

N.º 137

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMATEMATICAS

DIRECTOR: DR. HILARIO MAGLIANO

SERIE TERCERA

5

PUBLICACIONES ESPECIALES

CUARTA REUNION ANUAL
DE CAMINOS

VOLUMEN PRIMERO



LA PLATA (REP. ARGENTINA)
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMATEMATICAS
OCTUBRE DE 1940

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

PRESIDENCIA Y CONSEJO SUPERIOR (1940-1941)

Presidente: doctor Juan Carlos Rébora.

Vicepresidente: doctor Alfredo D. Calcagno.

Consejeros titulares: ingeniero agrónomo Juan C. Lindquist, ingeniero agrónomo Gabriel C. del Mazo, ingeniero Julio R. Castiñeiras, ingeniero Aquiles Martínez Civelli, doctor Luis R. Longhi, doctor Ricardo de Labougle, doctor Orestes E. Adorni, doctor José Belbey, doctor Juan E. Cassani, doctor Alfredo D. Calcagno, doctor Carlos A. Sagastume, doctor Hércules Corti, doctor Eduardo Blomberg, doctor Víctor M. Arroyo, doctor Joaquín Frenguelli, doctor Max Birabén, e ingeniero Félix Aguilar.

Consejeros suplentes: ingeniero agrónomo Arturo Burkart, ingeniero agrónomo Teófilo V. Barañao, ingeniero Juan B. Gandolfo, ingeniero Juan L. Albertoni, doctor Carlos Cossio, doctor Arturo Barcia López, doctor Victorio Monteverde, doctor José E. Caeiro, profesor José María Monner Sans, profesor Alberto Palcos, doctor Reinaldo Vanossi, doctor Alejandro M. Oyuela, doctor Jorge E. Durrieu, doctor Abel Rottgardt, e ingeniero agrónomo Lorenzo R. Parodi.

Secretario general y del Consejo superior: abogado Bernardo Rocha.

Guarda-sellos: ingeniero agrónomo Alejandro Botto.

Representantes de los estudiantes: señores José E. Cifré y Ramón E. Arigós.

FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMATEMATICAS

Decanato y Consejo académico (1940-1941)

Decano: ingeniero Julio R. Castiñeiras.

Vicedecano: ingeniero Juan B. Gandolfo.

Consejeros titulares: ingenieros Emilio Dickmann, Adolfo Dorfman, Ignacio Eguiguren, José Garralda, Enrique Humet y Antonio Rebuelto.

Consejeros suplentes: ingenieros Eugenio Alcaraz, Eduardo Arenas, Juan P. Arnaud y Evaristo Artaza.

Delegados estudiantiles: señores Santiago Brarda y Jorge Rolando.

Secretario general: ingeniero Luis A. Bonet.

N.º 137

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMATEMATICAS

DIRECTOR: DR. HILARIO MAGLIANO

SERIE TERCERA

5

PUBLICACIONES ESPECIALES

CUARTA REUNION ANUAL
DE CAMINOS

VOLUMEN PRIMERO



LA PLATA (REP. ARGENTINA)
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMATEMATICAS
OCTUBRE DE 1940

**CUARTA REUNIÓN ANUAL DE CAMINOS
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMATEMÁTICAS
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**

Se publican en dos volúmenes los discursos y conferencias pronunciados en la Cuarta Reunión Anual de Caminos que se llevó a cabo entre los días 2 y 7 de octubre de 1939, de acuerdo con la ordenanza de la Facultad que instituyó estas Reuniones y continuando las realizadas en los años 1936, 1937 y 1938.

DISCURSO INAUGURAL

POR EL DR. HILARIO MAGLIANO

Llegamos a nuestra Cuarta Reunión de Caminos en momentos difíciles para el mundo entero, y aunque alejados de la contienda, sentimos ya sus efectos. Esta circunstancia nos induce a esbozar un breve análisis de la situación del país frente a los asuntos que conciernen al motivo principal de estas reuniones, que es el de colaborar en la solución técnica del problema del camino en nuestra patria, animados por la convicción, cada vez más afirmada, de que la construcción de caminos es una de las necesidades urgentes del momento actual.

En la reunión anterior nos decía el ingeniero Teodoro Sánchez de Bustamante: «En nuestro país se requieren grandes cantidades de obras viales, no solamente para satisfacer las necesidades presentes, sino, también, para fomentar el desarrollo de las diversas regiones y para incorporar otras a la vida económica del país».

No han perdido actualidad estas palabras. En las condiciones actuales, frente al doloroso conflicto europeo y sus consecuencias sobre nuestra economía, es necesario no sólo mantener sino acelerar el ritmo de las obras iniciadas gracias a la Ley de Vialidad. Hoy más que nunca es indispensable intensificar la vida económica del país, incorporando a todas sus fuerzas, movilizándolo todos sus recursos y animando a todas sus regiones. Más que nunca debe ser impulsada la industria, pero no sólo en los grandes centros del litoral, y los caminos, a pesar de todas las circunstancias adversas y de las dificultades naturales o artificiales que se opongan, han de permitir que florezcan y se afiancen las industrias locales en todos los rincones del país, condición indispensable para el equilibrio económico y social y único medio de que todos los habitantes de nuestro suelo tengan trabajo seguro, decoroso y remunerativo.

Es indudable que la industria de la construcción sufre el contragolpe de la contienda europea, por el encarecimiento de algunos materiales, como el hierro, y de algunos combustibles. Si la guerra se prolonga es probable que, además, la maquinaria escasee o encarezca en forma prohibitiva. Esto nos obligará a rever el esquema económico de la construcción en cuanto se refiere a los materiales a emplear y a los métodos de trabajo, y en lo que respecta a la financiación de las obras y a los plazos constructivos. Pero también es posible que, acuciados por la necesidad y ayudados por un estudio a fondo de los problemas, logremos una mayor y mejor utilización de nuestros materiales.

Probablemente de todas las construcciones, la de calzadas es la que menos ha de sentir los efectos del encarecimiento o de la escasez de materiales importados; y si bien algunos tipos de obras de arte han de sufrir un elevado aumento de costo, no ha de ser imposible reemplazarlos por otros menos onerosos.

Gracias al progreso de la técnica de la construcción de caminos — del que dan una idea cabal los trabajos expuestos en estas reuniones —, ha de ser posible la continuación de la obra vial en condiciones económicas satisfactorias, no sólo en cuanto al costo inicial del camino sino también para su conservación y renovación oportunas. Así, por ejemplo, los estudios sobre suelos, sobre su conveniente utilización y los métodos para mejorarlos, han permitido perfeccionar y abaratar la construcción y la conservación del camino. También los estudios y ensayos de estabilización, muchos de ellos en obra, ya sea con mezclas convenientes de materiales locales, o bien con agregados asfálticos o con cemento portland, han dado gran impulso a la construcción de caminos de bajo costo, que parecen dar excelentes resultados en muchas zonas importantes, y en otras permitirán, por lo menos, el tránsito si no es muy intenso y podrán servir luego de excelentes bases para calzadas de calidad superior, cuando las circunstancias económicas permitan o justifiquen su construcción.

Por otra parte, el país dispone de reservas prácticamente inagotables de materiales para la construcción de excelentes caminos. La industria del cemento es floreciente y la de la piedra está muy adelantada y quizás sólo necesita que se arbitren medios para que las canteras puedan trabajar con más regularidad y que la distribución de la piedra se haga en forma más orgánica y económica.

Los productos asfálticos nacionales pueden ser ya utilizados y podrían serlo más si se estudiara mejor sus características y los mé-

todos de utilización. En la reunión anterior nos informamos de que la Destilería Fiscal de La Plata producía mensualmente 2000 toneladas de un material asfáltico de buena calidad que no se utilizaba a causa de especificaciones erróneas y por falta de estudios adecuados o de conocimientos de los mismos. Entiendo que esa producción ha aumentado considerablemente y que ha comenzado a ser utilizada.

Vemos, pues, que el país está en condiciones de construir buenos caminos sin mayor necesidad de materiales importados. Pero, de cualquier manera, no parece prudente que se interrumpa, sin un estudio detenido de todas las contingencias, la construcción de calzadas de tan alta calidad y conveniencia como son las de hormigón armado. También a este respecto debemos a los estudiosos contribuciones que en estos momentos son de una utilidad extraordinaria y muestran, en forma palmaria, el enorme valor económico de las investigaciones y los estudios sistemáticos en la técnica. Los estudios realizados en diversos países han conducido a reducir en forma muy apreciable y sin ninguna desventaja la cantidad de hierro que se emplea en las calzadas de hormigón armado; y parece comprobado que nuevos métodos de construcción, como los del vibrado, ensayados con muy buen éxito en la Provincia, conducen todavía a reducir, sin inconvenientes, a cerca de la mitad la cantidad de hierro por metro cuadrado, con lo que se compensaría el encarecimiento y la escasez de este material.

Con íntima satisfacción he hecho frecuentes referencias a los trabajos expuestos en nuestras reuniones. Gracias a la desinteresada y entusiasta adhesión de nuestros colaboradores, veintiocho trabajos publicados ya en tres gruesos volúmenes han enriquecido la bibliografía técnica argentina y han contribuido a resolver importantes problemas de nuestra economía. Abarcan estos trabajos todos los campos de la vialidad, desde la financiación de las carreteras hasta la seguridad del tránsito, pasando por todos los temas referentes al trazado, la construcción y la conservación de los caminos, y los que corresponden a las industrias auxiliares. Otros seis trabajos no menos importantes se expondrán esta semana.

Pero la satisfacción de estas comprobaciones se encuentra empañada por otras no menos evidentes. No sin pena debemos declarar que si lo hecho en el campo de los estudios técnicos entre nosotros es importante, en realidad es muy poco frente a lo que se podría hacer, teniendo en cuenta la capacidad de muchos técnicos, la importancia del país, y, sobre todo, los problemas urgentes de su orga-

nización económica que esperan solución adecuada, vale decir, técnica.

En diversas oportunidades he debido referirme a las condiciones desfavorables de nuestro ambiente para los estudios científicos y técnicos, que tanta importancia tienen para nuestra economía, aun dejando de lado el aspecto cultural. En particular he debido referirme, en comparación con otros países, a la escasez de laboratorios adecuados para la investigación técnica y para el estudio de los materiales que nos proporciona nuestro suelo, así como a la carencia de medios en los laboratorios existentes. He anotado también la falta de organismos capaces de propulsar, orientar y coordinar los estudios y de centralizar y publicar los resultados de las investigaciones de interés general.

Estas deficiencias se harán más sensibles si la guerra se prolonga y se extiende y se acentuarán más si se reducen los fondos para estudios e investigaciones. Esperemos, pues, que nuestros poderes públicos y los grandes organismos que dirigen las actividades técnicas y económicas del país presten al problema la atención que su importancia requiere, Esperemos que el problema se encare y resuelva, precisamente frente a los intereses de la vialidad y a la necesidad evidente de coordinar e impulsar los estudios que realizan los institutos universitarios y los dependientes de la Dirección Nacional de Vialidad y de las Direcciones provinciales.

La gran importancia que para el país tienen los problemas de las comunicaciones y las grandes sumas que se invierten en la construcción de caminos, sumas que aumentarán considerablemente con la reforma de la Ley de vialidad y con la ejecución del plan que iniciará en 1940 la Dirección Nacional, en concierto con las provincias, y las circunstancias especiales en que tendrá que llevarse a cabo, justifican e imponen la creación de algo así como la « Junta nacional de estudios viales », organismo integrado por técnicos de reconocida competencia, que tendría a su cargo la tarea de planear y coordinar, y sostener si fuera preciso, los estudios vinculados con la vialidad en todo el país.

La creación de semejante organismo, esencialmente técnico-científico, es una aspiración de nuestros estudiosos y su funcionamiento tendría ejemplos provechosos en los análogos que existen en todos los grandes países.

Todavía, de acuerdo con la opinión de algunos expertos con quienes he conversado, convendría que, en las circunstancias actuales,

este organismo estuviera auxiliado por otro que tuviera a su cargo el estudio de los medios y recursos de que dispone el país, ya se trate de materiales como de equipos constructivos. Este organismo, integrado por técnicos, industriales y empresarios, podría aconsejar acerca del modo de realizar el programa de construcciones viales.

Al declarar inaugurada esta Cuarta Reunión de Caminos, mucho me complace saludar, en nombre de la Facultad, a los nuevos valores que se incorporan a la ya larga lista de nuestros colaboradores, y me es grato expresar a todos nuestro reconocimiento.

**TECNICA ACTUAL EN LA EJECUCION DE MEZCLAS
GRADUADAS PARA BASES DE TRATAMIENTOS
BITUMINOSOS EN LA REPUBLICA ARGENTINA**

POR LOS INGENIEROS

A. LODEIRO BLANCO y A. J. L. BOLOGNESI

INGENIEROS DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD

ORDEN DE EXPOSICION

CAPÍTULO I. — Evolución, estado actual y tendencias en la dosificación, ensayos y técnica constructiva.

CAPÍTULO II. — Ensayos que se ejecutan en los laboratorios de campaña.

CAPÍTULO III. — Procedimientos constructivos.

CAPÍTULO IV. — Organización de la Inspección.

CAPITULO I

EVOLUCION, ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS EN LA DOSIFICACION, ENSAYOS Y TECNICA CONSTRUCTIVA

Desde la ejecución de los primeros trabajos en estabilización de suelos mediante la graduación de mezclas en el año 1937, un considerable número de kilómetros ha sido ejecutado y está en ejecución en nuestro país, a través de zonas de las más variadas características en suelo, clima, tránsito y materiales disponibles.

En ese tiempo los procedimientos constructivos han ido perfeccionándose y han sido conocidas las características de los materiales y las precauciones que exige la utilización de los mismos dentro del amplio rango en que varían los de posible aplicación. Los ensayos de laboratorio han sido prácticamente standardizados y una serie de condiciones que son actualmente controladas han aparecido como necesarias para asegurar una mayor eficacia en el comportamiento de las calzadas de este tipo.

Este trabajo tiene por objeto describir los procedimientos en uso, la forma en que han sido solucionadas las dificultades encontradas y las tendencias actuales en la dosificación ensayos y técnica constructiva.

1. **Granulometrías.** — Excepción hecha de algunos trabajos iniciados últimamente, en todos los casos se han tenido como curvas límites para la graduación de los materiales, los clásicos valores clasificados como mezclas standard, semifina y fina ⁽¹⁾. Dentro de los límites señalados se ha operado en un amplio rango lo que ha permitido conocer las características y comportamiento de casi todas las curvas granulométricas recomendadas actualmente.

El Bureau of Public Roads ⁽²⁾ hizo conocer en Noviembre de 1938 y en Marzo de 1939 los resultados de una investigación sobre mezclas de arcilla y arena, y de arcilla, grava y arena como bases para

⁽¹⁾ Correspondiente a los tamaños máximos 2,5, 1 y 0,2 cm.

⁽²⁾ *Public Roads*. Vol. 19, N° 9, y Vol. 20, N° 1.

tratamientos bituminosos, y la American Association of State Highway Officials conociendo la misma fijó las nuevas especificaciones, las que con respecto a las anteriormente en uso tienen más severas condiciones para los finos y toleran un menor porcentaje de material bajo el tamiz 200.

TABLA I
Especificaciones recomendadas por la American Association of State Highway Officials

	Mezclas de grava, arena y arcilla				Mezclas de arena y arcilla (1)	
	Tamaño máx. 5 cm.		Tamaño máx. 2,5		Mínimo	Máximo
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
Porcentaje de material que pasa:						
Tamiz de 2"	—	100	—	—	—	—
» » 1 1/2"	70	100	—	—	—	—
» » 1"	55	85	—	100	—	—
» » 3/4"	50	80	70	100	—	—
» » 3/8"	40	70	50	80	—	—
» N° 4	30	60	35	65	—	—
» » 10	20	50	25	50	65	100
» » 20	—	—	—	—	55	90
» » 40	10	30	15	30	35	70
» » 200	5	15	5	15	8	25
Porcentaje de material más fino que el N° 40 que pasa el tamiz 200	—	50	—	50	—	50
Límite líquido	—	25	—	25	—	25
Índice de plasticidad	—	6	—	6	—	6

En el camino de Reducción a La Carlota se han ejecutado mejoramientos de los suelos existentes en un espesor de 12 cm. mediante la incorporación de arenas, en proporciones tales que aunque no han llegado a constituir una mezcla correctamente graduada ha probado ser hasta la fecha una base adecuada para tratamientos bituminosos. El porcentaje de suelo ha sido de aproximadamente 45 %.

(1) El porcentaje que debe pasar los tamices N° 20, 40 y 200 se refiere a un ensayo ejecutado sobre el material que pasa el tamiz N° 10.

2. **Indice de plasticidad.**— Todas las bases ejecutadas lo han sido con vistas a un inmediato recubrimiento con tratamientos bituminosos. De ahí los valores empleados, en general muy bajos, tendencia que las últimas investigaciones norteamericanas y los resultados obtenidos en nuestro país ha demostrado estar plenamente justificada.



FIG. 1. — Una base de suelo estabilizado con tratamiento superficial doble

En las zonas en que las características de clima permiten el secado y desmenuzamiento de los suelos plásticos (centro, norte y oeste del país en general) se han logrado plasticidades moderadas mediante la utilización de suelos de alta plasticidad (en general mayor de 15) incorporados en pequeñas proporciones, formando parte de una mezcla en la cual el suelo del lugar por lo común inerte juntamente con la parte fina de los agregados granulares reduce la misma a valores convenientes.

