

LA GEOLOGIA DE MADRID (*)

Por ANGEL GARCIA YAGÜE

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos
Jefe de la Sección de Reconocimientos
y Estudio Geológico del S. G. O. P.

Presenta el autor una descripción geológica de la zona próxima a Madrid. A partir de sondeos mecánicos, realizados principalmente por el Servicio Geológico de Obras Públicas, ofrece un plano con los límites de la Arena de Miga, Tosco, Peñuela y margas con yeso.

Termina el artículo con unas breves consideraciones de los problemas que se presentan al ingeniero constructor en cada uno de estos terrenos.

I. Introducción.

Participar en un número de nuestra REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, homenaje a nuestro siempre profesor D. Clemente, es empresa ardua para todos y más, si cabe, para quienes en él vimos un pionero en el campo de la Geología Aplicada. Tarea en la que siempre se está en la cuerda floja, donde el ingeniero y el geólogo, con sus formaciones y mentalidades diferentes, han de hermanarse sin que uno avasallé al otro, en continua actitud versallesca de ceder la primicia en cada caso a quien más puede aportar para ver y solucionar el problema.

Presentar un tema en el que haya intervenido D. Clemente, es osado, porque su visión siempre estaba centrada en lo esencial, y nuestra aportación sería adornar con detalles más o menos trascendentes lo esencial que él vio y en muchos casos comentó directamente con nosotros. Elegir un tema que él no hubiera tocado obligaba a bucear en archivos dispersos, porque en su trabajo recorrió nuestro territorio como una tela de araña muy tupida, con puntos de estudio en cada cruce o enlace de sus sutiles hilos, sin que publicase o escribiese, que de tiempo jamás tuvo, para dejarnos en tinta la mayor parte de sus estudios y conclusiones.

Por todo ello, y tras largas dudas, decidí poner mi grano de arena con este trabajo en el que la Geología y la Geotecnia, el geólogo

y el ingeniero, se unen sin que uno u otro prevalezcan o sobresalgan:

La intensa actividad constructora de este Madrid de nuestros pesares, con su "boom" expansionista y tridimensional, se desarrolla sobre unos materiales cuya datación geológica ha alimentado discusiones en lo que respecta a su origen y distribución en el subsuelo. D. Clemente Sáenz García siempre apoyó en sus clases la calificación pliocena a los niveles superiores sabulosos, apoyando las ideas de E. Hernández Pacheco. Posteriormente, estas ideas habían sido rebatidas por otros geólogos, que extendían el dominio mioceno. Quizá por seguir sus directrices, quizá por los datos de sondeos mecánicos que poco a poco íbamos obteniendo, nos afianzamos en esta calificación, aprendida como alumno, pese a que, a efectos de geología aplicada, tanto monta una y otra datación.

II. Geología general.

II.1. Morfología.

En el área próxima a Madrid se localizan dos líneas principales de drenaje, que constituyen los ríos Jarama y Manzanares.

El Jarama se desarrolla al Este y transcurre junto a San Fernando de Henares por la cota 560. El Manzanares atraviesa Madrid por el Oeste y Sur, con cota 600 al Oeste de Fuencarral y 560 junto a Getafe. Entre ambos ríos se alcanza la cota máxima en Fuencarral (736), que respecto al cauce del Manzanares y el Jarama

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de marzo de 1974.

en el mismo paralelo supone 140 y 170 m de desnivel, respectivamente. Es decir, el Manzanares transcurre a cota algo más elevada que el Jarama, del que es afluente (figs. 2, 3 y 4).

Ambos cursos forman valles disimétricos, con sus laderas orientales más escarpadas y las occidentales más tendidas (Paracuellos de Jarama, al Este de Barajas, y Cuesta de la Vega, en Madrid). Esta disimetría acusa un proceso general de deriva hacia el Este, de acuerdo con una circulación ciclónica enraizada en la fuerza de Coriolis.

Desde parte del Plioceno y durante todo el Cuaternario, el proceso erosivo ha sido constan-

te encaje de los cursos fluviales y arroyos, con depósitos aluviales de escasa potencia y fundamentalmente arenosos, salvo en el Jarama, y suavización del conjunto. El resultado es una superficie alomada con vaguadas amplias y suaves y escasos escarpes.

Sobre esta superficie ideal se ha desarrollado una intensa actividad constructiva, que ha desdibujado el conjunto y modificado localmente la topografía.

II.2. Estratigrafía y tectónica.

Los depósitos terciarios actúan como un potente manto uniforme que oculta la tectónica y

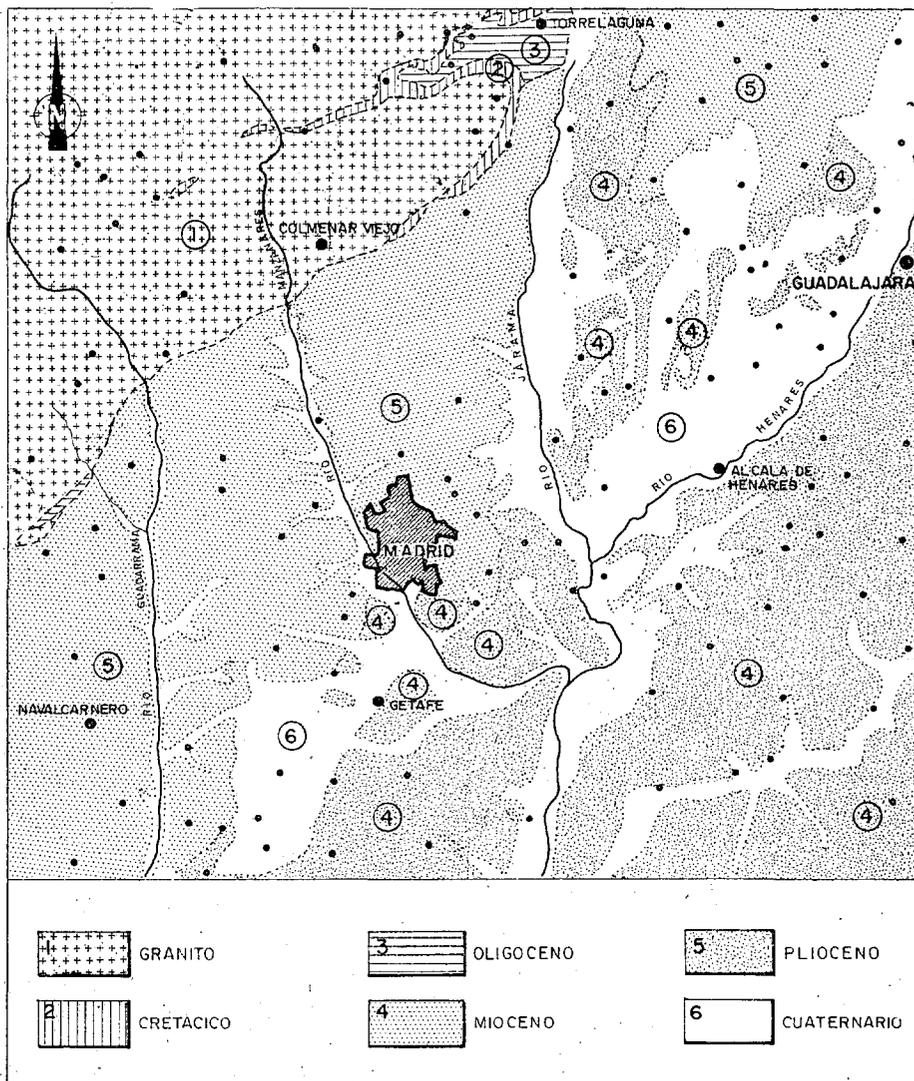


Fig. 1.— Plano geológico zona próxima a Madrid.

