

# SOBRE EL PROBLEMA GEOTECNICO DE MADRID

Por FERNANDO OLIVEROS RIVES,  
Ingeniero de Caminos.

*Curiosa e interesante es la descripción que hace el autor del subsuelo de Madrid y el rápido análisis a los distintos factores que influyen en él para producir trastornos, que todos conocemos, y cuya enumeración es oportuna en estos momentos. El trabajo continuará en el próximo número.*

## I

### Exposición.

El conocimiento de problemas planteados por el subsuelo de Madrid y el haber tenido que intervenir en algunos de ellos, nos ha inducido a tratar el presente tema.

Muchas veces se ha escrito sobre la razón de existencia de la capital española y de su alarmante marcha hacia el futuro, y precisamente este pensamiento nos ha hecho detener sobre algo poco estimado y tenido en cuenta hasta el momento actual, pero de importancia vital para dicho desarrollo como es el conocimiento de la base sobre la cual se está efectuando esta transformación: el suelo de Madrid.

La gran ciudad es un fenómeno de nuestro tiempo y una forma expansiva de nuestra civilización; al extender el impulso de su vida, crea nuevas alineaciones determinadas por múltiples factores. La organización rectora de la gran ciudad, no sólo debe encauzar estas tendencias de expansión tridimensional, sino que debe canalizarlas técnicamente bajo su aspecto resistente, apoyada en la investigación científica.

La altura de las edificaciones se va superando, y encontramos rascacielos ya en muchos lugares de la capital. Es preciso que se armonicen las presentes y futuras cargas con las características del suelo; sería interesante una intervención en este sentido sobre la nueva etapa que se abre para la construcción. Los problemas geotécnicos que se presentan en Madrid no son extraordinariamente complicados, lo que justifica aún menos su trascendencia.

Por una parte el capital privado que a modo de renta pernicioso se invierte en reparaciones costosas, en general previsibles, y por otra, el presupuesto de cerca de cien millones de pesetas anuales que el Ayuntamiento dedica a obras en contacto íntimo con el suelo, ponen de manifiesto que es una cuestión importante que requiere trato especial.

Dos son los factores que intervienen en el presente problema: el geológico y el humano; en el pri-

mero incluiremos el aspecto geográfico, y el segundo lo dividiremos en histórico y actual.

### FACTOR GEOLÓGICO

Nos referimos a la zona limitada por la hoja del Instituto Geológico núm. 559 a escala 1/50 000 y que alcanza: Fuencarral por el Norte, San Fernando por el Este, Villaverde por el Sur y Pozuelo al Oeste.

Dos son los ríos principales que cruzan la región que nos ocupa: el Manzanares y el Jarama; la divisoria entre ambos está en la loma que va de Fuencarral a Vicálvaro, pasando por la Ciudad Lineal. Nos detendremos más en el estudio del valle del primero que atraviesa Madrid, ya que el segundo solamente tiene interés por las últimas anecciones, pero todavía en él no se han presentado problemas de importancia. La erosión que han efectuado es superior a 70 m. a contar desde su cauce antiguo.

Los arroyos afluentes del Manzanares por la vertiente izquierda son: Pinos, Veguilla, Fresno, que son pequeños; el Cantarranas, que nace en Cuatro Caminos, pasa por el Palacio de la Moncloa y Escuela de Agrónomos; el que forma la vaguada de la calle de Segovia; el de la Castellana, que nace en Tetuán de las Victorias, va por Recoletos, Prado, Méndez Álvaro y vierte en el Abroñigal; éste nace en la carretera de Alcobendas, y dejando a la Ciudad Lineal, va por el Progreso, Prosperidad, Guindalera a Ventas, en donde recibe al arroyo correspondiente a la Cuesta de Ventas, sigue por Doña Carlota, Puente de Vallecas y llega al Manzanares en la China. Por la vertiente derecha, tenemos: el Antequina, Valdeza, de la Zarza y Meaques, los cuales pertenecen a la Casa de Campo; el Luche, que nace en Cuatro Vientos; el de Prado Longo, que nace en Carabanchel Bajo y desemboca en la Carolina; el Butarque, que nace a Poniente en la Venta de la Rubia, más allá de Cuatro Vientos, y sigue por Carabanchel Bajo.