El empleo de dichos suelos tiene en esas zonas la ventaja económica de su utilización en pequeñas cantidades y la de que su fuerte cohesión confiere protección a las superficies de rodamiento hasta tanto son defendidas por el tratamiento bituminoso.

En la provincia de Buenos Aires la frecuencia de las lluvias hace muy dificultoso el secado y desmenuzamiento de suelos arcillosos



FIG. 2. — Una base tipo « standard » con material segregado por exceso de perfilado.

y la carencia de arenas finas locales, obligaría a su transporte para reducir la plasticidad de la mezcla a valores convenientes.

Por ello se utilizan en general suelos del 1er. horizonte que son fáciles de desmenuzar, a pesar de su frecuente poca cohesión y la de poseer algunas características desfavorables que en general se procuran evitar.

En otras zonas donde la carencia de materiales cohesivos a distancias económicamente transportables obligó a prescindir de ellos

se ejecutaron mezclas formadas solamente por agregados y suelos areno-limosos, las que solo ocasionaron el inconveniente de una conservación más cuidadosa hasta tanto fueron protegidos por el tratamiento bituminoso.

3. Densificación⁽³⁾ de las mezclas.— Como se deduce de lo anterior no ha habido cambios importantes en lo que se refiere a las características anteriormente controladas: granulometría y plasticidad.

El más importante progreso ha sido logrado, por la aplicación de los conceptos que relacionan la densificación con el contenido de humedad en el período en que se ejecuta la compactación y a la evolución de los procedimientos constructivos con el fin de lograr la uniformidad de la mezcla de los materiales con el agua.

De acuerdo a las experiencias publicadas por el Bureau of Public Roads, en el caso de operarse con materiales que acusen plasticidad, aunque ésta no tenga valores elevados es indispensable lograr una completa compactación ejecutándola con el contenido adecuado de humedad, sin lo cual es imposible evitar el ablandamiento y la pérdida de estabilidad, si la acción del agua puede actuar sobre la mezcla después de construída la base.

Cuando por primera vez fueron aplicados estos conceptos la determinación del contenido de humedad a utilizar y la mayor densificación esperada fueron obtenidos mediante el ensayo Standard de Proctor.

En los últimos dos años se ha utilizado como ensayo Standard de compactación el de Proctor, manteniendo constantes todas sus características excepto el número de golpes que fué elevado a 35. En el terreno se admitía como valor aceptable de compactación una densidad mayor del 95 % del valor logrado en el ensayo.

El concepto de densidad sin embargo no es un valor absoluto en la medida de la compactación. La porosidad en cambio lo es y más claro aún lo es el por ciento en peso del agua de saturación.

De algunas observaciones efectuadas se deduce que un ensayo ejecutado en iguales condiciones para todos los casos, no da el mismo grado de compactación si ésta se mide por el por ciento de agua de saturación.

Parece ser por consiguiente que es este último el valor que debe exigirse.

⁽³⁾ Las palabras densificación, densidad aparente, densidad absoluta, impropriamente usadas de acuerdo a la definición de las mismas, son aquí utilizadas en el sentido que es común entre los ingenieros de caminos.

Fijado el mismo, en el molde de Proctor podría determinarse para cada caso, haciendo variar el número de capas, la altura de caída o el número de golpes la curva densidad humedad necesaria para obtener la compactación exigida y ajustar en el terreno el peso y características de los equipos de compactación necesarios (4).

Sobre este punto muy poco trabajo de investigación se ha hecho hasta la fecha en nuestro país, debido a que es un problema recientemente planteado, pues en general se habían logrado valores satisfactorios de compactación ejecutando el ensayo Standard de Proctor con 35 golpes y utilizando los equipos de compactación actualmente exigidos por la D. N. V.

La utilización de los suelos del primer horizonte del perfil de la Provincia de Buenos Aires ha impuesto la conveniencia de un estudio en tal sentido.

Determinado el contenido de humedad con que debe operarse es necesario aplicar en el terreno el agua necesaria y controlar una vez aplicada la misma, si se ha logrado el valor correcto. Esto se hace mediante determinaciones de humedad en estufa abierta, y llevando en las obras un control de las pérdidas por evaporación que permite tener una escala de pérdidas previstas para distintas condiciones de tiempo. En general se trabaja con una aproximación del $\frac{1}{2}$ %.

En las mezclas con partículas de tamaño máximo igual a 1 cm. o menor, el contenido de humedad dado por el ensayo de Proctor a 35 golpes, está muy cerca del contenido que produce la pérdida de estabilidad, principalmente cuando las mezclas acusan alguna plasticidad, por lo cual se procura siempre obtener un valor comprendido entre $\frac{1}{2}$ y 1 % debajo del óptimo en el momento de iniciar la compactación.

El control de la compactación lograda se efectúa extrayendo del camino panes de todo el espesor de base, pesándolos y determinando su volumen sumergiéndolo en kerosene y midiendo el peso del líquido desalojado.

En general no se ha pretendido obtener una mayor densificación por la acción del tránsito y la densidad exigida ha sido obtenida íntegramente por compactación artificial, después de lo cual el tratamiento bituminoso es ejecutado cuando el contenido de humedad ha disminuído a valores que se han fijado como aceptables desde el punto de vista de la estabilidad.

(4) En *Public Roads*, volumen 20, N° 3, se describe una máquina vibratoria para determinar la compactabilidad de agregados.

Sin embargo, ha sido observado que en condiciones favorables de humedad el tránsito aumenta en valores apreciables la compactación lograda artificialmente con los equipos actualmente en uso, especialmente cuando el clima se mantiene durante un tiempo considerable nublado y con lloviznas.

4. Características de la subrasante. — Todos los cuidados tomados en la ejecución de la base no serían de valor alguno si la subrasante no está en condiciones de soportar las presiones que transmiten las cargas a través de aquella, sin sufrir deformaciones que puedan perjudicar la calzada.

La ejecución de rasantes altas y bien drenadas ⁽⁵⁾ con terraplenes correctamente densificados constituyen la primera etapa de todo camino en el que se ejecutará un pavimento flexible. No entra en nuestro propósito hablar de las condiciones que debén cumplir las obras básicas y solamente citamos este punto por su fundamental importancia.

La casi totalidad de los trabajos ejecutados hasta la fecha lo han sido sobre obras básicas en las cuales no fueron aplicados los conceptos actuales sobre densificación y en general se ha exigido únicamente que los 20 cm. superiores, que pueden ser sometidos a compactación desde arriba, o por remoción de los mismos, alcancen un valor mínimo de densidad que varía entre el 90 y el 100 % del obtenido en el ensayo Standard de Proctor.

Donde las obras básicas existentes fueron ejecutadas con suelos plásticos, se ha aplicado un recubrimiento de 20 cm. de suelo friable con un índice plástico no mayor de 10 si era obtenible, para el cual se ha exigido igualmente un mínimo de densidad.

Probablemente el más importante esfuerzo con objeto de mejorar el comportamiento de este tipo de calzada es, de acuerdo a nuestros actuales conocimientos, el destinado a obtener una correcta densificación de los suelos, desde las capas inferiores del terraplén de manera que la cantidad de agua capaz de ser admitida por el suelo de los mismos no los lleve a un contenido de humedad que pueda ocasionar la pérdida de su estabilidad. Como aún no conocemos el régimen de distribución de presiones a través de un pavimento flexible, ni la capacidad portante de los suelos con distintos contenidos de humedad, no podemos afirmar si a partir de cierta profundidad sea necesaria una perfecta densificación pero en el estado actual de

(5) A. LÓPEZ AIRAGHI. — *Caminos*, N° 28 y 29.

MARIO SAN MIGUEL. — *Caminos*, N° 27.

nuestros conocimientos consideramos que ningún esfuerzo debe ser omitido con tal fin.

5. Equipos.—Para casi todas las operaciones las motoniveladoras de gran potencia han sido los elementos preferidos por los contratistas. Para la mezcla de los materiales las unidades formadas por tractores y niveladoras han sido también usadas vastamente.



FIG. 3. — Efectos de la distribución desuniforme de humedad en un tipo de mezcla crítica con respecto a la misma.

En cambio, las tentativas de utilización de mezcladoras de cuchillas múltiples y de rastras de discos para la mezcla no han dado resultados satisfactorios y solamente se persiste en el uso de estas últimas como elementos complementarios.

Naturalmente, ha habido un considerable progreso en la terminación de las superficies, y las calzadas ejecutadas ofrecen un notable confort para la marcha de los vehículos. Las dificultades encontradas en los primeros trabajos por la segregación de los materiales durante el perfilado han sido prácticamente eliminadas al utilizarse el método de humedecido previo a la distribución.

Cuando comenzaron a construirse bases con partículas de tamaño máximo menor de 2 mm. se tuvieron originariamente dificultades debido a la formación de capas delgadas estratificadas que saltaban por la acción del tránsito. Esto era una consecuencia del procedi-

miento de compactación que fué el mismo aplicado en otros tipos de mezcla y que consistía en la distribución de pequeñas capas compactados por el rodillo neumático múltiple. Compactando en capas de 5 cm. de espesor aproximadamente, utilizando una rastra liviana de dientes entre cada una y efectuando el perfilado por cortes hacia afuera se evitó dicho inconveniente, cuando se persistió en la utilización de rodillos neumáticos múltiples.



FIG. 4. — Fallas en una base del tipo fino ocasionadas por la compactación en capas delgadas. Estas fallas han sido eliminadas utilizando los procedimientos constructivos recomendados.

Con rodillos pata de cabra se han ejecutado espesores de hasta 15 cm. en una sola capa sin que aparezcan los inconvenientes señalados siempre que el perfilado sea ejecutado por cortes hacia afuera.

El método de aplicación del agua en capas, simultáneamente con la distribución y perfilado de la mezcla, ha sido abandonado y sustituido por el humedecido previo de los materiales los que son mezclados con el agua por medio de niveladoras, dejados en caballetes durante una noche, si es posible, con el fin de conseguir una mayor uniformidad y distribuidos al día siguiente.

La compactación ha sido ejecutada utilizando en todos los casos rodillos neumáticos múltiples como elemento principal o como auxiliar para dar terminación a las superficies cuando ha sido utilizado el pata de cabra. Los rodillos lisos de distintos pesos han sido también empleados conjuntamente con los neumáticos múltiples.

CÁPITULO II

ENSAYOS QUE SE EJECUTAN EN LOS LABORATORIOS DE CAMPAÑA

Al incluir este capítulo, al mismo tiempo que describir los ensayos que se ejecutan en los laboratorios de campaña instalados para el control de los trabajos, se ha querido que él pueda ser útil al personal que los efectúa en la obra. De ahí la forma sencilla en que está efectuada la explicación, detallando con más cuidado las partes del ensayo o del cálculo en que más se ha debido insistir al formar el personal actualmente a cargo de los mismos. Como se deducirá de la descripción aquí efectuada, existen entre los ensayos ejecutados en campaña y los de un Laboratorio Central algunas diferencias en los procedimientos, que conducen a una distinta precisión en los resultados, a causa de que los ensayos de campaña deben ser conducidos de manera tal que puedan conocerse dentro de tiempo relativamente cortos, pues para tener la seguridad de que los trabajos de terreno se ejecutan dentro de las normas establecidas es necesario que los controles sean frecuentes y oportunos. Los ensayos que describimos a continuación, que son los que se ejecutan como trabajo de rutina en las obras de la Dirección Nacional de Vialidad han sido establecidos procurando que los resultados sean obtenidos en el más breve tiempo compatible con la necesaria precisión de los mismos.

6. Elementos de un laboratorio de campaña.— Son los indicados a continuación, copia de los que la Dirección Nacional de Vialidad, exige proveer a los Contratistas para el control de las obras de este tipo.

1°. Una balanza tipo Roberval, para 10 Kgs. sensibilidad al gramo, con juego de pesas.

2°. Una balanza tipo Roberval, para 1 Kg. sensibilidad al gramo, con juego de pesas.

3°. Una balanza de precisión para 100 gramos sensibilidad al milígramo, con juego de pesas y pinza para éstas.

4°. Una estufa de doble pared con circulación de agua, con pié y sistema para calentamiento, de preferencia eléctrico.

Debe llevar canilla para salida del agua y un tubo indicador del nivel. La puerta debe ser lateral. Medidas interiores aproximadas (25 x 25 x 25) cm.

5°. Cribas y tamices que exija el pliego. Los tamices deberán ser con aro de metal. Cada juego llevará tapa y fondo. Deberán ser aprobados previamente por esta Dirección Nacional.

6°. Dos termómetros graduados de 0 a 200 grados centígrados.

7°. Aparato de compactación Proctor.

8°. Pesafiltros de vidrio.

a) Seis de 60 mm. de diámetro y 20 mm. de altura.

b) Doce » 40 » » » 25 » » »

c) Doce » 25 » » » 40 » » »

9°. Doce estuches de aluminio de películas Agfa o Kodak.

10°. Bandejas de chapa lisa.

a) Una para lavar de (30 x 20 x 15) cm. con caño para salida de agua.

b) Dos de (50 x 40 x 10) cm.

c) Dos de (25 x 25 x 10) cm.

d) Una de (40 x 40 x 10) cm., con paredes inclinadas formando un ángulo de 45 grados con la horizontal.

11°. Seis cápsulas esféricas de porcelana de 110 mm. de diámetro y profundidad de 55 mm. aproximadamente.

12°. Seis cápsulas semiesféricas de porcelana de 120 mm. de diámetro aproximadamente.

13°. Un aparato para hacer la muesca (acanalador para límite líquido) de acero o hierro templado, inoxidable.

14°. Dos espátulas de hoja de acero flexible de 75 mm. de largo, ancho de la hoja aproximadamente 15 mm.

15°. Una bureta graduada hasta 50 cm.³ con soporte.

16°. Un brazo de soporte (agarradera) de 40 cm. de largo.

17°. Una probeta graduada hasta 500 cm.³

18°. Un pienómetro de Hubbard-Cormick o Hubbard.

19°. Un vidrio grueso de (30 x 30) cm.

20°. Un tubo de goma de irrigador, de 1 m. de largo como mínimo.

21°. Un frasco de vidrio con tapa esmerilada maciza de dos litros de capacidad con gollete ancho.

22°. Diez tarros cilíndricos con tapa, capacidad para un kilo de suelo.

23°. Cincuenta bolsas de lienzo o lona, capacidad para diez o quince litros con cordón para cerrar.

24°. Dos pies para bandeja.

25°. Tres calentadores a presión, tipo Primus de un litro de capacidad con silenciador; si la estufa tiene otro sistema de calentamiento, solamente dos.

26°. Una pinza para crisoles.

27°. Un mortero de 200 mm. de diámetro aproximadamente, con un pilón que tenga una extremidad cubierta con goma.

28°. Treinta frascos de vidrio con tapa de lata y gollete amplio de 1 litro de capacidad.

29°. Treinta frascos de vidrio con tapa de lata de 250 cm.³ de capacidad.

30°. Cepillos.

a) Un cepillo de cerda y bronce, para limpiar tamices.

b) Un cepillo de cerda (pincel).

c) Un cepillo de cerda de 15 x 7 cm.

31°. Un embudo de metal.

32°. Una cuchara de albañil y un cucharín.

33°. Una cuchara común de metal o asta.

34°. Una cuchara de almacén con mango.

35°. Una regla de cálculo de 25 cm.

36°. Seis repasadores.

37°. Cien rótulos para frascos.

38°. Una lata cilíndrica de 5 litros.

39°. Un cajón de madera de dos litros de capacidad, forma cúbica.

40°. Un vaso de precipitación de 1 litro.

41°. Un nivel de albañil.

42°. No habiendo luz eléctrica, un farol tipo petromax, de 200 bujías por lo menos.

43°. El laboratorio será provisto de combustible para los calentadores y lámpara, hasta la terminación de la obra.

44°. El local del laboratorio tendrá una pileta de cocina y agua corriente. La canilla llevará un pico de reducción.

45°. Mesas, sillas y estantes que fijará la Inspección.

46°. Planillas diversas, que fijará la Inspección.

47°. El local del laboratorio será sometido a la aprobación de la Inspección, así como su ubicación. Tendrá como medidas mínimas (4 x 4) m.

48°. El Contratista facilitará al Laboratorista de la Inspección un ayudante, hasta la terminación de la obra.

49°. El Contratista repondrá todos los implementos que se rompen o que no sean utilizables.

50°. Una vez terminada la obra, todos los elementos quedan a beneficio del contratista.

7. Extracción y cuarteo de materiales. —

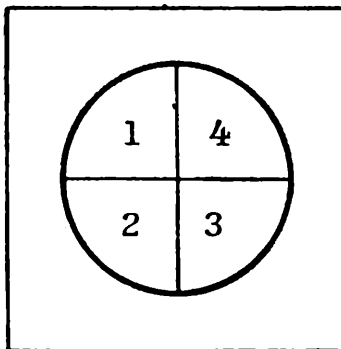
a) *En el terreno.*

Deberá tenerse presente que la extracción y ensayo de muestras de un caballete de revestimiento estabilizado no es un control de uniformidad de mezcla sino que tiene por objeto determinar si la dosificación ha sido correcta. La muestra se obtendrá como sigue:

1) Estando todos los materiales juntos en un caballete se efectuará un corte transversal completo. El material obtenido del mismo se depositará en el suelo. Siempre que deba formarse un montón de material se tendrá la precaución de echar cada palada en el vértice del cono formado para que se distribuya uniformemente hacia los cuatro costados.

2) El montón así obtenido se pasará a una chapa de 2 x 2 metros donde será bien mezclado.