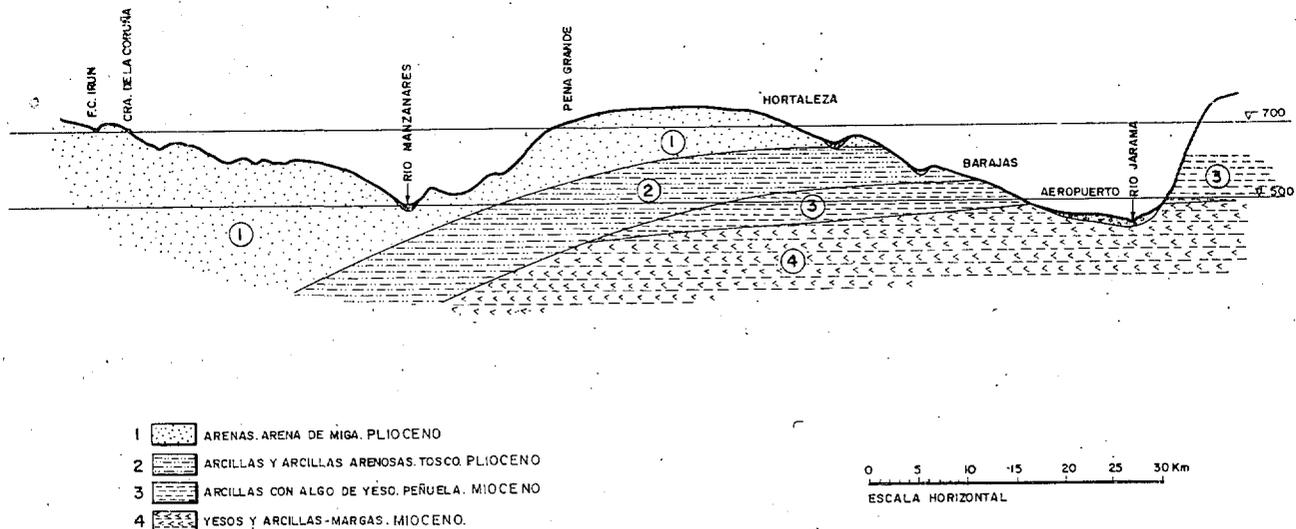


Fig. 2. — Corte E-O por Hortaleza-Barajas.

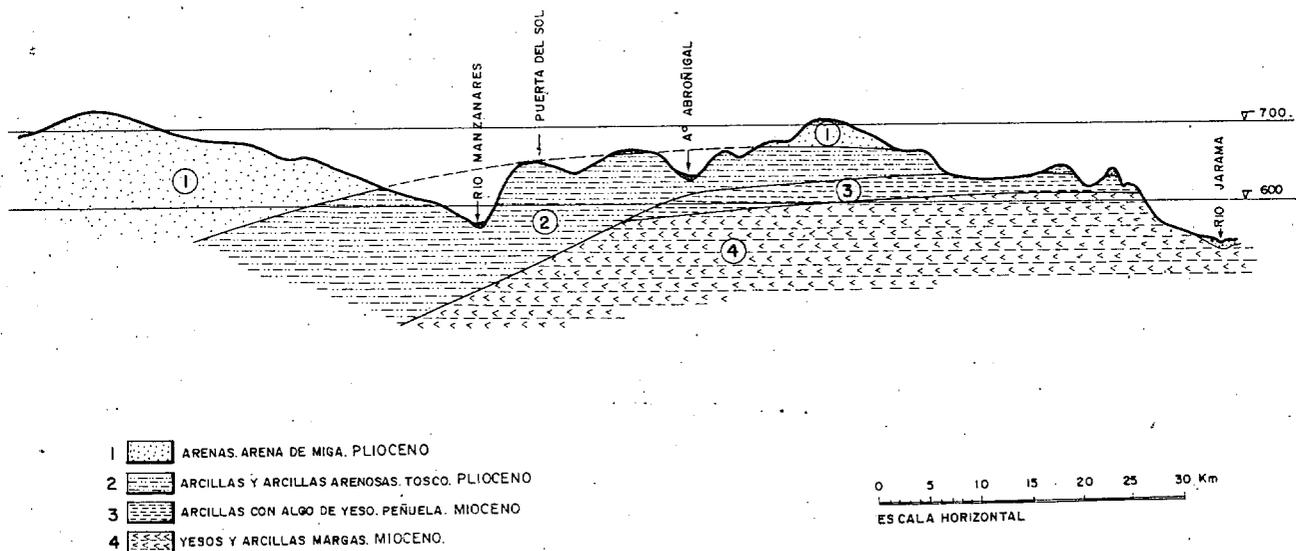


Fig. 3. — Corte E-O por la Puerta del Sol.

litología subyacentes. Por ello, hemos de recurrir, aunque suene a tópico, al Macizo Central y zonas alejadas al Norte, Este y Sur, para deducir por extrapolación lo que puede haber sido la historia geológica de la zona matritense.

Los movimientos hercínicos definieron un núcleo inicial, al que se han ido adosando materiales posteriores. La granitización hercínica del Macizo Central afectó a terrenos paleozoicos, como demuestra el Paleozoico metamór-

fico en tránsito al *gneis* y granito al Norte de Madrid, las migmatitas y mármoles cipolinos al Oeste de Robledo de Chavela, zona de Robledo-Santamaría que atraviesa el río Aceña, y que se descubren en las carreteras de Robledo a Santamaría de la Alameda, y de El Escorial a Avila.

La granitización parece ser sintectónica, pero sin que pueda distinguirse qué fase de los movimientos hercínicos fue la predominante:

Sólo puede asegurarse que todos los terrenos previos al Pérmico fueron plegados y, en gran extensión, metamorizados.

Posteriormente, la zona permaneció en su mayor parte emergida, ya que para encontrar materiales triásicos hemos de trasladarnos a la zona de Cogolludo, unos 80 km al NNE de Madrid. Es decir, que extrapolando este dato, el Triásico no se encontraría al Oeste de un meridiano que pase a unos 20 km del Este de Madrid.

segundos corresponden a una serie más amplia en la que están incluidas el Cenomanense, Turonense, Senonense, etc., hasta que por transición pasan a depósitos detríticos que enlazan con el Terciario.

