alonso Pérez de Ágreda
Barcelona, 11 de julio de 2021

Referencias

- Adams, J., 1971. Discusión en el 4º Congr. Panam. de Mec. Suelo. Puerto Rico, 3:82-84.
- Ahmadi, M.M. y Ahmari, S., 2009. "Finite-element modelling of laterally loaded piles in clay". Proceedings of the ICE-Geotechnical Engineering, 162(3), 151-163.
- Amir, J.M., 1988. "Wave Velocity in Young Concrete", Proceedings of the 3rd International Conference on Application of Stress Wave Theory to Piles, Ottawa, pp. 911-912.
- Amir, J.M., 2002. "Single-tube ultrasonic testing of pile integrity". Deep Foundations 2002: An International Perspective on Theory, Design, Construction, and Performance, pp. 836-850.
- ASTM International, 2007. "D 5882 – 07 Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations".
- ASTM International, 2002. "D 6760 – 02 Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing.
- Baguelin, F., Jézéquel, J.F., y Shields, D.H., 1978. "The pressuremeter and foundation Engineering". Trans Tech Publications, Suiza.
- Baligh, M.M., Vivatrat, V. y Figi, H., 1978. "Downdrag on bitumen-coated piles". J. Geotech. Eng., ASCE, GT11:1355-1370.
- Banerjee, P.K. y Davies, T.G., 1978. "The behaviour of axially and laterally loaded single piles embedded in nonhomogeneous soils". Géotechnique, 28: 3: 309-326.
- Banerjee, P.K. y Davies, T.G., 1980. "Analysis of some reported case histories of laterally loaded pile groups". Proceedings Int. Numerical Methods in Offshore Piling". London: 101-108. Institution of Civil Engineers (ICE).
- Banerjee, P.K. y Driscoll, R.M., 1976. "Three-dimensional analysis of raked pile groups". Proceedings Inst. Civil Eng., Part 2, 61: 653-671.
- Barden, L. y Monckton, M.F., 1970. "Tests on Model Pile Groups in Soft and Stiff Clay". Géotechnique, Vol. 20: 90-96.
- Begemann, H.K.S., 1965. "The maximum pulling force on a single tension pile calculated on the basis of results of the adhesion jacket cone". Proc. 6th Int. Conf. S.M. & F.E., 2:229-233.
- Begemann, H.K.S. Ph., 1973. "Alternating loading and pulling tests on steel I-beam piles". 8º Cong. Int. Mec. Suelo, Moscú, 2.1:13-17.

- Beim, G., Beim, J., y Lima, S.C., 2015. "El Ensayo de Integridad por Perfil Térmico, un nuevo método para evaluación de integridad de cimentaciones profundas". *Fundamentals to Applications in Geotechnics* D. Manzanal and A.O. Sfriso (Eds.) IOS Press, pp 634-641.
- Berezantzev, V.G., Khristoforov, V. y Golubkov, V, 1961. "Load Bearing Capacity and Deformation of Piled Foundations". *Proc. 5th Int. Conf. S.M. & F.E.*, Vol. 2: 11-15.
- Beringen, F.L., Windle, D. y Van Hooydonk, W.R., 1980. "Results of loading tests on driven piles in sand". 'Recent Developments in the Design and Construction of Piles' I.C.E., Londres, 213-225.
- Beringen, F. L. y Heijnen, W. J., 1985. "Design methods for pile foundations". 'The Netherlands Commemorative Volume', 11th ICSMFE, San Francisco, 5457.
- Bjerrum, L. 1957. "Norwegian experiences with steel piles to rock". *Géotechnique*, 7: 2: 73-96.
- Bjerrum, L., Johannessen, I.J. y Eide, O., 1969. "Reduction of negative skin friction on steel piles to rock". 7º Cong. Int. Mec. Suelo, Méjico, 2:27-34.
- Bjerrum, L. 1973. "Problems of soil mechanics and construction on soft clays and structurally unstable soils (collapsible, expansive and others)". *Proc. 8th Conf. S.M. & F.E.*, Moscow, pp. 111-159.
- Bolton, M.D., 1986. "The strength and dilatancy of sands". *Géotechnique*, 36:1: 65-78.
- Borrero, E., 2001. "Costes de cimentaciones profundas". Trabajo para curso de doctorado Cimentaciones Profundas. Departamento de Mecánica de Medios Continuos, Universidad de Sevilla.
- Brinkgreve R.B.J. y Swolfs W.M., 2007. *Plaxis 3D Foundation*. Version 2. Plaxis BV, Delft, The Netherlands.
- Brinkgreve, R.B.J., Kumarswamy, S. y Swolfs, W.M., 2015. "PLAXIS 3D Anniversary Edition". Plaxis BV, Delft, The Netherlands.
- Bromham, S.B. y Styles, J.R., 1971. "An Analysis of Pile Loading Tests in a Stiff Clay". *Proc. 1st Aust.-N.Z. Conf. Geomechs.*, Melbourne, Vol. 1: 246-253.
- Broms, B. B., 1964 a. "Lateral resistance of piles in cohesive soils". *J. Soil Mech., ASCE*, 90: SM2:2763.
- Broms, B. B., 1964 b. "Lateral resistance of piles in cohesionless soils". *J. Soil Mech., ASCE*, 90: SM3: 123 156.
- Brons, K. F., 1985. "Construction methods". 'The Netherlands Commemorative Volume'. 11th ICSMFE, San Francisco, 7182.
- Brons, K.F., Amesz, A.W. y Rinck, J., 1969. "The negative skin friction along the shaft of a foundation pile". 7º Cong. Int. Mec. Suelo, Méjico, Sesión Especial 8.
- Brown, D.A., Morrison, C. and Reese, I.C. 1988. Laterally loaded behavior of pile group in sand. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 114. N° 11: 1261-1276.
- Burgess, I.W., 1976. "The stability of slender piles during driving". *Géotechnique*. Vol. 26, nº 2, pp. 281-292.
- Burgess, I.W., 1979. "Analytical studies of pile wandering during installation". *International J. for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. Vol. 30, nº 1, pp. 49-62.
- Burland, J. B. y Cooke, R. W., 1974. "The design of bored piles in stiff days". B.R.E., CP 99/74.
- Butler, F.G. y Morton, K., 1971. "Specification and performance of test piles in clay". 'Behaviour of Piles' pp. 17-26.
- Butterfield, R. y Bannerjee, P.K., 1971. "The elastic analysis of compressible piles and pile groups". *Géotechnique* 21, N° 1, 43-60.