3) El cuarteo será efectuado como sigue:



Dividido en cuatro partes el montón obtenido y una vez hecha la mezcla sobre la chapa, dos partes serán eliminadas, por ejemplo

de 2 y la 4. Las partes restantes (1 y 3) se mezclarán perfectamente



FIG. 5. — Caballete mezclado y uniformado para ser medido. La parte más clara de la figura señala también la cantidad de material que se extrae para el cuarteo.



FIG. 6. — Extracción de muestras.

formándose un nuevo montón que será nuevamente reducido a la

mitad en la misma forma. Se repetirán estas operaciones hasta que queden sobre la chapa aproximadamente 20 kilos.

4) Este material será perfectamente mezclado y con él serán llenadas las bolsas para el Laboratorio. La cantidad necesaria es el doble o ligeramente más del doble del peso recomendado para el ensayo de cada tipo de material.

5) La extracción de muestras se efectuará en presencia de un representante autorizado del Contratista y en cada bolsa se colocará un papel con las siguientes anotaciones:

Fecha..... Hora..... Progresiva.....
Corresponde al caballete de Prog.a Prog.
Material: R. E.

.....
Firma del Contratista

.....
Firma de la Inspección

b) En el Laboratorio.

1) Cuando la muestra no contiene partículas mayores de un centímetro se reducirá al peso recomendado para el ensayo mezclándola bien sobre una chapa y cuarteando en la forma indicada más arriba, hasta reducirla al peso necesario para el ensayo.

2) Cuando la muestra tenga partículas mayores de un centímetro se colocará en una bandeja y se mezclará perfectamente.

Luego se volcará sobre dos bandejas, cuyos bordes estén juntos de manera que en cada una caiga la mitad del material. Si la cantidad obtenida en una bandeja es la corriente para el ensayo se la utilizará para el mismo. Si es aproximadamente el doble se mezclará el material y se le dividirá nuevamente utilizándose una de las mitades.

8. Ordenamiento de las muestras.— Todas las muestras que lleguen al Laboratorio serán numeradas y todos sus datos anotados en la planilla 1.

9. Ensayo granulométrico de las muestras de revestimiento estabilizado.— El procedimiento a seguir es el mismo cualquiera sea el tamaño máximo de las partículas del material a ensayar diferenciándose solamente en la cantidad de muestra necesaria.

a) Preparación de las muestras a ensayar.

La muestra llevada al Laboratorio será reducida por cuarteos a los valores indicados a continuación como más convenientes para

RUTA..... EMPRESA

ENTRADA DE MUESTRAS

TRAMO..... OPERADOR

D. N. V. SECCION C. I. B.

MUESTRA N°	FECHA DE EXTRACCIÓN	LUGAR DE EXTRACCIÓN	CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA	ENSAYOS A EFECTUAR	FECHA DE TERMINACIÓN	OBSERVACIONES

PLANILLA N° 1

cada granulometría. Sin embargo el ensayo se efectuará siempre con una cantidad obtenida por cuarteo directo vale decir dividiendo en 2, 4 o más partes la cantidad original y utilizando directamente una de las mismas y no completando hasta los pesos recomendados con adiciones obtenidas de cuarteos complementarios.

b) *Pesos recomendados en cada caso.*

Cuando las partículas mayores son de aproximadamente 2,5 cm.	6,5	Kg.
Cuando las partículas mayores son de aproximadamente 1 cm.	3.—	Kg.
Cuando las partículas mayores son de aproximadamente 0,2 cm.	0,800	Kg.

Estos valores serán adoptados como mínimos del peso de la muestra a ensayar.

Así por ejemplo de acuerdo a lo explicado anteriormente se obtiene por cuarteo directo un peso de 8 kilos para el caso que se recomiendan 6,5 kg. se efectuará el ensayo sobre los 8 kilos.

Si la muestra de granulometría es utilizada para la humedad se pesará (peso a).

La muestra será secada en estufa abierta y pesada nuevamente (peso b) utilizando una bandeja semejante a la del tipo 10 b.

c) *Proceso del ensayo.*

A continuación se describe el procedimiento para el caso de que el tamaño máximo de la partícula sea de 2,5 cm. Para los casos de tamaños máximos menores se suprimirán las partes innecesarias del ensayo.

Tomando el total de la muestra se tamizará por los tamices de 1", 3/4", 3/8" y 4 anotándose las cantidades retenidas en los mismos, y pesándose todo el material que pasa por el tamiz 4. Llamando:

Peso del material retenido en	1"	(peso c)
» » » » »	3/4"	(» d)
» » » » »	3/8"	(» e)
» » » » en tamiz 4		(» f)
que pasa el tamiz 4		(» g)

Se controlarán las pesadas efectuando las siguientes operaciones $b-(c+d+e+f)$ debe ser igual a g con una tolerancia de 20 grs.

Como el error más común es una pesada mal efectuada, se guar-

dará todo el material hasta que esté hecha la comprobación anterior.

Si ésta da bien se continuará trabajando con la fracción *g*.

El total de material que pasa el tamiz 4 será perfectamente mezclado y reducido por cuarteo directo hasta lograr 800 grs. ⁽¹⁾ que es el peso mínimo con que se continuará el ensayo.

Este último peso será anotado (peso *h*) y el material colocado en una bandeja del tipo 10 *a*. Se colocará la bandeja en una posición que permita la salida continua del agua por el orificio de la misma, el que deberá encontrarse a una altura superior a la del material que se ensaya. El agua que sale por este orificio llevará en suspensión, arcilla, limo y parte de arena fina y deberá caer totalmente sobre un tamiz 200. Se continuará el lavado sobre la bandeja hasta que visiblemente el agua salga clara.

El material que haya quedado sobre el tamiz 200 será lavado hasta que el agua que pase a través del mismo salga también visiblemente clara y luego colocado en la bandeja juntamente con el resto. Este material será secado y su peso anotado (peso *i*). A continuación se pasará por los tamices 10, 40 y 200 (también por el 100 si lo exige la especificación correspondiente).

El tamizado sobre el 200 será continuado hasta que no más del 1 % en peso del residuo pase durante un minuto.

Llamando :

Peso del material retenido sobre el matiz	10	....	( <i>j</i>)
» » » » » » »	40	....	( <i>k</i>)
» » » » » » »	200	....	( <i>l</i>)
» » que pasa el tamiz	200	....	( <i>m</i>)

Se controlarán las pesadas haciendo las siguientes operaciones (*h* — *j* — *k* — *l*) — (*h* — *i*) debe ser con una aproximación de 10 gramos igual a *m*.

Igualmente en este caso se guardará el material retenido hasta efectuar la comprobación anterior.

(1) Otra cuarta parte será mortereada con el manguito de goma tamizando sobre el tamiz 40 para obtener una muestra para la determinación de la plasticidad.

Ejemplo:

Peso total de la muestra (b)	7392
» c retenido en 1"	15
» d » en 3/4"	1015
» e » en 3/8'	2020
» f » en 4	1055
» g pasa el 4	3270
» h cuarteo del 4	857
» i total del material retenido en el 200 después de lavado	587
» j retenido sobre el 10	216
» k » » el 40	173
» l » » el 200	172
» m pasa por el 200	20 grs.

El orden de cálculo es el siguiente:

		Nº 794		
		Retiene o pasa	Progresiva 19820	
			Gramos	%
(b)	Peso total		7392	
(c)	1"	R	15	
$b - c = c'$		P	7377	$(\frac{c'}{b} \times 100)$
(d)	3/4"	R	1015	
$c' - d = d'$		P	6362	$(\frac{d'}{b} \times 100)$
(e)	3/8"	R	2020	
$d' - e = e'$		P	4342	$(\frac{e'}{b} \times 100)$
(f)	4	R	1055	
$e' - f = f'$		P	3287	$(\frac{f'}{b} \times 100)$

Como el peso g es igual a 3,270 Kg. y el peso por cálculo f' (que es igual a: $b - c - d - e - f$) es 3,287 estamos dentro de la tolerancia fijada.

Las cantidades se colocarán en los casilleros en la forma indicada entre paréntesis a la izquierda y los porcentajes se calcularán efectuando las operaciones indicadas entre paréntesis a la derecha.

Ejemplo: Porcentajes que pasa el tamiz 3/8".

$$\frac{e'}{b} = \frac{4342}{7392} \times 100 = 59$$

y se anotarán solamente los números enteros.

Los 3.270 Kgs. que pasan el tamiz 4 han sido reducidos por cuarteo al peso $h = 857$ gramos.

Tamices	Retiene o pasa	Nº 794	
		Prog. 19820	
		Gramos	%
Peso total		7392	
1"	R	15	
	P	7377	99
3/4" ...	R	1015	
	P	6362	86
3/8"	R	2020	
	P	4342	59
4	R	1055	
	P	3287	44
f' (h)	Sobre ..	857	
(j) $h - j = j'$	R	216	
	P	641	33
(k) $j' - k = k'$	R	173	
	P	468	24
(l) $k' - l = l'$	R		
	P		
100	R		
	P		
200	R	172	
	P	296	15

Llamaremos p al porcentaje que pasa el tamiz 4.

$$\left(\frac{j'}{h} \times p\right)$$

$$\left(\frac{k'}{h} \times p\right)$$

$$\left(\frac{l'}{h} \times p\right)$$

El peso $i = 587$ grs.

» » $m = 20$ »

$$(h - j - k - l) - (h - i) = 296 - 270 = 26 \text{ grs.}$$

$m = 20$ grs.

El control está dentro de los límites exigidos. Las cantidades se colocarán en las casillas en la forma indicada entre paréntesis a la izquierda y los porcentajes se calcularán efectuando las operaciones indicadas entre paréntesis a la derecha.

Ejemplo: Porcentaje que pasa por el tamiz 40

$$\frac{k'}{h} \times p = \frac{468}{857} \times 44 = 24$$

El tamizado sobre el tamiz 200 debe ser continuado hasta que no más del 1 % de 172 grs. pasa durante un minuto.

Los datos serán anotados en la planilla N° 2 en la cual van también los valores de la plasticidad.

Cuando se utilice la muestra de granulometría para determinación de humedad el valor de esta última será:

$$\frac{a - b}{b} \times 100$$

10. Determinación de la humedad. —

a) El contenido de humedad de un material es la cantidad de agua que tiene referida en porciento al peso seco del mismo.

1) El material se pesará en estado húmedo (Ph)

2) Se secará completamente y será nuevamente pesado (Ps) y el porcentaje de humedad será calculado como sigue:

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 = \frac{\text{agua}}{Ps} \times 100$$

3) Si se utiliza un pesafiltro o bandeja de peso (Pf) las lecturas directas serán: $Pf + Ph$, $Pf + Ps$ y Pf y el cálculo

$$\frac{(Pf + Ph) - (Pf + Ps)}{(Pf + Ps) - Pf} \times 100 = \frac{\text{agua}}{Ps} \times 100$$

RUTA.....

GRANULOMETRÍA

EMPRESA

TRAMO.....

D. N. V. SECCION C. I. B.

OPERADOR.....

Módulos Pesaje	Módulos Retención	FECHAS																				
		Nº		Prog.		Gramos		%		Nº		Prog.		Gramos		%						
Peso total																						
1"	R																					
	P																					
3/4"	R																					
	P																					
3/8"	R																					
	P																					
4	R																					
	P																					
Sobre																						
10	R																					
	P																					
40	R																					
	P																					
100	R																					
	P																					
200	R																					
	P																					
Pesa-filtro Nº		L.L. ()	L.P. ()	L.L. ()	L.P. ()	L.L. ()	L.P. ()	L.L. ()	L.P. ()	L.L. ()	L.P. ()	L.L. ()	L.P. ()	L.L. ()	L.P. ()	L.L. ()	L.P. ()	L.L. ()	L.P. ()	L.L. ()	L.P. ()	L.L. ()
Pf + suelo húmedo (a)																						
Pf + suelo seco (b)																						
Agua = a - b = c																						
Pesa-filtro (d)																						
Suelo seco b - d = v																						
Limites $c/v \times 100$																						
Índice de plasticidad																						

b) Determinación de la humedad en estufa abierta.

Caso 1. — Cuando el material a secar tiene menos del 50 % pasando el tamiz 200 y contiene muy poca o ninguna materia orgánica.

Caso 2. — Cuando el material a secar pasa más del 50 % por el tamiz 200 o contiene materia orgánica.

La única diferencia entre ambos casos es la de que en el caso 2, la llama no será aplicada directamente sobre la bandeja sino que se interpondrá entre ambas una chapa con sus bordes levantados de manera que quede una película de aire de 2 cm. como mínimo.

En el caso 1 se puede aplicar la llama directamente sobre la bandeja con lo que es posible secar la muestra en menor tiempo.

En ambos casos se colocará la chapa en contacto con la llama lo más cerca posible de la misma a fin de que cubra la mayor superficie. El material de la bandeja será continuamente removido mientras dura su secado y será retirado de la fuente de calor cuando cubriendo la cuchara durante 20 segundos con el mismo, al retirarla no se reconozcan rastros de humedad. Esta determinación deberá hacerse sobre 500 gramos de material como mínimo.

c) Determinación de la humedad con pesafiltros en estufa de doble pared.

1) La muestra cuya humedad quiera determinarse se colocará en un pesafiltro, el que será tapado y pesado (peso $P_f + P_h$).

2) Se quitará la tapa del pesafiltro y se colocará en la estufa en la que se mantendrá hasta llevar la muestra a peso constante. Cinco horas es aproximadamente el tiempo mínimo necesario.

3) Secado el material se colocará la tapa inmediatamente después de sacado de la estufa y se pesará ($P_f + P_s$).

4) El cálculo se efectuará en la forma ya explicada.

11. Determinación del índice de plasticidad. — Este ensayo se ejecuta en la forma establecida por el Bureau of Public Roads. La determinación de las dos constantes necesarias ha sido ya descripta en las páginas 185 y 192 de la « Primera Reunión Anual de Caminos ».

12. Determinación de la relación densidad-humedad mediante el ensayo de Proctor. — Este ensayo consiste en compactar en un molde con un número dado de golpes y contenidos de humedad variables el material cuya curva se quiere determinar.

El número de capas, de golpes y el peso del pisón ha sido objeto de importantes cambios existiendo actualmente algunos criterios que permitan determinar con más precisión la relación que liga el ensayo con los equipos de compactación.

Describimos aquí el procedimiento usado hasta la fecha (mediados del año 1939) con el número de golpes y de capas que equivalen aproximadamente utilizando el pisón Standard a los siguientes equipos de compactación

Rodillo pata de cabra con una presión de 7 kg/cm ² en cada sa- liente	Para suelos. (Espesor suelto 20 cm. en el terreno).....	25 golpes; 3 capas
	Para mezclas graduadas tamaño máximo 2 mm. (Espesor suelto 18 cm. en el terreno) ...	35 » 3 »
Rodillo neumático múltiple presión por cm. de llanta 35 kg. ...	Para mezclas graduadas tamaño máximo: mayor de 10 mm. y menor de 25 mm. (Espesor suelto: 12 cm. en el terreno) ..	35 » 3 »

Actualmente existe una decidida tendencia por el aumento del peso de los equipos de compactación lo que conducirá seguramente a una modificación del ensayo,

a) Procedimiento de ensayo.

Suelos y mezclas graduadas con partículas cuyo tamaño máximo es 2 mm. Procedimiento 1.

Suelos y mezclas graduadas con partículas cuyo tamaño máximo es mayor de 2 mm. Procedimiento 2.

b) Procedimiento 1.

Se controlará si las medidas del aparato Proctor coinciden con las del Standard y si el peso del pisón es 2,5 Kg.

Se determinará el volumen del molde (V_m) y el peso del mismo (peso b) sin el collar superior y sin la base.

c) Preparación del material.

La muestra será secada si es necesario hasta llevarla a un contenido de humedad que esté por debajo del valor mínimo de humedad deseado en la curva. La práctica para determinarlo se adquiere rápidamente.

Desmenuzamiento. Todo el material a utilizar pasará íntegramente por el tamiz Standard N° 4 para lo cual se le desmenuzará en el mortero, o con un rolo sobre una mesa.

d) *Cantidad de material.*

Suelos arenosos y mezclas graduadas	2,5 Kg.
Suelos plásticos	12 Kg.

En el primer caso el mismo material es utilizado para distintos contenidos de humedad.

En el segundo caso se reemplazará el material para cada contenido de humedad, tomándose aproximadamente 2 Kg. cada vez.

e) *Número de punto necesarios.*

Salvo condiciones especiales se determinarán 3 puntos ascendentes y 2 descendentes.

f) *Ejecución del ensayo.*

Si se parte de la muestra seca se agregará una cantidad inicial de agua que lleve el contenido de humedad hasta aproximadamente un 6 % debajo del óptimo.

Como dato ilustrativo se consignan los valores más comunes del contenido óptimo.

Suelos plásticos	muy variables
» arenosos y tierra vegetal	16 a 22 %
Mezclas graduadas (tamaño máximo 2 mm.)	9 a 11 %

El agua agregada será mezclada íntimamente con el material.

De la muestra en su estado natural si se parte de la misma adecuadamente húmeda o de la muestra humedecida en la forma explicada anteriormente se hará una determinación de humedad utilizándose pesafiltros.

Colocado el cilindro completamente armado con su base y collar sobre una superficie firme (lo común es construir una base de hormigón de 40 cm. x 40 cm. por un espesor de 20 cm.) se llenará el cilindro hasta aproximadamente la mitad con material suelto (cantidad que da aproximadamente 1/3 compactado y se compacta con el número de golpes correspondiente (25 ó 35).