Los afloramientos cretácicos aparecen en los Montes de Toledo, al Sur de Torrijos y Oeste de Polán, con potencia muy escasa, a unos 30 km al Oeste de Madrid, al Norte de Quijorna, que continúan hacia el NE en una serie de manchas aisladas como en Villalba, en estrecha ban-

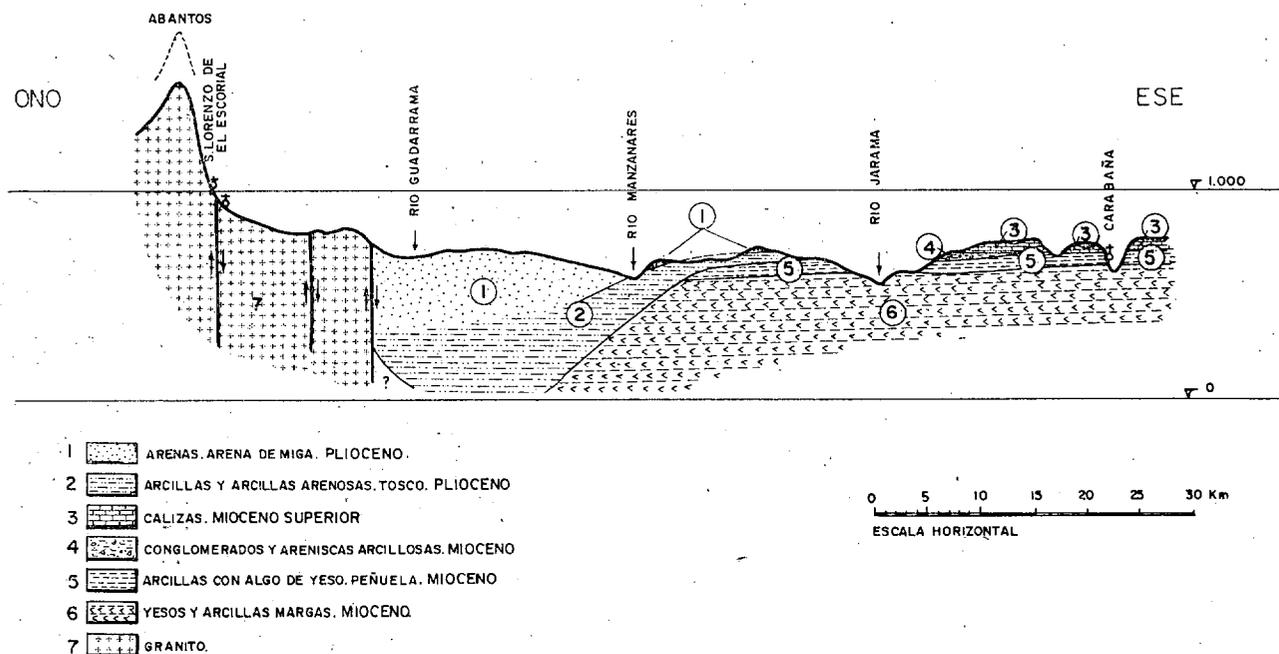


Fig. 4. — Corte geológico ONO-ESE.

No existen sondeos mecánicos profundos en la zona de Madrid, pero extrapolando los datos de los bordes del Macizo Central y Montes de Toledo, podemos aceptar que al Oeste del meridiano de Madrid tampoco se localizarán sedimentos del Jurásico ni del Cretácico inferior, excluyendo el Albense.

Tradicionalmente se atribuyen al Albense, en facies Utrillas, depósitos arcósicos discordantes erosivamente sobre el granito o paleozoico, y sobre los que descansan margas y calizas dolomíticas, atribuidas al Cenomanense y Senonense. Los primeros representan depósitos continentales y, aunque no de gran potencia, pueden representar el Cretácico inferior en mayor extensión de lo que supone el Albense. Los

da muy detrítica, junto al embalse de Santillana, en Torrelaguna, donde adquiere potencia de unos 100 m, y en el valle de Rascafría, en ramal aislado. Hacia el NE de Torrelaguna, donde adquiere potencia de unos 100 m y en el valle de Rascafría, en ramal aislado. Hacia el NE de Torrelaguna se generalizan los afloramientos, con 200 m de potencia en Tamajón, y enlazan posteriormente en la zona de Cifuentes, al NE de Guadalajara, con la Serranía de Cuenca y Anticlinal Cretácico de Altomira.

Los afloramientos cretácicos no permiten concluir sobre la existencia o no de movimientos en esta época, pero sí se puede aceptar que a principios del Cretácico los terrenos estaban emergidos, y que ya en el Albense se produjo

una inmersión, con invasión del mar hacia el Oeste en el Cenomanense, que cubrió la parte central de la cuenca terciaria del Tajo, y cuya costa alcanzó al menos unos 50 km al Oeste de la capital.

Se acepta que durante el Cretácico permaneció emergido todo el Sistema Central, que, a modo de cresta, avanza hacia el NE, dorsal ampliamente rebasado por el mar al Norte y Sur. Sin embargo, no puede excluirse que la zona inundada del Macizo Central fuese mucho más amplia de lo que sugieren los afloramientos localizados.

A continuación se producen movimientos tectónicos importantes: El Cretácico aparece buzando y, a veces, cabalgado hacia las depresiones del Duero y Tajo, y sobre él se depositan materiales terrígenos, aún no claramente identificados estratigráficamente. Al Norte de Torrelaguna aparecen, concordantes con él, primero margas rojizas con poco yeso, después margas yesosas y yesos, y, por último, un importante espesor de un depósito terrígeno terciario, constituido por arcillas, arcillas arenosas e intercalaciones de arenas arcillosas con gravas, coronados todos ellos por las rañas pliocenas. Hasta los yesos inclusive la estratificación parece concordante con las calizas, haciéndose tanto más horizontal cuanto más nos alejamos de ellas, y es discordante con los posteriores depósitos.

El primer nivel podría atribuirse al Maestrichtiense o a un Eoceno Continental. Los yesos se atribuyen al Eoceno o al Oligoceno, según los autores, y el resto se considera Mioceno.

Se deduce, por tanto, que la emersión transforma la cuenca de marina en continental y endorreica, completándose la colmatación a expensas de los macizos emergidos, hasta que a finales del Terciario desaparece y cede la colmatación a un proceso de drenaje y encaje de los ríos, que buscan salida hacia el Atlántico.

Puede concluirse, en consecuencia, que los movimientos tectónicos pirenaicos han dado fisonomía propia a la zona. Algunos autores consideran que durante los mesoalpinos, que pliegan el Eoceno y el Oligoceno y concluyen en la fase Sálica, se forman definitivamente la cuenca deprimida del Tajo y el Macizo Central, donde posteriormente sólo se producen fenómenos de erosión. Otros consideran que al final del Terciario se producen desnivelamientos en los bloques del basamento, que dan fisonomía

actual de *grabens* y *horsts*, lo que justifica la intensa erosión pliocénica y la potencia de las rañas. En superficie se localizan pruebas en favor de una y otra posición: por una parte, los materiales terciarios tienen una potencia considerable (1.800 m en Tielmes), y su límite con el Macizo Central es lo suficientemente limpio para justificar una importante falla, que determina una cuenca hundida, posteriormente rellena, a lo que se une una buena concordancia en los niveles miocenos, que se conservan horizontales con una ligera caída hacia el Sur. Pero también se han localizado fallas, incluso inversas, entre el granito y el Mioceno y zonas de yesos miocenos plegados, como pone de manifiesto la carretera nacional N-III, junto a Arganda, explicados por fenómenos de fluxión de las margas yesosas, al igual que las pequeñas fallas que afectan a las terrazas cuaternarias antiguas del Tajo, al Sur de Aranjuez, que se observan en la carretera nacional N-IV. Investigaciones recientes han mostrado que durante el Cuaternario han jugado los bloques del basamento bajo la cobertura terciaria y que los ríos principales se ajustan a estas modernas fallas. En estas investigaciones no se hace referencia a la actividad sísmica de la zona, que al menos en lo que va de siglo indica una casi absoluta tranquilidad regional y, en consecuencia, ausencia de movimientos tectónicos profundos.

