

LOS PROBLEMAS TECNICOS DE LAS CARRETERAS ESPAÑOLAS EN EL LABORATORIO Y EN EL CAMPO

Por JOSE LUIS ESCARIO,
Director del Laboratorio del Transporte.

La técnica de la construcción de las carreteras ha evolucionado profundamente en los últimos veinticinco años, tanto en el proyecto como en la construcción. El porqué de esta evolución es muy claro: el aumento de velocidad y peso de los vehículos. Y si a estas dos circunstancias fundamentales unimos el crecimiento del tráfico en proporciones insospechadas, comprenderemos el porqué "las carreteras del Mundo se han quedado viejas". Ello es un hecho por todos reconocido y que nos obliga a reflexionar seriamente sobre dos cuestiones, en cuya solución debemos fundar nuestro criterio:

1.ª Cómo debe acometerse la modernización de una red de carreteras.

2.ª Dentro del conjunto económico nacional, el esfuerzo que representa la modernización ¿está o no justificado?

Pasar de las viejas carreteras a unas vías adecuadas para el tráfico moderno, supone una modificación profunda de trazado que asegure las condiciones precisas de visibilidad, en las cuales se funda principalmente la seguridad del usuario; la modificación necesaria del trazado, por razón de seguridad, es independiente, *en cierto modo*, de la sección de la vía, que es función del tráfico. Y decimos *en cierto modo*, porque la capacidad de tráfico, o sea su caudal, es producto de la sección por la velocidad; es decir, que la carretera de dos vías proyectada para una velocidad alta puede, *en condiciones de seguridad*, servir un tráfico mayor que una de tres o incluso cuatro vías y una velocidad de cálculo reducida. *Acondicionar* nuestras viejas carreteras es, pues, fundamental, imprescindible la mayoría de las veces, pues lo que no resulta tolerable son carreteras en las cuales la velocidad admisible es reducida; y ello no es sólo por una razón de molestia, *sino por economía de tiempo*, lo cual representa una reducción importante del coste del transporte. No es el tema que hoy hemos de tratar la rentabilidad de la modernización de nuestras carreteras; está en el ánimo de todos y es de desear vaya siendo asimilado, aunque sea paulatinamente, por nuestros economistas, pues sólo entonces se logrará abordar a fondo el problema, evitando el despilfarro que para la economía representa una mala red de carreteras.

La modernización de la red impone frecuentes rectificaciones de trazado: no es lógico construir firmes costosos sobre vías hoy ya viejas y que resultarían inadecuadas dentro de muy poco; por otra parte, las rectificaciones de trazado han de entrar en servicio rápidamente; ello plantea la necesidad de un estudio a fondo de los problemas de la mecánica del suelo. Por otra parte, el tráfico moderno exige capas de rodadura costosas, que imponen una técnica depurada y no sencilla, como muchos creen, en el proyecto y la construcción. Por ello, en todos los países se ha hecho imprescindible prestar una atención preferente a los Laboratorios en su doble labor de investigación y proyecto de las soluciones y vigilancia estrechísima en la construcción. Yo puedo decir que cuando el Laboratorio desde el primer momento estudia los problemas, se construye con la debida vigilancia y de acuerdo con las normas técnicas, no hay un solo fracaso; cuando este principio se olvida y se construye con arreglo a viejas recetas que hoy ya resultan anticuadas, los fracasos son frequentísimos; y aunque la destrucción de una obra de carreteras no produce, normalmente, víctimas, en cambio reparar el error resulta costosísimo, y, además, hay otra circunstancia que no debe perderse de vista: corregir una obra de carreteras mal concebida es muy difícil y, en algunos casos, imposible; conservar, para ir tirando, una carretera por un terreno inadecuado, es costosísimo y muchas veces no eficaz. Yo querría daros cuenta en esta charla de cuál ha sido la labor iniciada en este aspecto dentro de España, donde al principio hemos tropezado con dificultades, algunas de ellas más acentuadas que en otras partes, debido a las condiciones locales. Vamos a ocuparnos de los dos problemas fundamentales: el suelo y el firme.

El suelo.

Los suelos españoles, en una gran extensión, presentan grandes dificultades técnicas para la construcción de carreteras. En la figura 1.ª pueden verse las características y clasificación de una serie de suelos a lo largo de la carretera R-IV, de Madrid a Cádiz, toda ella en plan de modernización.

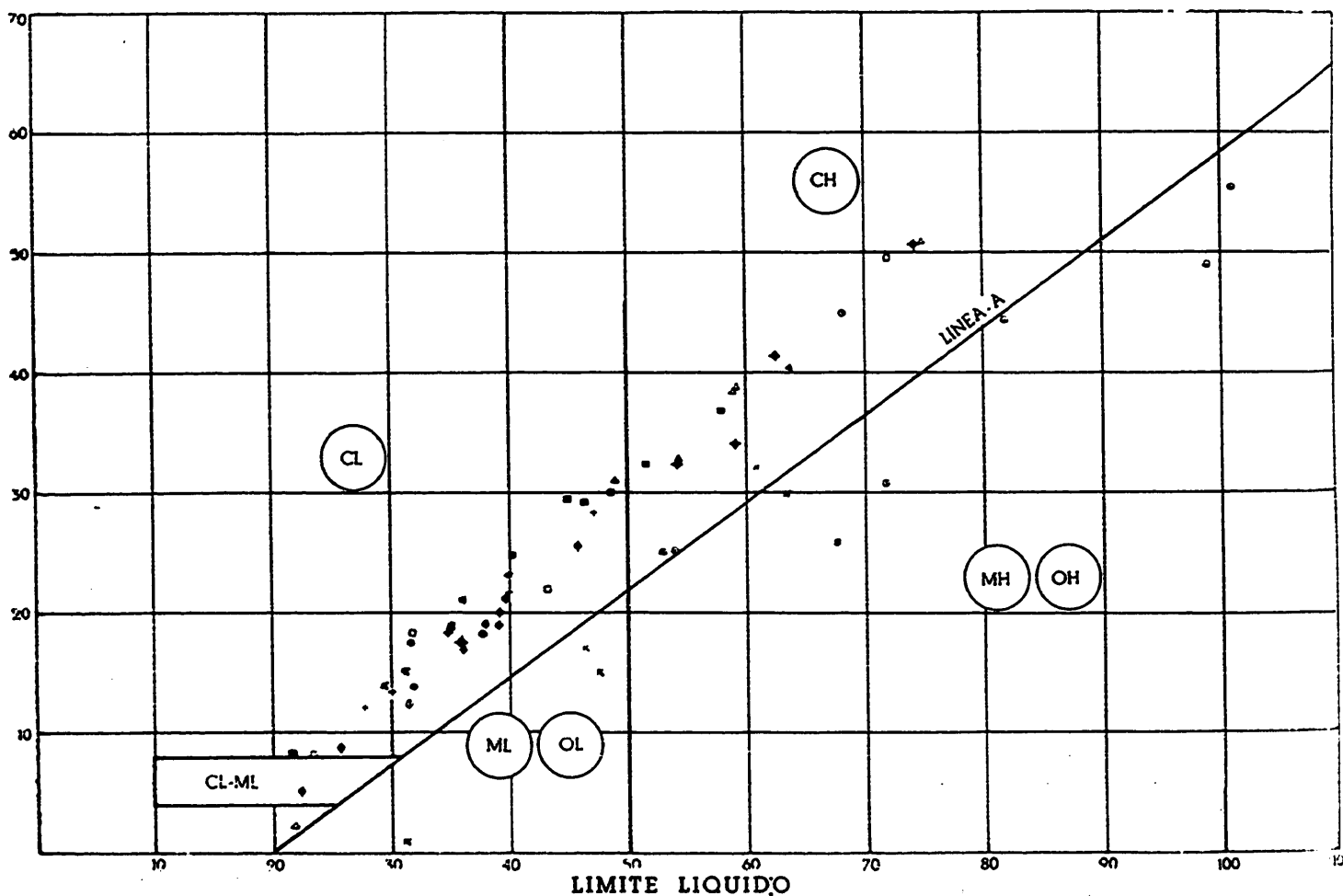


Fig. 1.º - Clasificación de Casagrande de los Suelos de la C. R. - IV Madrid - Cádiz.