Se agrega material suelto hasta casi llenar el cilindro y se repite la operación de compactación.

Se agrega nuevamente material suelto hasta casi llegar a la parte superior del collar, compactándose nuevamente.

Luego se sacará el collar y se enrasará la mezcla con una cuchilla.

Se sacará la base, se enrasará la otra cara y se pesará el cilindro lleno de material (peso *a*).

El material será a continuación retirado del molde y juntado

con el material sobrante en la bandeja. Si es un suelo plástico se reemplazará por nuevo pero si no es ese caso, será desmenuzado y se le agregará el agua necesaria para aumentar su contenido de humedad en un 2 %.

Esta agua se mezclará perfectamente con el material sacándose una nueva muestra en pasafiltro.

Luego se repetirá el ensayo de compactación.

Se continuarán efectuando nuevos ensayos cada vez con un 2 % más de humedad.

El peso del molde con el suelo irá primeramente aumentando. Luego comenzará a disminuir. Salvo indicaciones especiales, el ensayo se suspenderá cuando se obtengan dos valores descendentes.

Terminado el ensayo se efectuará un análisis granulométrico completo y determinación de la plasticidad para el caso de mezclas graduadas o la determinación de la plasticidad para el caso de suelos solos.

Ejemplo de cálculo:

Peso a : 3590 gr. (suelo y molde)

» b : 2030 » (molde)

» $a - b = c = 1560$ gr. (suelo húmedo)

Volumen del molde: $V_m = 950 \text{ cm}^3$

% de humedad: $h = 10 \%$

Densidad del suelo húmedo:

$$D_h = \frac{c}{V_m} = \frac{1560 \text{ gr}}{950 \text{ cm}^3} = 1,640 \text{ gr/cm}^3$$

Densidad del suelo seco:

$$D_s = \frac{100 \cdot D_h}{100 + h} = \frac{100 \times 1,64 \text{ gr/cm}^3}{100 + 10} = 1,49 \text{ gr/cm}^3$$

Es decir que para 10 % de humedad corresponden 1,490 gr/cm.

Para los otros valores de humedad tenemos el ejemplo las siguientes unidades:

1	10	1,490
2	12	1,515
3	14,5	1,540
4	16,6	1,555
5	19,8	1,555
6	22	1,535
7	23,6	1,515

ENSAYO DE PROCTOR

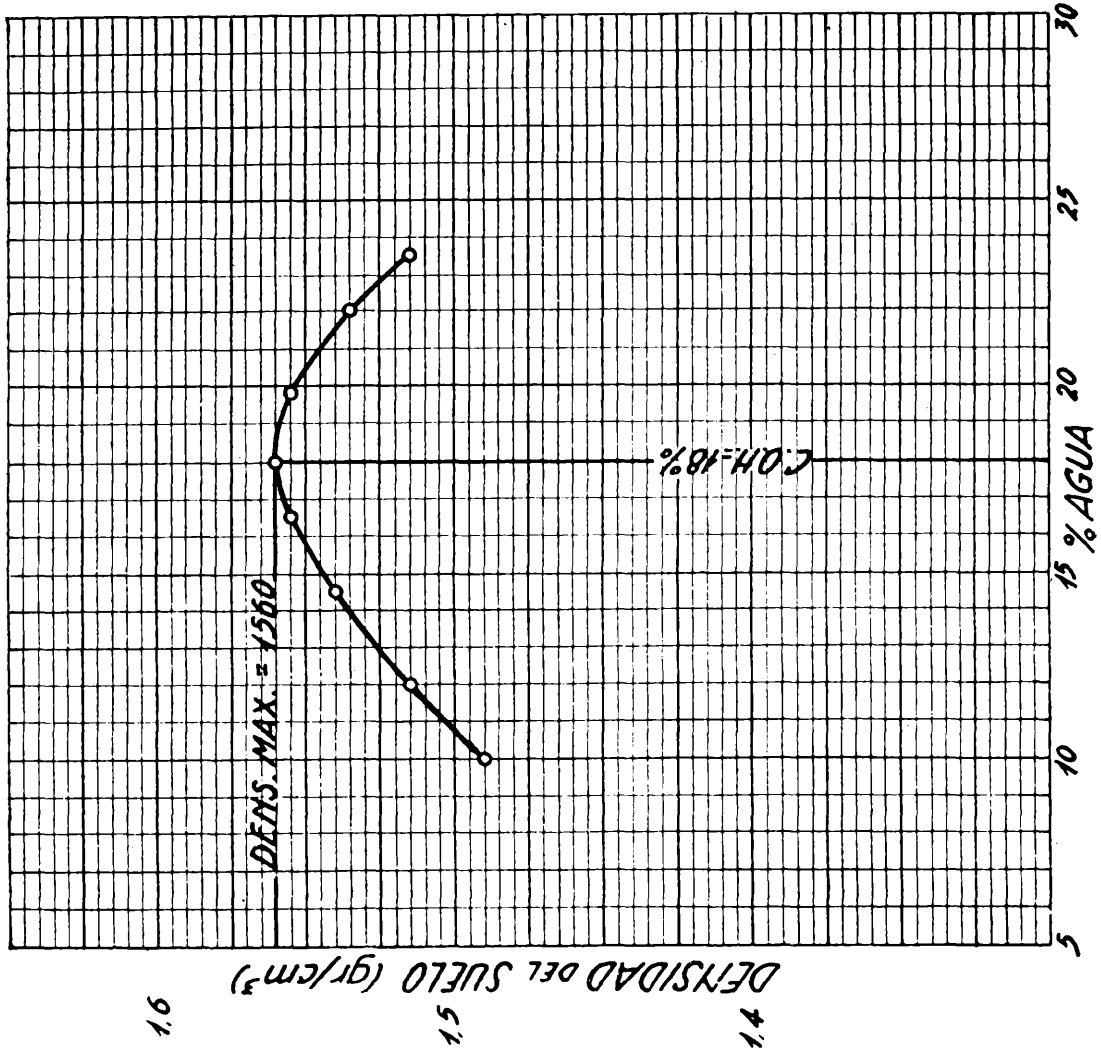
Ruta 3 Fecha
 Tramo Las Flores-Cahacri Operador
 Prog. y N° de Muestra Prog. 13.000 Empresa
D. N. V. Sección C. I. B.

N° de ensayo	% Aprox. de agua	Peso del suelo y molde		Peso del molde	Peso del suelo	Vol. del molde	Densidad del suelo		OBSERVACIONES
		a	b				Húmedo	Seco	
	—	gr.	gr.	gr.	gr.	cm³	$\frac{C}{Vm} = Dh$	$\frac{100 \times Dh}{100 + h}$	
1	X + 5	3.590	2.030	1.560	950	1.640	1.490	Ensayo efectuado con 25 golpes.	
2	X + 7	3.645	»	1.615	»	1.700	1.515		
3	X + 10	3.700	»	1.670	»	1.760	1.540		
4	X + 12	3.750	»	1.720	»	1.810	1.555		
5	X + 15	3.800	»	1.770	»	1.865	1.555		
6	X + 17	3.800	»	1.770	»	1.865	1.535		
7	X + 19	3.795	»	1.765	»	1.860	1.515		
								»	
									»
N° de ensayo			1	2	3	4	5	6	7
N° de pesafiltr			23	24	31	19	14	12	10
Pf + Sh = d			31.450	46.190	32.210	34.440	43.235	42.000	36.540
Pf + Ss = e			30.350	44.170	30.120	31.160	40.005	38.990	32.400
Agua = d - e = u			1.100	2.020	2.090	3.280	3.230	3.010	4.140
Pf = 0			19.350	27.235	15.710	11.400	23.695	25.290	14.860
Ss = m = e - 0			14.000	16.935	14.410	19.760	16.310	13.700	17.540
% humed = $\frac{V}{m} \cdot 100 = h$			10	12	14.5	16.6	19.8	22	23.6

Planilla N° 3. — (Procedimiento 1)

ENSAYO DE PROCTOR

GRAFICO



GRANULOMETRIA

Cribas y tamices	% que peasan
L. L. =	26,5
I. P. =	4

PLANILLA N° 3
(Procedimiento 1)

Ensayo de Proctor

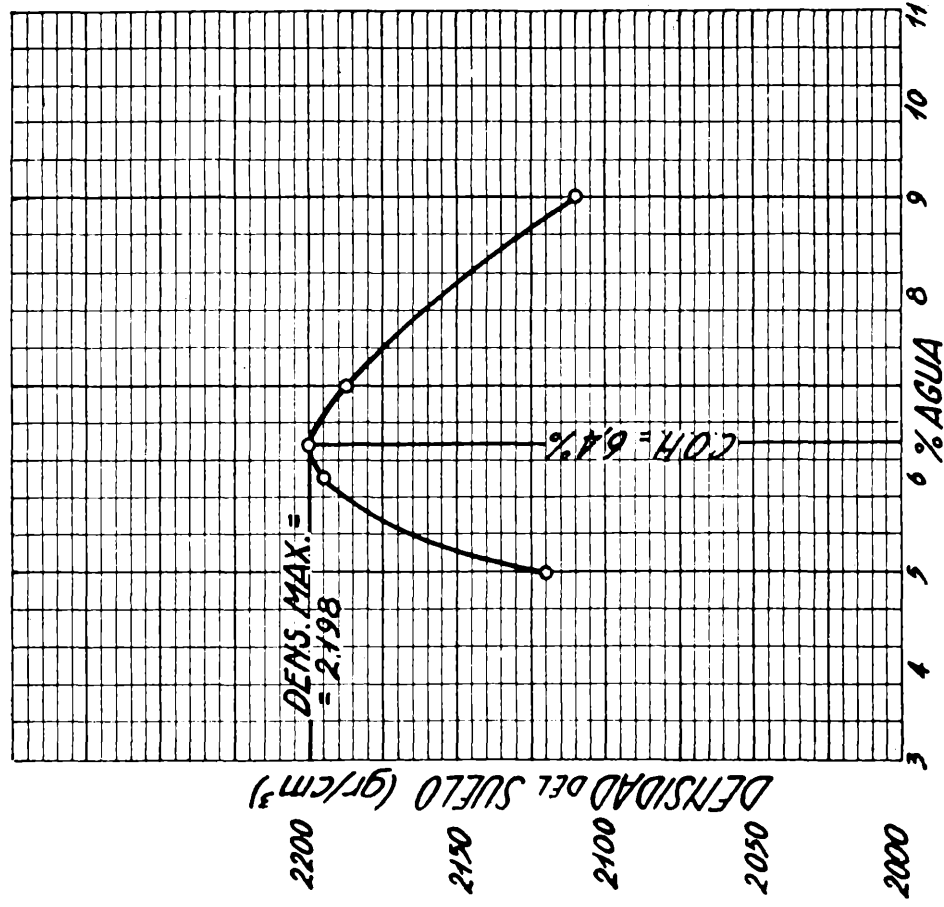
Ruta Fecha
 Tramo Operador
 Prog. y N° de muestra Empresa

D. N. V. Sección C. I. B.

N° de ensayo	Peso del suelo y molde		Peso del molde	Peso del suelo	Vol. del molde	Densidad del suelo		OBSERVACIONES
	a	b				Húmedo	Seco	
% aprox. de agua	gr.		gr.	a-b=c	V_m	$\frac{C}{V_m} = \frac{Dh}{100 + h}$	$\frac{100 \times Dh}{100 + h}$	Ensayo efectuado con 35 golpes.
	gr.		gr.	gr.	cm^3	gr/cm^3	gr/cm^3	
1	4.104	2.029	2.075	2.075	937	2.225	2.120	
2	4.209	»	2.180	2.180	»	2.326	2.194	
3	4.224	»	2.195	2.195	»	2.342	2.188	
4	4.194	»	2.165	2.165	»	2.300	2.110	
N° de ensayo					3	4		
N° de pesafiltro								
Pf. + Sh. = d	4.156		4.178	4.178	4.199	4.258		
Pf + Ss = e	4.010		4.003	4.003	3.996	3.990		
Agua = d - e = u	146		175	175	203	268		
Pf = 0	1.090		1.090	1.090	1.090	1.090		
Ss = m = e - 0	2.920		2.913	2.913	2.906	2.900		
% humed = $\frac{V}{m} \cdot 100 = h$	5		6	6	7	9		

ENSAYO DE PROCTOR

GRAFICO



GRANULOMETRIA

Cribas y tamices	% que psasan
1"	100
$\frac{3"}{4}$	98
$\frac{3"}{8}$	92
4	69
10	49
40	25
200	16
L. L. = 17	I. P. = 2,3

PLANILLA N° 3
(Procedimiento 2)

Estos valores serán graficados a una escala conveniente trazándose una curva que pase por los mismos. Si alguno de ellos estuviera evidentemente fuera de la trayectoria de la curva, demarcada por los otros puntos, se anulará por suponer un posible error.

El contenido óptimo de humedad será la abcisa correspondiente a la ordenada que da la máxima densidad.

En nuestro ejemplo:

$$\begin{aligned} \text{Densidad máxima} & \dots\dots\dots = 1,560 \text{ gr/cm.}^3 \\ \text{Humedad óptima} & \dots\dots\dots = 18 \% \end{aligned}$$

Los datos serán ordenados en la planilla N° 3.

g) Procedimiento 2.

Lo explicaremos desarrollando un ejemplo.

1) Se secan perfectamente en estufa abierta aproximadamente 3 kilos de mezcla anotándose su peso exacto:

$$m_1 = 2920$$

2) Se le agrega la cantidad de agua necesaria para llevar el material al primer contenido de humedad deseado.

Se pesa con la bandeja $d_1 = 4156$

Si la tara de la bandeja $Pf = 1090$

$e_1 = \text{bandeja} + \text{suelo seco} = 1090 + 2920 = 4010$ y el agua del primer ensayo.

$$u_1 = d_1 - e_1 = 146 \text{ grs.}$$

El % de humedad:

$$\frac{u_1 \times 100}{m_1} = \frac{146}{2920} \times 100 = 5 \%$$

3) Se compacta el material en el molde en 3 capas.

4) Se saca el collar y se corta la parte sobrante de material. Cuando se utilizan agregados mayores de 1 cm. en general queda la superficie un poco despareja. Se rellenarán los huecos con cuidado alisando bien la superficie con la cuchara de albañil.

5) Se saca la base, se enrasa y se anota el peso del suelo más el molde $a_1 = 4104$.

6) Se junta el material del molde con el sobrante en la bandeja y el obtenido al hacer el corte después de sacar el collar.

7) Se le agrega el agua para obtener un nuevo contenido de humedad, mezclándola perfectamente.

8) Se pesa la bandeja con la mezcla $d_2 = 4178$.

9) Se compacta en el molde y se pesa una vez sacadas la base y el collar $a_2 = 4209$.

10) Se junta nuevamente todo el material, se agrega un nuevo por ciento de agua y se pesa $d_3 = 4199$.

11) Se repiten las operaciones de compactación y mezclado con agua hasta terminar el ensayo.

12) Se junta todo el material y se seca completamente en estufa abierta anotándose su peso con la bandeja. En el ejemplo que desarrollamos:

$$e_4 = 3990$$

La diferencia:

$e_1 - e_4 = 4010 - 3990 = 20$ gramos es la cantidad de material perdido durante el ensayo.

Cuando este valor sea mayor de 25 gramos se repetirá el ensayo pues cuando las pérdidas alcanzan tal número ya tienen importancia su influencia sobre el contenido de humedad.

Cuando este valor, sea menor de 25 gramos se repartirá aritméticamente en los distintos ensayos.

En ejemplo

$$\frac{20 \text{ grs.}}{3} = 6,66 \text{ grs.}$$

que repartiremos

$$\begin{array}{rcl} e_4 = 4^{\text{a}} \text{ pesada:} & 3990 & \text{grs.} \\ e_3 = 3^{\text{a}} & \text{»} & 3996 \text{ »} \\ e_2 = 2^{\text{a}} & \text{»} & 4003 \text{ »} \\ e_1 = 1^{\text{a}} & \text{»} & 4010 \text{ »} \end{array}$$

Con estos valores y los determinados por pesada para cada contenido de humedad podemos calcular esta última.

Por ejemplo para la 3^a pesada:

$$\begin{array}{rcl} \text{Suelo húmedo} + \text{bandeja} & = & d_3 = 4199 \\ \text{» seco} + \text{»} & = & e_3 = 3996 \\ & & \hline & \text{agua} & 203 \end{array}$$

Nota: Durante la realización del ensayo descrito en el párrafo 12, Procedimiento 2, debe trabajarse con toda prolijidad a fin de no tener pérdidas de material. El proveniente del corte al sacarse el collar y el del molde deberá juntarse después de cada ensayo en la bandeja, cuidando de que no caiga material fuera de ella.

$$\begin{array}{rcl} \text{Suelo seco y bandeja} & = e_3 & = 3996 \\ \text{Bandeja} & = Pf & = 1090 \\ & & \hline & & 2906 \end{array}$$

$$\% \text{ humedad} = \frac{203}{2906} \times 100 = 7 \%$$

Conocida la humedad todos los otros valores se determinan en igual forma que para el primer procedimiento.

Terminado el ensayo de compactación se efectuará un ensayo granulométrico y de plasticidad de la mezcla.

Los datos serán ordenados en la planilla N° 3.

13. Determinación del peso específico absoluto de un material por el método del picnómetro. —

a) El peso específico absoluto de un material es igual a su peso seco dividido por el volumen absoluto.

b) El método descripto a continuación se utilizará para los suelos y para las mezclas graduadas.