Creemos que la solución puede encontrarse en una posición intermedia, que admita un plegamiento y juego de bloques durante los movimientos mesoalpinos, que dieron el carácter general a la zona y constituyeron la depresión del Tajo. Posteriormente, se produjo una intensa erosión con un hundimiento lento de las zonas centrales, y levantamiento simultáneo de los macizos en un proceso isostático, y, por último, durante la fase Estálica de los movimientos neoalpinos, entre el Mioceno y Plioceno, un nuevo juego de los bloques previamente formados en el Macizo Central. Posteriormente se produjo la colmatación y erosión pliocénica y cuaternaria. La explicación correcta había que buscarla en un estudio detallado y en profundidad del Mioceno, pero su potencia es muy grande, y hasta el presente sólo se tienen datos prácticamente superficiales.

Tradicionalmente, al Mioceno de la cuenca del Tajo se le han aplicado las conclusiones de los estudios de E. Hernández Pacheco en la

cuenca del Duero: Una base arenosa, Tortonien- se; un nivel intermedio, Sarmatiense, y un nivel calcáreo superior, Pontiense. Esto explica la primitiva clasificación de Oligoceno aplicada a los yesos situados al Sur de Madrid.

Esta clasificación hace ya bastante tiempo ha sido abandonada, sin que hasta el presente se haya encontrado otra que sea válida para toda el área próxima a la Capital.

En el sondeo realizado en Alcalá de Henares se encontró una serie de margas, arcillas y yesos, localizándose a los 500 m de profundidad materiales margosos del Oligoceno, sin haberse localizado el Cretácico a los 1.000 metros, profundidad que alcanzó el sondeo. En el sondeo de Tiernes se atravesaron 1.567 m de Terciario bajo el Mioceno, que se atribuyen al Paleógeno, con facies similar al anterior.

Si observamos el plano topográfico y el geológico de la zona, encontramos que existe una llanura precuaternaria, que enlaza perfectamente los páramos de calizas pontienses del Este de Madrid y del río Jarama, con la llanura ondulada al SE del Macizo Central, aquí formada por arenas arcósicas, con la llanura al Sur de Ocaña, a través de mesas o cerros-testigos como el Cerro de los Angeles, y hacia NE, con las rañas pliocénicas (fig. 4).

Las calizas pontienses no sobrepasan hacia el Oeste la alineación del río Jarama, y los yesos se desarrollan hacia el Este y el Sur de Madrid, con máxima potencia hacia el SE. Por el contrario, las facies arenosas se encuentran en las áreas hacia el N y NO.

Esta distribución ha hecho que recientemente se considere que el Mioceno presenta importantísimos cambios de facies y que su corte tipo es muy diferente en el centro de la cuenca y en una amplia zona marginal, con lo que las arenas arcósicas corresponderían estratigráficamente a las calizas de los páramos, a las margas y a los yesos que se encuentran en el centro de la cuenca.

Por último, materiales pliocenos son, sin ruda, las rañas que se localizan al NE de Madrid, y puede ser gran parte de la facies arenosa o toda ella, sin que en este punto exista unanimidad entre los geólogos que lo han estudiado.

III. Geología próxima.

En un área más reducida y próxima a Madrid, que la limitamos a la que cubre la hoja 559 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1/50.000 (fig. 1), los materiales que encontramos son los siguientes:

III.1. Cuaternario.

Ocupa los cauces de los ríos principales y vaguadas de los arroyos tributarios.

En el río Manzanares se han realizado múltiples sondeos para las obras de canalización, presas y puentes que lo cruzan. De estos sondeos se deduce:

El espesor máximo de los acarreo es de unos 10 m en el Puente de Segovia y unos 7 metros en El Pardo. El espesor de los aluviones en el cauce actual debe aumentar hacia aguas abajo, pues, a unos 2 km de su confluencia con el río Jarama se encontraron 70 m de aluviones (véase "Tres ejemplos para meditar sobre la Geología Aplicada a la Ingeniería: Yesos secundarios, acarreo en el río Manzanares, Depresión de Zagarraga", A. García Yagüe, REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, octubre 1968, páginas 744 y 745).

En el río Manzanares, a su paso por Madrid, se han encontrado arenas más o menos gruesas y limpias, y sólo incidentalmente algún nivel fangoso. Excepción la constituyen los sondeos citados junto a la confluencia con el Jarama, que encontraron fangos en todo el valle y en profundidad. Por el contrario, en el río Jarama se localizan gravas que explotan las numerosas graveras en él instaladas.

La terraza actual del río Manzanares se extiende donde el valle es amplio, como se comprobó en los sondeos para el suburbano Plaza de España-Carabanchales, pero en este caso, el espesor de los acarreo disminuí hasta 2 m de potencia.

Los aluviones en las vaguadas y arroyos tributarios también alcanza relativa importancia. En los sondeos realizados a lo largo del Paseo del Prado, Recoletos y la Castellana, para las obras de enlace del ferrocarril Atocha-Las Matas, el espesor máximo localizado fue de 11 metros. En este caso, junto a las arenas y gravas ocasionales se localizaron con relativa frecuencia fangos. La cifra de los 10 m para la potencia

de los aluviones y recubrimientos también se ha encontrado en los sondeos para la línea de Metro VI, junto a la estación de Nicolás Sánchez, y en la línea de Metro VII; en el arroyo del Abroñigal.

A los aluviones cuaternarios se unen rellenos, propios de una zona urbana, constituidos por escombros o productos de excavación. En el primer caso, son claramente identificables; en el segundo, puede motivar confusiones a la hora de clasificar los testigos de los sondeos mecánicos. Estos recubrimientos pueden ser realmente importantes en los antiguos arroyos hoy rellenos artificialmente, como se pudo comprobar en una antigua vaguada, que parece corresponder con la calle de Leganitos, junto a la plaza de España, donde se localizaron 20,6 metros de rellenos; en el Campo del Moro también se localizó en una amplia zona un total de 15 a 16 m de recubrimientos, de los que sólo los 2 m inferiores eran aluviones y el resto rellenos artificiales. en la Plaza de la Opera se encontraron igualmente 13,6 m de rellenos.

En resumen, los depósitos recientes en el área urbana de Madrid podemos clasificarlos en dos tipos:

a) *Naturales*. — Ocupan los valles y vaguadas de los ríos principales y arroyos tributarios, su espesor alcanza los 10 m y están formados esencialmente por arenas.

b) *Artificiales*. — Recubren vaguadas y escarpes previos, su potencia puede alcanzar los 20 m y presentarse en cualquier zona. En ocasiones son escombreras fácilmente identificables con los sondeos mecánicos, pero en otras proceden de excavaciones próximas, por lo que, salvo su compactación, son idénticos al terciario en el que se apoyan. Como excepción, recientemente se han formado extensos caballeros, con potencia de bastantes metros, como en la zona situada entre el Club Santiago y Parque de las Avenidas, línea VII del Metropolitano, actualmente en construcción.

III.2. *Plioceno*.

Como después se indica, a esta serie atribuimos los materiales detríticos, que habitualmente se designan como "Arena de Miga" y "Tosco".

Arena de Miga. — En la figura 8 se ha dibujado el dominio de este terreno, determinado, al igual que los restantes indicados, a partir de todos los sondeos que hemos podido localizar. Con la calificación de "Arena de Miga" se designan materiales detríticos formados por arenas gruesas y medias, limpias y compactas, o arenas limo-arcillosas compactas, de colores claros, amarillentos o suavemente rojizos y verdosos. La proporción de finos es inferior al 25 por 100, y su límite líquido sobrepasa el 40 por 100. La resistencia al "Ensayo de penetración estándar" presenta valores elevados, superiores con bastante frecuencia a los 100 y, en general, a 50. La resistencia a la compresión simple es muy variable, según sean arenas limpias o arenas limoarcillosas, en cuyo caso normalmente superan los 4 kg/cm².

