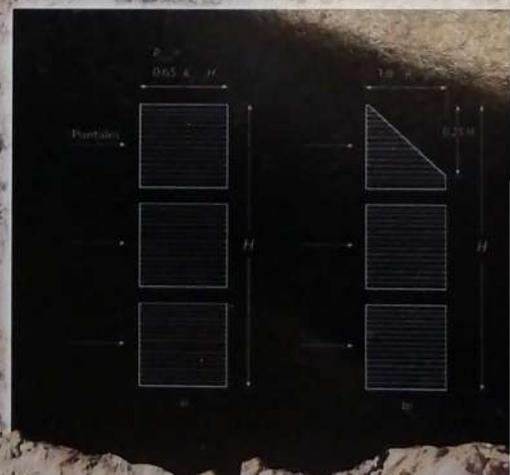
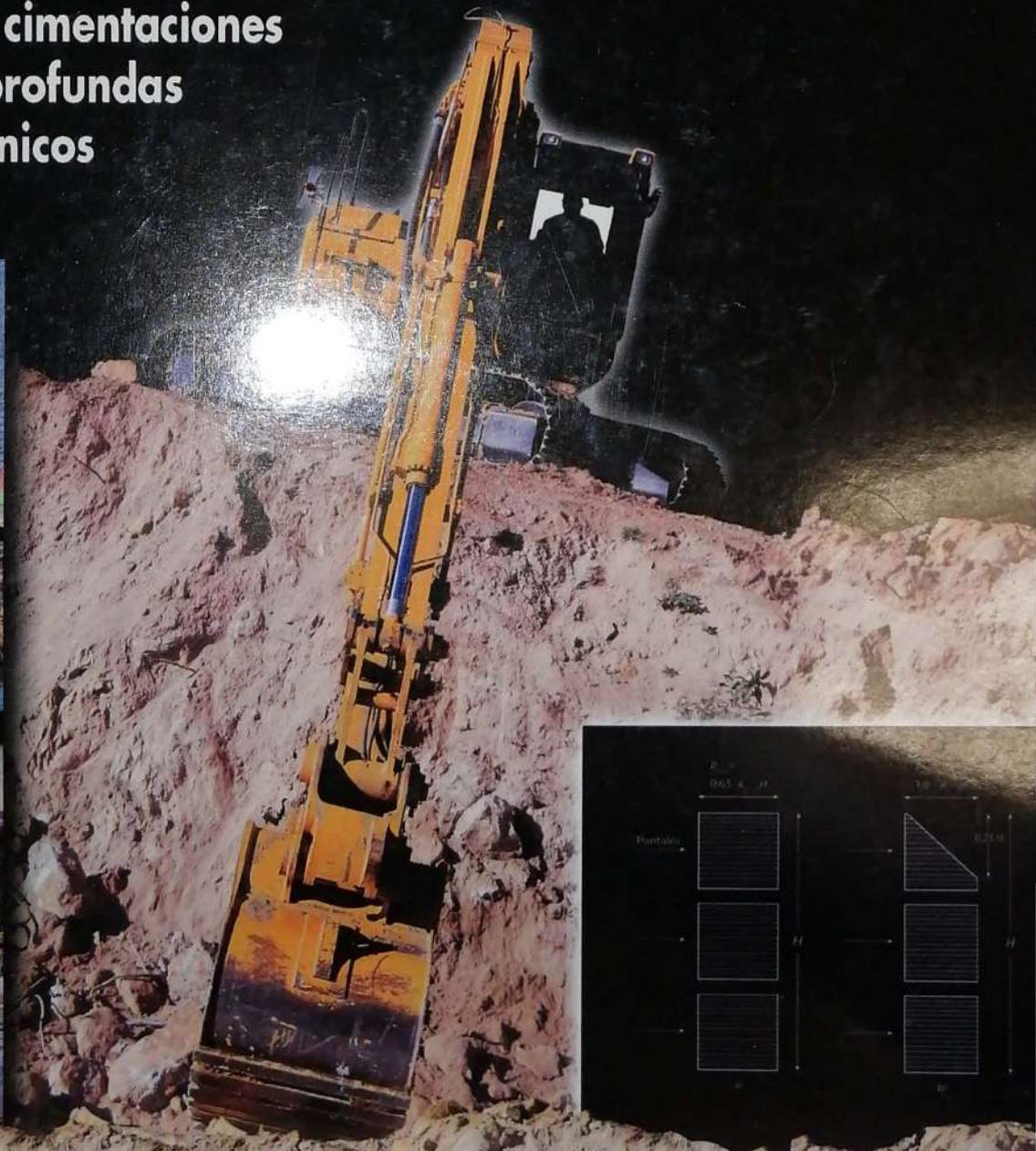