Para suelos: Se utilizará el picnómetro de Hubbard o similar y se trabajará aproximadamente con 10 grs. Las pesadas se harán con una precisión de 1 mmg.

Para mezclas graduadas: Se utilizará un frasco perforado como un picnómetro de 2 litros de capacidad y se trabajará con aproximadamente 1000 gramos (si el tamaño máximo de las partículas no excede de 2,5 cm.) cuidando de que la muestra elegida sea bien representativa. Las pesadas se harán con una aproximación de 1 gr.

1) Antes de hacer una determinación el picnómetro será calibrado en la forma siguiente: La botella con la tapa será limpiada, secada y pesada (peso *a*).

Se llenará con agua destilada a una temperatura de 25°C. y se colocará la tapa firmemente. Todo exceso de agua será eliminado de la superficie con un trapo limpio. El picnómetro y el agua serán pesados y el peso (*b*) anotado.

2) Se retirará el agua y se secará el picnómetro. Se llenará con kerosene, se colocará la tapa, se secará la superficie y se pesará (peso *c*).

3) Se retirará el kerosene y se secará el picnómetro, colocándole la cantidad de material recomendada. Se tatará y pesará (peso *d*).

4) Se llenará de kerosene y se insertará firmemente la tapa. Todo exceso de líquido será eliminado de la superficie. El picnómetro con el material y el kerosene será pesado (peso e).

Antes de colocar la tapa se removerá el material con una barrita para evitar que queden burbujas de aire.

5) Con los datos obtenidos en la forma ya descripta, se harán los siguientes cálculos.

$$\begin{aligned} \text{Volumen del picnómetro} &= V = b - a \\ \text{Densidad del kerosene} &= D_k = \frac{c - a}{V} \\ \text{Peso específico absoluto} &= P_{eab} = \\ &= \frac{\frac{d - a}{D_k} - \frac{e - d}{D_k}}{(c + a) - (a + e)} \quad (1) \end{aligned}$$

Nota: Las pesadas a y b que corresponden a la calibración del picnómetro solamente será necesario hacerlas al llegar éste al Laboratorio. Se anotarán estos valores, los que permanecerán constantes en todas las determinaciones posteriores.

14. Medida de la compactación lograda en el terreno. —

Método. Determinación de la densidad utilizando kerosene.

Se deberá tener la densidad de todo el espesor llevado al Laboratorio. Cuando este espesor es mayor que el prácticamente ejecutable se efectuarán 2 determinaciones por separado. El espesor práctico mayor a determinar en una sola vez es de 15 cm. El terrón será preparado de manera que al ser utilizado en el ensayo sus dimensiones sean aproximadamente 10 cm. x 10 cm. x el espesor.

1) La muestra será preparada para cumplir las condiciones anteriores recortándola con cuidado y redondeándola sacando sus aristas. Se cepillará sacándole el polvo.

2) Cuando el tamaño máximo de las partículas sea menor de 2 mm. se extraerá una muestra de humedad representativa de todo el espesor cuyo valor será determinado con un pesafiltro.

Si el tamaño máximo excede de 2 mm. la determinación de humedad se hará por secado en estufa abierta al final del ensayo.

(1) Fórmula final a aplicar.

3) La muestra preparada se atará con un hilo, haciendo un lazo con el fin de poder suspenderla para ser sumergida en el líquido, se cepillará nuevamente y se pesará (Ph).

4) Se sumerge el terrón en el kerosene hasta que el líquido lo cubra por completo (no es necesario que esté suspendido pero se cuidará que al tomar contacto con las caras del recipiente no se pierda material) y se le mantendrá con el mismo hasta tanto continuen saliendo burbujas. Luego se saca y se deja escurrir el líquido adherido superficialmente o se seca con un paño absorbente.

5) Para una serie de ensayos se determinará la densidad del kerosene, preferiblemente con el método del picnómetro y en caso de no tener éste por el de la probeta.

Este valor será anotado (D_K).

6) Se coloca el recipiente en la balanza con kerosene suficiente para que al sumergir el terrón, éste quede cubierto con exceso, pero sin que desborde.

En estas condiciones se equilibra la balanza.

Estando la balanza equilibrada se sumerge el terrón en el recipiente. La balanza se inclinará hacia el lado del terrón y hasta equilibrarla se agregarán pesas en el platillo opuesto. Estas pesas serán anotados (P_K).

Se cuidará que el terrón no toque el fondo ni las paredes del recipiente.

7) Si la muestra es de partículas menores de 2 mm. el ensayo está terminado. Si hay partículas mayores de 2 mm. se secará todo el material en estufa abierta y después se pesará (Ps).

Por diferencia con la primera pesada (Ph) se tendrá el contenido de humedad.

En el caso de muestras de partículas menores de 2 mm. la humedad ha sido determinada con pesafiltro por separado.

b) *Ejemplo de cálculo para muestras de partículas menores de 2 mm.*

Valores obtenidos

Cálculo

$$Ph = 1500 \text{ gr.}$$

$$Vcl. \text{ del suelo} = V_s = \frac{Pk}{Dk} = \frac{712 \text{ gr.}}{0,800 \text{ gr./cm}^3} = 890 \text{ cm}^3$$

$$Dk = 0,800 \text{ gr/cm}^3.$$

$$\text{Dens. húmeda} = Dh = \frac{Ph}{V_s} = \frac{1500 \text{ gr}}{890 \text{ cm}^3} = 1,685 \text{ gr./cm}^3$$

$$Pk = 712 \text{ gr.}$$

$$D. \text{ seca} = D_s = \frac{100 \cdot Dh}{100 + h} = \frac{100 \times 1,685}{100 + 9} = 1,550 \text{ gr./cm}^3$$

$$\% \text{ de humedad por pesafiltro} = h = 9 \%$$

c) *Ejemplo de cálculo para muestras con partículas mayores de 2 mm.*

Valores obtenidos

Cálculo

$$Ph = 1850 \text{ gr.}$$

$$V_s = \frac{Pk}{Dk} = \frac{672 \text{ gr.}}{0,800 \text{ gr/cm}^3} = 840 \text{ cm}^3$$

$$Dk = 0,800 \text{ gr/cm}^3.$$

$$Dh = \frac{Ph}{V_s} = \frac{1850 \text{ gr}}{840 \text{ cm}^3} = 2,200 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pk = 672 \text{ gr.}$$

$$h = \frac{Ph - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{1850 - 1780}{1780} \times 100 = 3,9 \%$$

$$P_s = 1780 \text{ gr.}$$

$$D_s = \frac{100 \cdot Dh}{100 + h} = \frac{100 \times 2,200 \text{ gr/cm}^3}{100 + 3,9} = 2,120 \text{ gr/cm}^3$$

o directamente:
$$D_s = \frac{P_s}{V_s} = \frac{1780 \text{ gr}}{840 \text{ cm}^3} = 2,120 \text{ gr/cm}^3.$$

Todos estos valores serán ordenados en la planilla N° 4.

CAPITULO III

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

Los procedimientos usados en la construcción han variado según el espesor, tipo de mezcla y las exigencias del pliego de especificaciones.

De todos los trabajos ejecutados han surgido algunos métodos que parecen más eficaces y que son los recomendados aquí. Todos ellos se refieren al caso de operarse con niveladoras o motoniveladoras.

15. Subrasante y materiales.— Cualquiera sea el procedimiento usado existen una serie de determinaciones y precauciones comunes a todos ellos que se detallan a continuación.

a) Antes de colocar los materiales.

La subrasante debe estar perfectamente perfilada y controladas todas las determinaciones referentes a ella.

Las imperfecciones de perfil longitudinal son imposibles de corregir una vez depositados los materiales y las de perfil transversal se encarecen por la necesidad de trasladar los caballetes.

Por excepción pueden colocarse materiales cuando la subrasante tiene como único defecto la falta de compactación, la que debe ser conseguida antes de efectuar la distribución.

Si se utiliza suelo de la subrasante se habrá sacado previamente y se depositará en la banquina opuesta.

b) Los materiales deben ser colocados íntegramente en las banquetas si es posible y en último caso utilizando el menor espacio de la calzada. Colocarlos en el centro ofrece inconvenientes cualquiera sea el tipo de subrasante. Cuando se opera con tránsito este deforma las dos huellas en que circula. Además siendo la mezcla permeable mientras está en el caballete las lluvias ablandan perjudicialmente la subrasante si ésta es de suelo plásticos o vegetales ocasionando inútiles demoras.

Los materiales se depositarán en caballetes continuos ya sea efectuando la distribución con equipos mecánicos o corrigiendo con los

obreros las deficiencias en el caso de volcar directamente los camiones.

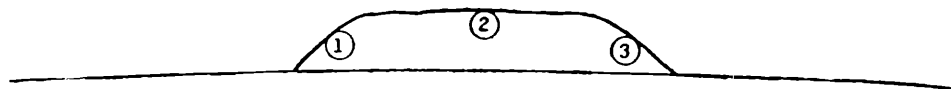
Los caballetes serán chatos a fin de que sea posible colocar sobre ellos otros materiales. El ancho más conveniente de los mismos es el de la caja de los camiones que transportan los materiales.

Cuando se utilice más de un material transportado se colocará uno encima del otro. Esto simplifica las operaciones de mezclado.

c) Si se utiliza suelo de la subrasante, antes de iniciar el mezclado se desparramarán los agregados de manera que queden con una altura no mayor de 7 a 8 cm. a fin de poder colocar el suelo encima con la niveladora, el que será desparramado uniformemente sobre todo el caballete. En esta forma se reduce el número de pasadas necesarias para mezclar.

d) Terminada la mezcla se depositará el material preferiblemente sobre una banquina y se procederá a la extracción de muestras.

e) En caso de duda sobre la uniformidad de la mezcla se procederá en la siguiente forma:



En cada sección transversal se extraerán tres muestras en los puntos 1, 2 y 3 de aproximadamente 10 kilos cada una obtenidas directamente sin ningún cuarteo previo.

Si estas muestras ensayadas individualmente en el laboratorio no dan resultados comprendidos entre los límites especificados, se continuará con las operaciones de mezcla hasta lograrlo.

16. Cálculo de la cantidad de agua a aplicar y control de su aplicación.— Si la mezcla responde a un mismo tipo se ejecutara un ensayo de Proctor cada 3 kilómetros como máximo.

Estos ensayos se agruparán según su granulometría y plasticidad y en cada caso se utilizará el que más se adapte a las características del caballete a distribuir.

El agua total a aplicar se dividirá en la siguiente forma:

1) Agua a aplicar durante el riego previo a la distribución y mezclado con el material.

2) Agua a aplicar durante la distribución.

La cantidad 1) es la única que generalmente se aplica cuando ya se ha hecho el ajuste de las pérdidas, y generalmente es innecesario.

sario efectuar adiciones durante las operaciones de distribución y perfilado.

El porcentaje de agua 1) será:

Porcentaje dado por en ensayo de Proctor menos humedad existente en el caballete más pérdidas previstas.

La humedad existente en el caballete será un dato dado por el laboratorio; a tal efecto se llevará una muestra obtenida cada 200 m. en la misma forma que para el ensayo de granulometría la que será secada en estufa abierta.

La determinación de las pérdidas será efectuada durante todo el transcurso de la obra con el fin de conseguir una tabla que para dicha zona nos de los valores correspondientes a distintos estados de clima.

Ejemplo de cálculo: Supongamos tener los siguientes datos:

Longitud del caballete	500 metros
Peso seco por metro lineal	950 Kg/m.
Humedad de Proctor	7 %
Humedad existente	2 %
Pérdidas previstas	3 %
Agua a agregar	$7+3-2 = 8$ %

Cantidad de agua a agregar por metro lineal

$$\frac{8}{100} \times 950 \text{ Kg/m} = 76,00 \text{ Kg/m} = 76 \text{ l/m}$$

Cantidad de agua para todo el caballete.

$$500 \text{ m.} \times 76,00 \text{ l/m.} = 38,000 \text{ litros}$$

Suponiendo que el caballete se abra en 4 veces la cantidad de agua por capa será:

$$\frac{38000}{4} = 9500 \text{ l/capa.}$$

Si tenemos camiones de las siguientes características.

Nº	Capacidad (litros)	Tiempo de descarga (minutos)
1	3000	6
2	5000	7
3	3600	6

Se calculará la combinación práctica de camiones que de aproximadamente 9500 litros por capa.

Por ejemplo:

Para la 1ª y 2ª capa:

Nº 1	3000 litros
Nº 2 medio camión	2500 »
Nº 3	3600 »
	<hr/>
	9100 litros

y para la 3ª y 4ª capa:

Nº 2	5000 litros
Nº 1	3000 »
Nº 3 medio camión	1800 »
	<hr/>
	9800 litros

El promedio es de $\frac{9800 + 9100}{2} = 9450$ lts. que son aproximadamente los 9500 lts. necesarios.

Como debe preverse que los camiones de agua deben venir en forma continuada el orden de riego será el siguiente:

1ª capa.

- 1º : el Nº 1
- 2º : el Nº 3
- 3º : la mitad del Nº 2.

2ª capa.

- 1º : la mitad del Nº 2
- 2º : el Nº 1
- 3º : el Nº 3.

3ª capa.

- 1º : el Nº 2
- 2º : el Nº 1
- 3º : la mitad del Nº 3.

4ª capa.

- 1º : la mitad del Nº 3
- 2º : el Nº 2
- 3º : el Nº 1.

Longitud que debe regar cada camión:

Cálculo para la 1ª y 2ª capa.

$$\begin{array}{l} \text{Camión N° 1} \dots\dots\dots \frac{3000 \text{ lts.} \times 500 \text{ mts.}}{9100 \text{ lts.}} = 165 \text{ m.} \\ \text{Camión N° 3} \dots\dots\dots \frac{3600 \text{ lts.} \times 500 \text{ mts.}}{9100 \text{ lts.}} = 198 \text{ m.} \\ \text{Mitad del Camión} \\ \text{N° 2} \dots\dots\dots \frac{2500 \text{ lts.} \times 500 \text{ mts.}}{9100 \text{ lts.}} = \frac{138 \text{ m.}}{501 \text{ m.}} \end{array}$$

que cubre casi exactamente los 500 mts. que debemos regar.

Cálculo para la 3ª y 4ª capa.

$$\begin{array}{l} \text{Camión N° 2} \dots\dots\dots \frac{5000 \text{ lts} \times 500 \text{ mts.}}{9800 \text{ lts.}} = 255 \text{ m.} \\ \text{Camión N° 1} \dots\dots\dots \frac{3000 \text{ lts.} \times 500 \text{ mts.}}{9800 \text{ lts.}} = 151 \text{ m.} \\ \text{Mitad del Camión} \\ \text{N° 3} \dots\dots\dots \frac{1800 \text{ lts.} \times 500 \text{ mts.}}{9800 \text{ lts.}} = \frac{92 \text{ m.}}{498 \text{ m.}} \end{array}$$

Para que los camiones distribuyan su carga de agua en las longitudes determinadas anteriormente es necesario hacer un cálculo aproximado de la velocidad a que deben circular los mismos.

Naturalmente que el riego no se efectúa justamente dentro de la velocidad calculada, pero es necesario conocerla aproximadamente a fin de no cometer errores groseros.

Ejemplo de cálculo de la velocidad:

Para la 1ª y 2ª capa.

$$\begin{array}{l} \text{Camión N° 2} \dots\dots \frac{165 \text{ ms.}}{6 \text{ minutos}} \times \frac{60 \text{ minutos}}{\text{hora}} \times \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ ms.}} = 1,65 \text{ km/hora} \\ \text{Camión N° 3} \dots\dots \frac{198 \text{ ms.}}{6 \text{ minutos}} \times \frac{60 \text{ minutos}}{\text{hora}} \times \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ ms}} = 1,98 \text{ km/hora} \\ \text{Mitad del camión} \\ \text{N° 2} \dots\dots \frac{138 \text{ ms.}}{3,5 \text{ minutos}} \times \frac{60 \text{ minutos}}{\text{hora}} \times \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ ms}} = 2,35 \text{ km/hora} \end{array}$$

A veces resulta cómodo controlar la velocidad de riego refiriéndola al tiempo necesario para recorrer 100 metros.

Por ejemplo el camión N° 1 (para la 1ª y 2ª capa) deberá tardar en recorrer 100 metros:

$$\frac{6 \text{ minutos} \times 100 \text{ ms.}}{165 \text{ ms.}} = 3,6 \text{ minutos}$$

17 . Aplicación del agua.— Al ejecutarse los primeros trabajos en revestimientos estabilizados el agua era aplicada durante la distribución en capas delgadas. Este procedimiento no ofreció dificultades mientras se operó con mezclas poco críticas respecto al agua, aunque la densificación lograda no llegó a los valores obtenidos posteriormente.

Cuando se quiso proceder en igual forma al comenzarse a trabajar con mezclas finas y críticas con respecto al agua en las cuales un exceso de humedad de un 1 % con respecto al óptimo producía una completa pérdida de la estabilidad, fué prácticamente imposible lograr resultados satisfactorios y surgió la conveniencia de distribuir el agua uniformemente en toda la masa mediante un procedimiento mecánico de mezcla. El más ampliamente difundido es el de regar pequeñas cantidades desparramadas en un ancho de 2 a 2,5 metros mezclando luego con niveladoras. Estas capas son juntas en uno o en dos montones y dejados durante la noche antes de efectuar su distribución.

En el diagrama N° 1 se indica el procedimiento más comunmente usado.

Antes de autorizar ningún riego de agua se exigen las siguientes precauciones:

1) Las referencias para determinar el eje habrán sido colocadas. Se tendrá un punto como máximo cada 100 metros.