Geológicamente componen el suelo de esta zona: un Oligoceno por el SE., representado por yesos y margas yesíferas de color gris verdoso; hacia el NO. de esta banda oligocena y comprendiendo ya el casco

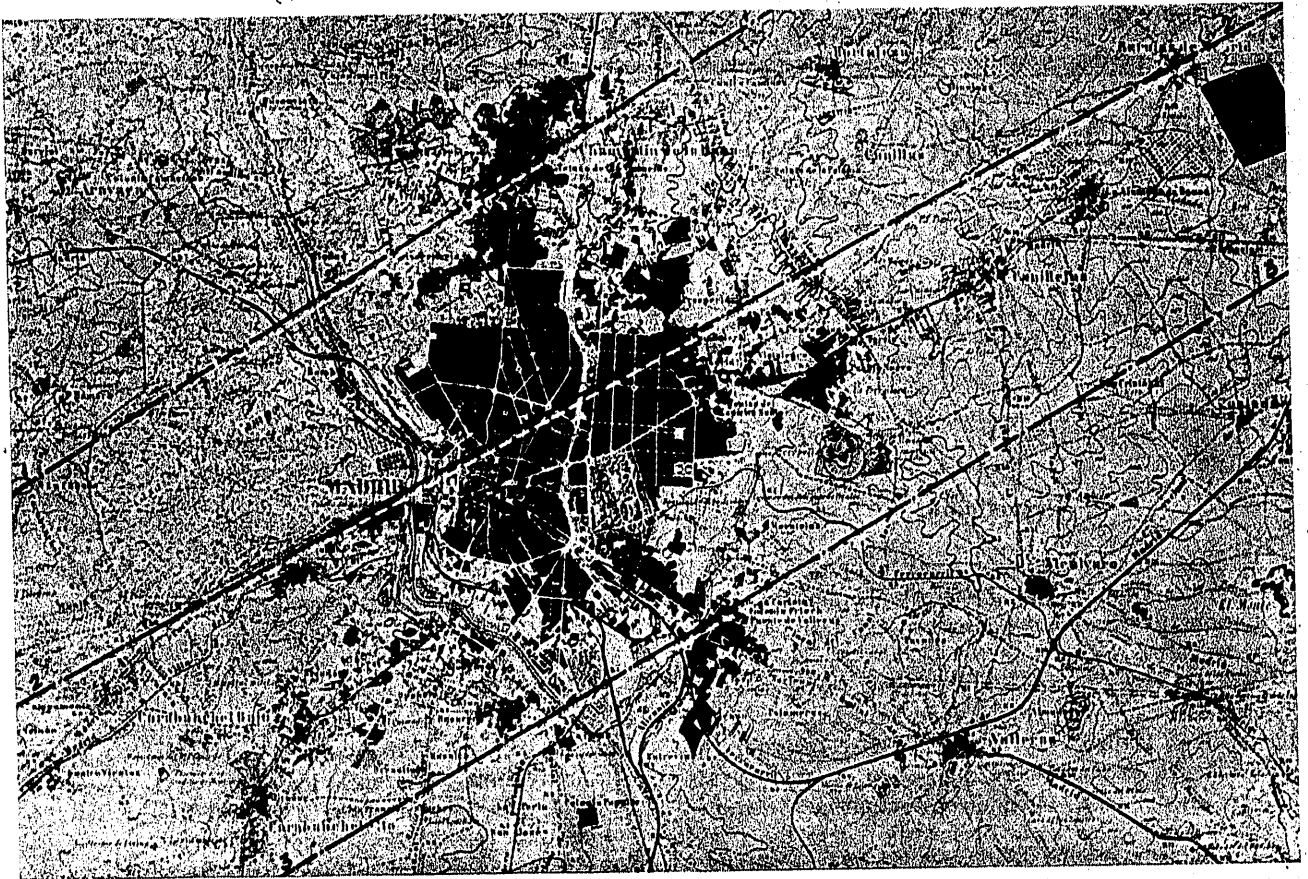


Fig. 1.ª — Plano de Madrid y situación de los cortes geológicos que posteriormente se indican.

de la capital, va apareciendo el Mioceno en sus pisos bajos: Sarmatiense y Tortoniense, que recubren parcialmente la citada banda por el SE. El Sarmatiense, que es el único con quien vamos a tener contacto, está formado por una arcilla margosa de color verde, vulgarmente llamada peñuela, en la que se intercalan lentejones de una marga caliza, conocida con el nombre de cayuela, que a su vez alberga en la parte superior sepiolita y pedernal. Hacia el NO. se carga de arenas, oscurece y se transforma en arenisca, de forma que ya en los sondeos de El Pardo aquéllas no aparecen. El hecho de haber quedado el Oligoceno cubierto por el Mioceno ha permitido el desarrollo de Madrid como gran ciudad.