- | | |
|---|---|
| ○ Los Casinos (Córdoba) C. R. - IV. Kms. 383-387. | △ Variante del Carpio (Córdoba) C. R. - IV. Km. 373. |
| ● Bailén (Jaén) C. R. - IV. Kms. 275-278. | ▽ Málaga. |
| ○ Carretera Madrid - Francia, por la Junquera. Kms. 341-454. | ◁ Nueva Factoría CAMPSA, C. R. - IV. Km. 11. |
| ⊕ Córdoba C. R. - IV. Kms. 395-399. | ▲ Variante de Madre Fuentes (Sevilla) C. R. - IV. Kms. 473-474. |
| ⊖ Variante de Villafranca (Córdoba) C. R. - IV. Km. 377. | ▼ Prat de San Baudilio (Barcelona). |
| ⊗ Variante del Cerezo (Segovia). | ◀ Accesos a Madrid por el Puente de la Princesa C. R. - IV. |
| ● Variante Córdoba-Sevilla (Córdoba). Kms. 409-420. | ▶ Carretera 600 Villalba-Avila. |
| □ Variante de las Cumbres (Sevilla) C. R. - IV. Kms. 495-496. | ◇ Accesos a la Fábrica de la ENIRA, en Linares (Jaén). |
| ■ Variante de San Pablo (Sevilla) C. R. - IV. Kms. 535-536. | ◆ Carretera de Jerez a Cortes de la Frontera. |
| ⊞ Accesos a la Base Aérea de Rota. | + Bailén C. R. - IV. Kms. 293-296. |

✱ Gaucín (Málaga).

Desde la salida de Madrid (fig. 2.^a) se entra en terrenos terciarios formados en un régimen de deposición continental y, probablemente, lacustre. Este régimen ha producido en el centro de la cubeta de sedimentación suelos en los que los fenómenos de quimismo por concentración de sales han sido muy acentuados. Así, pues, son muy abundantes las arcillas salinas, y especialmente las yesosas, y también hay muchos yesos en forma pura, constituyendo a veces grandes masas.

Pero también en las propias arcillas el régimen de deposición en aguas con gran concentración salina ha influido. Se encuentran yacimientos de sepiolita, alguno de los cuales se ha explotado industrialmente, y las arcillas que se encuentran pertenecen a veces a la familia de la sepiolita, de gran riqueza magnésiana, y muestran gran actividad y una densidad muy pequeña. Estas arcillas fácilmente liegan a pasar de 100 de límite líquido. En un punto de características análogas, aunque no situado en la carretera R-IV, en Cabañas de la Sagra, provincia de Toledo, un yacimiento de esta clase de arcillas, de excepcional actividad, se explota para los mismos usos industriales que las bentonitas.

Los yesos producen también muchas dificultades en este trayecto: en primer lugar, para la consolidación de los terraplenes, ya que forman terrones que los métodos normales de consolidación no pueden deshacer, quedando huecos entre ellos, a veces de gran importancia. Estos terrones se meteorizan después, produciendo asentamientos.

Pero quizá donde los problemas que los yesos plantean son más importantes es en las trincheras y en los tramos a media ladera. Debido a la gran cohesión de estos terrenos, los taludes naturales son rígidos, e igualmente pueden serlo los taludes artificiales; pero las alternativas de humedad y sequedad van produciendo una progresiva disminución de dicha cohesión, originando con frecuencia corrimientos. Este fenómeno tiene particular importancia en las excavaciones recientes, en las que queda al descubierto una parte de terreno que anteriormente estaba totalmente protegido de la meteorización. Los corrimientos van precedidos en este caso de grandes hinchamientos, que algunos autores atribuyen también, en parte, a la presencia de anhídrita, que pasa a yeso.

Por último, incidentalmente, haremos mención de otro problema de carreteras, aunque no de suelos, producido por el intenso quimismo. El piso superior del mioceno está constituido en esta región por un gran estrato de caliza suficientemente consistente para ser empleado en macadam y en pavimentos asfálticos; pero en varios sitios se ha encontrado silicificada, cruzada por una fina retícula de sílice coloidal. Al machacarla se rompe precisamente por las superficies marcadas por esa retícula, y los trozos resultantes quedan recubiertos de sílice. Como consecuencia, el árido que así se obtiene, aunque consta esencialmente de caliza, muestra una adhesividad con

el betún muy pobre y el desplazamiento en presencia del agua es total.

En resumen: en toda la Península son frecuentes los suelos malos y con bastante profusión los hay pésimos, que la técnica americana estipula "no deben emplearse de aquéllos en la construcción de terraplenes", orden muy juiciosa y que debe seguirse siempre que existan tierras aceptables a distancia que económicamente no resulte prohibitiva. En muchos casos, aun conociendo el riesgo, nos hemos visto obligados a emplearlos. Voy a citaros algún caso típico, con la solución adoptada.

Terreno de yeso. — Es típico el caso del kilómetro 26; el terreno está formado por grandes masas de yeso. Supresión de un paso a nivel con el ferrocarril; cota máxima de 7 metros. Se efectuó la consolidación cuidadosamente, empleando un supercompactador de 50 toneladas; la carretera es de 16 metros de ancho, 14 afirmado con hormigón asfáltico y dos paseos de 1 metro cada uno. Lleva en servicio más de cuatro años y a pesar del tráfico elevado que soporta (media diaria de 3.500 vehículos, de los cuales 1.000 son pesados) no ha sufrido el menor asiento. Influye, indudablemente, el buen drenaje del terraplén.

Las arcillas. — Los terrenos terciarios ocupan la mayor parte de la meseta, pero el borde de la misma, en la parte atravesada por la carretera R-IV, queda marcada por un escalón, producto de la gran falla que originó el valle del Guadalquivir. En esta falla quedan al descubierto terrenos secundarios, y, especialmente primarios, entre los cuales existen grandes áreas de pizarras silurianas, que presentan problemas de deslizamientos y también el de su posible meteorización.

Pero los problemas más numerosos y mayores se presentan al entrar en el valle del Guadalquivir. En este valle los terrenos son, en general, terciarios, y especialmente miocenos, pero no tienen nada que ver con los terrenos terciarios de la meseta, porque los del valle del Guadalquivir han sido depositados en régimen marino, y, en gran parte, en régimen marino profundo, cuando este valle constituía el estrecho que separaba a dos continentes.

En esta zona se encuentran arcillas muy puras, que constituyen en general suelos de pésima calidad con L. L. de hasta 75 y valores del I. P. de hasta 50; estos suelos han llegado a dar en algunos casos valores del C. B. R. de 1,2, es decir, fuera de las curvas normales exigidas para el cálculo de pavimentos. El problema que estos suelos plantean para la construcción del camino es muy grave y no solamente afecta a los terraplenes sino también a los desmontes; en muchos casos, más graves en éstos que en los primeros. La solución adoptada ha sido llegar a los altos espesores que el C. B. R. impone, más de 0,65 m. en algunos casos, estableciendo una capa inferior de arena de 0,20 de altura y el resto de macadam, hasta completar el espesor exigido. En

estos casos, la subbase de arena no solamente tiene la función repartidora de carga para que al terreno llegue solamente la que es capaz de soportar, sino que sirve para evitar que la arcilla suba a través del macadam del cimiento; se han suprimido radicalmente los cimientos de piedra en grueso, tipo Telford, en los cuales se nota más acusadamente los efectos de la surgencia o bombeo (el *pumping* de los anglosajones); este fenómeno es reciente y debido a la alta frecuentación de las grandes cargas; hay que evitarlo a toda costa, pues produce rápidamente la destrucción del firme por dos causas: disminución efectiva del espesor de la base cuyas piedras van hundándose en la arcilla y desplazamiento del betún del firme por la acción de la arcilla en estado plástico. Aunque el drenaje en terrenos muy arcillosos no es eficaz, hay que dar salida al agua, que puede filtrar a través de la superficie de rodadura, y para ello la capa de arena se prolonga, o bien por debajo del paseo hasta la cuneta, o bien se corta en un dren que se coloca a lo largo del borde del firme; este dren, excusado es decirlo, ha de llevar el material granular de relleno, con la granulometría precisa para evitar la colmatación del dren; a este efecto, nosotros hemos empleado la fórmula de Terzaghi, cuya eficacia hemos podido comprobar. Los paseos, por ser zona de más fácil filtración, hemos impuesto tengan una pendiente de un 4 por 100 hacia la cuneta. La consolidación de estos suelos ha de ser muy cuidada: el empleo de los supercompactadores y los rodillos de pata de cabra son fundamentales, y es preciso además una vigilancia cuidadosísima de la consolidación con laboratorios al pie de la obra que eviten se pase de una tongada a otra sin haber alcanzado en la primera la consolidación adecuada. El método de la comprobación de la compacidad de terraplenes más usado por nosotros es el de rellenar con arena, para la determinación del volumen ocupado por la muestra; hemos utilizado también con éxito el aceite; da resultados muy exactos cuando se trata de suelos arcillosos, es decir, impermeables. La existencia de un exceso de humedad en el suelo a consolidar es un grave problema; es sabido que un exceso de agua sobre la óptima Proctor impide la consolidación eficaz, y es sabido también que es difícil eliminar el agua eventualmente incorporada a un suelo arcilloso; hay que esperar, perdiendo un tiempo precioso para la obra.

Hacia la desembocadura del Guadalquivir, el problema se hace aún más complejo. Hay muchas zonas de terrenos cuaternarios depositados en régimen de estuario, con lentejones de suelos muy variados, a veces muy blandos y hasta francamente turbosos.