- Byrne, B.W., Houlsby, G.T., 2018. "Helical piles: an innovative foundation design option for offshore wind turbines". *Phil. Trans. R. Soc. A* 373: 20140081.
- Candela, J., 1984. "Analizador electrónico de hinca de pilotes". Terratest.
- CEN, 1997. Eurocode 7, Part 1. "Geotechnical Design, General Rules". European Committee for Standardization.
- CEN, 2020, prEN 1997-3_Geotechnical design-Geotechnical structures (final PTs draft 2019-10).
- CEN/TC 250 Eurocódigos estructurales, 2010. "UNE-EN 1997-1:2010. Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 1: Reglas generales".
- CEN/TC 250 Eurocódigos estructurales, 2010. "UNE-EN 1997-1:2010. Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 1: Reglas generales".
- CEN/TC 288 Ejecución de trabajos especiales de geotecnia, 2000. "UNE-EN 1536:2000. Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Pilotes perforados".
- CEN/TC 288 Ejecución de trabajos especiales de geotecnia, 2001. "UNE-EN 12699:2001. Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Pilotes de desplazamiento".
- CEN/TC 288 Ejecución de trabajos especiales de geotecnia, 2000. "UNE-EN 1536:2000. Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Pilotes perforados".
- CEN/TC 288 Ejecución de trabajos especiales de geotecnia, 2001. "UNE-EN 12699:2001. Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Pilotes de desplazamiento".
- Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento básico SE-C. Cimientos.
- Comodromos, E.M., Papadopoulou, M.C. y Rentzeperis, I.K., 2009. "Pile foundation analysis and design using experimental data and 3-D numerical analysis". *Computers and Geotechnics*, 36(5), 819-836.
- Coyle, H.M. y Reese, L.C., 1966. Load transfer for axially loaded piles in clay. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 92(2), 1-26.
- Cooke, R.W. y Price, G., 1973. "Strains and displacements around friction piles". 8º Cong. Int. Mec. Suelo, Moscú, 2.1:53-60.
- Cox, W. R., Reese, L. C., and Grubbs, B. R. 1974. "Field testing of laterally loaded piles in sand." In *Proceedings, Sixth Annual Offshore Technology Conference*, 6-8 May, 1974, Houston Texas, Paper N° 2079, Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 459-472.
- CTE DB SE-C, 2008. "Texto modificado por RD 1371/2007, de 19 de octubre (BOE 23/10/2007) y corrección de errores (BOE 25/01/2008).
- Cui, D.M., Yan, W., Wang, X.Q. y Lu, L.M., 2017. "Towards intelligent interpretation of low strain pile integrity testing results using machine learning techniques". *Sensors*, 17(11), 2443.
- Cheng, D.H. y Garrelick, J.M., 1969." Stability of partly embedded foundation piles". *J. Structural Div., ASCE. Technical Notes*, 95: St-5: May: 1033-1036.
- Cheng, S., Zhang, Q-q., Li, S-c., Li, L-p., Zhang, S-m., y Wang, K. (2018). "Nonlinear analysis of the response of a single pile subjected to tension load using a hyperbolic model" *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 22: 2: 181-191.
- Chik, Z., Abbas, J., Taha, M. y Shafiqu, Q.S.M., 2009. "Lateral behavior of single pile in cohesionless soil subjected to both vertical and horizontal loads". *European Journal Science Research*, 29(2), 194-205.
- Chin, F.K. y Vail, A.J., 1973. "Behaviour of piles in alluvium". 8º Cong. Int. Mec. Suelo, Moscú, 2.1: 47-52.

- Chin, J.T. y Poulos, G., 1991. "Axially loaded vertical piles and pile groups in layered soil". *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. Vol. 15, 497-511.
- Chow, H. y Small, J., 2008. "Case histories for piled rafts". *Proc. BGA Int. conference on foundations*. Dundee, 2008. pp. 451-462.
- D'Apolonia, D.J. y Lambe, T.W., 1971. "Floating foundations for control of settlement". *J. Soil Mech., A.S.C.E.*, 95: 263-284.
- D'Appolonia, E. y Romualdi, J.P., 1963. "Load transfer in endbearing steel Hpiles". *J. Soil Mech., ASCE*, Vol. 89: SM2: 125.
- Das, B.M., 1983. "A procedure for estimation of uplift capacity of rough piles". *Soils & Foundations*, 23:3:122-126.
- Das, B.M., Seeley, G.R. y Raghu, D., 1976. "Uplift capacity of model piles under oblique loads". *J. Geotech. Eng., ASCE*, 102:GT9:1009-1013.
- Davisson, M. T. & Gill, H. L. 1963. Laterally loaded piles in a layered soil system. *Journal of the Soil Mechanic and Foundations Division, ASCE*, 89, N° SM3, 63-94.
- Davisson, M.T. y Robinson, K.E., 1965. "Bending and buckling of partially embedded piles". *Proceeds. 6th Int. Cong on Soil Mech. and Found. Eng. Montreal*. Vol. 11, pp. 243-246.
- De Beer, E.E., 1963. "The scale effect in the transposition of the results of deep sounding tests on the ultimate bearing capacity of piles and caisson foundations". *Géotechnique*, 13:1: 39-75.
- De Beer, 1980. *Discusiones. 'Recent Developments in The Design and Construction of Piles'*, 8184.
- Derbyshire, P. H., 1984. "Continuous flight auger piling in the UK". *'Piling & Ground Treatment'*, 8792.
- Douglas, D. J., 1984. *Discusiones. 'Piling & Ground Treatment'*, 283.
- Douglas, D.J. y Davis, E.H., 1964. "The Movement of Buried Footings Due to Moment and Horizontal Load and the Movement of Anchor Plates". *Geot.*, Vol. 14: 115-132.
- Echave, J. M. "Tipología de pilotes". *Curso sobre Cimentaciones por Pilotes, Terratest*.
- Endo, M., Kawasaki, T. y Shibata, T., 1969. "Negative skin friction on steel pipe pile in clay". *7º Cong. Int. Mec. Suelo, México*, 2:85-92.
- Engin, H.K., Septanika, E.G. y Brinkgreve, R.B.J., 2007. "Improved embedded beam elements for the modelling of piles". En: Pietruszczak, Pande, editores. *Proc. 10th international symposium on numerical models in geomechanics (NUMOG)*. Rhodes, Greece, London: Taylor & Francis Group, pp. 475-480.
- Engin, H.K., Septanika, E.G. y Brinkgreve, R.B.J., 2008. "Estimation of pile group behaviour using embedded piles". En: Singh, editor. *Proc. 12th International conference of the international association of computer methods and advances in geomechanics (IACMAG)*, Goa, India, pp. 3231-3238.
- Engin, H.K., Septanika, E.G., Brinkgreve, R.B.J. y Bonnier, P.G., 2009. "Modelling piled foundation by means of embedded piles". En: Karstunen, Leoni, editores. *Proc. 2nd Int. workshop on geotechnics of soft soils-focus on ground improvement*. Glasgow, Escocia, pp. 131-136.
- El-Mossallamy, Y., 1999. "Load-settlement behaviour of a large diameter bored pile in over-consolidated clay". *Proceedings of the 7th International Symposium on Numerical Models in Geotechnical Engineering*, Gratz, Austria, pp. 443-450.

- Evangelista, A. y Viggiani, C., 1976. "Accuracy of numerical solutions for laterally loaded piles in elastic half-space". Proc. 2nd international conference numerical methods geomechanics, Blacksburgh, Virginia, 3: 1367-1370.
- Ezeberry, J.I., Ambrosini, D.R. y Danesi, R.F., 2003. "Identificación de defectos en pilotes". Mecánica Computacional Vol. XXII. M.B. Rosales, V.H. Cortínez y D.V. Bambill Editores, Bahía Blanca, Argentina, pp. 799-813.
- Feda, J., 1971. "Some experiences with cat-in-situ concrete piles". Proc. 4th Asian Reg. Conf. Soil Mechanics, 1: 257-261.
- Fellenius, B. H., & Altaee, A. A. (1995). "Critical depth: how it came into being and why it does not exist". Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering, 113(2): 107-111.
- Fernández-Tadeo, C. y García, E.T., 2000. "Los ensayos de integridad estructural de pilotes. Situación actual en España y perspectivas". Simposio de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica, Barcelona setiembre de 2000.
- Fleming, W.G.K. y Sliwinski, Z.J., 1977. "The use and influence of bentonite in bored pile construction". CIRIA, Report PG3.
- Fleming, W. G. K. y Thorburn, S., 1984. "Recent piling advances". 'Piling & Ground Treatment', 116.
- Fleming, W. G. K., Weltman, A. J., Randolph, M. F. y Elson, W. K., 1985. "Piling Engineering" Surrey Univ. Press.
- Franke, E. 1988. "Group action between vertical piles under horizontal loads, in Deep Foundations on Bored and Augur Piles". W. F. V. Impe, Ed., Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- Gao, F., Yana, W. y Geb, F., 2010. "Geotechnical investigation and tension-pile solution for foundation of SFT prototype at Qiandao Lake". Procedia Engineering, 4: 127-134.
- Gaviria, C.A., Gómez, D. y Thomson, P., 2009. "Evaluación de la integridad de cimentaciones profundas: Análisis y verificación *in situ*". Dyna, 76(159), pp. 23-33.
- Gibson, T., 1878. "The Huelva Pier of the Rio Tinto Railway". Excerpt Minutes Proc. Inst. Civil Eng., London, Vol. 53, Session 1877-78, Part. 3, 1-31.
- Glanville, W.H., Grime, G., Fox, E.N. y Davies, W.W., 1938. "An Investigation of the Stresses in Reinforced Concrete Piles During Driving". Br. Bldg. Res. Bd., tech. paper n° 20, D.S.I.R.
- Greenfield, F.C., 1971. "Early settlement of tall buildings founded on piles in London clay". 'Behaviour of Piles'. pp. 71-78.
- Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras, 2009. Serie monográfica. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento.
- Hanna, T.H., 1968. "The bending of long H-section piles". Canadian Geotechnical Journal, Vol 5, pp. 150-172.
- Harris, F., 1983. 'Ground Engineering'. McGraw-Hill, N.Y.
- Heelis, M.E., Pavlovic, M.N., y West, R.P. (2004). "The analytical prediction of the bucling loads of fully and partially embedded piles". Géotechnique, 54(6): 363-373.
- Hegedus, E. y Khosla, V.K. (1984). "Pullout resistance of H piles". J. Geotech. Eng., ASCE, 110: 9.
- Heijnen, W.J., 1985. "Design of foundations and earthworks". 'The Netherlands Commemorative Volume'. 11th ICSMFE, San Francisco, 5370.
- Heins, W.F., 1976. "Strain-controlled pulling tests on pile groups". 6° Cong. Europeo Mec. Suelo, Viena, 1.2: 449-452.