La presencia de sales proporciona a los manantiales características particulares. Con predilección, en la zona ocupada por los cauces se deposita el Cuaternario, constituido por las terrazas de los ríos, aluviones y otras formaciones debidas a la acción simultánea de agentes eólicos, fluviales y aluviales.

La banda oligocena tiene una pendiente suave hacia la Sierra, lo que provoca su desaparición bajo el Mioceno; esta es la causa del artesianismo de El Pardo y zonas próximas a la playa de Madrid. También el Mioceno se presenta ligeramente plegado, aunque a veces es debido a hundimientos de los estratos

yesosos inferiores del Oligoceno a causa de la redisolución de los yesos. El Cuaternario está perfectamente horizontal, presentando en algunas zonas estratigrafía cruzada.

El valle del Manzánarés es disimétrico: por el N. entra en aluviones miocenos, ensancha su cauce después de El Pardo, y mientras deposita a su derecha las terrazas, por la izquierda socava; al llegar al Puente de San Fernando se hace simétrico, y dejando las rasas correspondientes, atraviesa el Puente de Segovia, tuerce su cauce hacia Levante debido a la variación de dureza de la cayuela y haciéndose nuevamente disimétrico, deja terrazas de potentes aluviones a su derecha.

A pesar de lo destruídas que se hallan, aparecen bien caracterizadas las terrazas siguientes: una, que constituye las lomas divisorias entre sus afluentes, a unos 35 m. sobre su cauce; otra, hacia los 20 m., y otra, a unos 7 m., por la cual va el camino de Trofa. Por la izquierda, hacia los 45 m., hay depósitos en la casa de Buenavista, en el Campo de Polo; Casa de Velázquez, Escuela de Agrónomos, San Isidro (donde aparece con espesor de 15 m.); otra aparece a los 30 m., con vestigios en el Palacio de la Moncloa y, por último, otra a los 12 m. Al Sur de la Carretera de Extremadura, en el barrio de Colmenares, existen

