

# LA MECANICA DEL SUELO Y LA EDIFICACION (y II)

José Luis Hernández Renau  
Ingeniero de Caminos

Hasta aquí hemos tratado de mostrar qué es la Mecánica de suelos y cuáles son los aspectos de la misma más discutidos en relación con la Edificación.

Nos proponemos ahora describir cuáles son sus posibilidades y sus restricciones, enjuiciar lo que nos da y lo que le podemos pedir, habida cuenta de las inevitables incertidumbres con que el Técnico de estructuras informa al Técnico de cimentaciones.

Siguiendo a R. Peck, (3) enumeraremos los puntos principales de la cuestión.

### 3.1) Las cargas de cimentación

Normalmente son estimadas por el Técnico de estructuras, que pasa unas cifras finales al Técnico de cimentaciones, sin ninguna explicación acerca de cómo ha llegado a las cargas.

Se admiten unas sobrecargas vivas, convencionales, aun cuando dadas por decreto. Resulta impredecible la ocurrencia en el tiempo de tales sobrecargas y, sin embargo, se pide al Ingeniero de suelos nos dé una previsión de asientos. Se comprende que su estimación será por exceso y su parecido con los resultados de mediciones reales, un tanto aleatorio.

El Técnico de estructuras tiene cierta tendencia a desconfiar del Técnico de suelos. A lo sumo, plantea una colaboración de mayor a menor. Como resultado "se cubre" y da unas cargas sustancialmente mayores que las que pueden esperarse en la realidad. Sin embargo, puede muy bien ocurrir que no se esté "cubriendo", pues si las cargas excesivas provienen de pesos muertos reales para un vano de la estructura y sobrecargas vivas aleatorias para el vano contiguo, pueden producirse asientos diferenciales inadmisibles que el Ingeniero de suelos no previó —no pudo prever— el haber trabajado con cargas totales del mismo orden de magnitud para proyectar columnas vecinas.

Cuando las cargas se subestiman suele ser por olvido. Recordemos el caso antes citado, donde un relleno ocasionó estragos en edificios recién construidos, al inducir fricción negativa y flexiones en los pilotes de cimentación.

En general, las sobrecargas de la edificación son más aleatorias y difíciles de definir que las sobrecargas de estructuras industriales, donde suele existir una planificación, o, al menos, uso controlado de dichas sobrecargas.

Por otra parte, el realismo del Técnico de estructuras al estimar las sobrecargas es fundamental. No se trata simplemente de que se llegue a zapatas o pilotes de mayor o menor sección, sino, a veces, incluso las sobrecargas pueden ser decisivas en la selección del tipo de cimentación. La importancia de este hecho no puede subestimarse, pues va asociada a un exceso en el costo de la edificación, que puede llegar a alcanzar cifras de auténtico interés para la economía del país. A este respecto, la continua supervisión y enjuiciamiento de las normas vigentes —en particular, la MV 101-1962, "Acciones en la edificación"— es

siempre de desear. Ciertamente que la norma citada como ejemplo, deja libertad al técnico para "bajo su personal responsabilidad, adoptar valores de acciones y reacciones diferentes de los marcados en ella". Pero su carácter de anexo a un decreto, no deja de ejercer importante coacción en el ánimo del individuo. Por eso, se está llevando a cabo la actualización de la norma por una comisión permanente de estudio, creada al efecto. (Recuérdese que el decreto sólo preveía un año desde la entrada en vigor de la norma para revisar el texto definitivo de la misma, "teniendo en cuenta las experiencias y resultados de su aplicación". Tal plazo era, técnicamente, insuficiente).

En conclusión:

La precisión en la estimación de las cargas de cimentación es, en general, muy grosera y menor que la que es posible en otros elementos que intervienen en el proyecto.

La variación de las cargas a lo largo de la vida de la estructura es difícilmente previsible, hecho a tener en mente al cotejar los asientos previstos y los medios en obra.

La adopción de sobrecargas razonables ejerce gran importancia en el proyecto de la cimentación y en su costo, por lo que debe merecer la mayor atención y mejor juicio del Técnico.

### 3.2) Caracterización del suelo

Con carácter general, los suelos son heterogéneos y las formaciones geológicas erráticas.

Por más que proliferemos los ensayos de campo y los sondeos con frecuentes muestreos, no es posible llegar a una síntesis mental del suelo.

