

SOBRE EL PROBLEMA GEOTECNICO DE MADRID

Por FERNANDO OLIVEROS RIVES,
Ingeniero de Caminos.

Concluye en el presente artículo el interesante trabajo iniciado, bajo este mismo título, en el número anterior y prosigue el autor haciendo gala de su copiosa información sobre el tema, llegando a conclusiones muy acertadas, que cristalizan en la necesidad de confeccionar el "Código de Cimentación para la ciudad de Madrid".

II

CONSIDERACIONES

Hasta ahora, se han puesto de relieve de una forma rápida los factores que intervienen directamente en el problema que tratamos; a continuación vamos a hacer algunas indicaciones sobre el mismo.

Sobre la constitución del suelo.

El suelo de Madrid, como se ha dicho, está formado por la marga miocena, recubierta a veces por formaciones cuaternarias; sin embargo, esta topografía queda alterada por el gran volumen de producidos vertidos, procedentes de las excavaciones realizadas en un ininterrumpido ensanche que se apoya sobre los vertidos del anterior. Todas las vaguadas, cuando fueron las más próximas, se rellenaron, y algunas, como la de Francisco Rojas, tuvo peor suerte y fué el centro receptor de basuras, las cuales, en su proceso de descomposición, atacan actualmente a las construcciones de hormigón. El suburbio, como avanzada de la gran ciudad, no plantea problemas de cimentación, pero al quedar incorporado se erigirán construcciones más pesadas que los aportan.

Como consecuencia de que el índice de susceptibilidad tixotrópica de estos suelos es muy elevado, la resistencia de los remoldeados decrece extraordinariamente, y así, en toda excavación que se realice en el suelo de Madrid, ha de tenerse en cuenta el debilitamiento consiguiente, a no ser que se rehaga con un cuidado apisonado.

Mientras la marga no pierde su contenido de humedad, permanece inalterada; pero si aquél varía, se meteoriza rápidamente. La existencia de abundantes aguas, quizá demasiadas, conserva al subsuelo en un estado de humedad beneficioso, puesto que evita la retracción; sin embargo, dado que en Madrid existen grandes diferencias pluviométricas como lo demuestra que en el año 1947 se recogieron 690,7 mm. de agua, y en 1950, 292,9 mm., ocasiona diferencias acusadas, en general, perjudiciales. Estas retracciones tienen lugar con más intensidad en las margas yesíferas del Oligoceno del Sur de Madrid, en donde se pueden observar edificios ligeros que transmiten pequeñas

cargas al cimiento, pero que, debido a la citada retracción, la cimentación se contrae y origina grietas que se extienden por toda la construcción, y aunque el invierno ayude a cerrarlas, el aspecto desagradable perdurará.

El tipo de arena que existe por el Norte de Madrid es miocena. De su pureza da idea el que es empleada a veces para hormigones, siendo limpia y consistente; posee un ángulo de rozamiento interno superior a 35°. Adjuntamos su composición, que es análoga a la cuaternaria de la Terraza de San Isidro, debido a que estas arenas se formaron a expensas de aquéllas.

	Cuatro Caminos.	Terraza de San Isidro.
Sílice	78,19 %	80,40 %
Alúmina	8,42 »	9,39 »
Oxido férrico	1,80 »	2,16 »
Cal	1,67 »	1,70 »
Magnesia	0,72 »	0,79 »
Potasa	2,23 »	2,10 »
Sosa	2,66 »	3,05 »

(Instituto Geológico y Minero, hoja núm. 559.)

Sobre los asientos.

Los asientos que se manifiesten en Madrid, son debidos principalmente a las formaciones cuaternarias y al relleno moderno.

La existencia del asiento uniforme en sí, no tiene importancia si no llega a ser tan acusado que altere las condiciones estéticas del conjunto; pero si esta uniformidad se pierde y aparece el asiento diferencial, es cuando la estructura se halla sometida a un régimen de trabajo peligroso, para el cual, en general, no está calculada. La tendencia muy en boga de aprovechar restos de fábrica antigua como parte de un cimiento es funesta, ya que el comportamiento edométrico del suelo bajo esta zona y el resto han de ser forzosamente diferentes.

En este sentido, será muy importante al cimentar en esta clase de suelo, efectuar una distribución de las cargas tan uniforme como posible sea, de forma que todo él se halle sometido a un reparto de presiones semejantes.