Permite taludes prácticamente verticales de varios metros, en los que pueden observarse una serie de lentejones de arenas limpias entremezclados con otros de arenas limoarcillosas más resistentes a la erosión. Hacia el Norte de Madrid, con cota más elevada, es frecuente el predominio de las arenas, cuyos paquetes tienen ya potencia de varios metros, mientras que a cotas inferiores los niveles son menos potentes, pasando a dominar los arcillosos, anuncio del "Tosco" que se localiza debajo. Pueden confundirse con las arenas cuaternarias antiguas, pues su aspecto externo, en el caso de estar compactadas estas últimas, es muy similar.

Están formadas por elementos silíceos, subredondeados, a veces con gravillas y gravas entremezcladas con las arenas. Las gravillas son de rocas graníticas, y con frecuencia aparecen descompuestas. En las arenas se localizan laminillas de mica blanca y mica negra y elementos feldespáticos, que con su descomposición por hidrólisis pasan a caolín, originando manchas blancas características.

Se presentan por encima de la cota 670, salvo junto al Manzanares, donde alcanzan la 580. En la figura 5 incluimos un corte parcial en base de los trabajos realizados por el Servicio Geológico de Obras Públicas para el colector axial de la Avenida del Generalísimo, actualmente en construcción. La utilización del registro gamma en los sondeos realizados en estos terrenos matritenses permite efectuar una clara distinción de la "Arena de Miga" y del "Tosco"

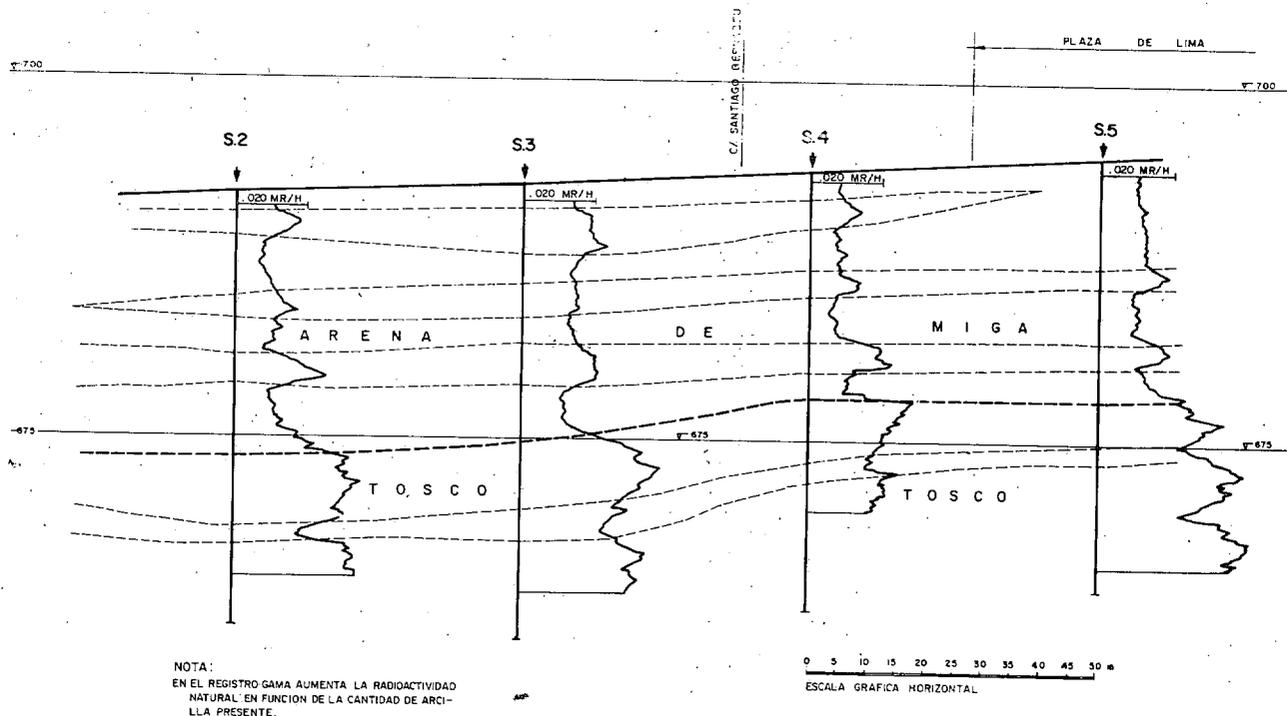


Fig. 5. — Corte geológico junto al estadio Santiago Bernabéu.

y correlacionar los diferentes niveles arenosos y arcillosos. Igualmente se comprueba que no existe una frontera claramente litológica entre la "Aren de Miga" y el "Tosco". Podríamos decir que en la primera predominan las arenas, y en el segundo, las arcillas.

"Tosco": Es un material detrítico claramente más arcilloso que el anterior. El porcentaje de finos es superior al 50 por 100, y en sus niveles más inferiores alcanza el 100 por 100, pero sin llegar a ser margas o arcillas, que se localizan en el nivel siguiente, denominando Peñuela. La diferencia geotécnica con el anterior es muy ligera, con un límite líquido máximo de 50 y una mayor resistencia en el ensayo de compresión simple, donde con alguna frecuencia se alcanzan los 10 kg/cm².

En su interior se encuentran niveles acuíferos artesianos, confinados en los niveles más arenosos. Por ejemplo, en el Puente de Segovia se determinaron niveles artesianos a la cota 454 y 427, que dieron 0,17 y 0,30 l/minuto.

La tonalidad general es ocre, con tintes verdosos y rojizos. A veces constituyen areniscas más o menos compactas y resistentes.

Al Este de Madrid, su muro transcurre sobre la cota 630, mientras que en el Manzanares alcanza la 570, y hacia el SO, vuelve a la 630. Como se verá más adelante, su muro hacia el N y NO desciende mucho, y con seguridad es inferior a la cota 400 (figs. 6 y 7).

III.3. Mioceno.

Incluimos en esta época los materiales claramente arcillosos o margosos que aparecen en el área próxima a Madrid, aunque sabemos que en profundidad enlazan con niveles oligocenos de facies análoga.

Peñuela: En sentido estricto son margas calcáreas claras y compactas, que aparecen en estratos de poca potencia. Sin embargo, el calificativo de Peñuela se aplica indistintamente a los niveles arcillosos o margosos con tonalidades grises o gris verdosas, que se localizan encima de las margas yesosas y yesos, e incluso en el tosco (fig. 6).

En la zona superior se han localizado reiteradamente restos de vertebrados, pertenecientes según Hernández Pacheco al tránsito del

Sarmatiense al Pontiense, y según Crusafont (1969), al "Burdigaliense superior, en tránsito al Vindoboniense", los encontrados en la Hidroeléctrica en caliza arcillosa blanca y en la parte inferior del escarpe de Paracuellos del Jarama, y al "Vindoboniense inferior y medio" los encontrados en el Puente de Vallecas y parte alta del Manzanares (San Isidro) y nivel alto de Paracuellos del Jarama.

Los mejores cortes publicados del contacto entre el "Tosco" y la Peñuela, son los realizados por el S.G.O.P. en 1963 a partir de los trabajos realizados por J. Abollado, en 1940, y los de A. del Aguila incluidos en el "I Coloquio Internacional sobre las Obras Públicas en terrenos yesíferos" (S.G.O.P., 1962), que reproducimos simplificados en las figuras 6 y 7.