Si hay que elegir, mejor será ejecutar ensayos poco refinados sobre un gran número de muestras, que estudiar unas pocas probetas de suelo por medio de ensayos muy elaborados. El "virtuosismo" es indispensable para la investigación, para el desarrollo de la ciencia básica; sirve de poco en la resolución de un problema práctico, máxime, al entrar inevitablemente en juego consideraciones económicas.

El carácter errático del suelo desciende hasta escala muy pequeña; dentro de una misma muestra de un suelo que designamos por un mismo nombre, se descubren importantes variaciones de los parámetros geotécnicos con que habitualmente describimos los suelos.

Ciertamente que a sistematizar los suelos y, incluso, aplicarles procedimientos estadísticos, ayuda mucho la asistencia del Geólogo, que conocerá con menor dispersión, los distintos ambientes de sedimentación. Pero con todo, la representatividad de las muestras obtenidas deberá ser enjuiciada por el Técnico, a la vista de cada caso.

Si la escala del problema geotécnico es pequeña en comparación con la escala geológica, es decir, con la potencia y carácter de la formación —sedimentación en grandes profundidades de una arcilla marina, por ejemplo— las muestras serán más representativas que en el caso de una formación errática —sedimentación

en pequeñas profundidades variables como es el caso en un ambiente de estuario.

Existe además otra representatividad de las muestras, que deriva del grado de perturbación, menor o mayor, asociado a la operación misma del muestreo. Aun cuando éste fuera técnicamente perfecto —lo que es ilusorio— la muestra se ve afectada por la liberación de las tensiones naturales a que estaba sometido su suelo, antes de ser desgajado del suelo circundante.

La manipulación inevitable para introducir el suelo en los aparatos de laboratorio y la precisión técnica de éstos, añaden nuevas incertidumbres.

En resumen, nos tenemos que valer de datos geotécnicos de proyecto, que caracterizan en grado muy variable el dominio del suelo, afectado por la cimentación. El empleo de tales datos exige, de nuevo, el buen juicio de un experto.

### 3.3) Teoría

Puede considerarse que la teoría de la carga de hundimiento del suelo está suficientemente desarrollada, al menos, para el grado de conocimiento, aún menor, que tenemos de las cargas actuantes y de los propios parámetros del suelo. Así, en arcillas saturadas y bajo carga rápida ( $\phi = 0$ ), la carga de hundimiento dada por " $5c$ " ó " $9c$ ", según se trate de cimentación superficial o profunda, encierra suficiente precisión.

Quedan, sin embargo, muchos extremos aún mal comprendidos; por ejemplo, la capacidad de carga de la punta de los pilotes de gran diámetro en suelos incoherentes, cuyo estudio se encuentra aún al nivel experimental.

La teoría progresa, pero tiene aún gran camino que recorrer en el campo de la dinámica de suelos, sea en el caso de vibraciones periódicas —donde se está más en vanguardia que en los demás casos— o en el de explosiones o en el de terremoto con su espectro aleatorio.

### 3.4) Tolerancias de las estructuras frente a los asientos

La mayor controversia existente entre Técnicos de estructuras y de suelos es, a nuestro entender, la de las tolerancias de asientos admisibles en la construcción.

Frecuentemente el calculista de la estructura pasa al técnico de suelos la difícil tarea de fijar los asientos, y sólo cuando éste le habla a la escala centímetro, el calculista asevera que su estructura no puede tolerar más que algunos milímetros. ¿Qué hace el técnico de suelos? Si se han previsto pruebas de carga, una discusión interminable tiene lugar, que suele acabar remitiendo los razonamientos técnicos a legales: si el Geotécnico absorbe la responsabilidad de posible futuras grietas, ninguno "se queda con la perra gorda". Pero cada uno en sus ideas: el calculista con sus milímetros y el geotécnico con sus centímetros.

Si no se han previsto pruebas de carga, el

geotécnico "garantiza" unos milímetros que nunca se medirán.

Profesionalmente, la situación no puede ser más equívoca, y me veo expuesto al entredicho al tener que hablar aquí por el Geotécnico.

Digamos, de entrada, que desgraciadamente se miden escasas veces los asentamientos reales de las estructuras y, cuando se hace, se encuentran muchos casos en que los asentamientos diferenciales deberían llevar consigo el agrietamiento de la estructura, según la teoría, pero no se observa el menor quebranto.