- Hetenyi, M., 1946. "Beams on Elastic Foundations". Ann Arbor, Mich.: Univ. of Mich. Press.
- Hoadley, P.J., 1974. "Pile Stability. Part. 2: Non-elastic". Proc. of the Conf. on Analysis and Design in Geotechnical Engineering., A.S.C.E., Texas, 1: 245-267.
- Holloway, D.M., Moriwaki, Y., Stevens, J.B. and Perez, J.Y. 1981. "Response of a pile group to combined axial and lateral loading". Proceedings of The 10th Int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.2, Boulimia Publishers, Stockholm, Sweden, pp. 731-734.
- Holeyman, A.E., 1992. "Technology of pile dynamic testing". Keynote lectura. Proceedings of the fourth international conference on the application of stress waves theory to piles, The Hague, The Netherlands, pp. 195-215.
- Huang, J. y Bin-Shafique, S., 2012. "Numerical modeling of piles subjected to an underground lateral load". GeoCongress 2012: State of the Art and Practice in Geotechnical Engineering, pp. 51-59.
- Hussein, M. y Goble, G., 1996. "A brief history of the application of stress-wave theory to piles". Proceedings of the Stress-Wave Conference 1996.
- Indraratna, B., Balasubramaniam, A.S., Phamvan, P. y Wong, Y.K., 1992. "Development of negative skin friction on driven piles in soft Bangkok clay". Can. Geotech. J., 29(3): 393-404.
- Institution of Civil Engineers, 1996. "Specification for piling and embedded retaining wall". Thomas Telford, Londres.
- International Society for Rock Mechanics, 1981. "Rock Characterization Testing and Monitoring", Pergamon Press.
- Ismael, N.F. y Klym, T.W., 1979. "Uplift and bearing capacity of short piers in sand". J. Geotech. Eng., 105:GT5: 579-594.
- Jamiolkowski, M. y Lancellotta, R., 1988. "Relevance of in-situ test results for evaluation of allowable base resistance of bored piles in sands". "International geotechnical seminar on deep foundations on bored and auger piles": 107-120.
- Jeong, J.S., Kim, S. y Briadu, J.L., 1997. "Analysis of downdrag on pile groups by the finite element method". Computers and Geotechnics, 21:2: 143-161.
- Jiménez Salas, J. A., 1980. "La hinca dinámica de pilotes". 'Geotecnia y Cimientos III'. Rueda, Madrid, 2: 302-353.
- Jiménez Salas, J.A. y Arrechea, J., 1965. "Resolution théorique de la distribution des forces dans les pieux". 6th ICSMFE, 2: 309313.
- Jiménez Salas, J. A., Justo, J. L. y Serrano, A., 1981. "Geotecnia y Cimientos II". Rueda, Madrid.
- Justo, J.L., 1993. "La integración de la fórmula de asientos de Mindlin para carga anular". Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 9:1: 35-57.
- Justo, J.L. y Sánchez-Langeber, J. M^a, 2001. "Interaction between two piles in any direction. Proc. 15th Int. Conf. Soil mech. And Gound. Eng., Estambul, 3: 923-926.
- Justo, J.L., Vázquez-Carretero, N. y Justo, E. 2002. "Rozamiento negativo en pilotes producido por la subsidencia en Murcia". Ingeniería Civil, 125: 95-103.
- Justo, J.L., Arcos, J.L., Justo, E., Gil, R., Vázquez-Boza, M., Martín, F. y Durand, P., 2016. "A hollow pile extended with a micro-pile: tests and modelling". Proc. Inst. Civil Eng.- Geotechnical Engineering; 43:174-185.
- Kerisel, J. y Adam, M., 1967. "Calcul des forces horizontales applicables aux fondations profondes dans les argiles et limons". Annales L.T.B.T.P, N° 239: 1653.
- Kim, Y. y Jeong, S., 2011. "Analysis of soil resistance on laterally loaded piles based on 3D soil-pile interaction". Computers and Geotechnics, 38, 248-257.

- Kim, Y., Jeong, S. y Won, J.O., 2009. "Effect of lateral rigidity of offshore piles using proposed p-y curves in marine clay". *Marine Georesources and Geotechnology*, 27(1), 53-77.
- Kishida, H. y Meyerhof, G.G., 1965. "Bearing Capacity of Pile Groups Under Eccentric Loads in Sand". Proc. 5th Int. Conf. S.M. & F.E., Vol. 2: 270-274.
- Komornik, A., Wiseman, G. y Zeitlen, J.G., 1971. "Comparison of test performance with predicted behaviour for piles driven in sand". 4th Asian Reg. Conf., Bangkok, Vol. 1: 281-286.
- Kulhawy, F.H., Kozera, D.W. y Withiam, J.L., 1979. "Uplift testing of model drilled shafts in sand". *J. Geotech. Eng. Div., ASCE*, 105: 31-47.
- Law, K.T., 1982. "Numerical analysis of pile loading and pulling tests". Proc. 4th Int. Conf. Num. Methods in Geomechanics, Edmonton (Canadá), Vol. 2:825-833.
- Lee, C.Y., 1991. "Discrete layer analysis of axially loaded piles and pile groups". *Computers and Geotechnics*, 11: 295-313.
- Lee, C.Y. y Small, J.C., 1991. "Finite-layer analysis of axially loaded piles". *Journal of Geotechnical Engineering*. Vol. 117, 1706-1722.
- Lee, K.M. y Xiao, R.X., 1999. "A new analytical model for settlement analysis of a single pile in multi-layered soil". *Soils Found.*, 39(5): 131-143.
- Lee, S.L., Kog, Y.C. y Karunaratne, G.P., 1987. "Axially loaded piles in layered soil". *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 113, N° 4: 366-381.
- Lee, S.W., Cheang, W.W.I., Swolfs, W.M., Brinkgreve, R.B.J., 2010. "Modelling pile rafts with different pile models". En: Benz, Nordal, editores. Proc. numerical methods in geotechnical engineering NUMGE 2010. Trondheim, Norway. Londres: Taylor & Francis Group, pp. 637-642.
- Leung, Ch.F., Radhakrishnan, R. y Tan, S., 1991. "Performance of precast driven piles in marine clay". *J. Geotech. Eng., ASCE*, 117(4): 637-657.
- Levacher, D.R. y Sieffert, J.G., 1984. "Tests on model tension piles". *J. Geotech. Eng.*, 110:12: 1735-1748.
- Likins, G.E. y Rausche, F., 2000. "Recent advances and proper use of PDI low strain pile integrity testing". *Memories Sixth International Conference on the Application of Stress-wave Theory to Piles*. São Paulo, Brazil, pp. 211-218.
- Lo, K.Y., 1967. "discussion to paper by Y.O. Beredugo. *Can. Geotech. J.*, 4: 353-354.
- Mansur, Ch.I. y Hunter, A.H., 1970. "Pile tests Arkansas River project". *J. Soil Mech., ASCE*, 96:SM5: 1545-1582.
- Manual CAPWAP[®] CAsE Pile Wave Analysis Program. Pile Dynamics, Inc.
- Manual GRLWEAP[™] Wave Equation Analysis of Pile Driving. Pile Dynamics, Inc.
- Matlock, H., 1970. "Correlations for design of laterally loaded piles in soft clay". *Proceedings of the 2nd Annual Offshore Technology Conference*, Houston, Texas, Vol. 1, pp. 577-594.
- Mattes, N.S. y Poulos, H.G., 1969. "Settlement of single compressible pile". *J. Soil Mech., ASCE*, 95:SM1: 189207.
- McClelland, B. and Focht, J. A., Jr. 1958. "Soil modulus for laterally loaded piles." *Trans., A.S.C.E.*, Paper N° 2954, 123, 1049-1063.
- McCammon, N.R. y Golder, H.B., 1970. "Some loading tests on long pipe piles". *Géotechnique.*, 20: 171-184.
- Mey, R., Oteo, C. S., Sánchez del Río, J. y Soriano, A., 1986. "Ensayos de carga de grandes pilotes hincados". *Bol. Soc. Esp. Mec. Suelo*, 8384:310.
- Meyerhof, G. G., 1956. "Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils". *J. Soil Mech., SMI*, 119.