Existen zonas sobre las cuales, y según el cálculo, no debían estar sujetas a tensiones procedentes del

terreno, pero el debilitamiento de otras hace que esta influencia se haga sentir en un orden superior al previsible; y entonces sobreviene la fluxión del suelo, que alterará el primitivo régimen de trabajo, ya en cimientos, ya en pavimentos.

La cimentación de una casa puede estar perfectamente calculada, pero al construir otras en su proximidad, el régimen previsto se encuentra alterado por las nuevas tensiones.

El deseo de aumentar la capacidad de los inmuebles induce a la elevación de nuevos pisos, confiando al antiguo cimiento la nueva carga, lo que ha originado a veces apuntalamientos y sustos.

Unas veces por amenazar ruina la viguería de la edificación, otras por efectos de la guerra, hemos sido testigos de derribos y nuevas construcciones sobre el mismo solar, en general, más pesadas que las anteriores, y en las cuales y durante la misma se observaron ya grietas. El tratar de aumentar la renta, fuerza al cimiento a unas cargas de trabajo para las que no está capacitado. En muchos casos estos asientos no tienen importancia, pero en otros, desgraciadamente, sí. El porcentaje de las casas agrietadas en la capital es muy elevado.

Sobre las cimentaciones.

El tipo de cimentación corriente ha sido el de pozos y arcos de descarga, hasta la aparición del hormigón armado que se adopta para ejecutar la cimentación directa. En general, las cargas que se transmiten al suelo suelen ser próximas a 2,5 Kg./cm.², pero si se pasa de esta cifra, hay que buscar la profundidad para obtener con ella el mejoramiento de la resistencia de los estratos más consolidados; pero si dichos estratos se encontrasen muy profundos, apareciesen problemas de agotamiento o, en general, circunstancias particulares, entonces se recurre a la cimentación especial.

Como ejemplo de solución económica indicaremos la dada a la ampliación del Banco Central, en la calle Barquillo. A continuación se figura un sondeo que indica la constitución genérica del valle del arroyo de la Castellana. Por medio de inyecciones se ha conseguido la consolidación del terreno que sustenta la construcción citada.

Profundidades Metros	Clases de suelo
De 0 a 3,5	Lecho superficial.
» 3,5 a 6,0	Arena.
» 6,0 a 6,5	Arcilla.
» 6,5 a 7,3	Arena.
» 7,3 a 9,1	Arcilla.
» 9,1 a 11,3	Arena.
» 11,3 a 12,9	Arcilla.
» 12,9 a 13,8	Arena.
» 13,8 a 14,7	Arcilla.
» 14,7 a 15,5	Arena.

Para la cimentación de una construcción destinada a la Empresa Nacional Calvo Sotelo, al final de Embajadores, próxima a la Glorieta de Beata María Ana, se acudió a la solución de pilotes *in situ*, ya que el subsuelo estaba constituido en la forma siguiente:

Profundidades Metros	Clases de suelo
De 0 a 3,70	Lecho superficial.
» 3,70 a 4,15	Arcilla azul.
» 4,15 a 5,50	Arena fina
» 5,50 a 6,00	Arena.
» 6,00 a 8,50	Arena y grava.
» 8,50 a 16,00	Arcilla azul.

Si la cimentación hubiera sido directa, aparte de los problemas de agotamiento debido a la abundancia de aguas, los arrastres de la arena fina que se producen inevitablemente, aportarían los asientos consiguientes.

MANIFESTACIONES

Por último, indicaremos a modo de exponentes que caracterizan el problema, algunas cuestiones suscitadas por este suelo de Madrid, en correspondencia con lo anteriormente expuesto.

Sobre el aspecto geológico.

Las formaciones cuaternarias faltas de resistencia a causa de su escasa consolidación, provocan graves problemas. Es el caso del arroyo de la Castellana, que, por una ironía del destino, contiene el centro geográfico del nuevo Madrid, la Plaza de Cibeles, y se ha convertido en el eje transversal de la ciudad. Todos los contactos con él son temibles; por una parte, su constitución reciente y por otra el relleno que se ha efectuado para hacerlo desaparecer, plantea graves problemas. De la magnitud del relleno da idea el que, al atravesar Cibeles la bóveda del Metro, se encontró, a unos 5 m. de profundidad, una pasarela que servía para salvar aquel arroyo. El trasdós de dicha bóveda va solamente a 0,50 m. del pavimento, ya que la abundancia de agua, no sólo del arroyo, sino de las dos vertientes de la calle de Alcalá, unido a las condiciones del terreno, han hecho más económica esta solución, como en tantos otros casos, aunque se tenga que interrumpir la circulación, a veces, mayor tiempo del que la Compañía hubiera deseado. El número de imprevistos que plantea el subsuelo de Madrid es siempre superior al calculado, y el vecindario tiene que sufrir con-

secuencias molestas, no queriendo justificar nunca los inevitables y enojosos problemas que se le presentan al constructor.