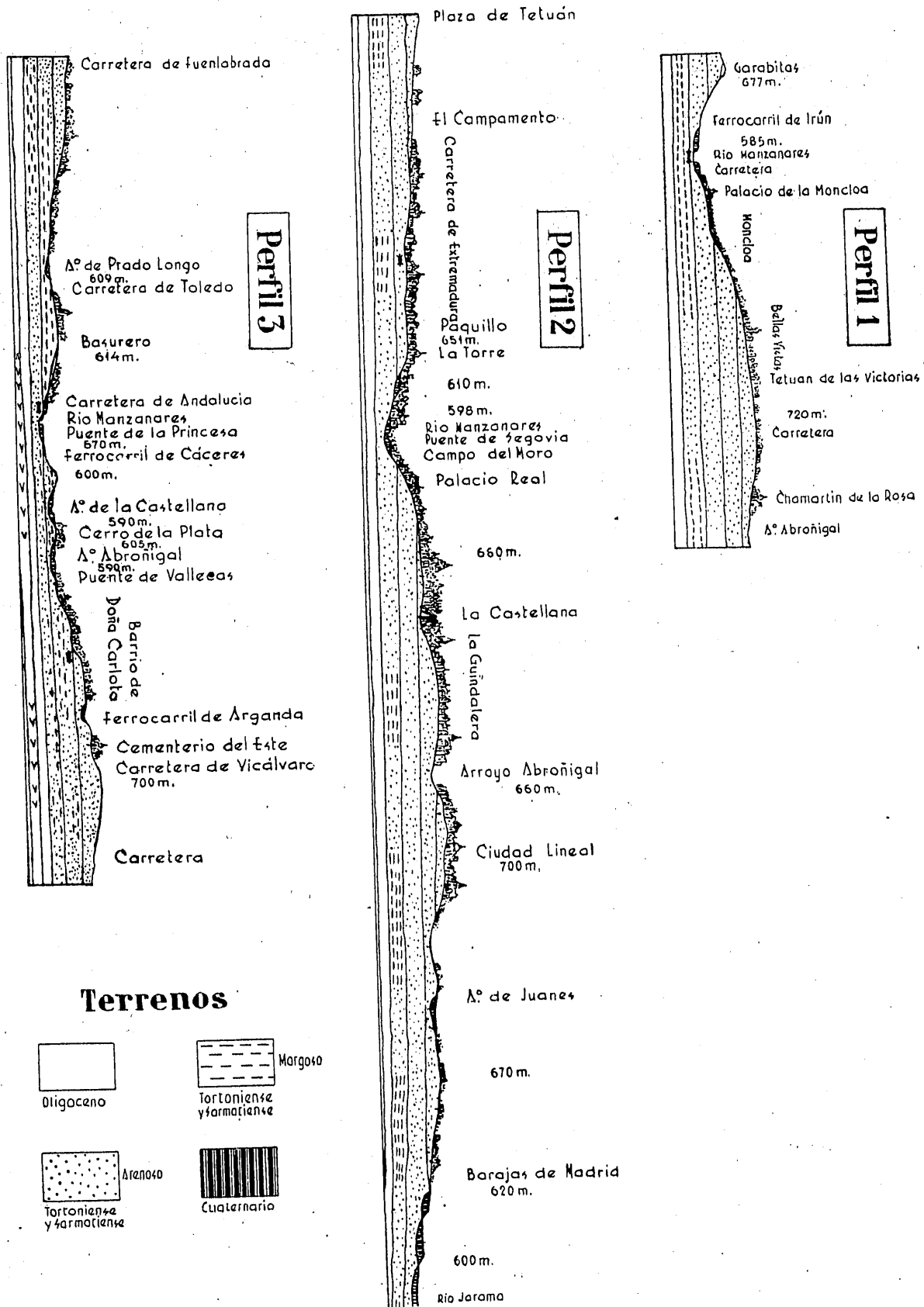


Fig. 2.ª — Detalle de los cortes geológicos indicados en la figura anterior. (Instituto Geológico y Minero de España).

Aspecto histórico.

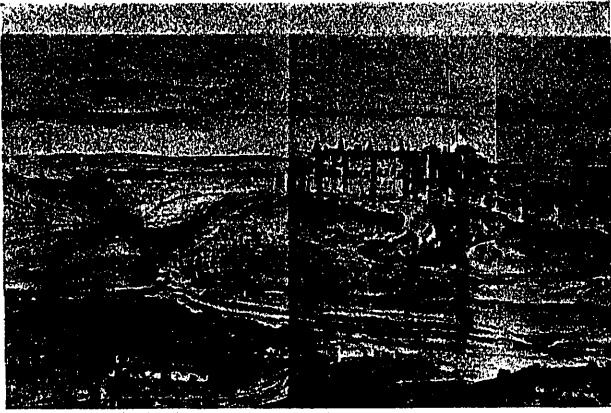


Fig. 3.<sup>a</sup> — Alcázar de Madrid.

representaciones de las tres, pero poco caracterizadas.

Esta tendencia a formar terrazas se conserva en los afluentes del Manzanares, y así, y como más importantes, tenemos: las de Peñagrande y Huerta del Obispo; el Luche forma una en la Torre; otra, al Sur de la carretera de Extremadura; en la calle Ancora, a su entrada por Méndez Álvaro, y sobre areniscas arcillosas miocenas, hay unos dos metros de areniscas en estratificación cruzada, y otra, próxima a los Talleres de la Renfe de Atocha, que serán terrazas del arroyo de la Castellana; el Abroñigal también las formó, quedando representaciones en el barrio del Progreso.

En la descripción de la forma en que a través del tiempo se ha desarrollado Madrid, podríamos extendernos casi indefinidamente, por abundancia de gran cantidad de datos y referencias, pero dado el reducido espacio en que pretendemos exponer el problema que nos ocupa, nos vemos obligados a dar una síntesis de simple información general sobre las directrices e influencias más características de su crecimiento.

La existencia de elementos humanos viviendo en la orilla del Manzanares se remonta a la cultura che-lense, pero dejando aparte estas primeras civilizaciones, cuya influencia sobre el subsuelo de Madrid fué escasa, nos detenemos ante una fortaleza medioeval árabe, que se llamó Magerit; fué principalmente un puntal defensivo del reino moro de Toledo, cuyo emplazamiento queda enclavado en el actual Palacio Real. Esta fortaleza fué construída de pedernal, aprovechándose las terrazas como bastiones defensivos, y en el cauce del río encontró propicio foso natural. Si se tiene en cuenta el desnivel que produce la vaguada de la calle de Segovia y la topografía de las plazas de Oriente y de la Ópera, muy desfiguradas y recrecidas, se comprenderá la singular posición que ofrecía el referido Alcázar.