CIMENTACIONES

Diseño y construcción

- Construcción de cimentaciones
- Cimentaciones profundas
- Procesos geotécnicos
- Ataguías



M. J. Tomlinson

trillas 

OTROS TÍTULOS DE LA SERIE

Materiales y procedimientos de construcción

Mecánica de suelos y cimentaciones

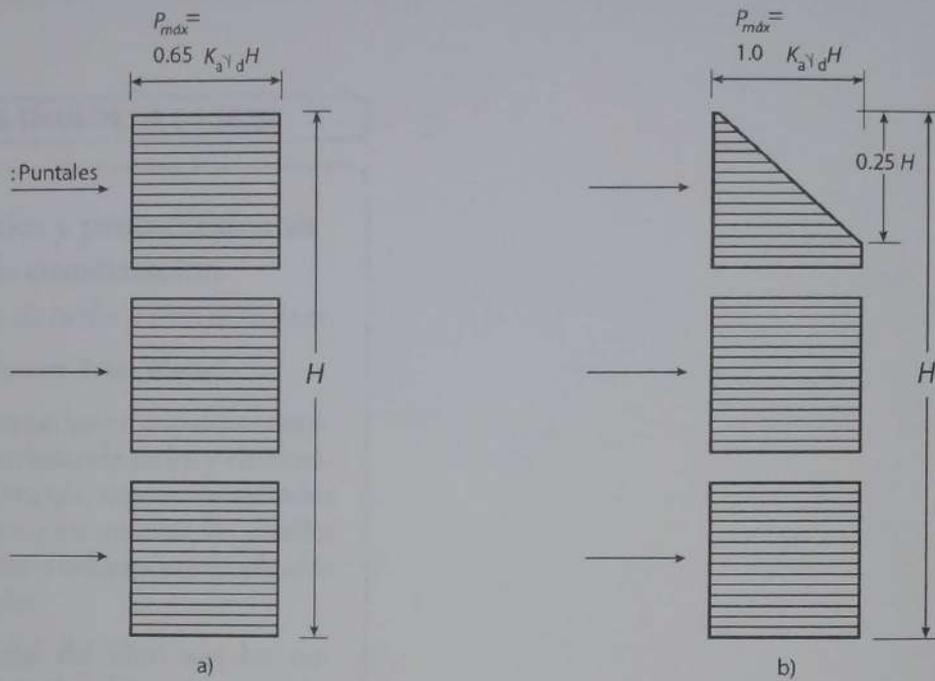
Vicente Pérez Alamá

El autor resume los principales conceptos de la mecánica de suelos y cimentaciones, a la vez que expone los métodos más óptimos para ejecutar los detalles constructivos comúnmente empleados en este medio.

Parte esencial del libro son los numerosos ejemplos ilustrativos —relacionados con casos prácticos— que el autor presenta, los cuales pueden resolverse conforme a los conocimientos tratados en cada capítulo. Por otra parte, el proyectista y el constructor encontrarán aquí los medios para resolver una excavación o calcular una cimentación profunda.

CIMENTACIONES

Traducción: **Ana Elisa Benavent**
Revisión técnica: **Mtro. en Ing. Luis Eduardo Pérez Rocha**
Ing. Efraín Vargas



CIMENTACIONES

Diseño y construcción



M. J. Tomlinson

Con la colaboración de

R. Boorman

**EDITORIAL
TRILLAS**



México, Argentina, España
Colombia, Puerto Rico, Venezuela

Catalogación en la fuente

Tomlinson, M. J.

Cimentaciones : diseño y construcción. -- México : Trillas, 1996 (reimp. 2017).

555 p. : il. ; 27 cm

Traducción de: Foundation Design and Construction

Incluye bibliografías e índices

ISBN 978-968-24-5132-4

1. Cimientos. 2. Construcción. I. Boorman, R. II. t.

D- 624.15T819c

LC- TA775T6.2

2789

Título de esta obra en inglés:
Foundation Design
and Construction

Versión autorizada en español
de la publicación en inglés por
Longman Scientific & Technical
ISBN 0-58-28642-5

La presentación y
disposición en conjunto de
CIMENTACIONES.

Diseño y construcción
son propiedad del editor.

Ninguna parte de
esta obra puede ser
reproducida o transmitida, mediante ningún
sistema o método, electrónico o mecánico
(incluyendo el fotocopiado, la grabación
o cualquier sistema de recuperación y
almacenamiento de información),
sin consentimiento
por escrito del editor

Derechos reservados en lengua española
©1996, Editorial Trillas, S. A. de C. V.