2) El caballete seco estará perfectamente ubicado en la línea elegida para iniciar el riego. Si es necesario se efectuarán correcciones con la niveladora, pues una vez iniciado el riego los trabajos son continuados en general sin interrupción durante las horas laborales hasta completar la distribución.

3) Conocer las características de los camiones regadores. El tipo más conveniente es evidentemente aquel cuyo caudal de agua durante el riego le permite circular a la velocidad de trabajo de la motoniveladora. En esta forma no hay demoras por falta de ajuste de los equipos.

PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACION DEL AGUA

SE UTILIZARA PARA LOS CASOS EN QUE LA COMPACTACION SE HACE EN UNA SOLA CAPA QUE CORRESPONDE A LOS SIGUIENTES ESPESORES:
 PARA MEZCLAS CUYO TAMAÑO MAXIMO ES DE $\begin{matrix} 1 \text{ cm.} \\ 25 \text{ cm.} \end{matrix}$: ESPESOR MAX. COMPACTADO APROXIMAD. $\begin{matrix} 15 \text{ cm.} \\ 10 \text{ cm.} \end{matrix}$



Caballetes mezclados y secos. Se encontrará perfectamente centrado.



Riego de la 1^a capa

Se desparramará aproxim. 0.12 m^3 en un espesor uniforme y en un ancho aproximado de 2m. aplicando el agua necesaria a ese volumen.



Se recoge en un caballete la parte humedecida.

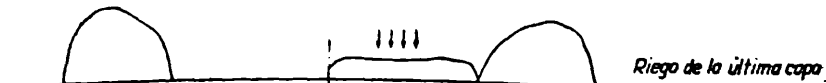
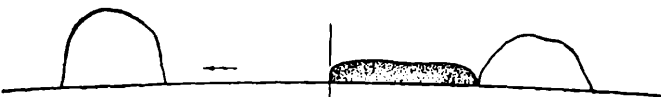


Riego de la 2^a capa

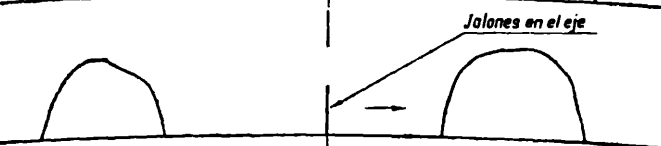
Se continúan regando las otras capas en igual forma.



Riego de la penúltima capa

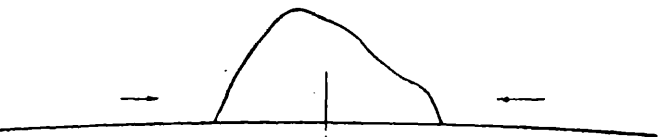


Riego de la última capa



Jalones en el eje

Cuando ambos caballetes húmedos están en ambas costados se colocan jalones en el eje y se traen al centro.



Caballete humedecido totalmente y perfectamente centrado.

DIAGRAMA N° 1

18. Distribución y compactación.— La distribución de materiales debe ser una operación rápida y continuada sin inútiles demoras a fin de evitar que en condiciones desfavorables de tiempo varíen las condiciones supuestas de humedad. Con tal fin se deberán tener dispuestos los caballetes de manera que no sean necesarios los reperfilados que además de encarecer el trabajo ocasionan segregaciones de material en el caso de operarse con agregados gruesos y

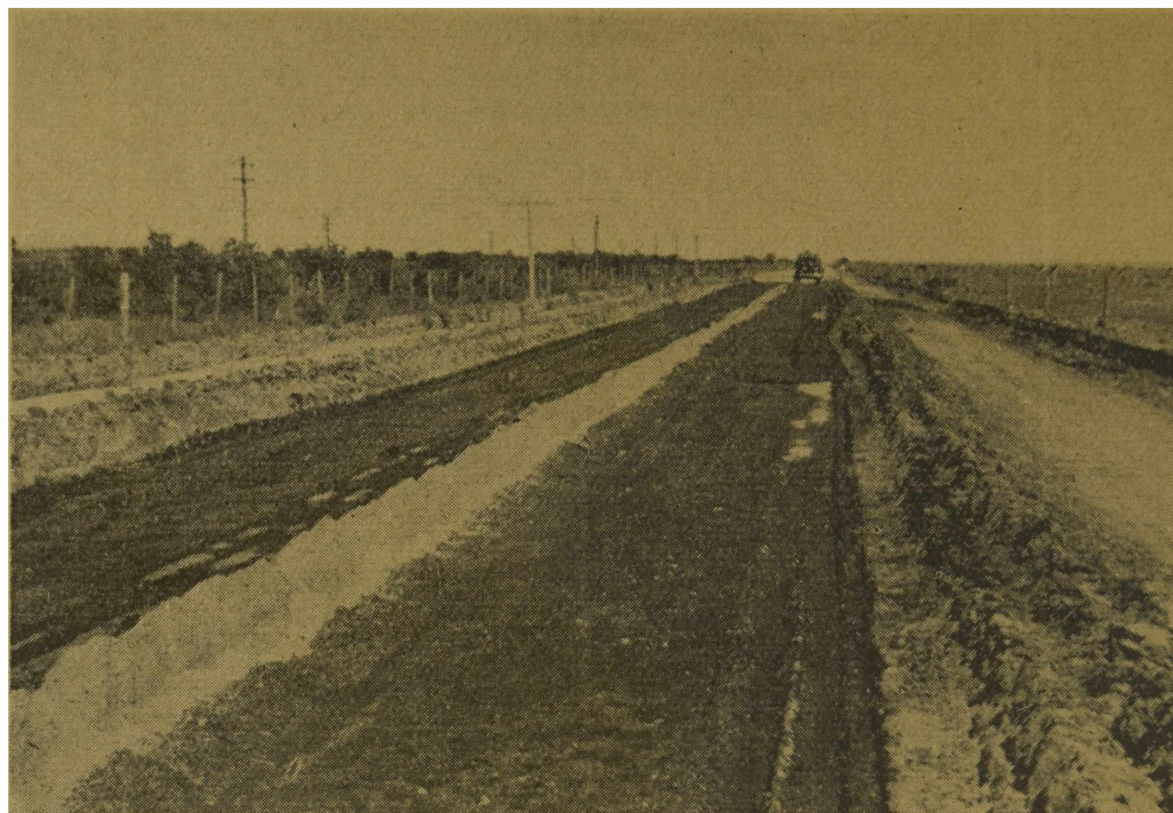


FIG. 7. — Riego y uniformación de humedad. En la figura puede observarse una capa ya regada, otra que se está regando, y el caballete de materiales secos en el centro.

dan origen a extratificaciones cuando se opera con mezclas finas.

Este último defecto es mucho más importante que el primero y a menudo obligó a escarificar largos tramos a causa de la importancia de las deficiencias existentes. Como siempre eran ocasionados por la aplicación de capas delgadas, durante las operaciones de terminación de la calzada estos inconvenientes fueron evitados tomando en cuenta las siguientes precauciones;

1) El perfilado debe ser logrado siempre, operando con la cuchilla de la niveladora de manera que envíe el material hacia afuera. En esa forma la superficie lograda es siempre una superficie de corte.

2) Cuando la compactación se efectúe por capas el espesor de las mismas no debe ser llevado a valores inútilmente pequeños. Como mínimo debe ser de 5 cm.

3) Antes de iniciar la distribución el caballete de materiales se dispondrá con toda exactitud en la alineación elegida, de manera que una vez iniciado el trabajo los materiales queden en la posición definitiva sin necesidad de efectuar dobles movimientos.



FIG. 8. — La operación de aplicar el agua casi terminada. A fin de uniformar la humedad todo el material es nuevamente juntado en un caballete central.

Con el fin de cumplir las condiciones anteriores en los trabajos iniciados más reciente el procedimiento constructivo adoptado ha sido el indicado en el diagrama N° 2.

La marcha del trabajo operando en dicha forma, describe a continuación:

1) Cada 10 metros se tendrán colocadas estacas que limiten exactamente el ancho en que debe trabajarse.

2) El caballete de materiales húmedos será colocado exactamente en el centro.

3) La distribución será iniciada achatando el caballete hasta llegar a 50 cms. de la línea señalada por las estacas.

4) Mediante cortes hacia afuera se irá dando el perfil defini-

DISTRIBUCION Y PERFILADO

PARA LOS CASOS DE COMPACTACION EN UNA SOLA CAPA UTILIZANDO :
RODILLO NEUMATICO MULTIPLE : PARA MEZCLAS CUYO TAMAÑO MAXIMO ES DE 2,5 cm.
RODILLO NEUMAT. MULTIPLE Y PATA DE CABRA : " " " " " " " " 1 cm.

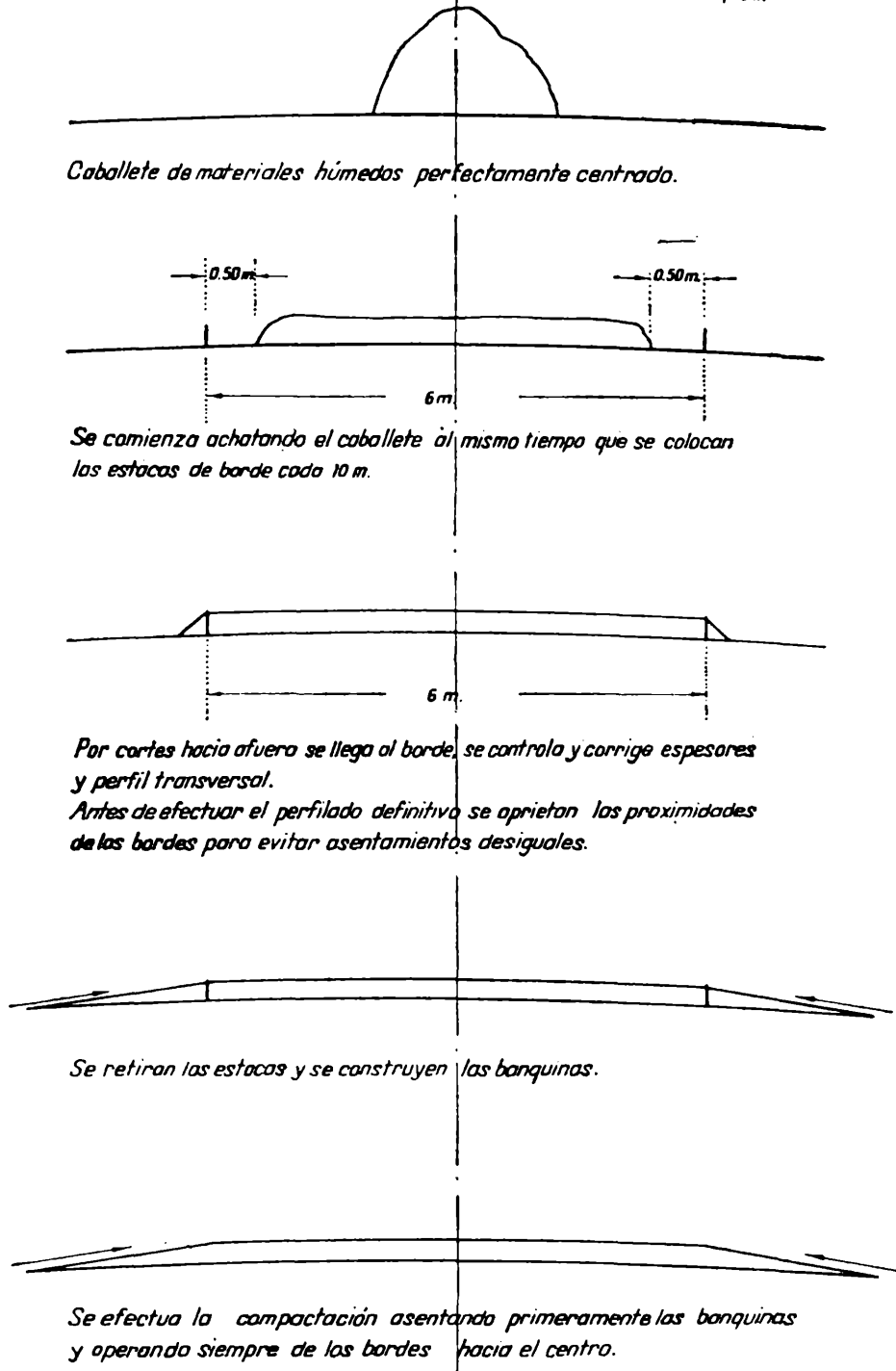


DIAGRAMA N° 2

tivo operando de manera que al quedar cubierto todo el ancho se haya obtenido la sección transversal definitiva.

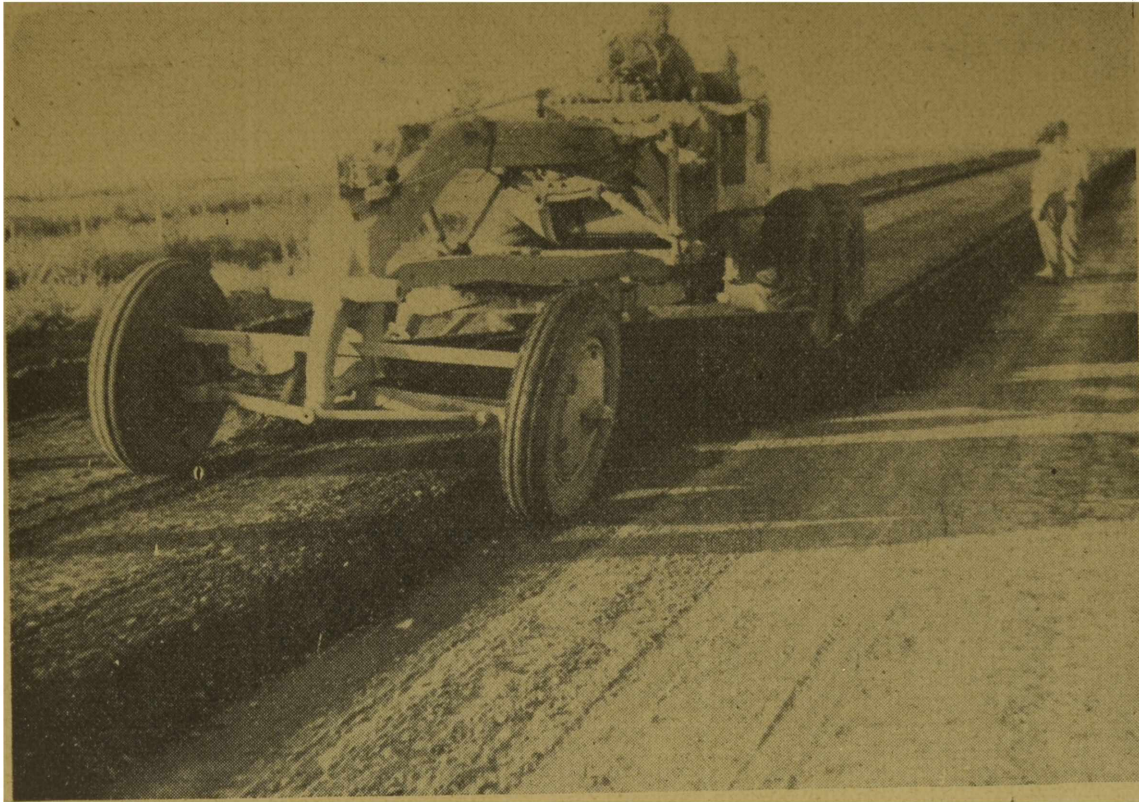


FIG. 10. — Distribuyendo. Una vez centrado el caballete humedecido se comienza a achatarlo con la motoniveladora.

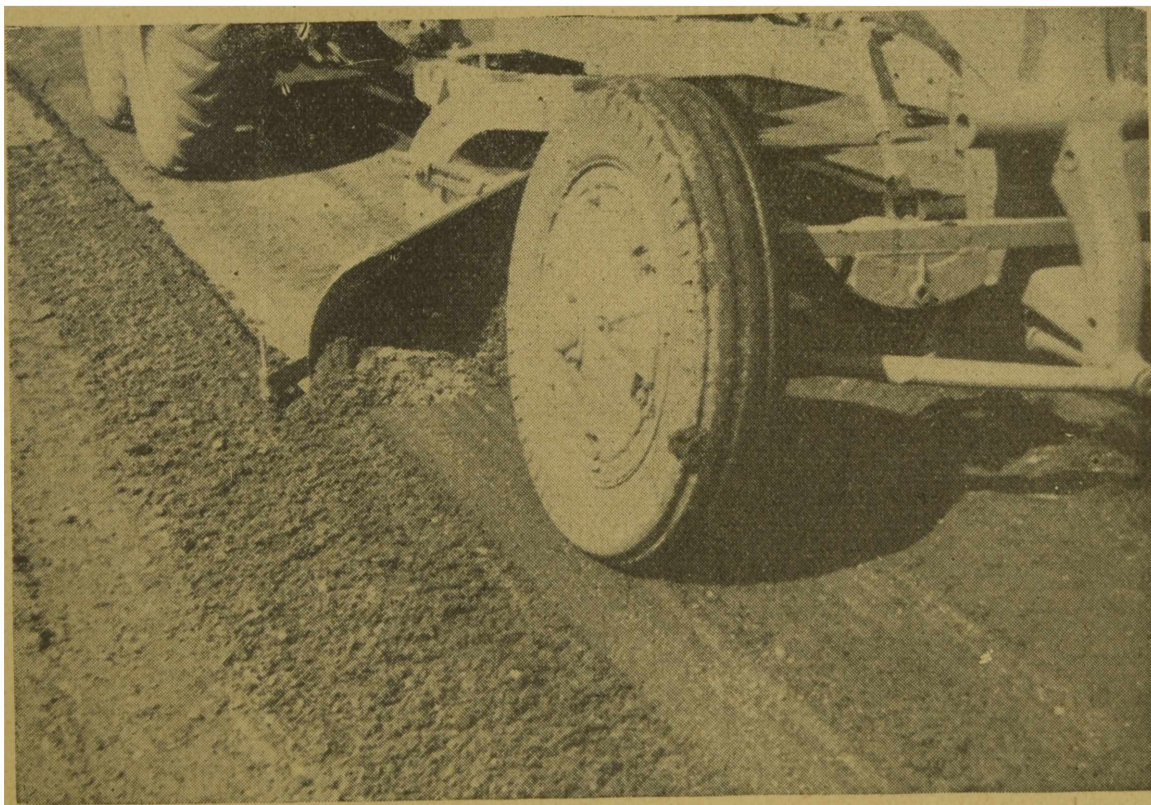


FIG. 11. — El perfilado en las proximidades de los bordes. La cuchilla arroja pequeñas cantidades hacia afuera.