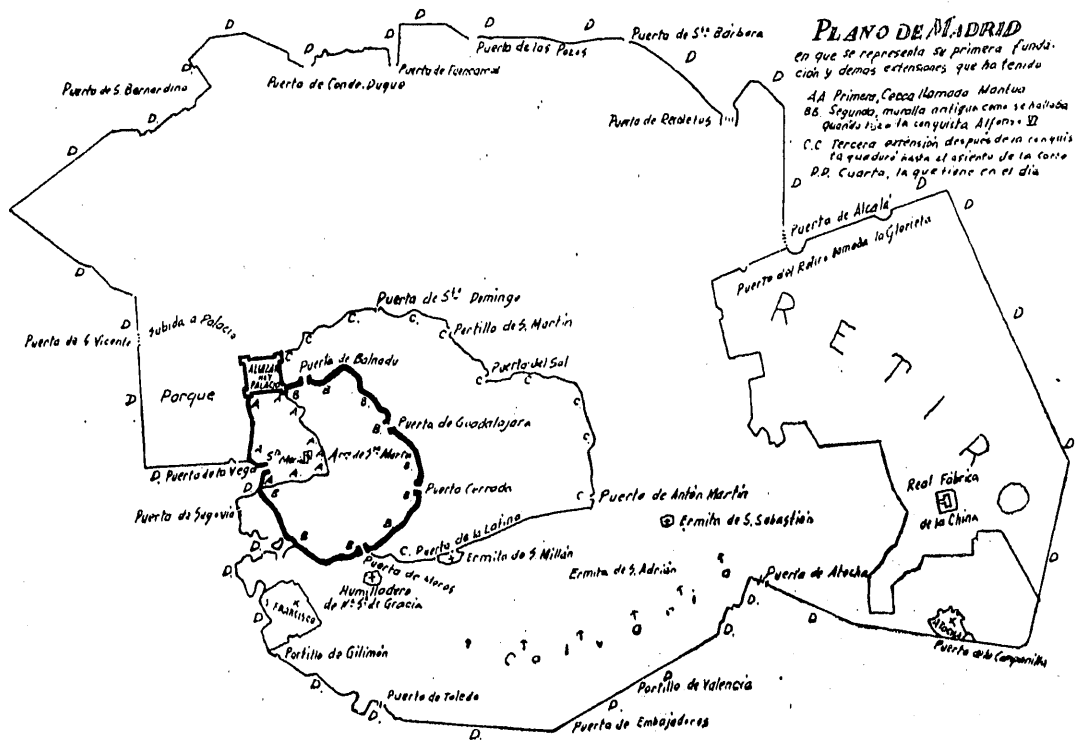


Fig. 4.<sup>a</sup> — Recintos de Madrid, según Alvarez y Baena.

Este primer recinto abría su puerta por la de la Vega. El segundo recinto fué mandado construir por Abderramán III en 933, a modo de fuerte cinturón defensivo, en el que se abrían las Puertas de la Vega, de Moros, Cerrada, de Guadalajara, de los Caños del Peral y de Balnadú. Las actuales calles de la Cava Baja y Alta eran dos minas construídas por los musulmanes para burlar el cerco. Otra mina salía por la Puerta de Guadalajara y ha dado origen a la calle de San Miguel, etc.

Nos encontramos ante tres factores: el hombre, el bosque y un tercero como consecuencia de aquél: la agricultura. El bosque iría cediendo ante la agricultura, y ésta cederá ante el hombre, que la invade con sus edificaciones. En esencia, éste es el proceso de formación de la ciudad.

Por esta causa, existieron montes de encinas por donde discurrían los antiguos caminos de Hortaleza y Fuencarral (actualmente calles), árboles de "tronco tortuoso" cubrían la Costanilla de Santa Teresa, etc., que luego se transformaron en huertos o jardines para sucumbir finalmente ante la edificación.

La Historia ha dejado huella en todo el ámbito madrileño, como si no se resignara a ser olvidada, y ha dejado en expresivos nombres de las calles actuales: hechos históricos, costumbres de construcción, etc., que tuvieron su razón de existencia y dejaron grabada la huella de su paso. Numerosas crónicas nos hablan de detalles de otras épocas que directamente afectan al subsuelo de Madrid. Calles que van paralelas, como Preciados y Carmen, fueron la ronda interior y exterior de la antigua muralla que partía de la Puerta del Sol; la calle del Espejo, de análoga función; el foso de las atalayas morunas lo constituía la Costanilla de Santiago; existían huertos árabes en la calle de Leganitos, terrenos de eriales y zarzales en la calle del Arenal; la existencia de bellos jardines nos la recuerda la actual calle de su nombre; de vergeles en la Plaza de los Mostenses y en la calle de la Flor de Peralta y de genuinos nombres de "Olivares", "Cañizares", etc.; aguas afloraban en la Plaza de las Salesas, pantanosas existían en la Plaza Mayor, etc.