Al ejecutar el túnel de Enlaces Ferroviarios que pasa bajo la fuente de Cibeles, sufrió ésta un asiento de varios centímetros, incrementado con el exceso de tráfico rodado del lugar; esta misma circunstancia se prevenía al pasar bajo la estatua de Colón, por lo que se pensó en apearla, dado su inestabilidad.

Al atravesar el Metro la plaza de Colón, lo hace sobre un verdadero puente a modo de arco de descarga, con objeto de aislarse de los asientos que pudieran ocasionarle la perforación posterior del túnel de enlace que va a una cota inferior.

En la actualidad, se ha debatido la construcción de la estación subterránea del ferrocarril en el Paseo de Recoletos, a causa de la existencia de una importante arteria del Canal de 90 cm. de diámetro y 40 m. de presión, alojada en galería visitable, que ya había iniciado su correspondiente asiento. La necesidad de desviar la misma ha planteado la propia desviación del ferrocarril por la calle de Serrano, suelo menos influido por la vaguada; pero como la citada estación tiene una anchura de 25 m. y esta calle sólo tiene 30, resultarían afectados todos los cimientos de las edificaciones, por lo cual se ha desistido de su ejecución.

Con motivo de la construcción de un respiradero en la Glorieta de Atocha para el Colector Municipal que va por el Paseo del Prado, ocurrió un fuerte corrimiento de arenas fluentes procedentes de la vaguada de la calle de Atocha, que descalzó los cimientos de la finca que hace esquina, frente al Hotel Nacional, dejando un hueco de cerca de 60 m.³. La posibilidad de nuevos corrimientos aconsejaba inyectar, con objeto de consolidar el desprendimiento antes de realizar el relleno, pero el descalce de la casa decidió el que se adoptase una solución mixta que consistía en efectuar el relleno con gravas y la inyección simultáneamente.

Sobre el aspecto histórico.

En la calle de la Magdalena existían unas cuevas de la Inquisición, situadas a unos 12 m. de profundidad; el desconocimiento posterior de las mismas hizo que la cimentación de una casa se abandonase próxima a sus bóvedas. Dichas cuevas se hallaban revestidas de ladrillo cocido, con objeto de evitar la meteorización de las margas, pero si este revestimiento se descuidaba, la marga se descompondrá y podrá traer desagradables consecuencias.

Cuando estaba avanzada la cimentación del Banco Exterior, en la carrera de San Jerónimo, se encontraron galerías bajo la misma; hasta el siglo XVII los gitanos vivían en las grutas que construían sobre esta "greda".

Sobre el aspecto natural.

La pendiente de la calle Alberto Aguilera hacia el río, era menos suave y el terreno vertido la ha desfigurado algo. Esta circunstancia, unida a la influen-

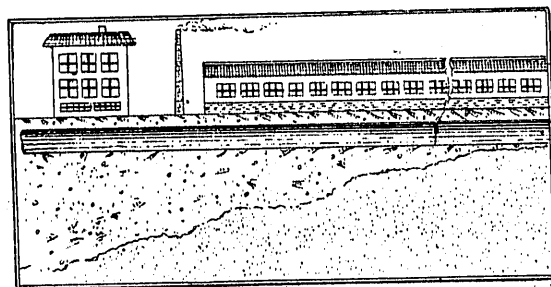


Figura 7.ª

cia del antiguo Manzanares, hace que los cimientos queden sometidos a regímenes de asientos distintos y se producen los agrietamientos en la forma que se indica en la figura 7.ª. Esta misma cuestión se planteó al construir el Metro de Goya-Argüelles.

Las casas del Paseo de Rosales han tenido que bajar a los 8 m. de profundidad y más, para buscar un suelo resistente, de forma que se encarece la cimentación y la hace comparable con el coste de la estructura.