Especial mención merecen las "tierras negras", similares a los *tirs* de Marruecos, y que provienen de la transformación de tipo edafológico de las arcillas marinas a que antes hemos hecho referencia, transformación que se produce en zonas en que el drenaje, por una u otra circunstancia, es difícil. Estas tierras negras suelen tener un límite líquido

muy alto, debido a que en ellas existe una iniciación de descomposición de la arcilla en óxidos de silicio de hierro, de manganeso, etc.: el mismo proceso de descomposición que, en estadios mucho más avanzados, llega a producir lateritas. Como consecuencia de la presencia de una cierta proporción de sílice y alúmina en estado coloidal, estos suelos tienen grandes variaciones de volumen que producen con frecuencia grietas longitudinales en el firme.

En las regiones próximas a la desembocadura del Gran Valle del Guadalquivir, considerado como unidad tectónica (que incluye también otros valles menores, como es el del Guadalete), las condiciones de sedimentación han sido muy variadas y han dado lugar a áreas de suelos muy singulares. Se encuentran vetas de una arcilla verdosa sumamente plástica, de aspecto céreo, cuyo límite líquido supera a veces los 200, y que el análisis térmico diferencial y el microscopio electrónico ha permitido identificar como atapulguita. Más importante que esta arcilla, que sólo representa un accidente muy localizado, son los conocidos "blanquizares" de Jerez, que representan para el célebre vino de esa región lo que los suelos guijarrosos para el vino de Burdeos.

Estos blanquizares pueden definirse como creta, pero con una proporción muy considerable de una arcilla muy activa, aunque coagulada por la presencia de una gran masa de carbonato cálcico. La proporción en que éste se halla presente varía entre el 30 y el 70 por 100. La característica esencial de estos suelos es su escasa densidad (a veces, hasta 1,10) y su gran porosidad, que les permite almacenar una enorme cantidad de agua, que es la circunstancia que les hace enormemente aptas para el viñedo, en una región en donde, en el periodo de maduración, las lluvias son escasísimas.

La calidad de estas tierras desde el punto de vista de la carretera no es buena, pero es debido esencialmente a la clase de arcilla que lleva, mientras que su escasa densidad no parece tener efectos especialmente nocivos. Así, pues, los terrenos con las densidades más bajas no son siempre peores que otros terrenos con las densidades más altas. Casi todos estos terrenos tienen una densidad que haría también clasificarlos como "no aptos para terraplenes" en las normas americanas. Sin embargo, no se han observado fenómenos especialmente nocivos en los terraplenes constituidos por este material. Como cimiento del firme, su calidad es pobre y su índice de California varía entre 2 y 5; pero, aparte de esto, no presentan ningún peligro que induzca a desecharlos. En todo este tipo de suelos, la inspección permanente en obra es fundamental; pero hay que cuidar que su realización no constituya un obstáculo para la marcha de los trabajos. El laboratorio elemental ha de instalarse al pie de obra y con su inspección puede obtenerse una uniformidad de resultados muy satisfactoria, como puede apreciarse en los gráficos correspondientes (fig. 3.^a).

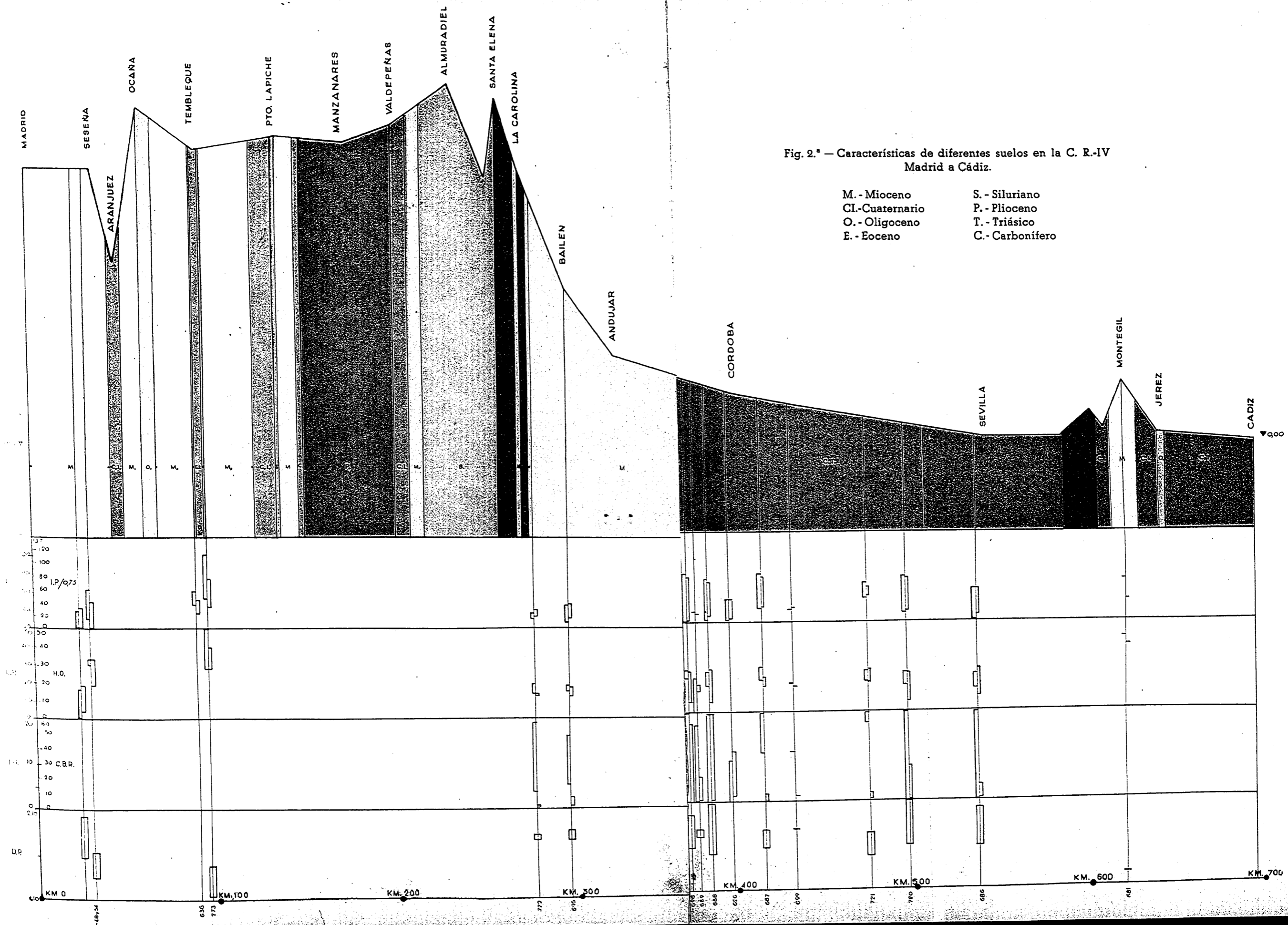
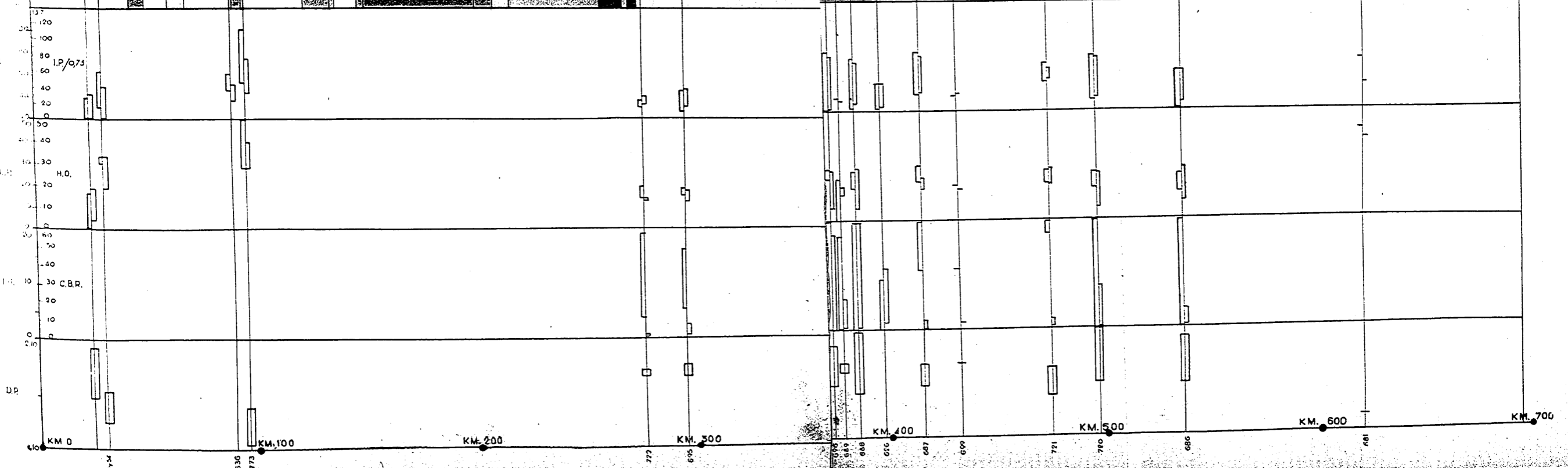
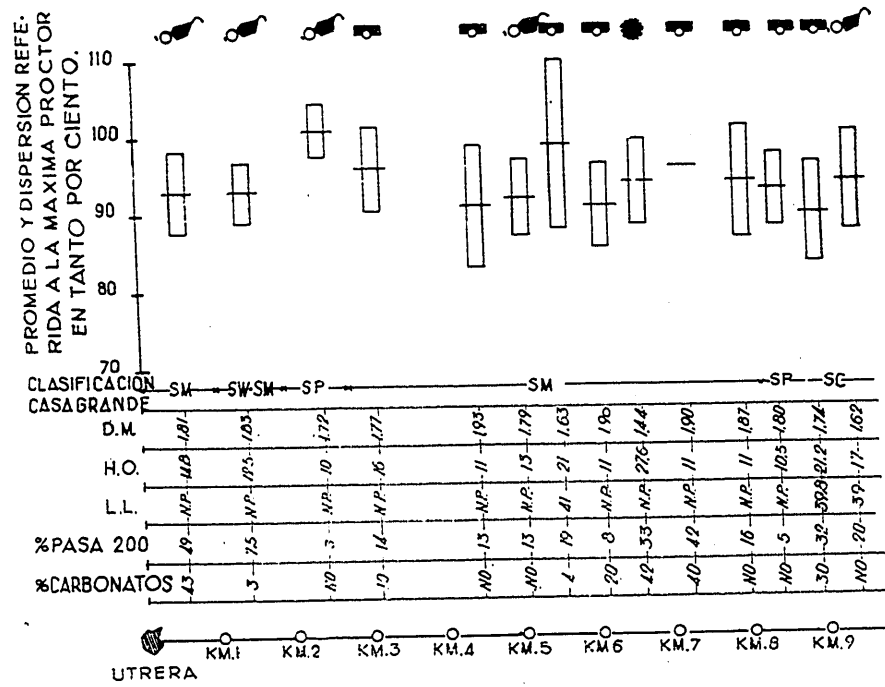