División Administrativa,
Av. Río Churubusco 385,
Col. Gral. Pedro María Anaya,
C. P. 03340, México, Ciudad de México
Tel. 56884233, FAX 56041364
churubusco@trillas.mx

División Logística,
Calzada de la Viga 1132,
C. P. 09439, México, Ciudad de México
Tel. 56330995, FAX 56330870
laviga@trillas.mx

 **Tienda en línea**
www.etrillas.mx

Miembro de la Cámara Nacional de
la Industria Editorial
Reg. núm. 158

Primera edición en español OM
ISBN 978-968-24-5132-4
‡ (SR, SA, SE, TR)

Reimpresión, enero 2017*

Impreso en México
Printed in Mexico

Prefacio a la quinta edición

La revisión de esta edición consistió básicamente en actualizar todos los capítulos y relacionarlos con los descubrimientos recientes en ingeniería de cimentaciones. Incluye métodos para determinar la presión de soporte permisible y los asentamientos de cimentaciones en roca, así como las cargas permitidas sobre pilotes al manejarlos o taladrarlos en la roca.

Se emplean métodos de diseño por computadoras para ampliar el alcance de la ingeniería y facilitar la solución del mayor número posible de problemas complejos de interacción entre el suelo y la estructura. El autor agradece a Roger Boorman, BSc, MEng, MICE, FIStructE, de la empresa Wimpey Offshore Engineers and Constructors Limited, por sus contribuciones en el diseño asistido por computadora (CAD) y por mantener la "conexión Wimpey" a lo largo de las cinco ediciones de este libro.

Se incluyen algunos casos recientes, aunque el autor ha decidido mantener muchos ejemplos ya no tan recientes—algunos de ellos de hace más de 50 años—los cuales ilustran la enorme ingenuidad en la construcción de cimentaciones.

Se agradece a las siguientes entidades el permiso otorgado para la reproducción de ilustraciones, fotografías, etc.

Wimpey Group Services Ltd. Figuras 1.3, 1.18, 1.20, 1.24, 5.4, 5.7, 5.16, 6.30, 8.11, 8.19*b*, 9.3, 9.4, 9.11, 10.10, 10.20, 11.19, 11.20, 11.28, 11.34, 12.18

Crown Copyright: Controller of HM Stationary Office: Figuras 2.29, 3.5, 3.6, 9.41, 13.1, Tabla 3.1

English Drilling Equipment Co. Ltd: Figura 1.17

John Wiley & Sons Inc.: Figuras 1.21, 2.16*a*, 2.19, 6.7, 9.36, 11.10

Sociedad Geotécnica de Suecia (Swedish Geotechnical Society): Figura 1.11

Instituto Danés de Geotecnia (Danish Geotechnical Institute) : Figuras 2.10, 2.12, 2.13, 7.33

Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones (International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering): Figuras 1.6, 2.17, 3.5, 3.6, 5.8, 9.35, 9.42

Pentech Press: Figuras 2.24, 2.36

Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineers): Figuras 2.31, 2.33, 2.55, 2.56, 2.57, 6.26, 7.14, 7.20, 7.42, 7.44, 7.48, 10.12

C. S. I. R. O. (Australia): Figura 3.4

Sociedad de Ingeniería del Medio Ambiente (The Society of Environmental Engineering): Figura 3.29

Butterworth & Co. (Editores) Ltd.: Figuras 2.53, 2.54, 10.27

(Institución de Ingenieros en Estructura. (The Institution of Structural Engineers): Figuras 5.12, 6.8, 12.20, 12.21

The Tudor Engineering Company: Figura 6.16

The Canadian Geotechnical Journal: Figuras 2.37, 7.16

Taylor Woodrow Construction: Figura 6.37

Universidad Duke : Figura 7.8

Geo Publications Ltd.: Figura 5.40

Pitman Books Limited: Figuras 6.39, 6.40

Asociación de Investigación e Información de la Industria de la Construcción (Construction Industry Research and Information Association): Figuras 5.31, 5.32, 5.39, 7.11