5) Como las ruedas de la motoniveladora al circular con mayor frecuencia por la parte central efectúan un comienzo de compactación este efecto debe ser compensado mediante algunas pasadas en la zona de los bordes (aunque sin llegar exactamente a los mismos) a fin de evitar posteriormente asentamientos desuniformes.

6) En ambos extremos será preparada una sección transversal correcta y apoyando la cuchilla de la niveladora sobre las mismas se recorrerá todo el tramo sin cambiar su posición.

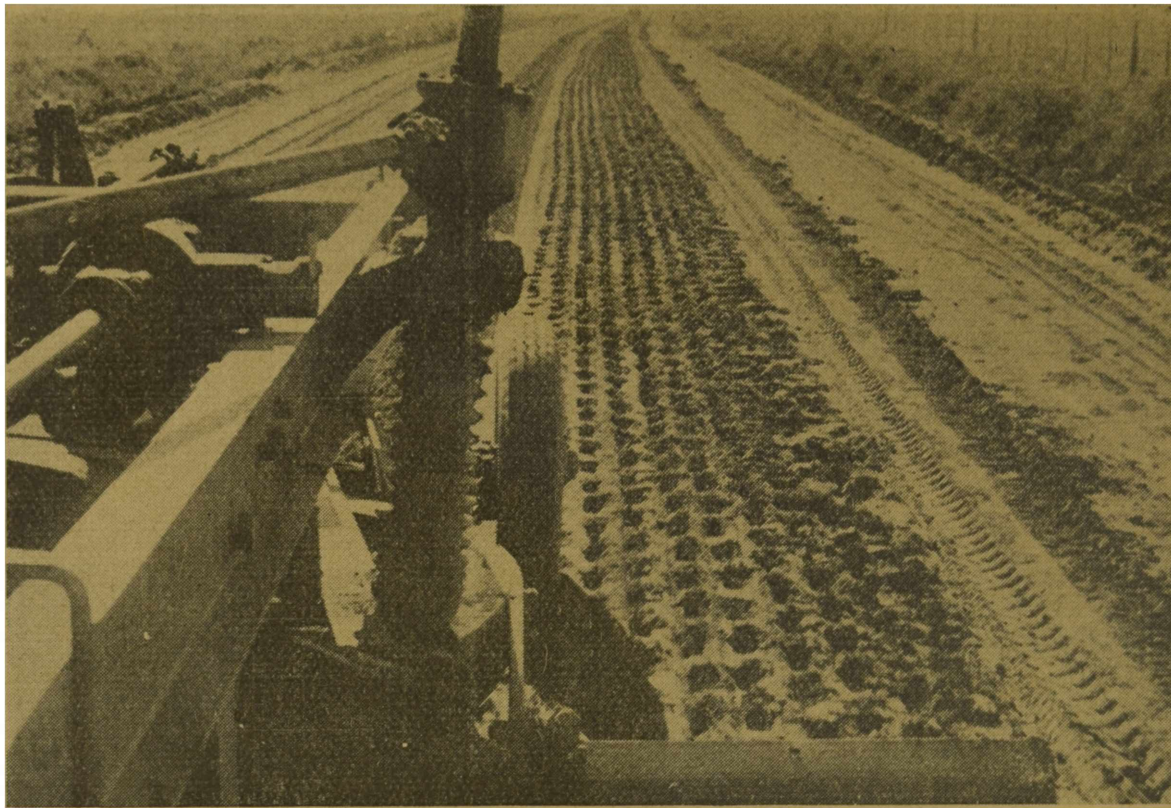


FIG. 12. — Efectos del rodillo pata de cabra al iniciar la compactación.

7) Se controlará el perfil transversal con el gábilo y los espesores sueltos. Si el espesor suelto está por debajo de las tolerancias fijadas, se corregirá trayendo material de los extremos dejándolo en montones sobre la calzada y distribuyéndolo con la niveladora.

8) Retiradas las estacas de borde serán ejecutadas las banquetas y recién una vez terminadas estas se iniciará la compactación operando constantemente desde los bordes hacia el centro.

Este procedimiento además de eliminar los defectos señalados ha

permitido lograr una notable precisión en la obtención de los espesores proyectados, lo que es sumamente importante cuando se ejecutan bases en los cuales aquellos son reducidos.

19. Determinación de la pérdida de humedad. — Al iniciarse la compactación se tomarán muestras representativas de la humedad. Cada 50 metros se extraerá una muestra de todo el espesor las que serán agrupadas de a cuatro y guardadas en un recipiente al abrigo del sol y las corrientes de aire hasta su ensayo.



FIG. 13. — Compactación utilizando rodillo neumático solamente. Su efecto sobre una mezcla a contenido óptimo de humedad.

Supongamos los siguientes datos:

Longitud del caballete	500 metros
Peso por metro lineal	950 Kgs.
Humedad existente antes del riego	3 %
Agua total agregada	36.000 lts.

Humedad constatada al iniciar la compactación 7,5 %.

El porcentaje de agua agregada será:

$$\frac{36000 \text{ ls.}}{500 \text{ ms.} \times 950 \text{ Kg/m}} = 7,6 \%$$

La pérdida será: humedad existente antes del riego, más humedad agregada, menos humedad constatada al iniciarse la compactación, o sea $3 + 7,6 - 7,5 = 3,1 \%$.

Este será el valor que se introducirá bajo la denominación de pérdidas previstas al hacer el cálculo del agua a regar en un caballete.

CAPITULO IV

ORGANIZACION DE UNA INSPECCION PARA CONTROL DE LA EJECUCION DE UN CAMINO DE BAJO COSTO

20. — Aunque solo nos ocuparemos en detalle de la parte referente a la base estabilizada, indicamos a continuación como está organizada en conjunto la Inspección completa para la atención de un camino de bajo costo.

Naturalmente que ello depende de la forma en que la Empresa constructora regule los trabajos, pero generalmente la forma en que están dispuestos los mismos es la siguiente:

5 a 6 km. adelante de la ejecución del recubrimiento con suelo seleccionado se efectúan las correcciones de rasante efectuando pequeños movimientos de tierra.

5 a 6 km. adelante de la ejecución del revestimiento estabilizado se construye el recubrimiento con suelo seleccionado, en el que operan generalmente dos equipos: uno que atiende el transporte y otro que opera con extracción lateral.

Estas distancias varían notablemente durante el plazo en que se ejecuta la obra, pues las condiciones de tiempo influyen en distinta forma según el trabajo que se esté ejecutando. Anotamos las longitudes que las separan al iniciarse los trabajos: 3 a 4 km. y 2 a 3 km. respectivamente adelante de la ejecución del revestimiento estabilizado se efectúa la preparación de la base y la colocación de los materiales.

La imprimación y el tratamiento bituminoso que son las operaciones posteriores al revestimiento estabilizado están retrasadas respecto al mismo por longitudes que varían grandemente según las condiciones de tiempo y tránsito.

El personal de inspección para atender estos trabajos está distribuido como sigue:

Ingeniero inspector	Conductor de obra	Movimiento de la tierra común:	1 sobrestante.	
		Recubrimiento de suelo seleccionado	Con transporte:	1 sobrestante.
			Con extracción lateral:	1 sobrestante.
		Laboratorio	1 para suelos.	
		2 laboratoristas	1 para revestimiento estabilizado y agregados para tratamiento.	
		Revestimiento estabilizado	1 sobrestante para preparación de base.	
1 apuntador para materiales.				
1 sobrestante para control del revestimiento estabilizado.				
	Tratamiento bituminoso:	1 sobrestante.		

Explicaremos aquí las funciones del personal encargado de la atención del recubrimiento con suelo seleccionado, laboratorio y revestimiento estabilizado.

21. Funciones del sobrestante encargado del recubrimiento con suelo seleccionado. —

1) Aprobación de la base existente.

Oportunamente recibirá de sus superiores la autorización para permitir la construcción del recubrimiento con suelo seleccionado. Esta aprobación significa que la obra básica tiene la cota correspondiente y que el perfil transversal y la compactación están de acuerdo con las especificaciones.

Deberá controlar si se cumplen las exigencias respecto a perfil longitudinal y si el perfil transversal no ha sufrido deformaciones desde la fecha de su aceptación.

Deberá determinar si las condiciones de humedad de la obra básica, permiten su recubrimiento con una nueva capa de suelo.

2) Control de la ejecución del recubrimiento con suelo seleccionado.

a) Con una anticipación de 5 a 6 km. respecto al trabajo en ejecución tendrá todos los datos necesarios:

Aprobación de préstamos: Si cumplen las condiciones especificadas.

Ensayo de Proctor: Conocerá para cada tipo de suelo el contenido óptimo y la densidad a obtener.

A tal efecto enviarán al Laboratorio las muestras correspondientes y solicitará los resultados.

b) Determinará en el terreno los porcentajes de agua a agregar, para lo cual tendrá los elementos necesarios.

c) Controlará que antes de iniciarse el riego el espesor suelto o el volumen de suelo depositado en caballete sea suficiente para obtener el espesor compactado necesario, para lo cual efectuará tres determinaciones cada 100 m.

d) Controlará que antes de iniciarse la compactación la humedad esté uniformemente distribuída, lo que hará por apreciación visual.

e) Al terminarse una sección verificará el perfil longitudinal y transversal y extraerá las muestras para determinación de la densidad obtenida las que llevará inmediatamente al Laboratorio y de acuerdo a los resultados dispondrá la aceptación o rechazo de dicha sección.

3) Toda la información referente a cada sección ejecutada (en condiciones normales, la longitud de la misma varía entre 200 y 400 m.) la resumirá en la planilla N° 5.

PLANILLA N° 5
Dirección Nacional de Vialidad
Sección C. I. B.

Ruta Tramo
Control de suelo seleccionado.
Progresiva a progresiva lado
Espesor del préstamo

Croquis del préstamo (se indicará lado, ancho y longitud refiriéndolo al lugar donde se colocó el material).

Colocación de la tierra en el terraplén: Fecha
Pala mecánica N° Horas
» de buey »
Elevadora » Camiones N° Horas

Compactación: Fecha
Rodillo pata de cabra: tipo N° Horas
» neumático N° Horas Rastra de discos N° Horas
..... Regadores N° Capacidad total Horas
Agua aplicada Lts.

Perfilado: Fecha
Niveladora tipo Hs. Motoniveladora tipo Hs.

Personal:
Capataces: horas Peones: horas

Observaciones
.....
.....
.....

PLANILLA N° 6

Dirección Nacional de Vialidad

Sección C. I. B.

Parte diario N°

Ruta Tramo
Sección Km a km.

Preparación de base. Fecha

Corrección de rasante: M³
 Agua aplicada L.
 Niveladora Horas
 Rodillo neumático »

Perfilado:
 Prog. a Prog. Long.
 Agua aplicada L.
Equipo:
 Niveladora Horas
 Rodillo neumático »

Regadores N°

Personal: Capataces Peones

Observaciones:
.....
.....
.....

Firma

22. Funciones del sobrestante encargado de la preparación de la base. — 1) Recibirá de sus superiores la autorización para aprobar cada sección. Esta autorización supone que: La densificación ha sido lograda, el espesor del recubrimiento con suelo seleccionado está dentro de los límites fijados y el perfil solo requiere los retoques necesarios para que reproduzca el que tendrá finalmente la calzada.

Esta autorización es efectuada en base a las determinaciones hechas en el momento de construcción y al control de espesores efectuado en el momento indicado por las especificaciones.

2) Deberá controlar:

a) Que la base tenga una compactación uniforme para lo cual revisará cuidadosamente la misma, haciendo reemplazar todos los lugares excesivamente húmedos o donde haya acumulaciones de polvo suelto, por material adecuado debidamente compactado.

b) Que el perfil transversal y longitudinal responda con las tolerancias fijadas en las especificaciones a las indicaciones de los planos.

3) Toda la información obtenida durante los trabajos de preparación de base, deberá resumirla en la planilla N° 6.

23. Funciones del apuntador encargado del control de materiales. — El Sobrestante encargado de la preparación de la base le comunicará las secciones del camino en las cuales es posible colocar materiales.

El apuntador encargado del control de los materiales para el revestimiento estabilizado, debe anotar la ubicación en el camino de todos los componentes de la mezcla. Las cantidades colocadas se controlan por el volumen de los camiones los que deben llevar un número bien visible que identifique su capacidad.

Por cada camión desparramado entrega un vale en el que debe colocar las siguientes anotaciones:

Ruta..... Tramo.....
Camión N°..... Capacidad..... m³. Material.....
Distribuído entre Prog..... y Prog.....
Longitud en que fué desparramado
Fecha Firma.....

El personal del contratista coloca estacas entre las progresivas en que se desparraman los camiones y el apuntador de la Inspección controla si la separación entre las mismas responde a las indicaciones del proyecto de mezcla.

Diariamente obtendrá el total de materiales colocados y entregará la copia de los vales expedidos al conductor de obra.

24. Funciones del sobrestante encargado del control de ejecución del revestimiento estabilizado. — El Sobrestante encargado de la preparación de la base le comunicará cuando sobre la misma es posible la iniciación del revestimiento estabilizado:

Sus funciones consisten en:

1) Conocerá la cantidad total de materiales por metro lineal de camino. Si la Inspección controla todos los colocados lo obtendrá de los vales expedidos. En caso contrario lo determinará por mediciones del caballete una vez mezclado.

2) Controlará si la mezcla ha sido ejecutada satisfactoriamente, lo que hará por apreciación visual si se han ejecutado las operaciones necesarias o controlando según lo indicado en el párrafo 15-e si existen divergencias con el contratista.

3) Extraerá las muestras para determinaciones granulométricas y contenido de humedad y calculará el agua necesaria para la compactación según lo explicado en el párrafo 16.

4) Durante el riego y la distribución cuidará que se cumpla lo indicado en los párrafos 17 y 18.

5) Todos los datos obtenidos los resumirá en la planilla N° 7.

25. Laboratoristas. — Ejecutan y ordenan en las planillas correspondientes todos los ensayos explicados en el Capítulo II.

Todos los trabajos exigen que antes de ser ejecutados se haya realizado en la etapa anterior una serie de controles que aseguren su eficacia y a fin de que ninguna operación posterior sea realizada sin tener el resultado de los mismos, se lleva en las obras la planilla N° 8 en la que se anotan todos los datos y en base a lo cual el Ingeniero o el Conductor de obra, autorizan a los restantes a aprobar el trabajo que tiene cada uno a su cargo.

PLANILLA N° 7
Dirección Nacional de Vialidad
Sección C. I. B.

Parte diario N°

Ruta 3 — Tramo

Sección km. a km.

Revestimiento estabilizado. Fecha

Caballete de Prog. a Prog.

Mezclado:

Horas de trabajo de

» » » »

Riego de agua:

Cantidad de litros

Equipo:

Camiones regadores N°

Niveladora Horas

Distribución y compactación:

Niveladora Horas ..

Cantidad de agua aplicada Ls.

Rodillo neumático Horas

» liso »

Personal: Capataces Peones

Observaciones:

Firma

DIRECCION NACIONAL DE VIALIDAD

PLANILLA N° 8

Ruta Tramo Prov. o territorio de

1	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.
Progresivas										
Fecha de ejecución										
Densidad obtenida										
Densidad necesaria										
Espesor necesario										
Espesor obtenido										
L. L.										
L. P.										
Fecha de ejecución										
Densidad obtenida										
Densidad necesaria										
Espesor obtenido										
Espesor necesario										
1/m ² coloc. lado der. imprimación										
1/m ² coloc. lado izq. imprimación										
(³) Fecha de ejecución de la imprimac.										
(⁴) Fecha de ejecución de la carpeta										
1/m ² coloc. lado derl.										
1/m ² coloc. lado izq.										
Agregado grueso kg/m ²										
Agregado fino kg/m ²										

Tratam. bituminoso Revest. estabilizado (²) Suelo seleccionado (¹)

INDICE

CAPÍTULO I. — Evolución, estado actual y tendencias en la dosificación, ensayos y técnica constructiva.		PÁG.
Párrafo 1.	Granulometrías	14
» 2.	Indice de Plasticidad	16
» 3.	Densificación de las mezclas	18
» 4.	Características de la subrasante	20
» 5.	Equipos	21
CAPÍTULO II. — Ensayos que se ejecutan en los laboratorios de campaña.		
Párrafo 6.	Elementos de un laboratorio de campaña	23
» 7.	Extracción y cuarteo de muestras	26
» 8.	Ordenamiento de las muestras	28
» 9.	Ensayo granulométrico de las muestras de revestimiento estabilizado	28
» 10.	Determinación de la humedad	34
» 11.	» del Indice de Plasticidad	36
» 12.	» de la relación densidad-humedad mediante el ensayo de Proctor	36
» 13.	Determinación del peso específico absoluto de un material por el método del picnómetro	46
» 14.	Medida de la compactación lograda en el terreno	47
CAPÍTULO III. — Procedimientos constructivos.		
Párrafo 15.	Subrasante y materiales	51
» 16.	Cálculo de la cantidad de agua a aplicar y control de su aplicación	52
» 17.	Aplicación del agua	56
» 18.	Distribución y compactación	58
» 19.	Determinación de las pérdidas de humedad	63
CAPÍTULO IV. — Organización de una inspección para control de un camino de bajo costo.		
Párrafo 20.	Organización general	65
» 21.	Funciones del sobrestante encargado del recubrimiento con suelo seleccionado	66
» 22.	Funciones del sobrestante encargado de la preparación de la base	71
» 23.	Funciones del apuntador encargado del control de materiales	71
» 25.	Laboratoristas	72

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES BITUMINOSOS

POR LOS INGS.