La figura 6 se ha construido a partir de múltiples sondeos cortos y de los largos representados, que no superan los 85 m de profundidad.

La figura 7 se basa en los sondens ejecutados, cuya profundidad varía entre 54 y 200 m.

Ambos cortes son sumamente importantes, y de ello se deduce que es difícil aceptar una identidad estratigráfica entre la facies arcilloyesosa con tonalidades oscuras grises, azules y verdes, y la detrítica, con tonalidad general amarilla y rojiza. En esta última está incluido el "Tosco" y la "Arena de Miga" suprayacente, y en la primera, la Peñuela. Estos cortes están en aparente contradicción con el facilitado por V. Escario en 1970 ("Los suelos de Madrid". Laboratorio de Transporte y Mecánica del Suelo. Pub. 25. Madrid, 1970), pero sólo aparente, porque este último es normal al río Manzanares, o sea, sensiblemente normal a los de las figuras 6 y 7, que siguen su curso.

Consecuencias importantes se deducen de estas figuras:

1. Los terrenos detríticos cubren una topografía previa, labrada sobre materiales de colores gris, verde o azules con yeso y sal común y, esporádicamente, que engloban estratos de sepiolita.

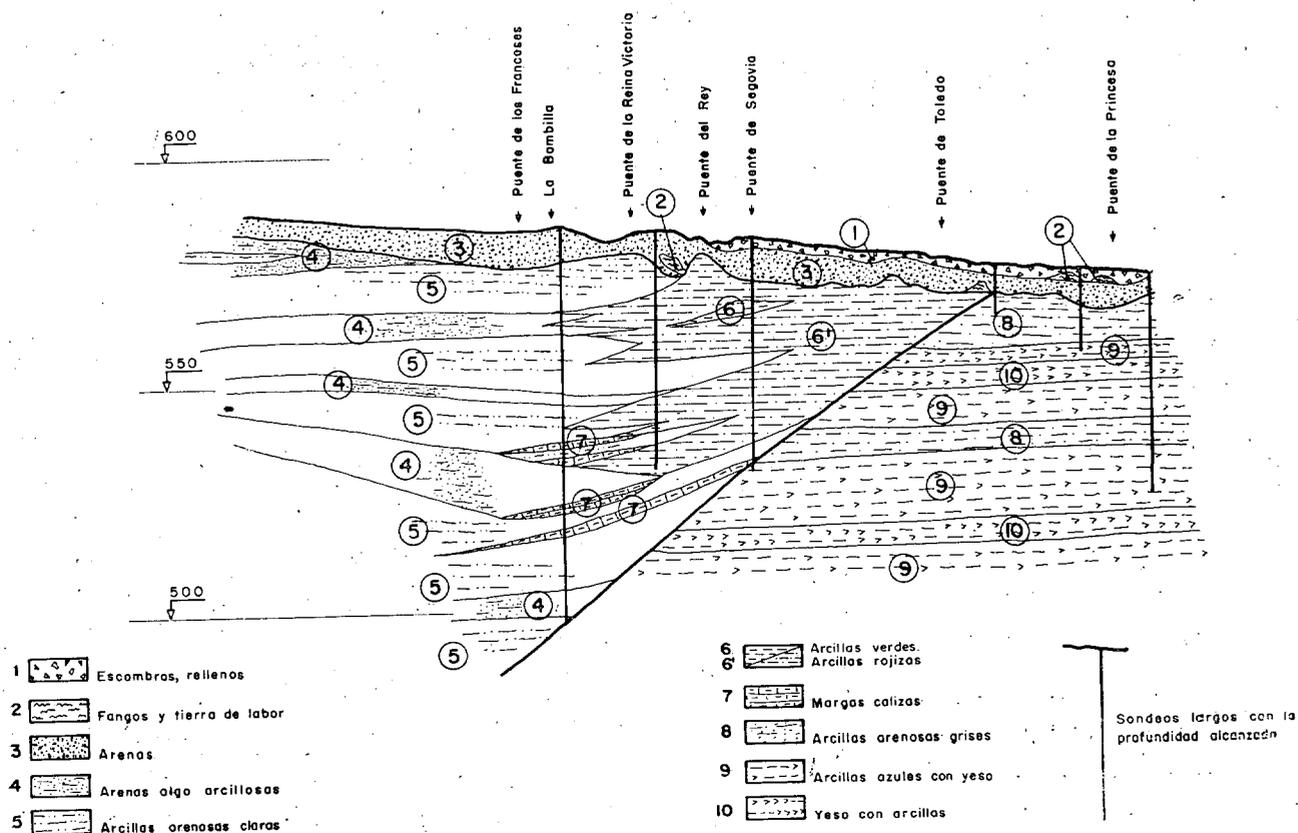


Fig. 6. — Corte según el río Manzanares (J. Abollado, 1940).

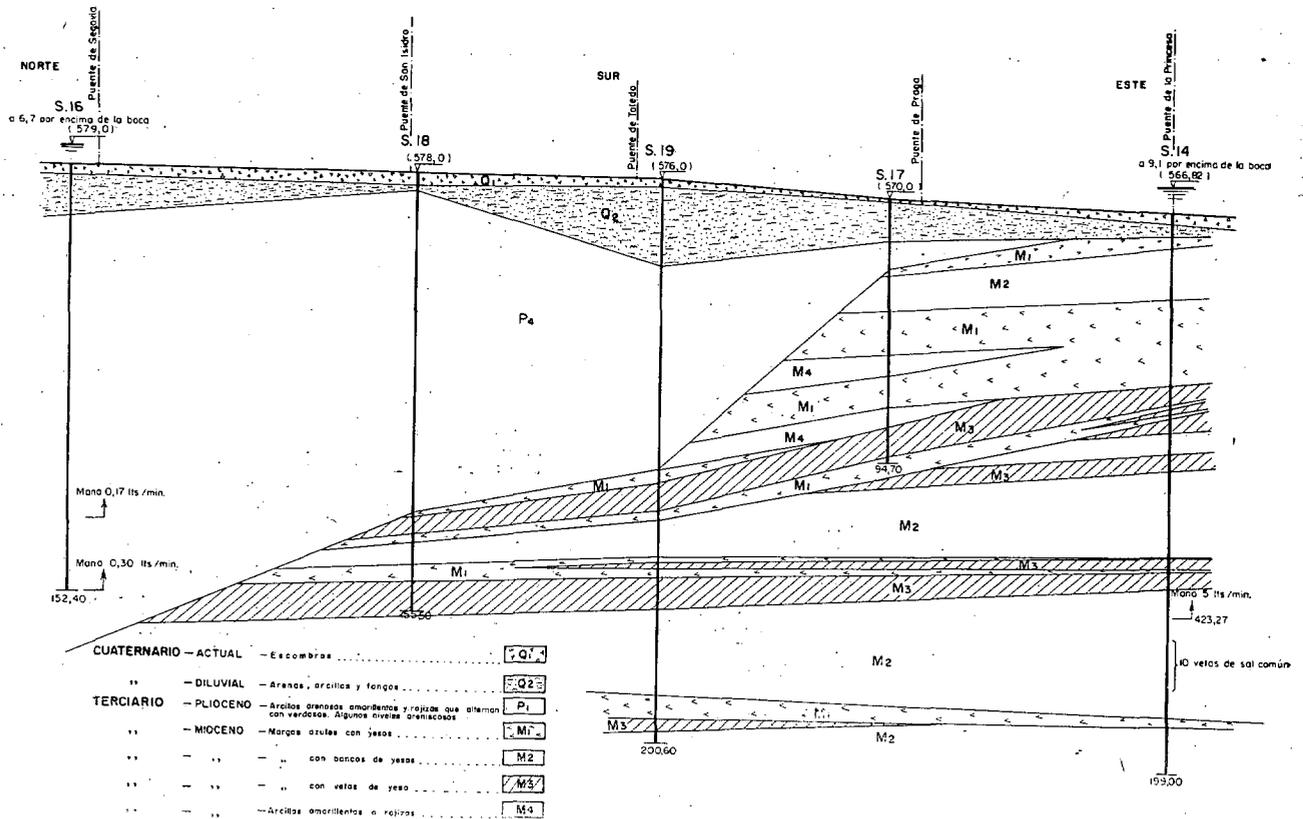


Fig. 7. — Corte según el río Manzanares (A. del Aguila, 1962).