Departamento de Ingeniería de la Universidad de Cambridge: Figura 7.37

L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics: Figuras 7.22

- Redhurst Engineering Co. Ltd.: Figura 8.1
 C. E. T. Plant Ltd.: Figuras 8.2, 8.4, 8.7
 BSP International Foundations Ltd.: Figuras 8.3, 8.5, 8.6,
 8.37
 Autoridades de Muelles y Puertos (Dock and Harbour
 Authority): Figuras 8.21, 8.39
 Soil Mechanics Ltd.: Figura 8.25
 Keilawarra Ltd.: Figura 8.26
 Raymond International Inc.: Figura 8.29
 West's Piling and Construction Ltd.: Figura 8.30
 Sir Robert McAlpine and Sons Ltd.: Figura 8.31
 Brendan Butler Ltd.: Figura 8.32
 Cementation Piling and Foundations Ltd.: Figuras 8.33,
 10.26, 11.35
 Lilley Construction Co. Ltd.: Figura 8.33
 Engineering News Record: Figuras 6.27, 9.9, 11.32
 British Steel Corporation: Tablas 8.3, 10.1
 Speed-Shore (Reino Unido) Ltd.: Figura 9.20
 Edmund Nutall Sons & Co. (Londres) Ltd.: Figuras 6.39,
 6.40, 9.33
 Instituto Geotécnico de Noruega (Norwegian Geotechnical
 Institute): Figura 9.37
 Columbia University Press: Figura 10.7
 Pynford Ltd.: Figuras 12.11, 12.19
 Ove Arup and Partners: Figura 12.16
 Sociedad de Ingenieros Civiles de Boston (Boston Society of
 Civil Engineers): Tabla 2.4
 Universidad de Illinois: Tabla 2.5
 Estación experimental de vías navegables del Ejército de
 los Estados Unidos (U. S. Army Waterways Experiment
 Station): Figuras 7.43, 11.9
 Offshore Technology Conference: Figuras 7.45, 7.46, 7.51
 Institución de Normas de la Gran Bretaña (British Stan-
 dards Institution): Extracto del CP3: Capítulo 5: Carga (las
 copias de éste y otros Códigos de Práctica a los cuales se hace
 referencia en el texto pueden obtenerse en el British Standards
 Institution, Park Street #2, Londres, W1A 2BS)
 Institución de Ingenieros Civiles (Institution of Civil Engi-
 neers): Las ilustraciones tomadas de sus publicaciones perió-
 dicas y actas, y de *Geotechnique*, aparecen enlistadas en la
 bibliografía al final de cada capítulo.

M. J. T.
 Isleworth
 (1986)

Prefacio a la primera edición

El ánimo del autor ha sido proporcionar a los ingenieros en ejercicio de su profesión un manual de métodos de diseño y construcción de cimentaciones. Esta obra no pretende ser un libro de texto de mecánica de suelos, aunque incluye ejemplos de las aplicaciones de esta ciencia en la ingeniería de cimentaciones. Los principios básicos de esta disciplina se explican brevemente; el lector deberá referirse a los libros de texto de la materia para conocer los fundamentos teóricos de ésta. Se espera que las limitaciones y dificultades de la mecánica de suelos queden claramente definidas—la excesiva confianza de la mecánica de suelos puede ser peligrosa si los diseños de cimentaciones están basados en datos inadecuados o en el uso de técnicas de investigación equivocadas.

El profesor Peck ha enlistado tres factores necesarios en la práctica de la ingeniería del subsuelo; estos son: el conocimiento de los antecedentes, la familiaridad con la mecánica de suelos y el conocimiento de la geología. En su opinión, el primero de estos aspectos es, con mucho, el más importante. En relación con la mecánica de suelos, afirma lo siguiente:

Los procedimientos actuales para calcular la capacidad de carga, los asentamientos o el factor de seguridad de un talud no son más que la aplicación (o el uso) del marco de la mecánica de suelos para organizar las experiencias. Si las técnicas de pruebas del suelo y las teorías no han dado resultados acordes con la experiencia y la observación de campo, éstas no deben adoptarse para usos prácticos generales. En realidad (o de hecho), los procedimientos son válidos y se justifican sólo en la medida en que han sido verificados por la experiencia. En este sentido, los procedimientos comunes de mecánica de suelos son simplemente

mecanismos de interpolación entre las experiencias específicas de muchos ingenieros en atención a la solución de nuestros problemas, o de aquellos que entran en el campo de la experiencia.

El autor ha incluido información sobre cimentaciones comunes, incluyendo el diseño —muy económico— de cimentaciones para casa-habitación, como una ayuda para arquitectos y constructores en el uso de las técnicas de investigación y construcción actuales. La aplicación de los principios de la mecánica de suelos en la capacidad de carga de todo tipo de cimentaciones con pilotes es una modalidad relativamente nueva, pero cuyas ventajas empiezan a ser reconocidas en relación con los métodos antiguos basados en la formulación dinámica, motivo por el cual este tema se desarrolla ampliamente en el presente libro. Se espera que la información proporcionada sobre cimentaciones con pilotes de largo diámetro sea útil para el diseño de cimentaciones de edificios altos. La experiencia en años recientes ha demostrado las ventajas económicas de estos pilotes de alta capacidad de carga sobre los de tipo convencional en los cuales las cargas pesadas de la cimentación tienen que ser soportadas.

La información básica de mecánica de suelos ha sido tomada principalmente del libro *Soil Mechanics in Engineering Practice*, de Terzaghi y Peck (John Wiley). Respecto a los problemas de construcción, el autor se basa en sus experiencias con la empresa George Wimpey & Co. Ltd., y agradece al doctor L. J. Murdock, DSc, MICE, gerente del laboratorio Central de la empresa, por otorgar el permiso para publicar esta información, junto con ilustraciones y fotografías. La información general sobre la práctica del diseño en Gran Bretaña ha sido obtenida del Código de Prácticas del

Institution of Civil Engineers Code of Practice No. 4, "Cimentaciones", con la amable anuencia de la Institución.