Todo ello ha tenido una razón histórica, y quizá técnica, de pervivencia, que analizada serviría eficazmente para obtener mayores conocimientos de los que hoy se poseen sobre este subsuelo.

El crecimiento de Madrid se realiza de Oeste a Este, partiendo del Alcázar. La creación a extramuros de monasterios y conventos preconiza las áreas de la futura expansión, primero creando edificaciones a su alrededor, y después, por los senderos que conducen hasta ellos; el crecimiento los incorpora y después asimila. La ciudad va extendiéndose a extramuros hasta que nuevamente otro recinto la encuadra, dejando las antiguas murallas embebidas y rindiendo su postrer tributo a las Puertas por el enclave de una plaza. El que quiera sorprender la evolución de este proceso de expansión de la ciudad, puede ir a Ávila,

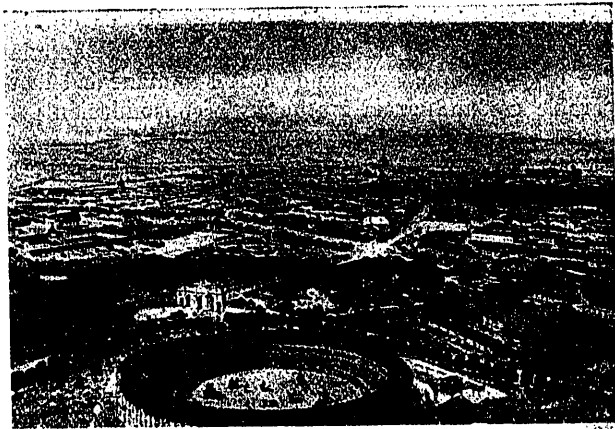


Fig. 5.<sup>a</sup> — Vista de Madrid en el siglo XVIII.

Ciudad Rodrigo, etc., donde el hecho se observa con una realidad tangible. En la figura 4.<sup>a</sup> puede observarse el detalle. Actualmente estamos siendo testigos de un nuevo impulso de crecimiento de Madrid, con la anexión de numerosos pueblos de su contorno.

Por otra parte, hay que señalar la importancia de todo lo que afecta a los sucesivos abastecimientos de aguas y desagües; su conocimiento ayudaría a localizar tantos hechos que nos han sorprendido desfavorablemente: hundimientos, descalces, socavones, etc.

De la importancia que las aguas han tenido sobre Madrid, diremos a modo de ejemplos que en el año de 1495 y 1496 fueron tan copiosas las nieves y las aguas, que las Puertas de Segovia, Toledo, Balnadú y Guadalajara "sufrieron quebranto"; una crecida del arroyo de la Castellana arrastró a los caballos de un Almirante de Castilla que vivía en la calle que hoy conserva su nombre y los llevó hasta el arroyo Abroñigal; un soldado de Montesa, que intentaba vadear la corriente en el cruce de Leganitos con la Plaza de España, fué arrastrado por ella. Actualmente, el sistema de 500 Km. de alcantarilla que discurre por Madrid, evacua rápida y uniformemente las aguas, evitando estos contratiempos, pero la impetuosidad de sus efectos queda bien manifiesta.

La etapa de crecimiento que pudiéramos llamar real, comienza con Felipe II y la prosigue noblemente Carlos III, creando avenidas y paseos con nombres como el de las Acacias, de los Melancólicos, de los Olmos, de la Chopera, que parecen querer continuar los tan bellamente tradicionales.

### Aspecto natural.

Intervienen como más importantes:

1.º *Consolidación del suelo.* — Aparte del proceso natural, la existencia del hombre la acelera. Tres son las manifestaciones a considerar:

a) Su constitución arcillosa lo predispone al asiento; es imposible hacer un estudio detallado, separan-

do los tipos de consolidación en la arcilla, ya que las cargas propias del estrato y las impuestas se entrelazan en el tiempo, originando una simultaneidad inseparable con influencia mutua de la consolidación primaria y secundaria.

b) Las causas que provocan la compactación de la arena son: las cargas y la pérdida de finos, debido al continuo lavado a que se halla sujeta como consecuencia de la riqueza de aguas existentes.

c) La vibración del tráfico influye en dos aspectos: su volumen creciente y el hacerse cada vez más pesado.

2.º *Envejecimiento de materiales.* — Muchas de las edificaciones de Madrid tienen siglos. Los materiales trabajando se desgastan y pierden su capacidad resistente. Efectos que sobre construcciones recientes no tendrían importancia, son decisivos sobre otras ya lesionadas por el tiempo; algo análogo ocurre con los pavimentos, aunque su edad en general no sea comparable con la de aquéllos.