En la C.T. de San Adrián (Badalona), los asentamientos diferenciales entre torres alcanzaron 20 mm. Están ligadas ambas torres por vigas de cimentación de gran canto y forjados y vigas de pisos superiores que no sufrieron agrietamiento. (Las torres están cimentadas sobre pilotes de  $\phi$  1,00 m. y los asentamientos se deben a consolidación de una capa de arcilla existente por debajo de la punta de los pilotes). (Véase figura 7).

No se produjeron averías para asentamientos diferenciales de 0,0013 L.

Podrían citarse infinidad de casos. Hay que admitir que las estructuras toleran asentamientos superiores a los que admiten sus calculistas.

Como caricatura, Peck (3) cita el caso de los fabricantes de generadores de vapor, que imponen al proyectista de las cimentaciones asentamientos diferenciales de algunas milésimas de pulgada (0,025 mm.). Se han medido asentamientos cercanos al cm., sin averías de ninguna clase. Aún más, tales generadores se instalan en barcos, que ciertamente no permanecen en posición horizontal...

Lamentablemente los técnicos de estructuras y cimentaciones no colaboran desde un principio. Los segundos tienen que afrontar situaciones de hecho, pues una vez se han realizado grandes inversiones para el proyecto de una estructura hiperestática, el calculista no puede dar ya marcha atrás, aun cuando el costo de las cimentaciones se vea tremendamente aumentado por los consiguientes requisitos de minimizar los asentamientos diferenciales. El conjunto de super e infraestructura no resulta así el más económico ciertamente.

Muchas veces el Ingeniero estructural olvida que parte importante del asiento final se produce durante la erección de la estructura, bajo su propio peso, cuando aquella no ha sido aún hecha hiperestática, de manera que los asentamientos diferenciales provendrán principalmente de sobrecargas vivas, cuyo carácter aleatorio, ya ha sido comentado, y que son cubiertas por hipótesis de sobrecarga, envolventes de la realidad muy por exceso.

Muchos de estos aspectos no pueden ser considerados durante el proyecto de la estructura, ya que, a menudo, la secuencia de la construcción y los procedimientos empleados son decididos posteriormente por la empresa constructora.

La norma MV-101 da unos valores de orientación, que reconocen la admisibilidad oficial de asentamientos totales entre 12 mm. (1/2") y 75 mm. (3"), lo que no es poco; sobre todo si, siguiendo a Terzaghi, hablamos de asentamientos diferenciales del orden del 50-75 por ciento del asiento máximo, tanto para zapatas continuas como aisladas, de igual tamaño todas ellas.

Según el citado autor, la mayor parte de las estructuras corrientes, tales como edificios de

oficinas, viviendas y fábricas, pueden tolerar asentamientos, entre columnas vecinas, de (3/4").

Sowers, (4) en el Georgia Institute of Technology, ha determinado experimentalmente que las deformaciones relativas que ocasionan accidentes son del orden de 0,0025 L, cuando los asentamientos se producen bruscamente. Este no suele ser el caso y los asentamientos se producen lenta y progresivamente, dando lugar y tiempo a la adaptación plástica de la estructura.

Polshin y Tokar, (5) del Instituto de Investigaciones de Cimentaciones de Moscú, deducen, de un completo estudio estadístico sobre observaciones reales, que el asiento teórico, multiplicado por (1,5), debe ser menor que el asiento tolerable para el buen comportamiento de la estructura o su perfecto funcionamiento dentro del fin para el que ha sido proyectada. Así por ejemplo, asentamientos relativos de 0,003 L permiten el buen servicio de los caminos de rodadura de las grúas. Cuando los cerramientos son de ladrillo, el asiento tolerable, para que no aparezcan grietas, es menor (0,0005 L).

Veamos algunos valores del Código de Construcción de la URSS para los asentamientos relativos admisibles:

- (1) Puentes grúa: 0,003 L.
- (2) Columnas de edificios civiles o industriales:
  - (2a) Estructura reticular de acero u hormigón: 0,002 L.
  - (2b) Estructuras en que el asiento diferencial no provoca deformaciones unitarias secundarias: 0,005 L.
- (3) Muros de ladrillo:
  - (3a) Viviendas y edificios civiles de varios pisos:

$L/H \leq 3$	0,0003 L
$L/H \geq 5$	0,0005 L

(L y H, longitud y altura sobre cimientos, del muro).
  - (3b) Fábricas de una planta: 0,001 L.
- (4) Estructuras rígidas sobre cimentaciones anulares:  
0,004 L (chimeneas, depósitos elevados, silos...).