El autor agradece ampliamente a sus colegas por la ayuda y crítica que le brindaron durante la preparación de este libro, y especialmente a A. D. Rae, B. Sc., por la revisión del manuscrito y las pruebas, y al profesor H. O. Ireland, de la Universidad de Illinois, por la lectura crítica del manuscrito y la ase-

soía en lo que respecta a su aplicación en la práctica de la ingeniería en Estados Unidos de América. Las ilustraciones son obra de las señoras W. Alder y P. Payne.

M. J. T.
Amersham
(1963)

Índice de contenido

Prefacio a la quinta edición	5	2.8. Aplicabilidad de métodos computarizados al análisis y diseño de cimentaciones, 106	
Prefacio a la primera edición	7	2.9. Ejemplos sobre el capítulo dos, 113	
Cap. 1. Investigación del terreno y mecánica de suelos	13	Referencias bibliográficas, 122	
1.0. Requerimientos generales, 13		Cap. 3. Diseño de cimentaciones en relación con los movimientos de tierra	125
1.1. Información requerida de una investigación del terreno, 14		3.1. Movimientos de tierra, 125	
1.2. Investigación de las fallas de cimentación en el terreno, 16		3.2. Movimientos de tierra debidos a la filtración de agua y a la erosión de la superficie, 132	
1.3. Preparación de las perforaciones, 17		3.3. Movimientos de tierra debidos a vibraciones, 133	
1.4. Exploración en suelos, 19		3.4. Movimientos de tierra debidos al deslizamiento de laderas, 133	
1.5. Exploración en rocas, 32		3.5. Movimientos de tierra debidos al hundimiento de minería, 134	
1.6. Aguas subterráneas, 36		3.6. Cimentaciones en terrenos rellenados, 146	
1.7. Registros de perforaciones, 38		3.7. Cimentaciones para maquinaria, 148	
1.8. Investigaciones para cimentaciones de obras sobre agua, 39		Referencias bibliográficas, 152	
1.9. Métodos geofísicos de investigación del terreno, 39		Cap. 4. Cimentaciones profundas	155
1.10. Pruebas de suelos en laboratorio, 41		4.1. Determinación de presiones de carga permisibles, 155	
1.11. Pruebas de rocas en laboratorio, 45		4.2. Diseño estructural y de construcción, 160	
1.12. Reporte de las obras de cimentación, 46		4.3. Cimentaciones para columnas estructurales de acero, 170	
1.13. Propiedades de cimentación de tipos de suelos, 48		4.4. Cimentaciones emparrilladas, 170	
1.14. Propiedades de cimentación de las rocas, 53		4.5. Losas de cimentación, 171	
Referencias bibliográficas, 55		4.6. Ejemplos en el capítulo 4, 175	
Cap. 2. Principios generales del diseño de cimentaciones	57	Referencias bibliográficas, 180	
2.1. Tipos y definiciones de cimentaciones, 57		Cap. 5. Losas de flotación y sótanos (cimentaciones de cajón)	181
2.2. Estimación de presiones de carga permisibles, 61		5.1. Principios generales de diseño, 181	
2.3. Cálculos para la capacidad de carga final mediante métodos teóricos de mecánica de suelos, 62		5.2. Efectos de arrastre en cimentaciones profundas, 182	
2.4. Estimación de presiones de carga, permisibles mediante métodos empíricos, 70		5.3. Losas de cimentaciones por flotación, 183	
2.5. Factores de seguridad, 77		5.4. Sótanos o cimentaciones de cajón, 188	
2.6. Asentamiento de cimentaciones, 77			
2.7. Asentamiento de cimentaciones sobre rocas, 102			

- 5.5. Sótanos de pilotes, 199
- 5.6. Pilotes para reducir asentamientos en losas piloteadas y en sótanos, 202
- 5.7. Diseño estructural de losas de sótanos, 203
- 5.8. Aplicación de métodos basados en computadoras para el diseño de losas y losas piloteadas, 208
- 5.9. Sótanos impermeables, 215
- Referencias bibliográficas, 218

Cap. 6. Cimentaciones con pilas y con cajones de excavación 221

- 6.1. Definiciones, 221
- 6.2. Presiones de carga para cimentaciones con pilas y cajones de excavación, 221
- 6.3. Diseño y construcción de cimentaciones con pilas, 224
- 6.4. Diseño y construcción de cimentaciones de cajón, 227
- 6.5. Construcción de cajones y métodos de hundimiento, 239
- 6.6. Ejemplos de diseño y construcción de cajones, 248
- Referencias bibliográficas, 254