- Meyerhof, G.G., 1959. "Compaction of Sands and Bearing Capacity of Piles". J.S.M.F.D., ASCE, Vol. 85:SM6: 1-29.
- Meyerhof, G.G., 1973. "Uplift resistance of inclined anchors and piles". 8º Cong. Int. Mec. Suelo, Moscú, 2.1: 167-172.
- Meyerhof, G.G., 1976. "Bearing capacity and settlement of pile foundations". J. Geot. Eng. Div., ASCE, 102: GT3: 195-228.
- Meyerhof, G.G. y Murdock, L.J., 1953. "An investigation of the bearing capacity of some bored and driven piles in London Clay". Geot., Vol. 3: 267.
- Middendorp, P., 2005. "Method statement sonic integrity testing (pile integrity testing)".
- Mindlin, R.D., 1936. "Force at a point in the interior of a semi-infinite solid. J Appl. Phys., 7: 195-202.
- Ministerio de Fomento, 1999. "Instrucción de Hormigón Estructural". Ministerio de Fomento, Madrid.
- Ministerio de Fomento. 2005. GPEMOC. "Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera". Dirección General de Carreteras. Madrid. España.
- Ministerio de Fomento, 2005. "ROM 0.5-05_Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias". Ministerio de Fomento. Puertos del Estado. ISBN: 84-88975-52-X.
- Ministerio de Fomento, 2006. CTE-SE-C "Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural. Cimientos". Ministerio de Fomento. Madrid.
- Ministerio de Fomento. 2009. GCOC. "Guía de cimentaciones de obras de carretera". Dirección General de Carreteras.. Madrid. España.
- Mohan, D. y Chandra, S., 1961. "Frictional Resistance of Bored Piles in Expansive Clays". Geot., Vol. 11: 291.
- Ninic', J., Stascheit, J. y Meschke, G., 2014. "Beam–solid contact formulation for finite element analysis of pile–soil interaction with arbitrary discretization". Int. J. Numer. Anal. Methods in Geomech., 38: 1453-1476.
- Ochoa, M. and O'Neill, M. W. (1989). "Lateral pile interaction factors in submerged sand." J. Geotech. Eng., ASCE, 115(3), 359-378.
- O'Dell, L. G. y Pool, J. M., 1979. "Augerplaced grout piles in gravel". 'Deep Foundations'. ASCE, 300310.
- Olalla, C. 2005. "Pilotes en suelos cohesivos". Gabinete de Tele-Educación, UPM.
- Oteo, C., 1972. "Deformación de un grupo de pilotes verticales, solicitado por esfuerzos laterales". Proc. 5th Eur. Conf. S.M. & F.E., Madrid, Vol. 1: 397-405.
- Oteo, C., 1980. "Interacción pilotesterreno: acciones internas". Geotecnia y Cimientos III, 1:433485.
- Packshaw, S., 1951. "Pile driving in difficult conditions". ICE Introductory Note.
- Paikowsky, S.G. y Chernauskas, L.R., 2003. "Review of deep foundations integrity testing-methods and case histories". BSCES-geo-institute deep foundations seminar, pp. 1-30.
- Parker, A.S. y Bayliss, F.V.S., 1971. "The settlement behaviour of a group of large silos on piled foundations". 'Behaviour of Piles', pp. 59-70.
- Peck, R.B., W.E. Hanson & T.H. Thorburn 1974. "Foundation engineering". 2nd edn. New York: Wiley.
- Pile Dynamics, Inc., 2005. "GRLWEAP™ Wave Equation Analysis of Pile Driving. Procedures and Models". Program Manual.
- Pile Dynamics, Inc., 2000. "CAPWAP®. Case Pile Wave Analysis Program". CAPWAP Manual.
- Poulos, H.G., 1968. "Analysis of the settlement of pile groups". Géotechnique, 18: 4: 449-471.

- Poulos, H.G., 1971a. "Behaviour of laterally loaded piles: I-Single piles". *J. Soil Mech. Foundation Div.*, 97(5): 711-731.
- Poulos, H.G., 1971b. "Behaviour of laterally loaded piles: II-Pile groups". *J. Soil Mech. Foundation Div.*, 97(5): 733-751.
- Poulos, H.G., 1975. "Torsional response of piles". *J. Soil Mech. Foundation Div.*, 101(10): 1019-1035.
- Poulos, H.G., 1979. "Settlement of single piles in non-homogeneous soils". *J. Geotech. Eng.*, 105: GT5: 627-641.
- Poulos, H.G., 1981. "Cyclic axial response of single pile". *J. Geotech. Eng.*, 107:GT1:41-58.
- Poulos, H.G., 1989. "Pile behaviour-theory and applications". *Géotechnique*, 39: 365-415.
- Poulos, H.G. y Davis, E.H., 1968. "The settlement behaviour of single axially loaded incompressible piles and piers". *Géotechnique*, 18: 351-371.
- Poulos, H. G. & Davis, E. H. 1980. "Pile foundation analysis and design". John Wiley & Sons, Inc. New York. USA.
- Poulos, H.G. y Madhav, M.R., 1971. "Analysis of movement of battered piles". *Proc. 1st Australia-New Zealand Conf. On Geomech., Melbourne (Australia)*, 1: 268-275.
- Poulos, H.G. y Mattes, N. S., 1969. "The behaviour of axially loaded end-bearing piles". *Géotechnique*, 29: 285-300.
- Poulos, H.G. y Randolph, M.F., 1983. "Pile groups analysis: a study of two methods". *J. of Geotechnical Eng.*, 109(3): 355-372.
- Prakash, S., and Saran, D. 1967. Behaviour of laterally loaded piles in cohesive soil. In. *Proceedings of the 3rd Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Haifa, Vol. 1*, pp. 235-239.
- Prieto Domínguez, M., 2012: "Aplicación del Eurocódigo 7 al dimensionamiento de cimentaciones por pilotes". Máster en mecánica del suelo e ingeniería geotécnica. CEDEX.
- Qian, J-G., Gao, Q., Wang, B., Xue, J-F. y Huang, M-S. (2017). "Physical and numerical pull-out modelling of ribbed piles". *Proc. of the Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering*, 170: GE1: 51-61.
- Randolph, M.F., 1980. "PIGLET: A computer program for the analysis and design of pile groups under general loading conditions". Soil report TR91, CUED/D. Cambridge Univ, England.
- Randolph, M.F., 1981. "The response of flexible piles to lateral loading". *Géotechnique*, 31(2): 247-59.
- Randolph, M.F. y Wroth, C.P., 1978. "Analysis of deformation of vertically loaded piles". *J. of the Geotechnical Engineering Division*. Vol. 104: 1465-1488.
- Randolph, M.F. y Wroth, C.P., 1979. "An analysis of the vertical deformation of pile groups". *Géotechnique*, 29(4): 423-439.
- Randolph, M.F. y Wroth, C.P., 1982. "Recent developments in understanding the axial capacity of piles in clay". *Ground Engineering*, 15:7: 17-32.
- Randolph, M.F., Dolwin, J. y Beck, R., 1994. "Design of driven piles in sand". *Géotechnique*, 44:3: 427-448.
- Rathmell, B. T., 1984. *Discusiones. 'Piling & Ground Treatment'*, 117.
- Rausche, F., 2004. "Non-Destructive Evaluation of Deep Foundations". *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*. 5.
- Rausche, F., Likins, G.E. y Hussein, M., 1988. "Pile integrity by low and high strain impacts". *Third International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to Piles, Vol. 25*, p. 27.

- Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y/o Portuarias. ROM 0.5-05 2005. Puertos del Estado, Ministerio de Fomento.
- Reddy, A.S. y Valsangkar, A.J., 1970. "Buckling of fully and partly embedded piles". J. Soil Mech. & Foundations Div. ASCE, 96:SM6: 1951-1965.
- Reese, L. C. y Cox, W. R. 1969. "Soil behaviour from analysis of tests of uninstrumented piles under lateral loading". Performance of Deep Fdns., ASTM STP 444 , 160-176.
- Reese, L. C., y Matlock, H. 1956. Non-Dimensional Solutions for Laterally Loaded Piles With Soil Modulus Assumed Proportional to Depth. Proceedings eighth international conference on Soil Mechanics and Foundation Eng. Austin (Texas), pp. 1-41.
- Reese, L.C. y Welch, R.C., 1975. "Lateral loading of deep foundations in stiff clay". Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 101(7), 633-649.
- Reese, L.C., Cox, W.R. and Koop, F.D. 1974. "Analysis of laterally loaded pile in sand". Proceedings of The 6th Annual Offshore Technology Conference, Paper nº 2080. Richardson, Texas, US. 473-483.
- Reese, L. C., Cox, W. R., and Koop, F. D. 1975. "Field testing and analysis of laterally loaded piles in stiff clay." In Proceedings, Seventh Annual Offshore Technology Conference, Paper Nº 2312, Houston, Texas, 671-690.
- Rocscience. software en 2D y 3D para Ingenieros civiles, Caminos, Minas y Geólogos. Grupo de Ingeniería de Rocas de la Universidad de Toronto. Canadá.
- Rollins, K.M., Peterson K.T. and Weaver T.J. 1998. Lateral load behaviour of full-scale pile group in clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE. 124. Nº6: 468-478.
- Roscoe, G. H., 1984 a. "The behaviour of flight auger bored piles in sand". 'Piling & Ground Treatment', 241-250.
- Roscoe, 1984b. Discusiones. 'Piling and Ground Treatment'. Thomas Telford, Londres, 289.
- Russo, G., 2004. "Full-scale load tests on instrumented micropiles". Proceedings of the ICE-Geotechnical Engineering, 157(3), 127-135.
- Sadek, M. y Sharour, I., 2004. "A three-dimensional embedded beam element for reinforced geomaterials". Int. J. Numer. Anal. Methods in Geomech., 28: 931-946.
- Sanchez, F., García, J.L., Heras, C. de las, Echave, J.M., Muñoz, J.J., Ríos, J.L., 2008. "Recomendaciones para la ejecución e interpretación de ensayos de integridad de pilotes y pantallas *in situ*". Laboratorio de Geotecnia del Cedex, Ministerio de Fomento, Madrid.
- Sanchez Langeber, J.M., 2000. "Comportamiento de grupos de pilotes inclinados en un medio elástico. Tesis doctoral, Univ. Sevilla.
- Schwerdtfeger, W.J., 1965. "Soil Resistivity as Related to Underground Corrosion and Cathodic Protection". Journal of Research of the National Bureau of Standards. C. Engineering and Instrumentation. Vol. 69C, Nº 1.
- Shanz, T., Vermeer, P.A. y Bonnier, P.G., 1999. "The hardening-soil model: formulation and verification. In: Brinkgreve, editor. Beyond 2000 in Computational Geotechnics: Ten Years of PLAXIS International". Balkema, Rotterdam, Holanda, pp. 281-290.
- Simons, N.E. Comunicación personal.
- Siva Reddy, A. y Valsangkar, A.J., 1970. "Buckling of fully and partially embedded piles". J. of the Soil Mech. and F.D., A.S.C.E., Vol. 96, nº SM-6, pp. 1951-1965.
- Skempton, A.W., 1953. Discussion. Proc. 3rd Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Zurich, Vol. III, p. 172.
- Skempton, A.W., 1959. "Cast-in-situ bored piles in London clay". Géotechnique, 9: 158.

- Small, J.C. y Booker, J.R., 1984. "Finite layer analysis of layered elastic materials using a flexibility approach. Part 1-Strip loadings". *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 20, 1025-1037.
- Small, J.C. y Booker, J.R., 1986. "Finite layer analysis of layered elastic materials using a flexibility approach. Part 2- Circular and rectangular loadings". *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 23, 959-978.
- Sowa, V.A., 1970. "Pulling capacity of concrete cast *in situ* bored piles". *Can Geotech. J.*, 7: 482-493.
- Sowers, G.F., Martin, C.B., Wilson, L.L. y Fausold, M, 1961. "The Bearing Capacity of Friction Pile Groups in Homogeneous Clay from Model Studies". *Proc. 5th Int. Conf. S.M. & F.E.*, Vol. 2: 155-159.
- Sorensen, T. y Hansen, B., 1957. "The driving formulae an investigation based on dimensional considerations and a statistical analysis". *4th ICSMFE*, 2:61.
- Stermac, A.G., Selby, K.G. y Devata, M., 1969. "Behaviour of various types of piles in a stiff clay". *7º Cong. Int. Mec. Suelo, México*, 2: 239-245.
- Tejchman, A., 1971. "Skin friction of a model pile driven in sand". *D.G.I., Bull.* 29, 5-26.
- Teng, W.C., 1962. "Foundation Design". Prentice-Hall, Londres.
- Terzaghi, Karl, 1955. "Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction". *Geotechnique*, Vol. 5, nº 4, pp. 297-326.
- Terzaghi, K. y Peck, R. B., 1967. "Soil Mechanics in Engineering Practice". Wiley, N. Y.
- Thompson, G. R. 1977. "Application of the Finite Element Method to the Development of p-y curves for Saturated Clays." Master of Science in Engineering Thesis, The University of Texas at Austin, Austin, Texas.
- Thorburn, S. y Buchanan, N.W., 1980. "Pile embedment in fine-grained non-cohesive soils". 'Recent Developments in the Design and Construction of Piles'. I.C.E., Londres, 191-198.
- Thorburn, S. y Thorburn, J. Q., 1977. "Review of problems associated with the construction of castinplace concrete piles". CIRIA, Report P62.
- Thurman, A.G. y D'Appolonia, E., 1965. "Computed movement of friction and endbearing piles embedded in uniform stratified soil". *6th ICSMFE*, 2: 323-327.
- Tomlinson, M.J., 1957. "The adhesion of piles driven in clay". *4º Cong. Int, Mecánica del Suelo, Londres*, 2: 66-71.
- Tomlinson, M.J. y Woodward, J., 2008. "Pile design and construction practice". Taylor & Francis.
- Tosini, L., Cividini, A. y Gioda, G., 2010. "A numerical interpretation of load tests on bored piles". *Computers and Geotechnics*, 37(3), 425-430.
- Trochanis, A.M., Bielak, J. y Christiano, P., 1991. "Three-dimensional nonlinear study of piles". *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(3), 429-447.
- Tschuchnigg F., Schweiger H.F., 2013. "Comparison of deep foundation systems using 3D finite element analysis employing different modelling techniques". *Geotechnical Engineering J. of the SEAGS and AGSSEA*, 44(3): 40-46.
- Tschuchnigg, F. y Schweiger, H.F., 2015. "The embedded pile concept-Verification of an efficient tool for modelling complex deep foundations". *Computers and Geotechnics*, 63: 244-254.
- Turello, D.F., Pinto, F. y Sánchez, P.J., 2016. "Embedded beam element with interaction surface for lateral loading of piles". *Int. J. Numer. Anal. Methods in Geomech.*, 40: 568-582.