Fig. 2.^a — Características de diferentes suelos en la C. R.-IV Madrid a Cádiz.

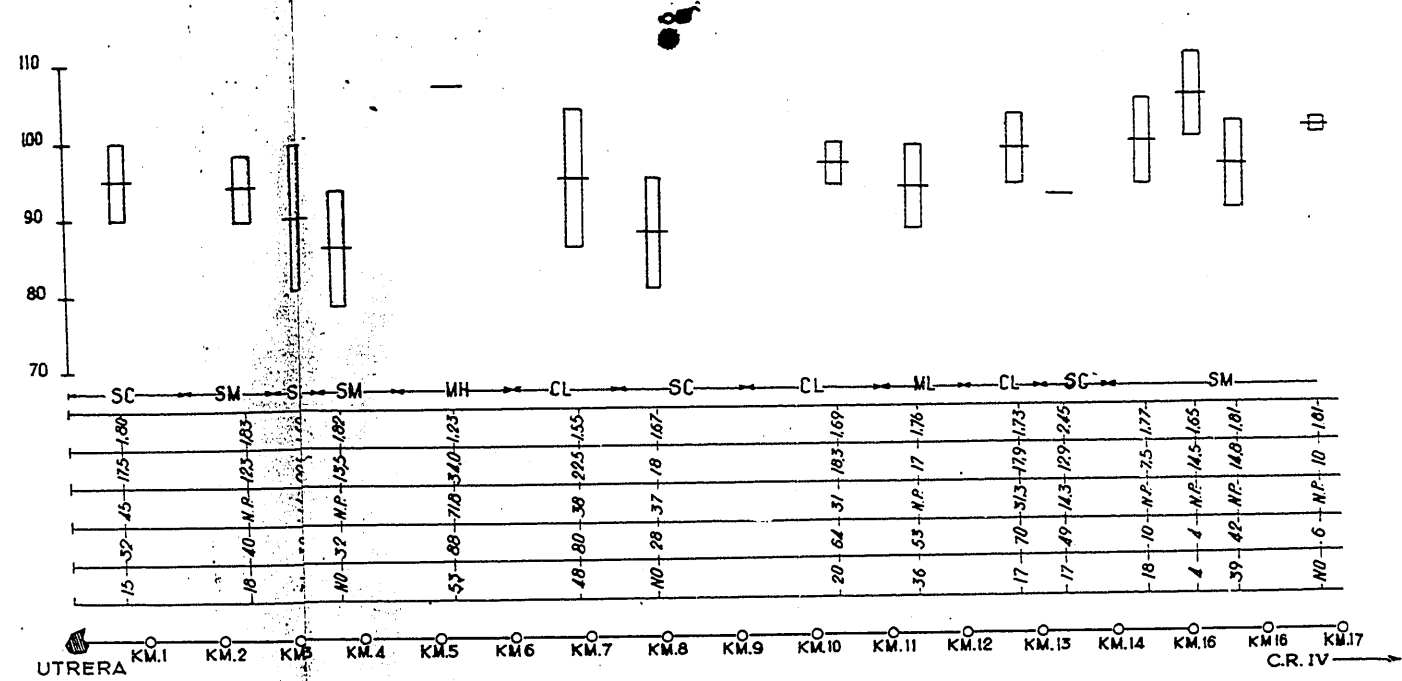
- M. - Mioceno
- CI. - Cuaternario
- O. - Oligoceno
- E. - Eoceno
- S. - Siluriano
- P. - Plioceno
- T. - Triásico
- C. - Carbonífero