2. El espesor de "Tosco" y "Arena de Miga", considerados como un conjunto, es superior a los 200 m, y se extiende por bajo de la cota 420 aguas arriba del Puente de Segovia.

3. Es forzoso admitir que entre la Peñuela y el "Tosco" existió una época donde predominó la erosión y se produjo un cambio violento en las condiciones de drenaje y depósito, pasándose a un clima semiárido y seco con lluvias torrenciales intensas.

4. La salida al mar del lago terciario y encaje de los ríos se produjo previamente a los depósitos detríticos.

5. Es difícil correlacionar el "Tosco" con los niveles pontienses, aunque no imposible, situando un cambio de facies en la zona desaparecida del Valle del Jarama.

6. Hacia el ONO de Madrid existió una gran depresión, quedando los terrenos al Este y Sur, por encima de los niveles base de los cauces drenantes.

7. Es posible que los niveles margo-yesosos representen no sólo al Burdigaliense, sino también al Oligoceno, y con seguridad así sucede en profundidad.

8. Es casi forzoso asignar al "Tosco" y "Arena de Miga" una clasificación pliocena, tal como hizo Hernández Pacheco y sostenía D. Clemente Sáenz, y mirar con prevención los comodines de "Facies Madrid del Mioceno".

A efectos de obras subterráneas también se deducen una serie de consecuencias:

1. En ambos terrenos existirán acuíferos confinados, pero así como para los localizables en el "Tosco", se podría pensar en una lenta recarga, en los situados en las margas yesosas no es posible este fenómeno.

2. En el "Tosco" y "Arena de Miga" no debe presentarse el yeso; pues su proceso de sedimentación y área de procedencia no lo contiene y recubre en discordancia a estos mate-

riales. Solamente es factible encontrar una contaminación en las zonas próximas a su contacto discordante.

3. Puesto que el "Tosco" recubre una superficie de erosión previa, no es posible predecir con seguridad que no se localice el terreno yesoso fuera de los límites marcados en el plano 8. Sólo puede asegurarse que tenderá a encontrarse a mayor profundidad cuanto más nos alejemos de sus límites hacia el NO.

4. La transición de un terreno a otro será brusca, y hasta es posible localizar superficies de separación con buzamientos superiores a los 30°, taludes factibles en los materiales yesosos en un clima árido, con lluvias torrenciales.

La Peñuela (*sensus latus*), por tanto, sólo representa un estrato arcilloso importante en la zona de Madrid, que por sus restos de vertebrados cabe situarlo estratigráficamente, pero sin que su potencia y continuidad le permita caracterizar un determinado piso del Mioceno, pues sus límites con el terreno claramente yesoso es paulatino o de transición.

Sus características medias son: material predominantemente arcilloso, con presencia de sepiolita; límites líquidos entre 50 y 80, y, a veces, superiores a 100, resistencia a la compresión simple de 10 a 20 kg/cm² y características expansivas, alcanzando, a veces, presiones de hinchamiento superiores a los 10 kg/cm², y con frecuencia entre 4 y 6 kg/cm².

Bajo la Peñuela, a veces, se encuentran arcillas grises con materia orgánica y baja capacidad portante, pero no parece constituyan un nivel continuo.

Margas con yeso: Ocupan la parte sur y este de la zona (figs. 1 y 8), y se encontrarán en profundidad en toda el área urbana de Madrid. Los límites aproximados y dibujados se basan en los datos que hemos podido localizar, pero dada la evolución geológica de la zona puede encontrarse en otras partes además de las representadas.

En este conjunto se encuentran margas de colores azulados y verdosos, con yeso, con vetas de yeso e incluso con gruesos bancos de yeso. También se han localizado vetas de sal y agua surgente salada. Las características geotécnicas son muy variadas, dependiendo en

gran medida de la mayor o menor proporción de yeso que se localice en el punto que se trate.

IV. Geología aplicada.

Los obligados límites de todo artículo no permiten extenderse en este tema, por lo que sólo sintetizamos las consecuencias lógicas y los problemas que se presentan al ingeniero, por otra parte ya conocidos.

El crecimiento de Madrid ha llevado a extenderse no sólo superficialmente, con aprovechamiento exhaustivo de los posibles solares, sino también, a veces, con ánimo especulativo a un crecimiento en altura y la obligada profundización para los servicios y el metropolitano. Las dimensiones de las estructuras impiden considerar que el terreno sea bueno.

Los rellenos artificiales, por su heterogeneidad y escasa compactación, siempre han presentado problemas, tanto para cimentaciones como para galerías de cualquier dimensión. Su presencia es probable en las vaguadas, pero éstas son difíciles de identificar en la zona antigua e incluso pueden presentarse en sitios insospechados. El derribo de un edificio para ser sustituido por otro puede presentar problemas serios, ya que el espesor del relleno puede superar los 10 m, soportando un edificio de moderada altura, pero sin condiciones resistentes para las edificaciones que hoy se estilan. Las galerías de servicio y aun el Metropolitano pueden tropezar en su trazado con zonas de este tipo, lo que plantea problemas constructivos y encarecimientos nada despreciables.

Los materiales cuaternarios que ocupan las vaguadas, presentan problemas de no menor importancia. Basta recordar que junto a un predominio de arenas medias y finas en el Manzanares, existen fangos en estos mismos aluviones y otras vaguadas de Madrid, sin que *a priori* pueda excluirse su presencia en ninguna zona, ya que no es posible dentro de un área transformada morfológicamente deducir los anchuros de los cauces, más propicios a la acumulación de estos depósitos.

Las galerías de servicio y el Metropolitano tropiezan en su trazado con los aluviones cua-

ternarios, que obliga a su profundización, no siempre viable, y al empleo en caso contrario de metodologías más costosas y sofisticadas.

La "Arena de Miga" constituye un aceptable terreno de apoyo. Su compacidad y características geotécnicas admiten con frecuencia cargas claramente superiores a los clásicos 2 kg/cm². En ella pueden mantenerse durante tiempos relativamente largos taludes prácticamente verticales con varios metros de desnivel, como pueden observarse en múltiples puntos de Madrid. Sin embargo, no puede olvidarse que su constitución y contenido de arcilla es variable, por lo que no puede procederse de forma alegre, máxime cuando existe el peligro de confundirlas con arenas cuaternarias. Por ejemplo, en la zona NO de Madrid las hemos localizado, con un mínimo de contenido arcilloso y otras señales que hacía difícil decidirse por uno u otro calificativo, lo que requiere ensayos y estudios de laboratorio.

Presentan una gran susceptibilidad a la erosión, que determina rápidamente surcos que afean los taludes descubiertos, y que obligan a su protección en las zonas vistas. Este fenómeno puede observarse en el Retiro y otros jardines recientemente inaugurados, ya que es extensivo igualmente al "Tosco".