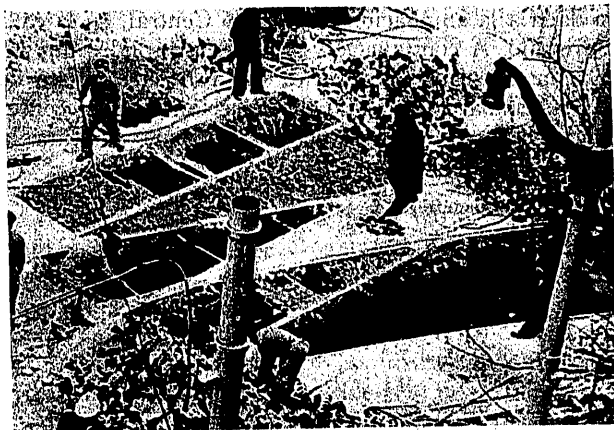


Fig. 8.ª — Hundimiento en Eloy Gonzalo, esquina a Alvarez de Castro. Vacío de 12 x 9 de superficie y 5 m. de profundidad.

Una víctima de la desfiguración topográfica de los alrededores del antiguo Alcázar, está siendo el Teatro Real.

Encontramos la calle de los Hilos pavimentada solamente su mitad, debido a los continuos asientos que destrozan al pavimento; el Ayuntamiento ha decidido suspender la pavimentación del resto.

Existe un tipo de arena suelta en la parte de la Gran Vía comprendida entre el cruce con San Bernardo y la Plaza de España, la cual ha obligado a cambiar la cimentación del Hotel Emperador, proyectada con zanja corrida y sustituyéndose por placa, ya que cualquier arrastre de finos hubiera tenido una grave influencia sobre esta compleja estructura.

Hace pocos años ha ocurrido a una Inmobiliaria, que al construir un edificio en el barrio de Salamanca, confió tanto en los cimientos de la contigua, que excavando junto a ellos provocó el derrumbamiento de una parte de la misma.

Sobre el aspecto actual.

Es frecuente el hallazgo de alcantarillas antiguas, pozos, etc., sin rellenar, lo que crea zonas débiles, las cuales, y debido al desconocimiento de su existencia, no son tenidas en cuenta para posibles repartos de presiones en proyecto; otras veces, se encuentran rellenas, y es esta circunstancia más temible, puesto que crea la incertidumbre de conocer el lugar de donde procede tal aportación.

Hace pocos años, se observó la existencia de abundantes aguas, hasta entonces desconocidas, en la estación del Metro de Progreso, y hecho el oportuno reconocimiento, resultó procedían de un antiguo viaje situado en la proximidad del Crédit Lyonnais, en la Carrera de San Jerónimo, el cual, según se comprenderá, dejó huellas de su paso.

A causa de la corriente freática que se manifestaba en la antigua fuente de la Red de San Luis, el edificio del Ministerio de Hacienda ha sufrido asientos sensibles, cuya influencia y eliminación está siendo cuidadosamente estudiada por la Dirección Facultativa del mismo.

La corriente procedente de la montaña de Príncipe Pío ha producido numerosas grietas en los edificios de la Estación del Norte, y efectos perjudiciales sobre las

vías de la misma, lo cual ha obligado a realizar un recalce de todo el sistema.

La corriente natural de desagüe del Retiro, que indujo a Carlos III a la construcción del Botánico en el lugar que hoy se encuentra, ha producido grandes arrastres bajo los cimientos de las casas que se han edificado a su paso, y las consecuencias de costosos recalces y molestias son las actuales repercusiones de este problema.

Volviendo sobre el corte indicado anteriormente, próximo a la Glorieta de la Beata María Ana, observamos que las edificaciones de este lugar están cimentadas sobre la primera arcilla azul. Se comprenderá que la actividad del agua freática del valle del Manzanares que circula por debajo de dicha arcilla azul, de carácter artesiano, y que próxima al cauce del río alcanza más de 6 m. de altura con un caudal considerable, terminará socavando el apoyo de la arcilla y provocará los oportunos asientos en las construcciones.

La finca de la calle Pardiñas esquina a Lista 45, construída sobre nueve metros de terreno suelto y debido a una rotura que se produjo en el saneamiento, sufrió un descalce de cimientos que produjo una gran grieta vertical que alcanzaba 10 cm. de separación en la coronación; el apoyo de una de las partes en una casa contigua, evitó mayores males.