RESULTADOS DE LA COMPACTACION EN LA VARIANTE DE UTRERA



RESULTADOS DE LA COMPACTACION EN LA CARRETERA DE UTRERA A LA C.RIV MADRID - CADIZ



RESULTADOS DE LA COMPACTACION EN LA CN.334 SEVILLA-MALAGA A MORON

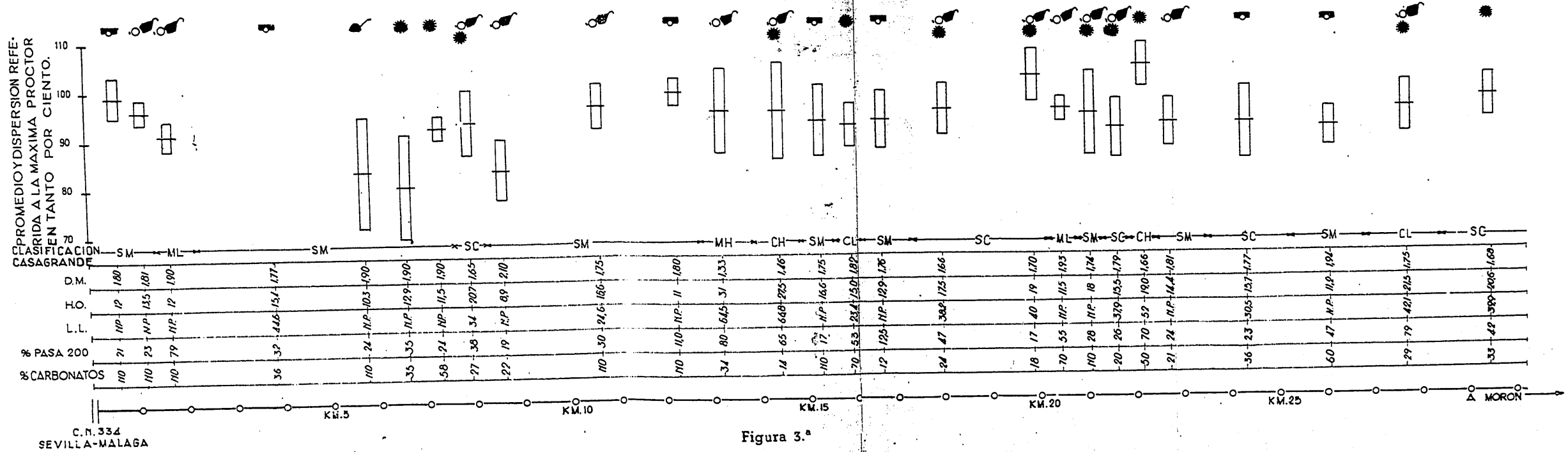


Figura 3.ª

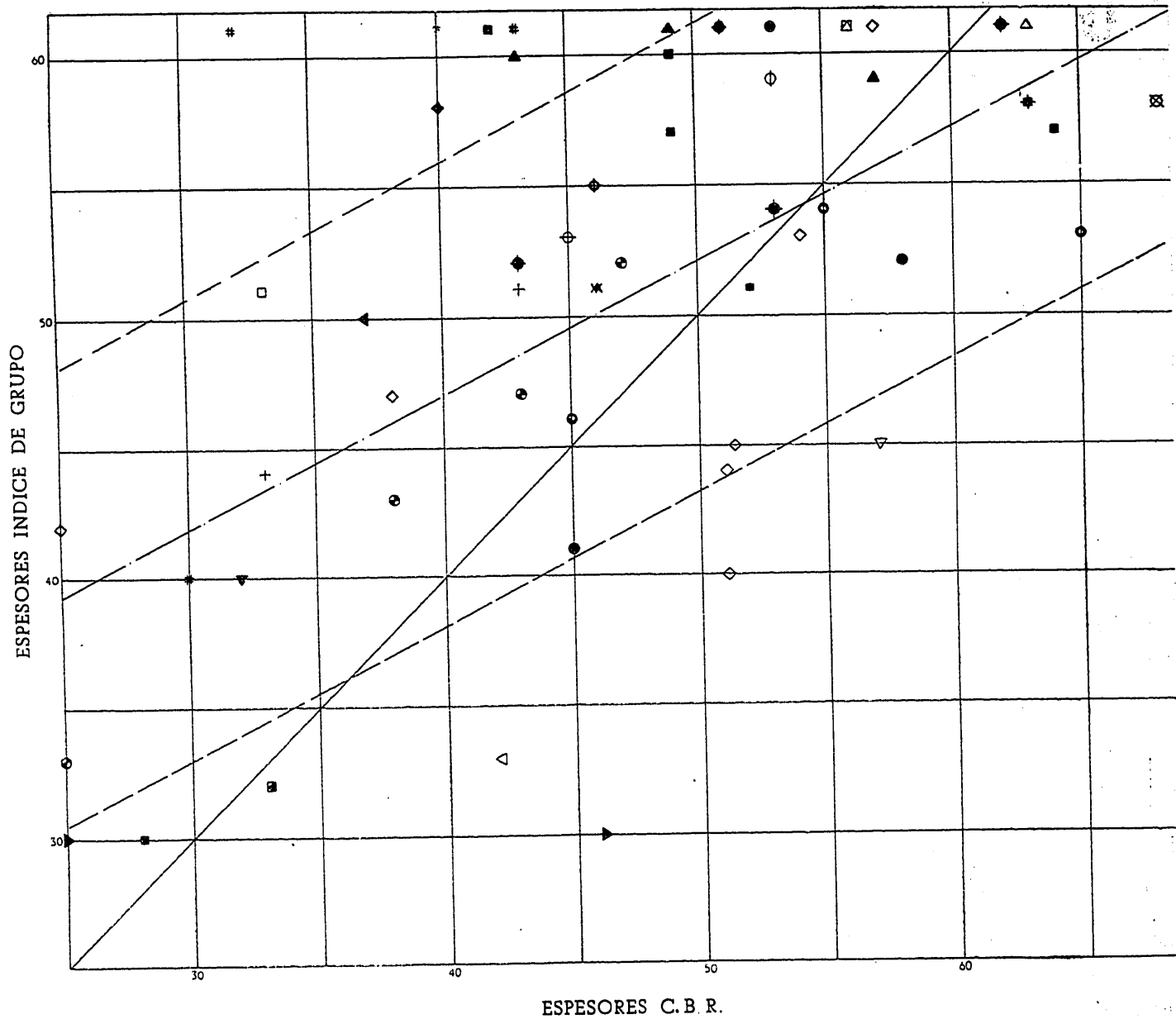


Fig. 4.^a — Línea de punto y trazo. — Recta de regresión.
 Líneas de trazos. — Rectas que limitan el 68 % de dispersión.
 Línea continua. — Línea de espesores iguales por los dos métodos.