Las galerías de servicio de pequeña sección, las antiguas traídas de agua, pueden excavar-se, en general, con facilidad y sin necesidad de entibación importante, aunque siempre está presente el peligro de encontrar una bolsa de arena más limpia y el consiguiente hundimiento. Cuando el nivel freático queda por encima de la galería presentan serios problemas de perforación, aun para pequeñas secciones. No puede olvidarse que en su seno existen algunos acuíferos colgados, poco importantes en sí, pero sí suficientes para crear problemas locales serios.

Las galerías de gran sección y túnel Metropolitano encuentran en ellos problemas muy importantes, ya que en estos casos se precisaría sostener los hastiales y clave, con importante entibación, lo que obliga a métodos de perforación lentos y costosos. La presencia de bolsa-

das de arena, las posibles fugas de agua de las conducciones existentes, llamados por galerías más profundas, es origen de los conocidos socavones, accidentes que tanto durante la construcción como durante la explotación, constituyen un potencial peligro, bien por un sifonamiento brusco, bien por un proceso lento oculto por el pavimento de las calzadas, que termina hundiéndose bruscamente.

Por último, desde el punto de vista hidrogeológico son explotables, dependiendo lógicamente de la situación de su muro respecto al nivel freático.

El "Tosco" presenta condiciones análogas y algo superiores a efectos de cimentación, con el único inconveniente de las zonas claramente más arcillosas, que potencialmente podrían motivar asientos algo mayores. Sin embargo, la continuidad de estos niveles, superior a las dimensiones de los bloques estructurales, aminoran el peligro de los asientos diferenciales.

También es más favorable a efectos de perforación de galerías, con el problema, más acusado que en el caso de la "Arena de Miga", de la presencia de niveles arenosos que en este caso normalmente encierran acuíferos confinados con presión intersticial diferente de uno a otro. Por ello, pueden producirse vaciados de acuíferos que aportan arenas finas y arcillas de los niveles inferiores, accidentes normales en este tipo de terreno. La situación más crítica para la perforación de galerías está ligada a la proximidad de su techo con la "Arena de Miga". Tanto más cuanto que no son terrenos inyectables con las mezclas de arcilla y cemento, y la inyección química sólo es realizable en la "Arena de Miga" y niveles arenosos del "Tosco".

Hidrogeológicamente han sido explotados desde muy antiguo, pero no puede olvidarse que los niveles beneficiados, con agua incluso surgente, son acuíferos confinados con recarga natural, nula o muy pequeña.

En la Peñuela los problemas son muy diversos, ya indicamos que en este término se incluyen materiales muy variados. Las arcillas, que predominan, ofrecen sus problemas propios,

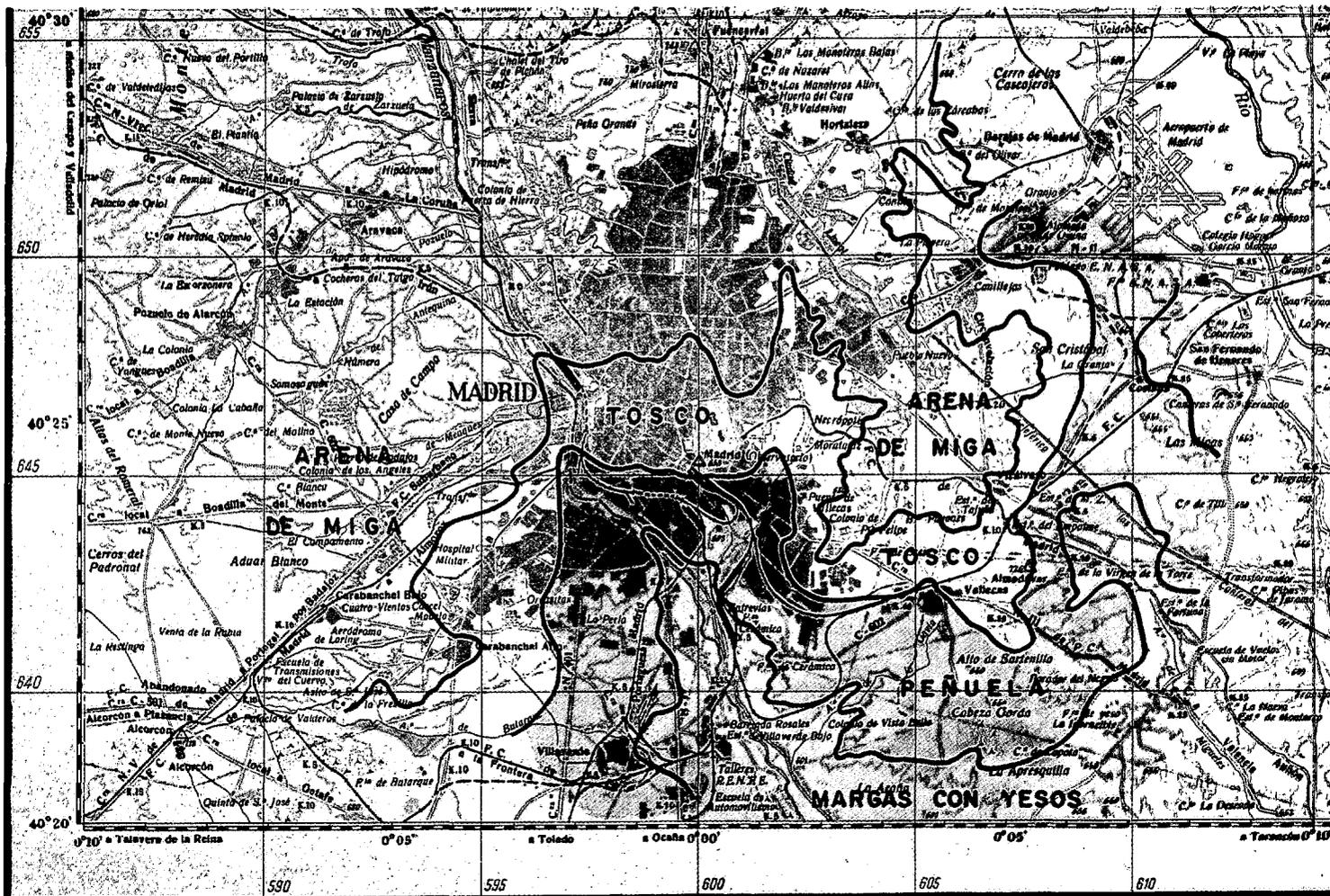


Fig. 8. — Plano litológico de Madrid (excluido el Cuaternario).

máxime cuando en bastantes zonas presentan presiones de hinchamiento muy variable.

En definitiva, forma una zona donde es obligado tomar precauciones y acudir al estudio del terreno sin escatimar los ensayos de Laboratorio.

En el plano de la figura 8 marcamos la zona donde predominan las margas con yeso. Los problemas son los lógicos ligables al yeso, pero radican más en la necesidad de controlar el

hormigón que se emplea, y cuidar las conducciones enterradas, que en un potencial ataque del yeso a un macizo o zapata de cimentación, que si está bien construido, con la compacidad y baja porosidad de un hormigón bien realizado, difícilmente será destruido por el ataque de las aguas selenitosas durante bastantes decenios de años, período de tiempo claramente superior a la vida media de las construcciones utilitarias. En último caso el empleo del cemento resistente a los sulfatos resolvería el problema.