Cap. 7. Cimentaciones sobre pilotes 1. Capacidad de soporte de pilotes y grupos de pilotes 257

- 7.1. Clasificación de pilotes, 257
- 7.2. Comportamiento de pilotes y grupos de pilotes bajo carga, 258
- 7.3. Definiciones de carga de falla en pilotes, 259
- 7.4. Cálculo de cargas finales en pilotes aislados hincados sobre suelos no cohesivos, 260
- 7.5. Cálculo de cargas últimas en pilotes hundidos a colados en sitio sobre suelos no cohesivos, 265
- 7.6. Cálculo de cargas últimas en pilotes perforados y colados en sitio sobre suelos no cohesivos, 266
- 7.7. Cargas últimas en pilotes hundidos en suelos cohesivos, 266
- 7.8. Pilotes hundidos y colados en sitio sobre suelos cohesivos, 271
- 7.9. Pilotes perforados y colados en sitio sobre suelos cohesivos, 271
- 7.10. Cálculo de la capacidad de soporte de pilotes en suelos intermedios entre arena y arcilla y suelos estratificados, 274
- 7.11. Capacidad de soporte de pilotes cimentados en roca, 274
- 7.12. Pilotes en terraplén-fricción superficial negativa, 276
- 7.13. Capacidad de soporte de grupos de pilotes, 279
- 7.14. Diseño de pilotes axialmente cargados considerados como columnas, 285
- 7.15. Pilotes que resisten levantamientos, 285
- 7.16. Pilotes sujetos a cargas horizontales o inclinadas, 289
- 7.17. Comportamiento de pilotes bajo cargas vibratorias, 296
- 7.18. Métodos computarizados para predecir el comportamiento carga/deformación de un pilote aislado y de grupos de pilotes bajo carga axial y lateral, 297

- 7.19. Cálculo de la capacidad de soporte y de la viabilidad de hincado mediante fórmulas dinámicas, 303
- 7.20. Procedimiento para correlacionar métodos estáticos de cálculo de la resistencia de pilotes con registros de hundimiento, 307
- 7.21. Ejemplos en el capítulo 7, 308
- Referencias bibliográficas, 319

Cap. 8. Cimentaciones con pilotes 2. Diseño estructural y métodos de construcción 323

- 8.1. Clasificación de tipos de pilote, 323
- 8.2. Equipo para el hundimiento de pilotes, 324
- 8.3. Pilotes a chorro, 330
- 8.4. Hundimiento de pilotes por vibración, 331
- 8.5. Hundimiento de pilotes sobre agua, 331
- 8.6. Hundimiento de pilotes a través de suelo difícil, 332
- 8.7. Pilotes de prueba, 333
- 8.8. Pilotes de madera, 337
- 8.9. Pilotes de concreto precolado, 339
- 8.10. Unión de pilotes de concreto precolado, 345
- 8.11. Pilotes de concreto preesforzado, 346
- 8.12. Pilotes de acero, 349
- 8.13. Tipos de pilotes hundidos y colados en sitio, 354
- 8.14. Tipos de pilote perforado, 357
- 8.15. Tipos de pilote compuesto, 366
- 8.16. Diseño de cubiertas y de vigas de cubierta, 367
- 8.17. Economía de las cimentaciones con pilotes, 370
- 8.18. Elección del tipo de pilote, 371
- Referencias bibliográficas, 373

Cap. 9. Construcción de cimentaciones 375

- 9.1. Preparación del sitio, 375
- 9.2. Métodos de excavación, 376
- 9.3. Estabilidad de pendientes para excavaciones abiertas, 378
- 9.4. Excavación de zanjas, 385
- 9.5. Refuerzo de excavaciones con maderaje y tablestacas, 386
- 9.6. Diseño estructural de soportes de excavaciones, 399
- 9.7. Estabilidad general de excavaciones apuntaladas, 406
- 9.8. Aflojamiento o rendimiento hacia adentro y asentamiento del terreno alrededor de excavaciones, 407
- 9.9. Utilización de las técnicas de elemento finito para predecir las deformaciones alrededor de excavaciones profundas, 410
- 9.10. Ejemplos en el capítulo 9, 413
- Referencias bibliográficas, 416

Cap. 10. Ataguías 419

- 10.1. Tipos de ataguías, 419
- 10.2. Diseño de ataguías con un sólo muro de tablestaca, 426

- 10.3. Construcción de ataguías con muro de tablestacas, 433
- 10.4. Ataguía a base de doble muro de tablestacas, 438
- 10.5. Ataguías con tablestacas celulares, 439
- 10.6. Ataguías con muros de concreto, 441
- 10.7. Ataguías móviles, 442
- 10.8. Construcción de cimentaciones bajo el agua, 444
- 10.9. Ejemplos en el capítulo 10, 448
- Referencias bibliográficas, 453