- Ukritchon, B., Correa Faustino, J., Keawsawasvong, S., 2016. "Numerical investigations of pile load distribution in pile group foundation subjected to vertical load and large moment". *Geomechanics and Engineering*, 10(5): 577-598.
- U.S. Army Corps of Engineers, 1993. "Design of Pile Foundations". ASCE, N.Y.
- Vallabhan, C.V.G, Mustafa, G. 1996. "A new model for the analysis of settlement of drilled piers". *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.*, 20(2):143-152.
- Van den Elzen, L. W. A., 1980. "Concrete screw piles, a vibrationless, nondisplacement piling method". 'Recent Developments in the Design and Construction of Piles', 6771.
- Van Impe, W. F., 1988. "Considerations on the auger pile design". "International geotechnical seminar on deep foundations on bored and auger piles": 193-218.
- Vázquez-Carretero, N., Justo, J.L., 2002. "La subsidencia en Murcia. Implicaciones y consecuencias en la edificación". *Conserjería de Obras Públicas, Vivienda y Transportes. Gobierno de Murcia*. ISBN: 84-87138-36-5.
- Vesić, A. B. 1961. "Beams on Elastic Subgrade and Winkler's Hypothesis." *ISMFE*, 1, 845-850.
- Vesić, A.S., 1967. "A study of bearing capacity of deep foundations". *Georgia. Inst. Tech. Project B-189*.
- Vesić, A.S., 1970. "Tests on instrumented piles, Ogeechee River Site". *J. Soil Mech. A.S.C.E.*, 96: SM 2:561-584.
- Vesić, A.S., 1972. "Expansion of Cavities in Infinite Soil Mass". *J.S.M.F.D., ASCE*, Vol. 98:265-290.
- Walker, L.K. y Le Darvall, P.P., 1973. "Dragdown on coated and uncoated piles". 7º cong. Int. Mec. Suelo, Moscú, 2.1: 257-262.
- Whitaker, T., 1957. "Experiments with model piles in groups". *Géotechnique*, 7:147-167.
- Whitaker, T. y Cooke, R.W., 1966. "An investigation of the shaft and base resistances on large bored piles in London clay". 'Large Bored Piles'. I.C.E., London, 7-50.
- Whitworth, L.J. y Turner, A.J., 1989. "Rock socket piles in the Sherwood sandstone of central Birmingham". 'Piling and Deep Foundations'. Balkema, 1: 327-336.
- Winkler, E., 1867. "Die Lehre von Elastizität und Festigkeit". Praga, 1867, p. 182.
- Woodward, R.J., Lundgren, R. y Boitano, J.D., 1961. "Pile loadings tests in stiff clay". 5º Cong. Int. Mec. Suelo, París, 2: 177-184.
- Wrana, B., 2015. "Pile load capacity-calculation methods. *Studia Geotechnica et Mechanica*", 37.
- Xiao, H. B., Zhong, H. H., and Wang, Y. H. (2003). "Analysis of pile's load transfer in layered soils." *J. Central South Univ. Technol.*, 34(6), 687-690 (en chino).
- Xiao, H.B., Zhang, C.S., Wang, Y.H., Fan, Z.H., 2011. "Pile-soil interaction in expansive soil foundation: analytical solution and numerical simulation". *Int. J. Geomech.*, 11(3): 159-166.
- Zhongju, F., Haibo, H., Ruixin, Z., Jingbin, H., Yunxiu, D., Kai, F., Yawan, Z., Huiyun, C., 2019. "Experiments on reducing negative skin friction of piles". *Advances in Civil Engineering*. DOI: 10.1155/2019/4201842.

Índice por palabras

- Adhesión: capítulo 1, página 34; capítulo 4, página 124
- Aguas residuales: capítulo 4, página 112
- Análisis de ecuación de onda
 - factor de amortiguamiento viscoso: capítulo 3, página 103
 - rigidez del suelo: capítulo 3, página 103
 - resistencia estática: capítulo 3, páginas 103 y siguientes
 - modelo de Smith: capítulo 3, páginas 103 y siguientes
- Ángulo de fricción entre pilote y terreno: capítulo 4, página 116
- Apertura
 - característica: capítulo 4, página 112
 - de fisura admisible: capítulo 4, página 111
- Aproximación de Steinbrenner: capítulo 5, página 135
- Arcilla de Londres: capítulo 4, páginas 125 y 127; capítulo 10, página 273
- Arcilla expansiva: capítulo 1, página 22; capítulo 4, página 124
- Arcilla residual: capítulo 4, página 127
- Asiento de grupos de pilotes: capítulo 10, páginas 272 y siguientes
 - coeficientes de interacción: capítulo 7, página 236; capítulo 10, páginas 277 y siguientes
 - ensayos de laboratorio: capítulo 10, páginas 272 y siguientes
 - ensayos de penetración: capítulo 10, páginas 272 y 277
 - pilotes de fricción en arcilla: capítulo 10, páginas 274
 - pilotes en arena: capítulo 10, páginas 276 y siguientes
 - inmediato: capítulo 10, página 274
 - métodos elásticos: capítulo 10, páginas 277 y siguientes
 - pilotes acampanados: capítulo 10, página 278
 - punta en estrato duro: capítulo 10, página 283
 - solución matricial: capítulo 10, páginas 279 y siguientes
- Asiento de un pilote aislado: capítulo 5, páginas 129 y siguientes
 - métodos semiempíricos para el cálculo del asiento: capítulo 5, páginas 129 y siguientes
 - métodos analíticos para el cálculo del asiento: capítulo 5, página 130 y siguientes

- Ataque químico: capítulo 4, página 112
- Capacidad portante de un pilote: capítulo 2, páginas 60 y 66; capítulo 3, página 94
componentes: capítulo 2, página 60
- Carga admisible a tracción: capítulo 4, página 110
- Carga de hundimiento de un pilote aislado: capítulo 2, páginas 57 y siguientes
a partir de pruebas de carga; capítulo 6, página 187
mecanismos de fallo: capítulo 2, página 58
en suelos; capítulo 2, páginas 59 y siguientes
en roca: capítulo 2, páginas 85 y siguientes
- Carga de hundimiento de grupos de pilotes: capítulo 10, páginas 267 y siguientes
como bloque: capítulo 10, páginas 266 y siguientes
en arcilla; capítulo 10, páginas 267 y siguientes
en arena: capítulo 10, páginas 270 y siguientes
por pilotes aislados; capítulo 10, páginas 267 y siguientes
por punzonamiento: capítulo 10, páginas 270 y siguientes
- Carga cíclica: capítulo 4, páginas 126 y siguientes
- Cargas oblicuas: capítulo 4, páginas 123 y siguientes
- Carrera de mareas: capítulo 4, página 112
- Célula Osterberg: capítulo 6, página 162
- Clases de exposición: capítulo 4, página 112
- Coefficiente de seguridad ante hundimiento: capítulo 2, páginas 90 y siguientes
- Control de ejecución de pilotes: capítulo 13, página 316
- Corrosión
 - por agua de mar: capítulo 4, páginas 112 y 113
 - por aguas agresivas: capítulo 4, página 111
 - por cloruros: capítulo 4, página 112
- Cross-hole: capítulo 13, página 318

- Deslizamiento pilote-terreno: capítulo 5, páginas 135 y siguientes
- Diámetro equivalente: capítulo 2, páginas 45 y 63 ; capítulo 4, página 111; capítulo 8, página 250; capítulo 10, página 266; capítulo 14 página 355
- Diferencias finitas: capítulo 5, páginas 133 y 134; capítulo 7, páginas 212 y 215; capítulo 14, página 336
- Discretización: capítulo 5, página 132; capítulo 7, página 218; capítulo 14, páginas 335 y 352

- Ecuaciones de compatibilidad: capítulo 5, página 136; capítulo 7, páginas 242 y siguientes; capítulo 11, página 296
- Ecuaciones de Mindlin: capítulo 5, páginas 132 a 138; capítulo 8, página 252 capítulo 9, página 262; capítulo 11, página 285
- Ensayo SPT: capítulo 2, páginas 66, 79 y siguientes
correcciones al ensayo: capítulo 2, página 65
- Ensayos de carga rápida: capítulo 6, página 145
- Ensayos de integridad: capítulo 6, página 143; capítulo 13, páginas 318 y siguientes
frecuencia de los ensayos; capítulo 13, página 333
- Ensayos dinámicos de carga: capítulo 13, página 318