Estas tolerancias se aumentan ligeramente cuando se trata de arcillas plásticas, en razón a la lentitud de la deformación.

En cuanto a los valores límites del asiento medio, el mismo Código da para los conceptos precedentes:

- (2a) Estructuras reticulares: 10 cm.
- (3) Paredes de ladrillo: 10 cm.
- (3) Id. con correas de ladrillo u hormigón armado: 15 cm.
- (4) Estructuras rígidas: 30 cm.

Compárense estos valores con los de nuestra norma MV-101, mucho más modestos.

Skempton y Mac Donald (6) concluyen que las máximas pendientes de la línea de asentamientos deben ser:

- 1/150 (o bien 0,0066) si se quieren evitar daños estructurales.
- 1/300 (o bien 0,0033) si se quieren evitar daños arquitectónicos.

En breve: la escala de los asentamientos diferenciales es el centímetro y no el milímetro. Y este es el vacío existente entre el técnico de estructuras y el de cimientos.

Puesto que esta afirmación está sustentada por un consenso internacional de especialistas de Mecánica de suelos, debe admitirse que no es una opinión gratuita. Por otra parte, tales tolerancias realistas llevan consigo la posibilidad de proyectos más económicos que los basados en una prudencia personal no fundada. Permítanme abogar aquí por la imperiosa necesidad de que se midan periódicamente los asentamientos reales de las estructuras a lo largo de los primeros años de su existencia. Esta será la manera de encontrar una provechosa convergencia entre opiniones, ciertamente dispares.

### 3.5) La ejecución de las obras.

Analizadas las incertidumbres de la estimación de las cargas, de las características del suelo y de la propia teoría, cabe resaltar que el mejor proyecto nunca podrá sustituir a una correcta y cuidada ejecución.

La mayor parte de los accidentes que ocurren en la edificación se deben, sin duda, a una ejecución defectuosa. Las aguas selenitosas, las diferencias de nivel provocadas por las mareas y las corrientes subterráneas, pueden ser una primera y falsa explicación del porqué de un mal hormigón sumergido, cuando en la realidad se trata de un desconocimiento, sea de esa técnica particular, sea de ciertos fenómenos que provocan el deslavado del hormigón.

Además, el silencio técnico, muchas veces asociado a intereses creados, llega a ser un grave obstáculo al progreso de la edificación, y, en particular, de la técnica de las cimentaciones. Sólo la abierta y leal colaboración entre los Técnicos de estructuras y los especialistas de la Mecánica de suelos puede crear el nivel de alta competencia técnica, que constituye la única vía de progreso de este importante sector económico del país, que es la Edificación.

## 5) EPILOGO

Se ha pretendido esbozar el pasado, presente y futuro de la Mecánica de suelos en su relación íntima con la Edificación.

Edificación y Mecánica de suelos son palabras modernas, pero preocupaciones antiguas. La Escritura nos habla del varón prudente que edificó su casa sobre una peña, y del hombre necio que edificó su casa sobre la arena y las riadas y los vientos la socavaron.

Se ha insistido —nunca excesivamente— sobre la necesaria colaboración abierta, responsable, de los Arquitectos e Ingenieros que trabajan, sea por encima, sea por debajo, del nivel del suelo. De ese espíritu profesional de equipo dependen la seguridad de muchas vidas humanas y bienes materiales, la durabilidad de tantas construcciones bellas que debemos legar a la posteridad, la administración honesta de una parte importante de la economía nacional.