### Aspecto actual.

Los elementos más influyentes son:

*Conducciones subterráneas.* — El volumen ocupado por ellas es en algunos casos alarmante. No solamente existen de muchas épocas, sino que aun dentro de las actuales, las Compañías no se ponen de acuerdo sobre la posesión de alguna clase de ellas.

Dejaremos aparte el Metro y los Enlaces ferroviarios.

Los diferentes tipos de conducciones que hay en Madrid, son:

- Alumbrado público.
- Telecomunicación.
- Gas.
- Energía eléctrica.
- Agua.
- Saneamiento.

De todas ellas, y debido al escaso sitio de que disponemos, sólo trataremos, por ser el más relevante, del problema del agua. La aparición de agua por los distintos túneles y galerías que atraviesan Madrid, así como en los sótanos de las fincas, dan un pequeño conocimiento de la existencia de las frecuentes fugas; el peligro a veces es grave, por conocerse demasiado tarde el efecto y encontrarse ya los cimientos muy afectados, como hemos podido comprobar en numerosas ocasiones. Para que se compruebe el peligro latente que el agua ocasiona, transcribimos de un informe del Laboratorio del Transporte, sobre un suelo de la calle de Serrano, donde se pensaba cimentar una iglesia, lo siguiente: "Este terreno sería fácilmente arrastrado por una corriente de agua, por cuanto debe considerarse si existe alguna natural o si está próxima alguna canalización cuya rotura pudiera dar origen a arrastre".

Entre las diferentes clases de aguas que circulan por el suelo de Madrid, tenemos las freáticas y las que debían ir canalizadas.

*Freáticas.* — Tuvieron una importancia especial para Madrid, hasta que se efectuaron las traídas del Canal y Santillana. Siendo en general el suelo algo permeable, el contacto con otros más arcillosos provoca los manantiales; ahora bien: según sea el lugar geológico por donde el manantial ha discurrido, así será distinta su composición química: las aguas oligocenas son muy selenitosas y poseen un grado de dureza superior a 40º, han carecido siempre de aplicación incluso industrial; las aguas miocenas, como las de la Fuente del Berro, son algo bicarbonatadas y más potables, con un grado hidrotimétrico próximo a 35; a las del Pleistoceno corresponden las de la Ermita de San Isidro; por último las aguas del Holoceno son muy superficiales y, por tanto, de gran aplicación.

Estas aguas fueron canalizadas en parte para cubrir el abastecimiento de Madrid, y en este sentido y desde los árabes se han cuidado mucho estos trabajos. Cuando se asegura el abastecimiento con las aguas de la Sierra, pierde aplicación su explotación, y al quedar erráticas producen efectos incontrolables, que en muchas ocasiones son desagradables. Por esta causa, y al señalarlas como factores perjudiciales, solamente haremos una pequeña reseña de su existencia.

Hasta el siglo XIX el agua que utilizaba Madrid procedía de cuatro minas o viajes principales, llamados: Fuente de la Castellana, Alcubilla, Abroñigal Alto y Abroñigal Bajo, aparte de otras menos importantes como las de Amanuel, San Bernardino, Fuente del Berro, Salesas, Montaña del Príncipe Pío, etcétera. En 1850 existían 36 fuentes y más de 500 pozos; la situación de éstos, en general, se ha perdido y, por tanto, no se tiene en cuenta su influencia sobre las cimentaciones.

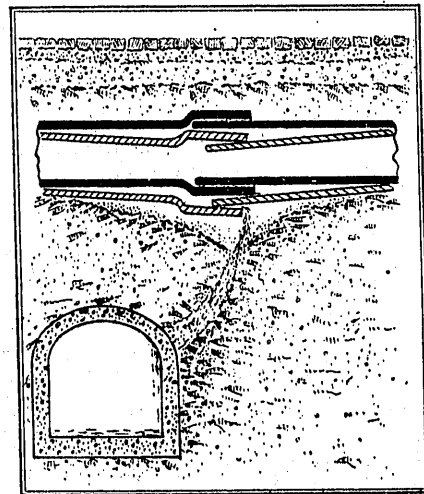


Figura 6.ª

*Canalizadas.* — Dos son las redes que abastecen Madrid: la del Canal de Isabel II, que alcanza 634 kilómetros, y la de Santillana.

A pesar de que las juntas se hacen de enchufe y cordón con filástica de plomo fundido, que además de darle impermeabilidad le facilitan una gran elasticidad, la existencia de cerca de 200 000 de ellas aumentan la posibilidad de las pérdidas.