- Ensayo de impedancia mecánica: capítulo 13, página 319
- Ensayo de transparencia sónica o cross-hole: capítulo 13, página 318
- Efecto del tiempo
- disipación de presiones intersticiales: capítulo 3, páginas 102, 105 y siguientes
 - ganancia de resistencia: capítulo 3, página 107
 - pérdida de resistencia: capítulo 3, página 105
 - arcillas blandas: capítulo 3, páginas 105 y 106
 - arcillas rígidas: capítulo 3, páginas 102 y 107
- Estado límite de hundimiento: capítulo 2, página 58
- Estado límite de servicio: capítulo 5, página 129
- Estructuras marinas: capítulo 1, página 50; capítulo 4, página 112
- Fisuración del hormigón: capítulo 4, páginas 109 y siguientes
- Fórmulas dinámicas de hinca
- penetración permanente: capítulo 3, páginas 94 y 96
 - energía cinética: capítulo 3, páginas 94 y siguientes
 - eficiencia del martillo: capítulo 3, páginas 95, 96 y 103
 - energía neta: capítulo 3, página 95
 - pérdida de energía: capítulo 1, página 45; capítulo 3, páginas 95 y 97; capítulo 13, página 320
- Fórmula de Hiley: capítulo 3, páginas 96 y siguientes
 - martillos de hinca: capítulo 1, página 44; capítulo 3, páginas 96
 - Fórmula Holandesa: capítulo 3, páginas 20, 94 y 100
 - sufridera: capítulo 1, página 48; capítulo 3, páginas 94 y siguientes; capítulo 6, páginas 166, 173 y siguientes
- Fricción de pilotes a tracción: capítulo 4, páginas 116 y siguientes
- media límite: capítulo 4, página 116
- Grupos de pilotes
- arriostamiento: capítulo 10, página 265
 - distribución de la carga entre pilotes: capítulo 10, página 271
 - Eficacia: capítulo 7, página 235; capítulo 10, páginas 267 y siguientes
 - espaciamiento: capítulo 2, página 85 y siguientes; capítulo 7, página 235; capítulo 10, páginas 266, 274 y siguientes
 - Fórmula de Los Ángeles: capítulo 10, página 268
 - pilotes columna sobre estrato rígido: capítulo 10, página 283
 - razón de asientos: capítulo 10, páginas 274 y siguientes; capítulo 11, páginas 298 y siguientes
 - separación: capítulo 7, páginas 235 y siguientes; capítulo 10, páginas 266 y siguientes; capítulo 11, página 298
 - separación crítica: capítulo 10, páginas 267 y siguientes, 274
 - verticales bajo carga vertical: capítulo 10, páginas 265 y siguientes
- Grupo de pilotes sometidos a carga lateral: capítulo 7, páginas 232 y siguientes
- desplazamiento: capítulo 7, páginas 235 y siguientes
 - desplazamientos horizontales: capítulo 7, páginas 240 y siguientes
 - esfuerzos en los pilotes: capítulo 7, página 245
 - método del coeficiente de balasto: capítulo 7, páginas 235 y siguientes

modelo elástico: capítulo 7, páginas 236 y siguientes
normativa CTE para grupos de pilotes: capítulo 7, páginas 240 y siguientes
resistencia lateral: capítulo 7, páginas 232 y siguientes

Impedancia mecánica: capítulo 13, páginas 219 y siguientes
de baja deformación: capítulo 13, página 320
ensayos de: capítulo 13, páginas 325 y siguientes

Inclinometría: capítulo 13, página 318

Instrucción de hormigón estructural: capítulo 1 página 55; capítulo 4, página 110

Instrumentación de las pruebas de carga: capítulo 6, páginas 146 y siguientes

Longitud crítica: capítulo 4, páginas 116 y 119; capítulo 7, página 224

Método de elementos finitos en el cálculo de pilotes: capítulo 14, páginas 335 y siguientes

mallado: capítulo 14, páginas 338, 340 y siguientes

modelos de materiales: capítulo 14, páginas 337 y siguientes

pilotes a compresión: capítulo 14, páginas 346 y siguientes

pilotes a tracción: capítulo 14, páginas 347 y siguientes

pilotes bajo carga lateral: capítulo 14, páginas 347 y siguientes

pilotes embebidos (embedded piles): capítulo 14, páginas 339 y siguientes

pilotes volumétricos: capítulo 14, páginas 342 y siguientes

programa Plaxis: capítulo 14, páginas 339 y siguientes

validación de los modelos: capítulo 14, páginas 342 y siguientes

Método de la ecuación integral: capítulo 5, páginas 130 y siguientes; capítulo 10, páginas 277 y siguientes; capítulo 12, páginas 303 y siguientes; capítulo 14, páginas 349 y siguientes

Método de la transferencia de carga para el cálculo de asientos: capítulo 5, páginas 130 y siguientes

Método de Meyerhoff para el cálculo de asientos: capítulo 5, páginas 129 y siguiente

Método sónico de reflexión o impedancia mecánica: capítulo 13, páginas 219 y siguientes

Módulo de elasticidad del terreno: capítulo 5, páginas 136 y siguientes; capítulo 10, página 279; capítulo 12, página 303

Módulo de elasticidad del pilote: capítulo 3, página 100; capítulo 4, página 126; capítulo 5, páginas 130 a 133 ; capítulo 7, página 226; capítulo 10, página 279

Pandeo: capítulo 9, páginas 255 y siguientes

carga crítica: capítulo 9, página 255 y siguientes

consideraciones energéticas: capítulo 9, páginas 11 y 12

ecuación diferencial: capítulo 9, páginas 256 y siguientes

ensayos en modelo: capítulo 9, página 262

inestabilidad direccional: capítulo 9, páginas 256, 263 y 264

método de Robinson: capítulo 9, página 262

hipótesis del coeficiente de balasto: capítulo 9, páginas 258 y siguientes

terreno lineal-elástico: capítulo 9, páginas 262 y siguientes

Pile Driving Analyzer: capítulo 6, página 169; capítulo 13, página 319

Pilote aislado sometido a carga lateral: capítulo 7, páginas 191 y siguientes

carga de rotura, normativa. CTE: capítulo 7, página 202 y siguientes

cargas laterales admisibles: capítulo 7, página 192

- desplazamiento lateral y esfuerzos del pilote aislado: capítulo 7, páginas 208 y siguientes
 método de Broms para suelos cohesivos: capítulo 7, páginas 192 y siguientes
 método de Broms para suelos no cohesivos: capítulo 7, páginas 197 y siguientes
 modelo elástico de Poulos; capítulo 7, páginas 220 y siguientes
 módulo de balasto horizontal constante con la profundidad: capítulo 7, páginas 210 y siguientes
 módulo de balasto horizontal que varía linealmente con la profundidad: capítulo 7, páginas 212 y siguientes
 normativa CTE. Cálculo de esfuerzos: capítulo 7, páginas 230 y siguientes
 normativa CTE. Desplazamiento del pilote aislado sometido a carga lateral”; capítulo 7, páginas 226 y siguientes
 presión-desplazamiento del terreno o Modelo p - y : capítulo 7, páginas 215 y siguientes
 ROM 0.5 05: capítulo 2, páginas 88 y siguientes; capítulo 7, página 191 y siguientes, 231 y siguientes, 251
 Pilote columna: capítulo 2, página 86
 Pilote flotante: capítulo 2, página 251
 Pilotes
 clasificación: capítulo 1, páginas 25 y siguientes
 cortos; capítulo 4, páginas 116 y siguientes, 124
 de desplazamiento: capítulo 1, páginas 50 y siguientes; capítulo 4, página 116
 de madera: capítulo 1, páginas 52 y siguientes; capítulo 2, página 58; capítulo 3, páginas 93 y 98; capítulo 6, página 164
 de perforación; capítulo 1, páginas 21, 26, 27, 29, 37; capítulo 2, página 76; capítulo 4, páginas 116 a 128; capítulo 10, página
 de perforación de gran diámetro: capítulo 1, página 27; capítulo 10, página 266
 en H: capítulo 1, página 41; capítulo 4, página 118; capítulo 6, páginas 164, 177
 Hércules: capítulo 1, páginas 7, 29 y 30; capítulo 4, página 128
 helicoidales: capítulo 1, página 39; capítulo 4, páginas 128
 hincados: capítulo 1, páginas 25, 40 y siguientes, 50 y siguientes; capítulo 2, página 63, 72 y siguientes, 88 y siguientes; capítulo 3, páginas 93, 105 y siguientes; capítulo 4, páginas 116 y siguientes; capítulo 6, página 160 y siguientes; capítulo 10, páginas 266 y siguientes; capítulo 13, páginas 315 y siguientes
 largos: capítulo 2, página 77; capítulo 4, páginas 116 y siguientes; capítulo 6, página 185; capítulo 7, página 193 y siguientes
 prefabricado: capítulo 1, página 42, 54; capítulo 3, página 94, 144; capítulo 13, página 318; capítulo 14, página 344
 Rodiostar: capítulo 1, página 54
 Starsol: capítulo 1, página 54
 tubulares: capítulo 1, página 45, 48, 52; capítulo 4, página 128
 Pilotes en suelos parcialmente saturados: capítulo 12, páginas y siguientes
 deslizamiento entre suelo y pilote: capítulo 12, página 308
 efecto de la carga axil: capítulo 12, página 308 y siguiente
 en suelo expansivo: capítulo 12, página 302 y siguiente
 método de la ecuación integral: capítulo 12, páginas 303 y siguientes
 método de Xiao *et al.*: capítulo 12, páginas 309 y siguientes