Cap. 11. Procesos geotécnicos 455

- 11.1. Mejoramiento del terreno por medio de procedimientos geotécnicos, 455
- 11.2. Agua subterránea en excavaciones, 455
- 11.3. Métodos de control de agua subterránea, 463
- 11.4. Asentamiento del terreno adyacente a las excavaciones causado por la disminución del manto freático, 479
- 11.5. Agua subterránea bajo la altura artésiana bajo las excavaciones, 482
- 11.6. Uso de procesos geotécnicos para el mejoramiento del suelo, 483
- Referencias bibliográficas, 487

Cap. 12. Recimentación y apuntalamiento 489

- 12.1. Requisitos para recimentación y apuntalamiento, 489
- 12.2. Métodos de apuntalamiento, 489

- 12.3. Métodos de recimentación, 492
- 12.4. Traslado de edificios, 501
- Referencias bibliográficas, 504

Cap. 13. Protección de estructuras de cimentación contra el ataque de suelo y del agua subterránea 505

- 13.1. Causa del ataque, 505
- 13.2. Investigaciones del suelo y del agua subterránea, 505
- 13.3. Protección de los pilotes de madera, 506
- 13.4. Protección del pilotaje de acero contra la corrosión, 509
- 13.5. Protección de las estructuras de concreto, 511
- Referencias bibliográficas, 519

Apéndice A. Propiedades de los materiales 521

Apéndice B. Tablas de conversión 523

Índice onomástico 527

Índice analítico 529

Capítulo I

Investigación del terreno y mecánica de suelos

1.0. REQUERIMIENTOS GENERALES

Cualquier construcción u obra de ingeniería requiere siempre, en una u otra forma, de una investigación del terreno. El campo de acción de la investigación puede abarcar desde un examen sencillo de la superficie del suelo con o sin excavación superficial de prueba hasta un estudio detallado del suelo y las condiciones de los mantos freáticos o una investigación profunda bajo la superficie. Lo que significa perforaciones con barrenos, pruebas *in situ* y de laboratorio de los materiales muestreados. La extensión del trabajo depende de la importancia y la planeación de la cimentación de la estructura, de la complejidad de las condiciones del suelo y de la información disponible del comportamiento en caso de existir cimentaciones en suelos similares. Así, no es usual perforar y hacer pruebas de suelo para casas habitación de uno o dos niveles o estructuras similares, ya que generalmente se tiene conocimiento exhaustivo de la profundidad necesaria a la que deben colocarse las cimentaciones y las presiones de carga en cualquier localidad particular. Puede obtenerse, generalmente, suficiente información para verificar si las condiciones de suelo presupuestas son verdaderas con sólo examinar zanjas de alcantarillas abiertas o excavaciones superficiales para obras de camino, o a partir de pozos de prueba superficiales o perforaciones con barreno manual. Sólo será necesario hacer perforaciones profundas, posiblemente complementadas con pruebas de suelo, si existen condiciones de cimentaciones problemáticas como estratos de turba o material de relleno suelto. En estructuras ligeras solamente se requieren investigaciones exhaustivas cuando hay problemas de dilatación y contracción de arcilla a gran pro-

fundidad o cuando se construye en zonas de las cuales no se cuenta con información suficiente sobre el comportamiento del suelo en cimentaciones; por ejemplo, en aquellos territorios desconocidos, donde el clima u otros factores pueden tener un efecto importante en el diseño de la cimentación.

Una investigación detallada, que incluya perforaciones profundas y pruebas de suelo en laboratorio, siempre es necesaria en construcciones de estructuras pesadas como puentes, edificios de muchos niveles o plantas industriales. Aun en el caso de saber que hay roca poco profunda es aconsejable excavar a mayor profundidad y en partes diferentes del terreno para asegurarse de que no existen zonas de erosión profundas, rupturas o falla en rocas. En obras de ingeniería cimentadas en excavaciones profundas es necesaria también la investigación detallada. Ésta, además de proporcionar información para el diseño de la cimentación, aporta datos esenciales sobre las condiciones del suelo y del agua a los contratistas a los que se ofrece la obra. De esta manera se ahorra dinero al obtener propuestas realistas y competitivas basadas en un conocimiento adecuado de las condiciones del suelo. Un contratista reconocido no se arriesgará en un trabajo de excavación si su costo representa una parte sustancial del proyecto: aumentará una gran suma a la propuesta para protegerse de imprevistos. De ahí el dicho: pagas por las perforaciones, sean necesarias o no.