En relación con las aguas canalizadas, en las Secciones de estadística de las Entidades encargadas de los servicios públicos, hay documentación abundante sobre el particular. Unas veces las aguas, otras las cargas y otras las acciones combinadas, dejan sentir

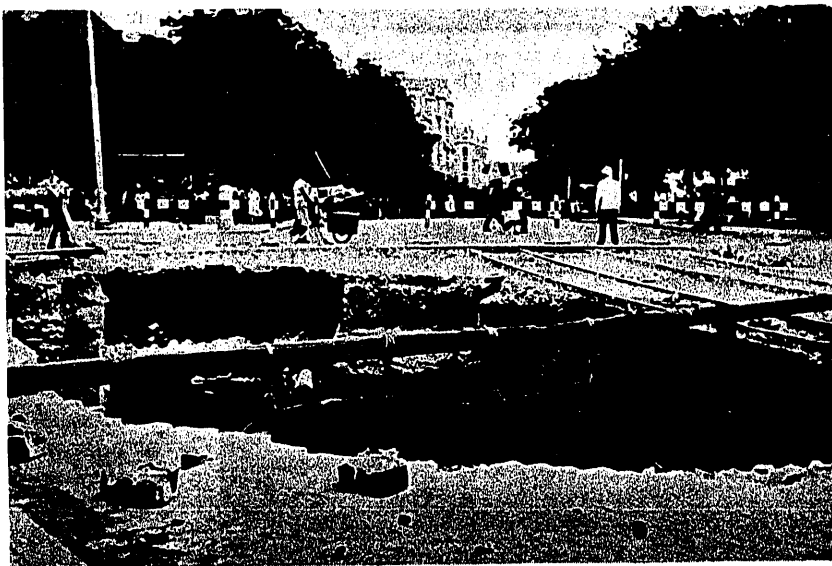


Fig. 9.ª — Sima aparecida en la plaza de Chamberí.

su funesta influencia sobre edificios y pavimentos. Baste recordar los nombres de las calles: Orense, Toledo, Hortaleza, etc., etc.

Como resumen, diremos que el Ayuntamiento realiza unas 12 000 reparaciones al año, de todos los tamaños, provocadas por el suelo: desde hundimientos importantes a asientos de pavimentos, pasando por socavones, descalces y, en fin, todas las variantes.

CONCLUSIONES

Según hemos podido observar, la importancia del problema que consideramos es patente; otras ciudades comprendieron su trascendencia, y por medio de disposiciones oficiales lo encauzaron; de aquí la existencia de los Códigos de Boston, Nueva York, etc.

La gran atención que se le debe prestar está justificada por las fuertes sumas que se invierten anualmente en las reparaciones de edificios, pavimentos, túneles, galerías, tuberías, etc., como consecuencia de la naturaleza del suelo, aparte de sus repercusiones en el carburante gastado por los obligados rodeos a causa de



Fig. 10. — Sima aparecida en la Plaza de Santo Domingo.

las interrupciones, que en el tráfico de esta ciudad tienen mucha importancia, y otras cuestiones no despreciables.

Por todo ello creemos de interés las siguientes sugerencias:

1.^a Un reconocimiento sistemático del subsuelo con el detalle que el mismo requiera, que se ayudaría, además de las observaciones directas actualmente posibles, de sondeos cortos y profundos. La extracción de testigos y muestras inalteradas permitiría caracterizar los suelos, realizando ensayos geotécnicos en el Laboratorio, de uno de los cuales se dispondría, incluso, para tales fines. De esta forma se obtendría:

a) La confección de un gráfico, en el que constasen las superficies de resistencia variando con la profundidad.

b) La localización de aguas erráticas no controladas, y su evacuación rápida hacia los desagües.

c) Clasificación de aquellas zonas que por su falta de aptitud o costosa capacitación de resistencia no admitiesen cargas moderadas, y en ellas no se permitiría la construcción, dedicándolas a zonas verdes.

d) Una colaboración con los técnicos y constructores, facilitándoles cuanta información desearan sobre los cimientos de sus futuras obras, con lo que se evitarían sorpresas e imprevistos desagradables.

2.^a La creación de un fichero, en el que constasen las particularidades que concurren en una cimentación: hallazgos naturales, características de la misma, asientos previsibles; en suma, una reseña geológica, histórica y geotécnica de la obra. Este fichero podría constar de dos partes: edificios y pavimentos.

3.^a Nunca será tarde para dar comienzo a la confección de un Código de Cimentación para la ciudad de Madrid, ya que desgraciadamente lo necesita, el cual uniforme los sistemas, asesore y dicte prescripciones para la construcción de cimientos.