Betún 40-60

- Betún 40-60
- Polvo vidrio
- + + Roca asfáltica
- Alfesil
- - - Cal apagada

— insoluble en éter

— Soluble en éter

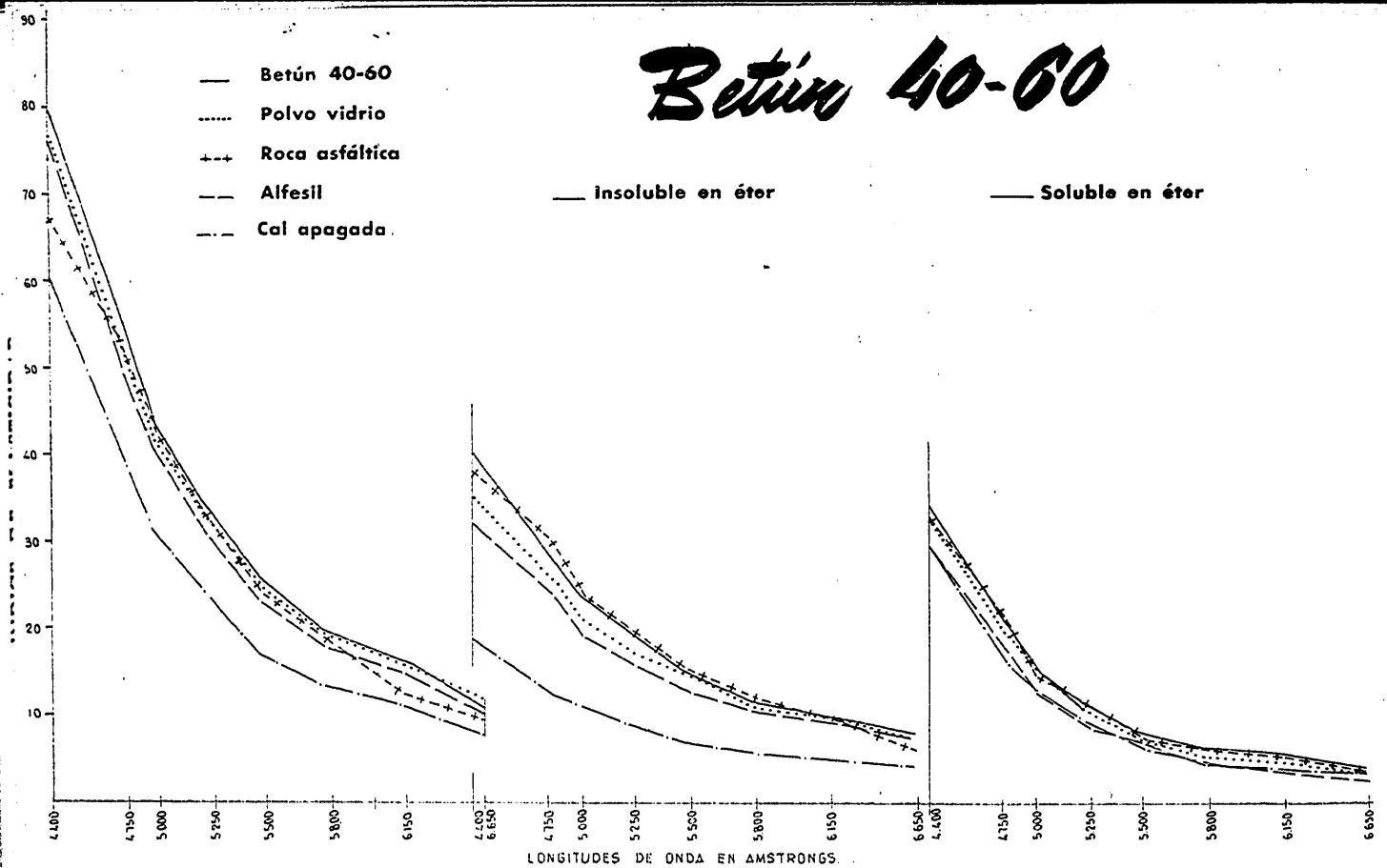


Figura 5.^a, A

Betún 80-100

- Betún 80-100
- Polvo vidrio
- + + Roca asfáltica
- Alfesil
- - - Cal apagada

— insoluble en éter

— Soluble en éter

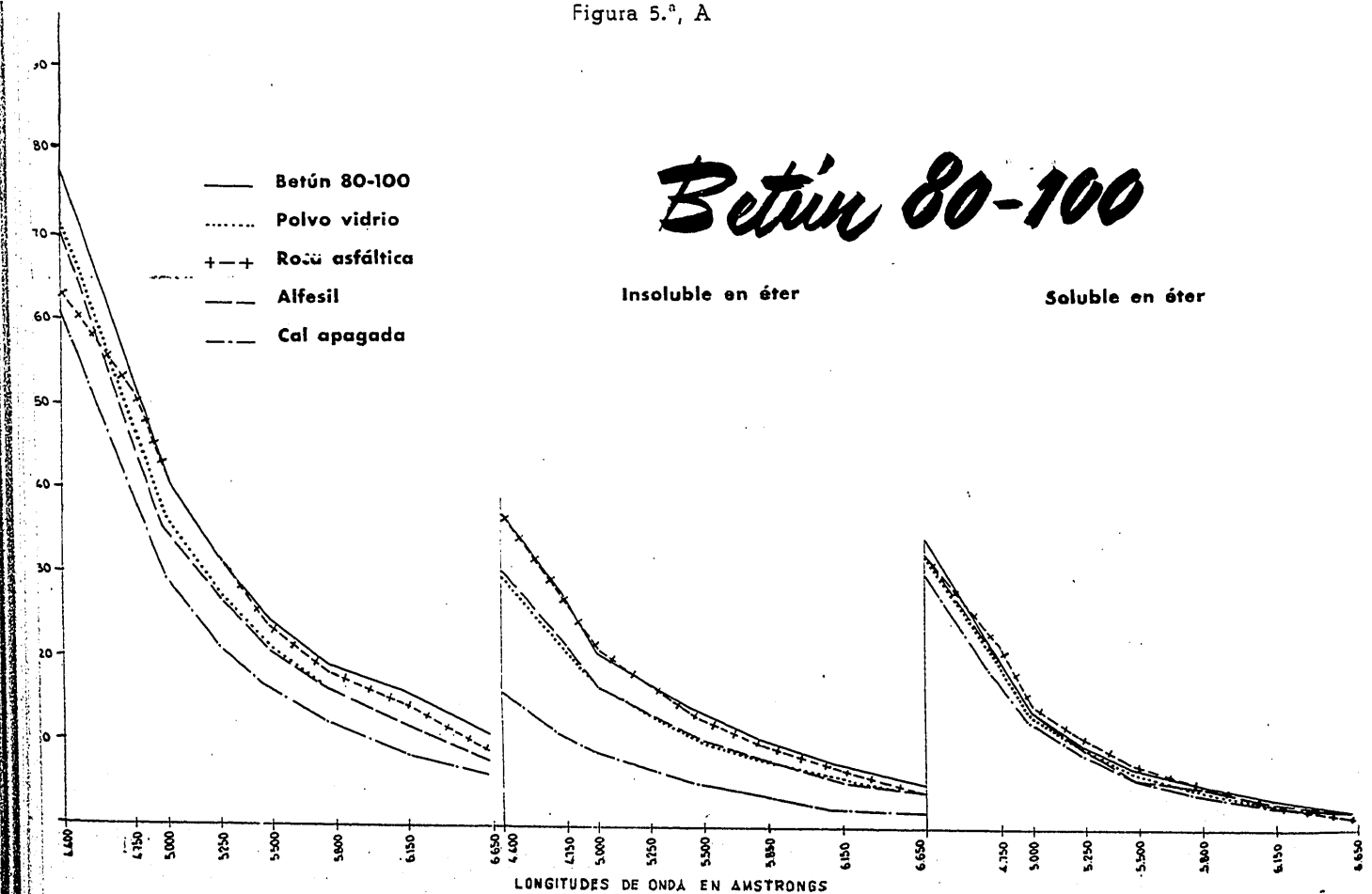


Figura 5.^a, B

Betún 180-200

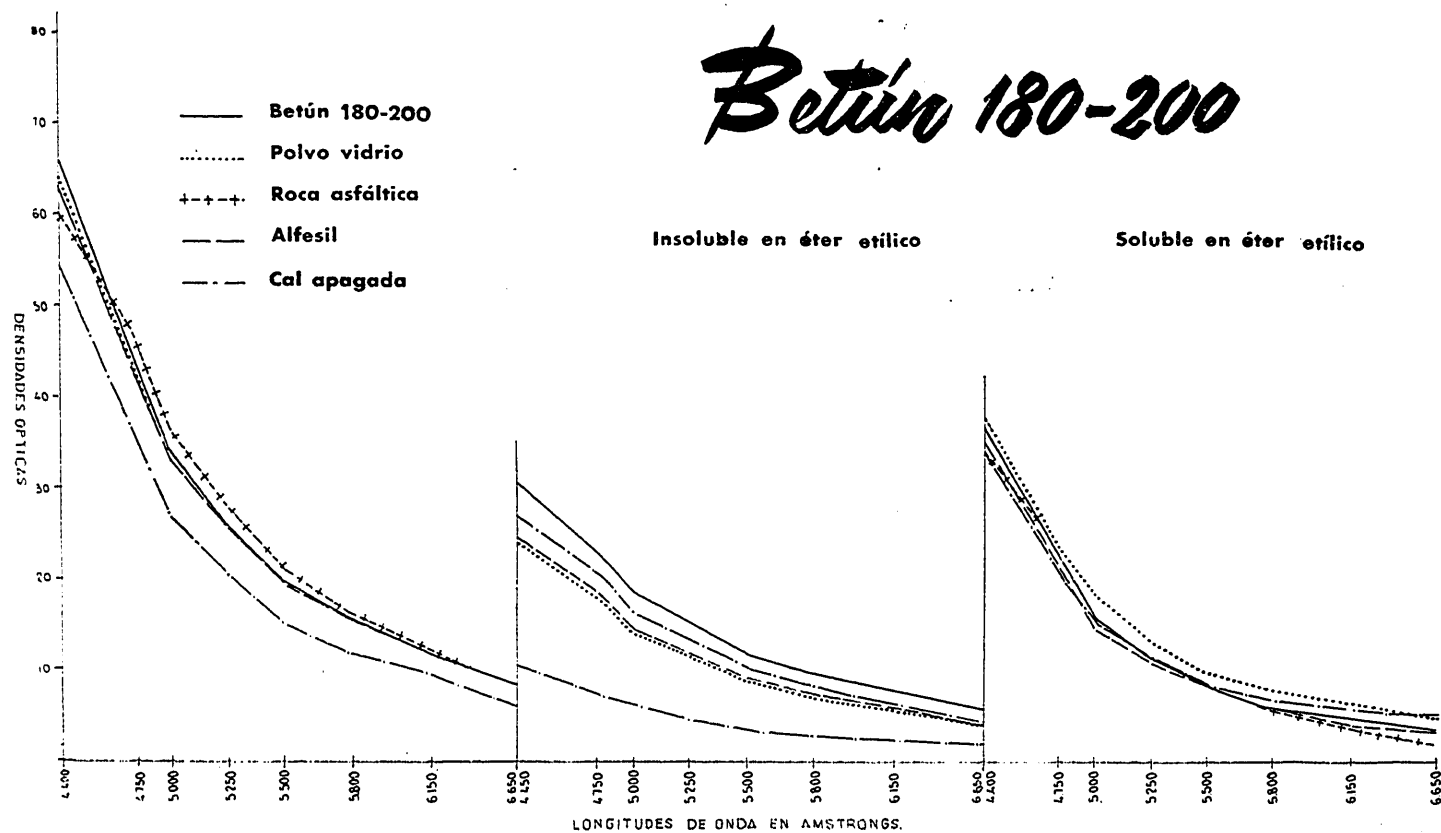


Figura 5.ª, C

Espesor de los firmes.

Para el cálculo de espesores hemos empleado los métodos del C. B. R. y el de índice de grupo. El primero precisa una técnica un tanto cuidada, para lograr que sus resultados repitan, y ello constituye una cierta dificultad operatoria para los laboratorios elementales. Tiene en su favor una gran experiencia: el coeficiente de seguridad o de ignorancia, con el que lo aplicamos, nos deja tranquilos, pero su arbitrio no satisface a nuestra conciencia. Tal vez es más lógico, y desde luego mucho más sencillo, el método del índice de grupo: empírico también, busca una relación entre la calidad del suelo y el espesor preciso; en definitiva, se dirá que los dos son igualmente arbitrarios, pues se fundan en unas curvas obtenidas por la experiencia; evidente, pero a nuestro juicio, es más lógica la determinación de la calidad del suelo por la granulometría y plasticidad, como se hace en el índice de grupo, que por la penetración relativa del C. B. R. Hemos querido buscar una correlación entre ambos métodos, y en los gráficos (figura 4.ª) puede verse que en realidad no existe una ley propiamente dicha; pero existe una cierta correlación. Ambos métodos dejan en el aire una serie de circunstancias que tienen una influencia indudable en el espesor preciso para un suelo dado; no es sólo la naturaleza del suelo y la intensidad

del tráfico los factores que han de influir en el espesor necesario, sino la distribución de este último en el tiempo; no son lo mismo 1.000 camiones en veinticuatro horas que en una.

Los métodos de la placa de carga satisfacen más nuestros escrúpulos, aunque no los hagan desaparecer; tienen una mayor dosis de técnica, pero no están exentos de empirismo, especialmente el de McLeod. Tienen estos métodos otro inconveniente no despreciable: no tener en cuenta las condiciones fundamentalmente variables del suelo, dependiendo de la humedad. Para salvar este bache se calcula un coeficiente de corrección, relación de la resistencia de dos probetas, una con la humedad con que se realizó el ensayo y otra después de los cuatro días de inmersión del ensayo del C. B. R. o con la humedad de equilibrio que preconiza la técnica inglesa. Los métodos de placas de carga son lentos y costosos.