Se concluye que las propuestas a contratistas para obras de excavación deben incluir todos los detalles de la investigación del terreno. No es poco común que el ingeniero oculte ciertos detalles, como observaciones sobre el nivel de aguas freáticas, con la idea errónea de que puede ahorrar dinero en caso de que el contratista haga reclamaciones si los niveles

de agua que aparecen posteriormente resultan diferentes de los encontrados en las perforaciones. Esto es una falacia: el contratista, o se protege en su propuesta de los riesgos imprevistos o los asume. Si este riesgo lo perjudica y las condiciones de agua resultan peores de las esperadas seguramente reclamará.

Un ingeniero encargado de la investigación del terreno puede contratar mano de obra local para las excavaciones de pozos de prueba (*hand auger boring*), o puede emplear a un contratista para las perforaciones y el muestreo del suelo. Si requiere realizar pruebas de laboratorio, el contratista también puede mandar las muestras a un laboratorio independiente. El ingeniero se encarga de los análisis de mecánica de suelos para el diseño de las cimentaciones, o puede pedir al laboratorio que los realice. Por otra parte, una organización especializada que ofrezca facilidades en el precio en paquete, realizando las perforaciones, el muestreo, las pruebas de laboratorio y de campo y los análisis de mecánica de suelos, se puede encargar de la investigación completa. Esto es preferible al sistema en que una organización hace las perforaciones, otra las pruebas y una última los análisis. Una sola organización ofrece la ventaja de mantener la continuidad esencial y una relación estrecha entre los trabajos de campo, de laboratorio y de oficina. También permite que los programas de perforación y pruebas sean modificados rápidamente, de acuerdo con la información disponible a medida que el trabajo progresa. Se obtendrían muestras adicionales, según se fueran necesitando, de los estratos que resulten particularmente significativos en las pruebas de laboratorio. Si se desea, las pruebas *in situ* pueden sustituirse por pruebas de laboratorio. En cualquier caso, el ingeniero responsable de la dirección de los trabajos de campo y de laboratorio debe tener siempre presente el objetivo de la investigación y hacer una valoración continua de los datos de la misma manera como se hace al preparar el reporte. De esta forma no se pasa por alto información de suma importancia: la relevancia de factores como: capas de suelo débiles, formaciones de rocas profundamente erosionadas y presión de las aguas subterráneas se pueden estudiar con detenimiento a medida que avanza el trabajo en el terreno.

Cualquiera que sea el proceso que adopte el ingeniero para llevar a cabo su trabajo de investigación, es esencial que los individuos u organizaciones encargados del trabajo sean conscientes y absolutamente confiables. El ingeniero tiene la gran responsabilidad ante sus jefes de seleccionar una organización competente y de verificar que el trabajo en el terreno, el laboratorio y la oficina se esté realizando con precisión y meticulosidad.

1.1. INFORMACIÓN REQUERIDA DE UNA INVESTIGACIÓN DEL TERRENO

Una vez asumido el hecho de que se requiere un estudio detallado y acorde con los propósitos de cimentaciones en ingeniería se obtendrá la información siguiente en el transcurso de una investigación del terreno:

a) Topografía general del terreno; en la medida en que ésta afecte el diseño de cimentaciones y la construcción. Ejemplo: configuración de la superficie, propiedades adyacentes, presencia de ríos, canales de agua, estanques, setos, árboles, formaciones rocosas, etc., así como accesos disponibles para vehículos y maquinaria.

b) Ubicación de las redes de servicios subterráneos como cableado eléctrico y telefónico, tuberías de agua y alcantarillado.

c) Reticulares a las principales formaciones geológicas que son la base del terreno y la posibilidad de hundimiento por extracción de minerales u otras causas.

d) La historia previa y uso del suelo; incluida información sobre cualquier defecto o daño de los edificios existentes en el presente o en el pasado atribuibles a las condiciones de cimentación.

e) Cualquier particularidad, como la posibilidad de terremotos o factores climatológicos como inundaciones, crecidas y sequías de acuerdo con estaciones, heladas o erosión del suelo.

f) Disponibilidad y calidad de los materiales de construcción locales, como conjuntos de concreto, piedra para edificios y caminos, y agua para fines de construcción.

g) Información para estructuras marítimas o fluviales en condiciones de marea normales o extremas, de alta o baja marea y crecidas, niveles fluviales cambiantes según la estación y descargas, velocidad del oleaje y las corrientes, y otros datos hidrográficos y meteorológicos.

h) Un registro detallado de la estratificación del suelo y de la roca así como de las condiciones de aguas subterráneas dentro de las zonas afectadas por las presiones de carga de la cimentación y las operaciones de construcción, o de cualquier estrato más profundo que afecte las condiciones del terreno de una u otra forma.

i) Resultados de las pruebas de laboratorio en muestras de suelo y roca adecuadas al diseño de cimentaciones particular o a los problemas constructivos.

j) Resultados de los análisis químicos del suelo o de las aguas subterráneas para determinar posibles efectos de deterioro en las estructuras de la cimentación.