Existen cerca de 100 Km. de tubería con más de ochenta años, lo que da un 33 por 100 de pérdida, y el resto más moderno disminuye al 20 por 100. Las pérdidas dependen de dos clases de factores: directos e indirectos:

- |               |   |                                   |
|---------------|---|-----------------------------------|
| Directos....  | { | a) Estado de la tubería.          |
|               |   | b) Efectos químicos.              |
|               |   | c) Caudal.                        |
|               |   | d) Presión.                       |
| Indirectos... | { | e) Naturaleza del suelo.          |
|               |   | f) Vibraciones.                   |
|               |   | g) Impermeabilidad del pavimento. |
|               |   | h) Efectos anormales.             |

a) La forma de obtener una buena conservación de la tubería es alojándolas en galerías visitables. Algunas ciudades, bajo la conducción general, sitúan un drenaje. La inspección en la galería visitable es más eficaz. En Madrid se tiende a llevar por galería visitable aquellas tuberías iguales o superiores a 600 milímetros  $\phi$ .

b) Precisamente la pureza del agua es la que produce un ataque a la fundición. Las corrientes eléctricas parásitas crean fenómenos electrolíticos y fomentan la descomposición del metal. Numerosas fotografías de tuberías de más de ochenta años, recientemente sustituidas, han demostrado la importancia de estos efectos.

c) El caudal medio que circula es de 370 000 m.<sup>3</sup> al día.

d) Al disminuir los consumos de agua durante la noche, la presión aumenta hasta el punto de que en las zonas bajas se alcanzan los 70 m.; ésta es la causa por la cual, durante las últimas restricciones que sufrió Madrid se cortaba el agua de noche, ya que las fugas eran máximas. En la arteria de San Bernardo se obtuvieron de madrugada 1 900 m.<sup>3</sup> a la hora.

Los cortes de agua tienen el inconveniente de producir el golpe de ariete; es decir, una sobrepresión dinámica a lo largo de toda la tubería, lo cual fomenta las fugas.

e) Por ser el suelo fácilmente socavable, las pequeñas fugas producen arrastres que descalzan pro-

gresivamente a la tubería, y al hacerla trabajar a flexión, producen su rotura.

f) Las continuas vibraciones del tráfico, aparte de la influencia que sobre el medio tiene, produce una vibración sobre la tubería con tendencia al aumento de erosiones.

g) Los espesores crecientes del pavimento producen una gran impermeabilidad, encubriendo las fugas, ya que evitan su manifestación al exterior. La aparición del agua por lugares extraños son las únicas muestras que denuncian la existencia de pérdidas.

h) Existen, por último, efectos que deben soportar las tuberías y para los cuales no están calculadas, como son las cargas directas que a veces le transmite el pavimento debilitado, debido a circunstancias anormales, y otras de menor frecuencia e importancia.

*Tráfico.* — El desarrollo pujante del tráfico moderno, deja sentir sobre la ciudad sus consecuencias, y así como la carretera exige su modernización, las calles de Madrid requieren su acondicionamiento, ya que los espesores del firme, hasta hace poco conocidos, eran de 15 a 20 cm. Los pesos de los vehículos aumentan y sus velocidades son crecientes, lo que determina un considerable incremento de la cantidad de movimiento y consiguientes efectos de choque; a continuación vienen los baches, etc.

Los neumáticos transmiten a veces 2,5 Tm. cada uno, y las cargas de los tranvías de la serie 5 000 son de más de 5 Tm. por eje. Ahora bien: no debemos caer en el error de pensar que la limitación de aquellas resolvería la cuestión, sino en que incluso es preciso dar facilidades para su desarrollo. El incremento experimentado es una necesidad imperiosa que no admite trabas, y orientar el futuro es la única solución posible.

En la actualidad, ya se acondicionan pavimentos resistentes recurriendo a la inyección para conseguir un íntimo contacto de placa, utilizándose espesores de 40 cm. de firme. El estudio de las condiciones del suelo al que se le va a confiar la carga debe ser cuidado, y la extracción de muestras inalteradas y posterior análisis en los laboratorios geotécnicos creemos es imprescindible para obtener los resultados deseados y justificar las soluciones elegidas. Hay que tener en cuenta que el subsuelo bajo el pavimento no sólo está sujeto a las cargas directas que gravitan sobre aquél, sino a un régimen de tensiones anterior transmitido por las edificaciones que forman la calle.

Sin embargo, el coste que supone este rehabilitamiento de los pavimentos es muy grande, y la evolución quizá no marche paralela al ritmo de las cargas.