¿Hacia dónde debemos dirigir nuestros esfuerzos? Es evidente la necesidad del cálculo del espesor del pavimento. Cuando los camiones mayores eran de 5 toneladas y los normales eran de 3, con 20 centímetros de macadam había de sobra. Hoy tenemos suelos en los cuales precisamos firmes de 65 centímetros. Entre límites tan amplios no podemos movernos con una experiencia subjetiva. Ante la imposibilidad del momento de llegar a un método teórico, puestos a elegir entre los distintos caminos

hasta ahora usados por la técnica, nosotros creemos lógico relacionar las características que individualizan el suelo, granulometría y plasticidad, con el espesor preciso. El método del C. B. R. tiene tras sí una enorme experiencia, que no existe en el de "índice de grupo"; pero, a nuestro juicio, cuando las curvas de este procedimiento u otro análogo de individualización del suelo estuvieren respaldados por una experiencia suficiente, podrían poner a disposición de los técnicos un sistema sencillo y eficaz. El gran número de experiencias preciso aconseja una colaboración entre los Laboratorios para poder llegar a determinarlas lo más rápidamente posible y teniendo en cuenta la mayor diversidad de suelos. Tal vez podría salir de aquí la iniciativa en este sentido, para que posiblemente A.I.P.C.R., cuyo Presidente nos honra con su presencia, pudiese organizar, con unas normas concretas y uniformes, la recogida de datos a estos efectos y la publicación, en un plazo relativamente breve, de un método de cálculo de espesores de firmes sencillo y seguro.

Firmes de aglomerados asfálticos.

Los estamos empleando en España en gran extensión; en cuanto el tráfico tiene una cierta importancia, presenta indudables ventajas técnicas y económicas. Pero exige una rigurosidad muy grande en el proyecto y construcción. No es posible proyectar con empirismos; la proporción de los distintos elementos es fundamental que sea la correcta, y ello solamente puede hacerse a base de un estudio previo en el laboratorio; la naturaleza del árido, además de su granulometría, tiene influencia grande en la proporción correcta de betún. El *filler*, por otra parte, pesa mucho más de lo que hasta hace años se creía, en el comportamiento del conjunto. En el Laboratorio hemos iniciado una serie de estudios encaminados a determinar su influencia en el sistema *filler*-betún, tema puesto hoy sobre el tapete en distintos centros de investigación.

Es sabida la influencia, comprobada por la práctica, que en las características de las mezclas asfálticas y en su envejecimiento tiene la diferente naturaleza de los productos bituminosos, aunque sea idéntica su consistencia. No satisface a la técnica actual la forma clásica de definir los productos bituminosos; se lucha en los laboratorios por encontrar características distintas de las empleadas hasta ahora, que nos permitan escoger con una mayor seguridad. A esta intranquilidad responden los estudios de Pfeiffer, Saal, Eiber y Traxler, continuadores de la labor de un técnico y amigo inolvidable, el Profesor Nellesnsteyn; la composición físico-química y el estudio reológico de los productos bituminosos marcan un nuevo camino, con prometedores horizontes para poder explicar su comportamiento en obra, y siendo ello así, se comprende fácilmente que el papel del *filler* haya pasado de ser simplemente

físico a tener otro significado, en el cual no sólo su granulometría, sino también su naturaleza química, tienen un papel importante.

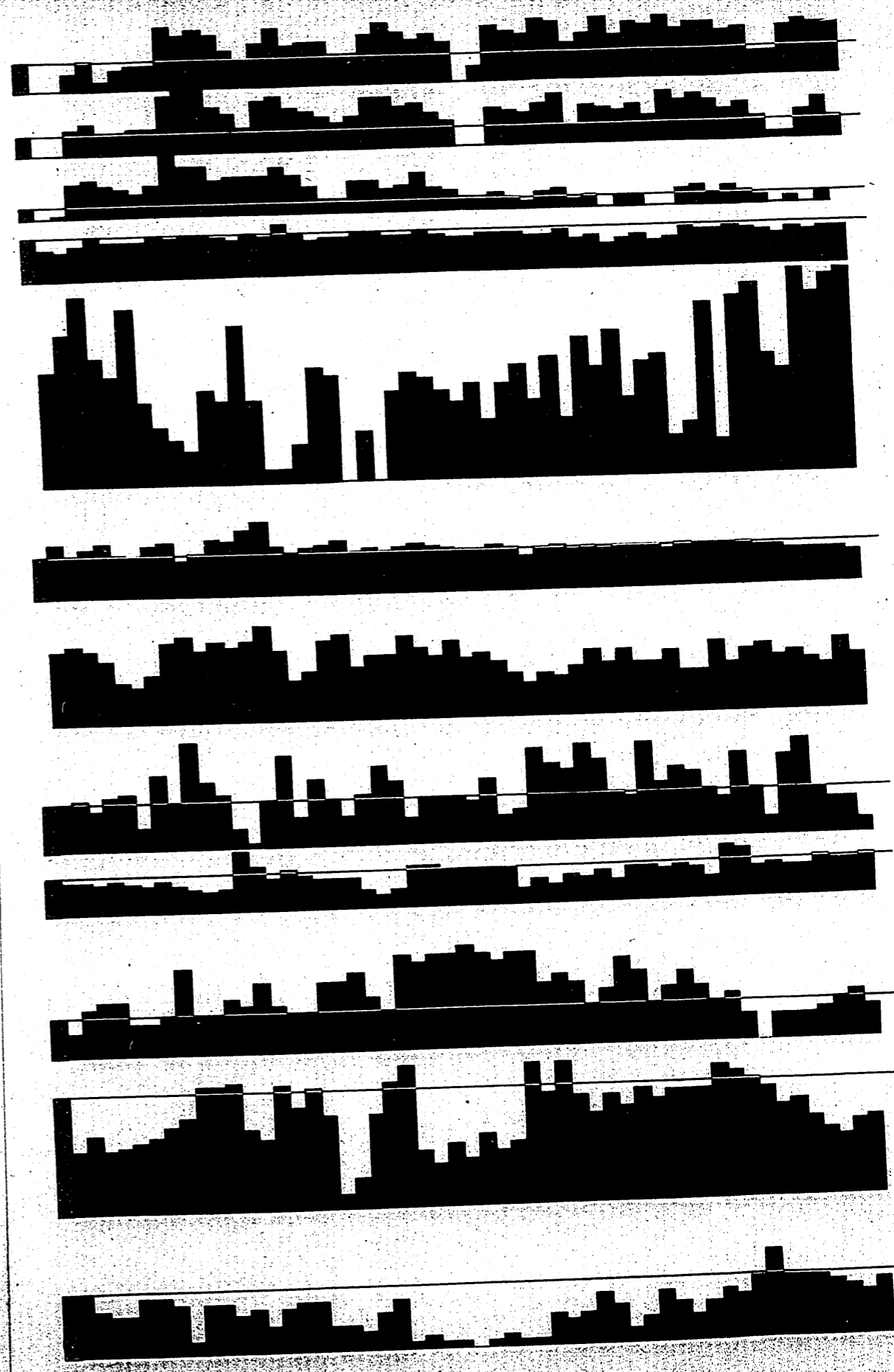
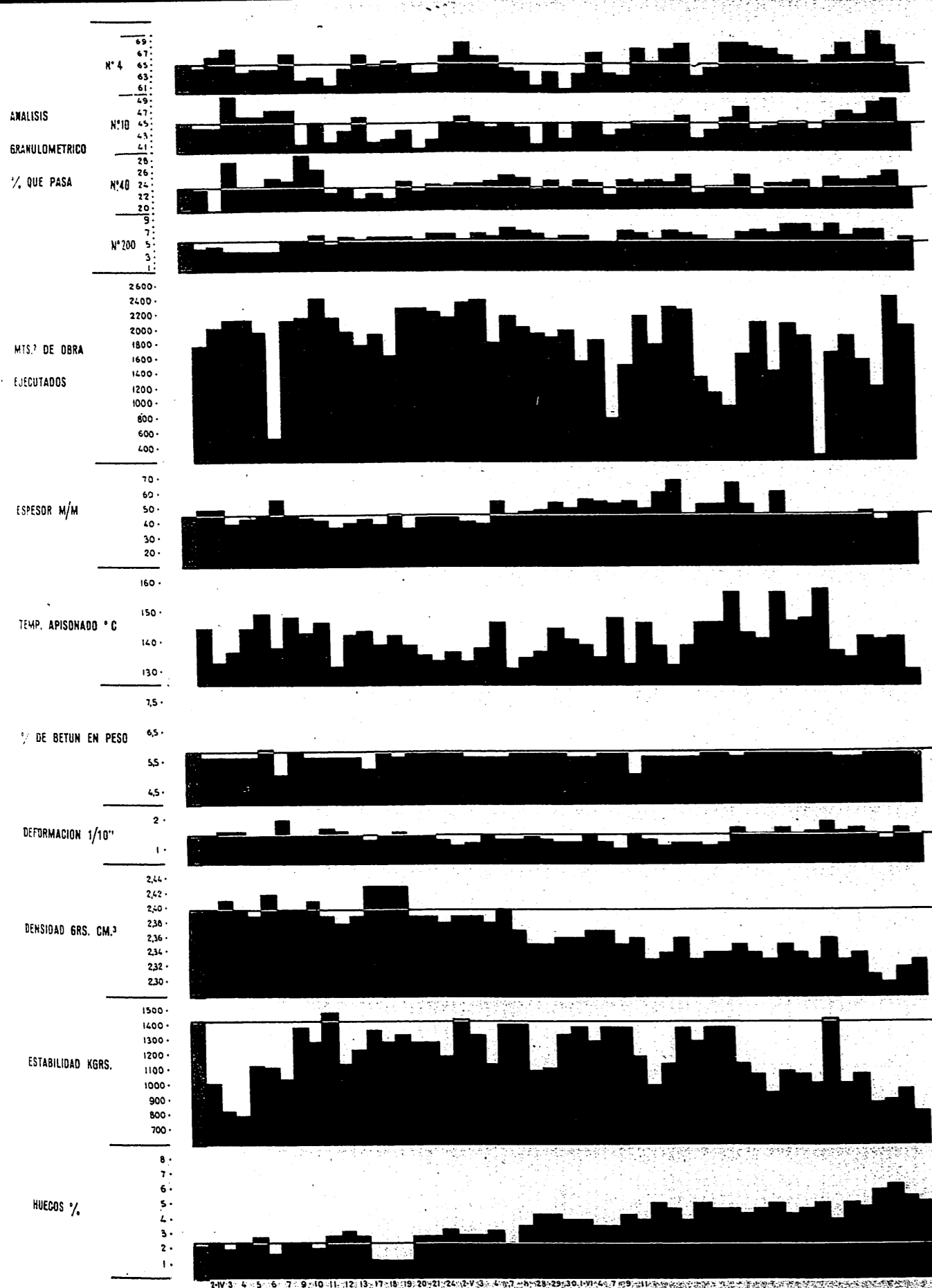
Los trabajos de medida espectro-colorimétrica de los productos bituminosos realizados por Broome para la identificación de estos compuestos, y el estudio de Ramchandain de adsorción de distintos *fillers* sobre soluciones de betún, han puesto a nuestra disposición una técnica sencilla y rápida para nuestros propósitos.