- pilote incompresible: capítulo 12, páginas 304 y siguientes
- principio de superposición: capítulo 12, páginas 309 y siguientes
- rotura a compresión del pilote: capítulo 12, página 309
- rotura a tracción del pilote: capítulo 12, página 309
- Pilotes inclinados: capítulo 11, páginas 285 y siguientes
 - asientos: capítulo 11, páginas 298 y siguientes
 - aislados: capítulo 11, páginas 287 y siguientes
 - grupos: capítulo 11, páginas 285, 296 y siguientes
 - pilotes articulados: capítulo 11, página 298 y siguientes
 - pilotes empotrados: capítulo 11, páginas 297 y siguientes
 - interacción entre pilotes: capítulo 11, páginas 285, 286, 294 y siguientes
 - interacción entre pilotes inclinados: capítulo 11, páginas 286, 294 y siguientes
 - matriz de interacción: capítulo 11, páginas 293 y siguiente
 - matrices de coeficientes: capítulo 11, página 134
 - método de los elementos de contorno: capítulo 11, páginas 285 y siguientes
 - movimiento de un pilote en un grupo: capítulo 11, páginas 296
- Plastificación: capítulo 3, página 104; capítulo 5, página 135; capítulo 7, página 224
- Principio de superposición: capítulo 7, página 213, 230 y 236; capítulo 11, páginas 214 y 230
- Profundidad crítica: capítulo 2, páginas 77 y siguientes
- Pruebas de carga de pilotes: capítulo 6, páginas 143 y siguientes
 - frecuencia de los ensayos: capítulo 6, páginas 135 y siguientes
- Pruebas de carga dinámica: capítulo 6, páginas 165 y siguientes
 - método CAPWAP: capítulo 6, páginas 172 y siguientes
 - método CASE: capítulo 6, página 169 y siguientes
 - pilotes perforados: capítulo 6, páginas 173 y siguientes
- Pruebas de carga estática: capítulo 6, página 147 y siguientes
 - bidireccional: capítulo 6, página 160 y siguientes
 - estática a compresión: capítulo 6, páginas 148 y siguientes
 - estática a tracción: capítulo 6, páginas 156 y siguientes
 - estática de carga lateral: capítulo 6, páginas 148 y siguientes
- Pruebas de carga rápida: capítulo 6, páginas 177 y siguientes
 - método del punto de descarga UPM: capítulo 6, página 181 y siguientes
 - método Statnamic: capítulo 6, páginas 178 y siguientes
 - método StatRapid: capítulo 6, página 179 y siguientes
- Punzonamiento: capítulo 2, páginas 69 y siguientes; capítulo 10, página 270

- Relación carga-asiento: capítulo 5, página 129; capítulo 10, página 277; capítulo 14, página 341
- Resistencia a tracción: capítulo 4, páginas 109 y siguientes; capítulo 12, páginas 302 y 309
 - al arrancamiento: capítulo 4, páginas 115 y siguientes
 - de las juntas: capítulo 4, página 113
 - del terreno: capítulo 4, página 109 y siguientes
 - estructural: capítulo 4, página 109, 113
- Resistencia estructural a compresión: capítulo 2, página 91 y siguientes ; capítulo 8, página 247
- Resistencia por el fuste
 - concepto: capítulo 2, página 60
 - resistencia unitaria: capítulo 2, página 61
 - en terrenos heterogéneos: capítulo 2, página 267

- cálculo a partir de los parámetros de Mohr-Coulomb: capítulo 2, página 74
- cálculo en situaciones no drenadas: capítulo 2, páginas 285 y siguientes
- cálculo a partir del SPT: capítulo 2, páginas 80 y siguientes
- cálculo a partir de ensayos de penetración estática: capítulo 2, páginas 82 y siguientes
- cálculo a partir de ensayos presiométricos: capítulo 2, páginas 84 y siguientes
- en arenas: capítulo 2, página 67; capítulo 3, páginas 107; capítulo 4, páginas 116 y siguientes
- en arenas en función de los ensayos de penetración: capítulo 4, página 119
- en arcillas: capítulo 2, página 67; capítulo 3, páginas 106 y siguientes: capítulo 4, páginas 124 y siguientes
- Resistencia por la punta
 - concepto: capítulo 2, página 60
 - resistencia unitaria: capítulo 2, páginas 61 y siguientes
 - en terrenos heterogéneos: capítulo 2, páginas 67 y siguientes
 - cálculo a partir de los parámetros de Mohr-Coulomb: capítulo 2, páginas 72 y siguientes
 - cálculo en situaciones no drenadas: capítulo 2, páginas 77 y siguientes
 - cálculo a partir del SPT: capítulo 2, página 79
 - cálculo a partir de ensayos de penetración estática: capítulo 2, página 82
 - cálculo a partir de ensayos presiométricos: capítulo 2, página 83
- Rozamiento negativo
 - por asiento de suelo subconsolidado: capítulo 8, página 247
 - por descenso de nivel freático: capítulo 8, página 251
 - por la hincada de pilotes: capítulo 8, página 252
 - reducción: capítulo 8, página 253
- Semiespacio elástico: capítulo 1, página 21; capítulo 5, páginas 131 a 138; capítulo 7, páginas 221, 224, 225 y 238; capítulo 11, página 286
- Tope estructural
 - a compresión: capítulo 2, página 91
 - a tracción: capítulo 4, páginas 111 a 115
 - por fisuración: capítulo 4, página 113
- Tracción máxima por fisuración: capítulo 4, página 113
- Transparencia sónica: capítulo 13, página 327
- Zona activa: capítulo 2, página 80
- Zona pasiva: capítulo 2, página 80

PILOTES

El estudio del comportamiento del pilote ha atraído durante décadas la atención de muchos investigadores. El empleo de este procedimiento de construcción se remonta a los orígenes de la arquitectura y del arte de cimentar, pues los de madera se usaban ya en los palafitos, o viviendas lacustres neolíticas, construidas desde el año 5000 a.C. El libro ofrece una información extensa sobre los tipos disponibles en el mercado, una guía para su elección y para la aplicación de la normativa existente; se exponen soluciones para estimar la resistencia y la deformación de pilotes aislados o en grupo, bajo cargas de todo tipo, incluida la tracción o el rozamiento negativo. Los resultados se sintetizan en gráficos y tablas de fácil aplicación. Se ofrecen algunos problemas y soluciones teóricas que no suelen encontrarse en los manuales de cimentaciones, como, por ejemplo, el pandeo de pilotes, el asiento de grupos de pilotes determinado mediante el método de la ecuación integral y los pilotes inclinados. En el último capítulo, dedicado al método de elementos finitos, resulta especialmente interesante la comparación de dos alternativas disponibles: representar los pilotes mediante barras “estructurales” embebidas en la malla de elementos finitos o bien mediante un pilote “volumétrico” discretizado en elementos finitos.