Siendo excesiva la pretensión de estas notas, me contentaría con no haber defraudado al lector, al recordarle lo que la Mecánica de suelos nos da y lo que nos niega, aun cuando nada nuevo haya podido descubrirle.

maldad, porque se mueven en unos campos totalmente de auténtica mística. No por una mística relacionada con una realidad: son mecanismos de tipo espiritual, conflictivo —puesto que se plantean muchos problemas de tensión dentro de las Comunidades— pero donde la maldad parece que no existe. Creen que el hecho de existir está condicionado por los códigos en que ellas mismas se mueven, desde el punto de vista religioso. Hay cosas sorprendentes: a nivel económico —por ejemplo— podían haber sido engañadas de una manera fraudulenta, puesto que no tenían concepto de lo que significaba el valor dinero, ni el valor cambio, ni el valor mercancía. Ellas pensaban, entre otras cosas, que no se podía analizar lo que valía un metro cuadrado. Ni por qué insistíamos en un control de los presupuestos, dado que todo el mundo tenía que ser bueno... Aunque en este caso, realmente no ha habido ningún problema de esta índole en ningún momento. Ha sido un trabajo en equipo bastante agradable.

Pero insisto un poco en que los contenidos en que se mueven estos espacios están, yo creo, bastante distantes, con respecto a las formas en que se ha desarrollado este proyecto.

*La entrevista ha terminado. Pero en ella —durante ella— se ha producido una vez más el hecho nada sorprendente, cuando de Santa Teresa se habla. Yo he venido al estudio del arquitecto Antonio Fernández Alba, autor del edificio nuevo del Carmelo salmantino, para hablar con él de líneas y espacios contruidos en cemento, y otros materiales arquitectónicos, pero hemos hablado mucho más de líneas y espacios espirituales válidos para desarrollar en ellos el tiempo de la vida. Un poquito de cinta más, y estructuramos una nueva orden carmelita —para intelectuales, naturalmente.*

Carmen CASTRO

Se incluye aquí la vista de referencia al artículo de la Mecánica del Suelo, páginas 50 - 51 que, por dificultad de composición no se ha podido dar al final del mismo. Rogando al lector disculpe esta anomalía.

#### REFERENCIAS

- (1) "Symposium on Bearing Capacity and Settlement of Foundations", Duke University, 1965, págs. 9-12.
- (2) Brinch Hansen, Tomo I, "Proceedings Sixth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering", Montreal, 1965, págs. 231-234.
- (3) "Symposium on Bearing Capacity and Settlement of Foundations", Duke University, 1965, págs. 3-7.
- (4) Sowers, Tomo III, "Proceedings Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering", Londres, Agosto 1957, pág. 166.
- (5) Polshin y Tokar, Tomo I, ut supra, "Maximum Allowable Non-uniform Settlement of Structures", pág. 402.
- (6) Skempton y Mc Donald, "Allowable Settlements of Buildings", Proceedings Institution Civil Engineers, Part III, vol. 5, Dec. 1956.
- (7) Terzaghi Peck, "Soil Mechanics in Engineering Practice", John Wiley Sons, 1948.
- (8) Norma MV-101-1962 "Acciones en la Edificación".
- (9) De Mello, "Foundation of Buildings in Clay", State of the Art Reports, 7º Congreso Internacional de Mecánica de Suelos y Fundaciones, México, 1969, pág. 49. Bibliografía excelente en págs. 127-136.

## CARTA AL DIRECTOR

Mi distinguido amigo y compañero:

Con gran sorpresa, he leído en el núm. 150 de la revista que usted dirige el resumen de la memoria que presenté a la última convocatoria de las Becas de la Fundación Juan March.

Y mi sorpresa es grande porque:

1.º No he tenido conocimiento de su publicación y utilización, sino es por la lectura de la revista.

2.º El resumen de la memoria no es sino una referencia telegráfica de la documentación aportada, en

nada significativa ni representativa de la memoria en sí. Fue redactada por mí con la finalidad de ser un guión de la verdadera y amplia memoria presentada, y que usted puede consultar. Esta propuesta fue suficientemente interesante para el Gobierno italiano, que me concedió una Beca para realizar el trabajo en su país, con posterioridad a la concesión de las Becas Juan March.

Le ruego, pues, acogiéndome al vigente derecho de réplica, quede constancia en su revista de los términos arriba indicados. No sólo de la publicación del texto,

enteramente desconocida por mí, sino además de su utilización junto a otros resúmenes e incluso memorias de otros temas. Y más, cuando en el presente, esas etapas han sido ya quemadas, y mis afanes siguen muy distintos caminos.

Sin embargo, admiro en general su labor desde esa revista y lamento tener que rogarle la publicación de esta carta.

Dándole las gracias por ello, le saluda atentamente,  
M.<sup>a</sup> Victoria Gutiérrez Guitián, Arquitecto. Maudes, 16.  
Madrid-3