Hemos intentado, en primer lugar, estudiar los fenómenos de adsorción selectiva en la interfase árido-aglomerante. La fuerza de atracción necesaria para que este fenómeno se produzca será variable en calidad y cantidad, según la naturaleza química y la estructura cristalina y superficial del árido, y dentro del sistema coloidal del producto bituminoso, los únicos cuerpos de carácter polar capaces de satisfacer estas atracciones son los coloides protectores de las micelas que forman la fase dispersa. La adsorción producirá una alteración del equilibrio coloidal del producto bituminoso, y parece evidente que las propiedades finales del conjunto *filler*-betún serán diferentes, según no sólo la granulometría, sino también su naturaleza química. Hay que considerar igualmente si el equilibrio se alcanza rápida o lentamente, pues pudiera suceder que las propiedades del conjunto fueran las adecuadas en el momento de hacerse la mezcla y, en cambio, no lo fuere al cabo del tiempo, cuando se hubiese llegado al equilibrio. Esta consideración tiene una importancia fundamental en el proceso del envejecimiento del firme.

Los primeros ensayos llevados a cabo empleando el absorciómetro Spekker y la técnica de Broome, han puesto de manifiesto que existe una adsorción mayor de la fracción insoluble en éter etílico (asfaltenos) y que esta adsorción varía según la naturaleza química del *filler*, sobre la base comparativa grosera de pasar todo él por el tamiz número 200 y ser constante la cantidad de betún, disuelto el peso (figura 5.^a).

El programa que ha trazado nuestro Departamento de Química es, por el momento:

- 1) A igualdad de superficie del *filler* respecto al betún, ver la influencia que tiene en la adsorción de:
 - a) su naturaleza química;
 - b) su estructura cristalográfica;
 - c) su estructura superficial.
- 2) Estudio de la adsorción de cada uno de los *fillers* sobre:
 - a) Aglomerantes de la misma consistencia.
 - b) Aglomerantes de distinta consistencia.
 - c) Aglomerantes de distinta composición química, y
 - d) Aglomerantes de la misma y distinta consistencia, pero de carácter reológico diferente.



2-V-3-4-5-6-7-9-10-11-12-13-17-18-19-20-21-24-2-V-3-4-6-7-8-28-29-30-1-V-4-7-8-9-11-3

- 3) Profundizar en la adsorción selectiva, realizando estas medidas sobre otras fracciones de los aglomerantes separados con ayuda de otros disolventes.
- 4) Estudio reológico por medio del viscosímetro de torsión de las distintas mezclas *filler*-aglomerantes bituminoso.
- 5) Correlación entre los datos que se vayan obteniendo con los ensayos prácticos de uso normal.

Llegar a conclusiones definitivas ha de costar tiempo, máxime cuando en nuestro Laboratorio no tenemos los medios económicos precisos para dedicar a estos estudios íntegramente el equipo que lleva la investigación y que se ve forzado a atender a otros menesteres; pero esperamos contribuir eficazmente a aclarar este fenómeno, que consideramos de muy alto interés.

Otro punto de importancia para el éxito de los firmes de aglomerado bituminoso es la vigilancia en obra de la ejecución del mismo. En nuestras instalaciones, un pequeño laboratorio elemental comprueba cuatro veces al día la composición granulométrica y diariamente prepara probetas para obtener las tres características Marshall: estabilidad, huecos y deformación. Además se comprueban densidad y tanto por ciento de betún.

Los gráficos de la figura 6.^a corresponden a dos obras vecinas de la carretera de Madrid a Cádiz. Se emplearon en estas obras dos instalaciones distintas. La alimentación de betún de la primera era por peso, y en la segunda, por volumen; ambas instalaciones son de funcionamiento continuo.

El simple examen de los gráficos demuestra la importancia de la inspección, especialmente de interés en las máquinas de dosificación por volumen, como lo son las de funcionamiento continuo. Aparte de esta consideración de carácter general, del examen de los cuadros se deducen consecuencias de interés:

a) Hay mayor desviación de la dosificación en los áridos gruesos que en los finos; este hecho tiene una explicación clara: la segregación en los acopios de los áridos y su manipulación. Hay que cuidar que los acopios se hagan en montones de pequeña altura y manejarlos con el máximo cuidado para

evitar la separación de tamaño. En este aspecto, las máquinas con clasificación en ellas mismas, después del calentamiento, tienen indudables ventajas. El defecto que comentamos, afortunadamente, no es muy grave, pues los áridos gruesos son los que menos influencia tienen en las características de la mezcla: resistencia y deformación.

b) La proporción de betún varía excesivamente cuando se regula por volumen; el betún debe ir dosificado por peso.

c) No existe una relación definida entre las distintas características; por el momento no hay más remedio que hacer todas las determinaciones; existe, sin embargo, una cierta correlación entre la densidad y la estabilidad, a igualdad de las demás características.

No son los problemas enunciados los únicos que acucian a la técnica de la carretera; hay que investigar permanentemente, pues en la construcción y explotación del camino se gastan sumas ingentes de dinero, y una buena técnica puede reducir considerablemente los gastos y hacer más permanentes y fructíferas las inversiones. Hay que convencer de ello a nuestras Administraciones. Para hacer más eficaz la labor de investigación sería de alto interés una estrecha colaboración europea de nuestros laboratorios. Se podría formar un Comité de enlace entre ellos para llevar conjuntamente nuestras investigaciones, lo cual nos llevaría indudablemente a soluciones europeas de nuestros problemas, que por las características, no sólo de tráfico, sino de densidad, etcétera, no serán idénticas a las correspondientes de la técnica americana. Cada día la comunicación entre los técnicos es más necesaria, por la complejidad y extensión de los problemas, y ello es más conveniente que en otros campos en el de la investigación en los problemas de la carretera; si nos limitamos al ámbito nacional, cada uno independientemente, llegaríamos con gran trabajo a soluciones de pequeño horizonte; en cambio, un trabajo en colaboración y organizado por la diversidad de suelos, de materiales, de climas y de tráficos, podrían darnos un volumen inestimable de datos. Yo he encontrado para esta idea el más favorable ambiente en los colegas con los cuales he hablado; tal vez pudiese cuajar como resultado de estas jornadas.