ALBERTO M. PODESTA Y EGBERTO F. TAGLE

**GENERALIDADES. — I. ORIGENES. - HISTORIA. - DEFINICIONES.
CARACTERISTICAS - IMPORTANCIA ACTUAL
II. PLAN DE EXPOSICION**

I. ORÍGENES. — La aparición de los automotores, y su utilización como medio efectivo de transporte a partir del primer decenio de nuestro siglo, planteó a los Ingenieros de Caminos, problemas nuevos cuya complejidad ha ido en aumento a medida que este medio de locomoción fué perfeccionándose en sus características actuales de velocidad y capacidad de carga.

Las superficies de rodamiento de las calzadas de entonces que se consideraron aptas para el servicio de las necesidades impuestas por el tránsito a sangre existente, probaron muy pronto ser deficientes para ese nuevo medio de transporte. Dos factores contribuyeron fundamentalmente a provocar esta situación. Por una parte el grave inconveniente que suponía para los automotores el tener que circular sobre calzadas inestables por la acción de las lluvias haciendo difícil o imposible el tránsito; por otra, la circunstancia de que estando en condiciones de sequedad, la acción de los rodados neumáticos sumada a la de los remolinos de aire producidos por la alta velocidad de marcha, provocaba una rápida y progresiva desintegración y segregación de las partículas en su superficie de rodamiento. Era pues, necesario proveer a estas calzadas de características tales, que les proporcionaran resistencia a la acción erosiva del tránsito e impermeabilidad o bien, cuando ésta última condición se cumpliera imperfectamente, elevada fricción interna para impedir que un acrecentamiento del contenido de humedad se tradujera necesariamente en una pérdida perjudicial de su estabilidad.

Dos tendencias se presentaron para solucionar el problema: la primera dirigida a dar a la base o calzada en todo su espesor, las características de resistencia al desgaste e impermeabilidad necesarias para asegurar su integridad y estabilidad; la segunda, encaminada hacia el aprovechamiento de la base o calzada en sus condiciones medias de estabilidad, confiriendo a una cubierta o carpeta de recubrimiento, la función de reunir las características aludidas. Por supuesto que entre ambas tendencias, la técnica caminera ha desarrollado una cantidad de soluciones intermedias. La primera tendencia se habría traducido en las denominadas calzadas de « tipo superior », tales como las de hormigón armado, granitullo, concreto asfáltico, macadam a penetración, etc., calzadas todas de condiciones bien comprobadas para resistir elevados valores de tránsito, tanto en lo que respecta al número de vehículos como a su capacidad de carga. La segunda tendencia auspiciada como más racional y seguramente más próxima a la consideración de motivos económicos inmediatos, se fué reflejando en el auge de las calzadas llamadas de tipo « inferior » e « intermedio », tales como las de macadam al agua, enripiados, entoscados, « sand-clays » y las muy recientes « bases estabilizadas », cuya técnica de proyecto y ejecución significa actualmente uno de los capítulos más interesantes de la técnica vial; estos tipos de calzada incluyen o no (frente a las necesidades impuestas por un tránsito determinado) un recubrimiento formado por una capa o carpeta de las características anteriormente aludidas. En lo que sigue, se estudiarán los tratamientos superficiales bituminosos como un caso particular de estos recubrimientos o revestimientos.

Probablemente, los primeros esfuerzos tendientes a la protección de las superficies de rodamiento contra la acción erosiva del tránsito, y a la eliminación del polvo en los caminos, mediante aplicaciones superficiales de sustancias bituminosas, habrían mostrado a los ingenieros encargados de ejecutarlos y controlarlos, la posibilidad de emplear esos materiales en la ejecución de recubrimientos capaces de suministrar las buscadas características de resistencia a la acción erosiva de los rodados e impermeabilidad protectora de la estabilidad de la base y sub-base. Aunque brevemente, se estima aclaratorio citar algunos antecedentes relativos a esos esfuerzos iniciales.

HISTORIA. — En el continente Europeo y en particular en Francia, se realizaron las primeras tentativas de utilización de un material bituminoso para ligar las partículas pétreas e impedir su remoción bajo la acción del tránsito. Fué en el año 1867 que C. Teller, propuso reemplazar las calzadas de macadam por capas sucesivas de granilla y alquitrán bien mezclados. Más tarde y durante los años comprendidos entre 1871 y 1900, los ingenieros Francou, Christofle, Lavigne y Girardeau, utilizaron, con aceptables resultados, procedimientos similares, siempre a base de alquitrán.

En el año 1900 el ingeniero Rimini introdujo una modificación que abrió un campo de grandes posibilidades a la utilización de los materiales bituminosos: mediante la adición de un aceite volátil, obtuvo un alquitrán adecuadamente flúido desde el punto de vista de su manipulación al ser incorporado, pero que endurecía rápidamente después de aplicado desarrollando así con celeridad sus cualidades ligantes. Se trataría del primer intento realizado con materiales bituminosos de las características de los denominados « cut-backs » por la técnica estadounidense.

En 1901, el doctor Guglieminetti, de Monte Carlo, tuvo la idea de eliminar el polvo de los caminos, mediante aplicaciones superficiales de alquitrán fluidificado a temperaturas altas. El suceso obtenido determinó una rápida generalización de esas prácticas; y ya en 1908, en el Primer Congreso Internacional de la Ruta reunido en París, fué dable observar numerosos trabajos que destacaban la eficiencia de los tratamientos superficiales bituminosos.

Por lo que hace a los EE. UU. de N. América, deben citarse los primeros trabajos efectuados en Santa Bárbara (California), en 1894, tendientes a aplacar el polvo en los caminos mediante la aplicación superficial de aceites livianos, provenientes de la destilación incompleta de petróleos livianos o constituídos directamente por ciertos petróleos de características dadas. (De esta aplicación nació la denominación de « Road Oils »: aceites para caminos). Los resultados obtenidos fueron tan halagüeños que se superaron las finalidades perseguidas, lográndose superficies de rodamientos sensiblemente mejoradas. Durante el año 1902 comenzaron a ejecutarse distintos tipos de tratamientos en los estados de Texas, Pensylvania, New Jersey y Colorado, y con bastante intensidad esta práctica fué difundiendo en los Estados vecinos, hasta que ya a partir del año 1915, las características del tránsito automotor adquirieron una fisonomía fuertemente perjudicial para los tipos de calzada más difundidos entonces, — macadams y enripiados — lo cual motivó la

adopción de estos revestimientos en todos los programas viales y con importancia cada vez creciente.

Se habría llegado así, en forma paulatina, a la utilización de dos materiales de características definidas: uno « ligante » e impermeabilizante (las sustancias bituminosas) y otro « inerte » (los agregados pétreos) encargados de absorber el desgaste de la calzada.

DEFINICIONES. — Al recubrimiento resultante de las operaciones necesarias para la ejecución de los trabajos de la índole que aquí se trata, se lo ha denominado, en general Revestimiento Bituminoso, reservándose el nombre de Tratamiento Superficial al que cumple una cierta condición de espesor.

Tratándose de algo convencional, y contribuyendo a la uniformidad de la terminología moderna de caminos, se adoptará aquí la definición consignada por Brown y Runner en su « Engineering terminology ».

Tratamiento superficial bituminoso. — En el revestimiento resultante de la aplicación de materiales bituminosos sobre cualquier tipo de calzada, con o sin agregados pétreos de recubrimiento, en forma tal de no producir un espesor resultante de más de 20 mm.

CARACTERÍSTICAS. — Haciendo referencia al caso general de un tratamiento superficial compuesto por los dos elementos ya mencionados — por piedra-betún — se destacarán sus principales características bajo los siguientes aspectos:

1º — El de contribuir al mejor comportamiento de la base, considerada como elemento portante de la calzada.

2º — El de suministrar a la calzada condiciones de resistencia al desgaste, impidiendo la desintegración y segregación de sus partículas bajo la acción del tránsito.

3º — El de auxiliar de la base corrigiendo las irregularidades naturales de su superficie.

4º — El de conferir a la superficie de rodamiento condiciones especiales de rodamiento y de absorción y reflexión de las luces artificiales.

5º — El de permitir al ingeniero proyectista de caminos diseñar calzadas de las llamadas de tipo « inferior e intermedio », con el carácter de soluciones permanentes.

Se analizará brevemente cada una de estas cuestiones.

El aspecto correspondiente al apartado 1º puede traducirse en una sola palabra: impermeabilidad. El tratamiento al suministrar

esta propiedad a la base que recubre, impide que el agente más frecuente, las lluvias, modifiquen el contenido de humedad de la misma, alterando, en sentido desfavorable, la estabilidad de que dicha base disponía al ser recubierta.

En el apartado 2º. debe ponerse en evidencia la indiscutible ventaja que representa el poder utilizar, en pequeñas cantidades agregados pétreos de propiedades físicas nobles, tales como: desgaste, tenacidad y dureza, dando a la superficie de rodamiento de la calzada, características de **resistencia al desgaste** de que pueden no disponer los materiales que constituyen la base (caliche, tosca, granito desintegrado, « top - soil », etc.).

Bajo las condiciones del apartado 3º. cabe poner de manifiesto muy especialmente la facilidad con que mediante la ejecución de un tratamiento se puede conseguir y mantener la **lisura** de la superficie de rodamiento de una calzada. Conseguirla, durante el proceso constructivo, mediante la acción uniformadora de un implemento de relativamente reciente uso: la rastra de cepillos — y mantenerla, dado que la existencia de un tratamiento bituminoso superficial, impide la desintegración, segregación y remoción de las partículas pétreas de la base, bajo la acción del tránsito, acciones que se traducen en la formación de pequeñas erosiones al principio y deformaciones más o menos importantes después, que ocasionan la pérdida de la lisura aludida.

El apartado 4º. muestra una propiedad que contribuye eficazmente a la **seguridad** de la calzada, al suministrarle características de « textura » superficial que proveen una adecuada fricción entre los rodados y la misma, o sea una resistencia efectiva al resbalamiento. Asimismo, ciertas características de esta textura contribuyen a dotarla de propiedades favorables para absorber y reflejar los flujos luminosos superficiales producidos como consecuencia de la circulación nocturna de los automotores por calzadas iluminadas o no.

El aspecto presentado en el apartado 5º. tiene su explicación en la teoría económica de la construcción de calzadas de tipo inferior e intermedio, denominadas quizá impropriamente calzadas de « *bajo costo* ». En efecto la protección de las bases de este tipo, mediante adecuados tratamientos superficiales, les permite con **economía** soportar tránsitos que de otra manera determinarían gastos de conservación prohibitivos. Además, en vista del carácter comparativamente reducido de la inversión que supone la ejecución de esos tratamientos respecto del valor total de la calzada y también de las características de facilidad y rapidez de ejecución, es incuestio-

nable que el proyectista puede seguir paso a paso las necesidades del camino proyectando nuevos tratamientos o no a medida que la acción del tránsito y demás agentes actuantes lo vayan justificando; en otras palabras, queda eliminada la posibilidad de que la base por desgaste o pérdida de su conformación inicial deje de prestar, su misión de elemento portante del camino. Se llega así a la obtención de soluciones de carácter permanente.

Debe, por último, destacarse un aspecto de gran interés: la efectiva contribución de los tratamientos superficiales bituminosos a la resolución económica del problema de espesor de bases. Es notoria la carencia de elementos para abordar en forma precisa el cálculo de la estabilidad de una calzada de tipo flexible, en cuya categoría corresponde ubicar las bases de tipo inferior e intermedio. Si bien es cierto que se conocen unas cuantas fórmulas desde la primitiva del estado Massachusetts hasta la más reciente de Housel, no es tampoco menos cierto que, hasta el momento, los espesores que se fijan para los distintos tipos de bases no se calculan en la gran mayoría de los casos con esas fórmulas, sino que están supeditados a la elección que de ellos haga el proyectista en base a su experiencia, derivada del conocimiento del comportamiento de otras bases del mismo tipo en condiciones similares. Infortunadamente las características tan variables del dilatado territorio del país y la aún escasa experiencia existente sobre el comportamiento de los tipos de calzada usuales, impiden dimensionar con certeza su espesor más económico, obligando al proyectista a optar por espesores excesivos que supongan un amplio coeficiente de seguridad; o bien espesores razonables dejando que el propio comportamiento del camino acuse las secciones donde los espesores han resultado deficientes. Se estima que, en general, esta segunda solución sería la más aconsejable y en este orden de ideas, la pérdida del recubrimiento superficial bituminoso ejecutado en esas secciones en razón de su costo reducido, resultaría la solución más económica al permitir, con ese sólo gasto, el refuerzo de la base en la medida de lo necesario, aprovechándose el resto del camino en sus condiciones primitivas.

En resumen, un tratamiento superficial bituminoso confiere a la base que recubre, las propiedades siguientes: impermeabilidad, resistencia al desgaste, lisura, seguridad y economía.

IMPORTANCIA ACTUAL. — En este trabajo se hará un estudio de los elementos de un tratamiento superficial bituminoso haciéndose especial referencia a los tipos más utilizados en el país y a las tendencias actuales en esta rama de la especialidad caminera. Alienta

este esfuerzo, el incremento creciente que este tipo de obra recibe año tras año, en los planes viales de todos los países de características similares a la Argentina.

En los Estados Unidos de Norte América, al presente, más de un 30 % del kilometraje de su Red Estadual presenta la superficie de rodamiento de sus firmes, cubierta con tratamientos superficiales bituminosos. En la Argentina el 28 % de las calzadas ya construídas incluyen ese tipo de superficie, y esa cifra se eleva al 63 %, si se tiene en cuenta el plan de obras de próxima ejecución.

II. — PLAN DE EXPOSICIÓN. Es la intención de este trabajo abarcar en su conjunto la totalidad de los temas referentes al proyecto y ejecución de los tratamientos superficiales bituminosos. Ello no obstante, la consideración del espacio disponible en esta Conferencia y la imposibilidad de completar por el momento algunos de los temas a tratar, motivarán que en esta oportunidad sólo sean expuestos los dos primeros capítulos del mismo, casi íntegramente, y un tema del capítulo tercero que reviste gran interés: el estudio del fenómeno de adherencia entre las superficies de los agregados pétreos y el betún. Además se incluirá un proyecto de especificación referente al tratamiento superficial tipo Doble que constituye en la actualidad el recubrimiento más extendidamente utilizado en el país para proveer la superficie de rodamiento de las calzadas constituídas por Bases Estabilizadas.

A continuación se expone el plan a que responderá el trabajo de que se trata:

SECCIÓN I. <i>Materiales.</i>	- Cap. I. Materiales bituminosos. Cap. II. Agregados pétreos. - Cap. III. Par piedra-betún.
SECCIÓN II. <i>Tipos de tratamientos.</i>	- Cap. I. Descripción. Cap. II. Elección.
SECCIÓN III. <i>Procedimientos constructivos.</i>	- Cap. I. Equipo e implementos. Cap. II. Técnica de ejecución.
SECCIÓN IV. <i>Organización de obra.</i>	- Cap. I. Acopio de materiales. Volumen de equipo. Plan de trabajo. Cap. II. Análisis de costos.
SECCIÓN VI. <i>Medición y control.</i>	
SECCIÓN VI. <i>Vida económica.</i>	- Cap. I. Conservación. Cap. II. Mejoras progresivas.
SECCIÓN VII. <i>Especificaciones generales.</i>	
APENDICE. <i>Los tratamientos ejecutados en el país.</i>	
BIBLIOGRAFÍA.	

SECCION I. — MATERIALES

CAPITULO I

MATERIALES BUTIMINOSOS

PARTE I. - <i>Estudio general</i>	I. - Historia. II. - Definiciones y nomenclatura. III. - Composición química.
PARTE II. - <i>Grupo asfalto</i>	I. - Cementos asfálticos. II. - Asfaltos disueltos. III. - Asfaltos emulsionados.
PARTE III. - <i>Grupo alquitrán</i>	Alquitranes y breas.
PARTE IV. - <i>Cualidades fisicoquímicas</i>	I. - Características y especificaciones. II. - Métodos de ensayo y aparatos.

PARTE I. — ESTUDIO GENERAL

El grupo de materiales compuesto o formados esencialmente por sustancias bituminosas, constituye uno de los más importantes dentro del estudio de los materiales utilizados por la técnica vial moderna, y es probablemente el más interesante por la novedad y posibilidades que ofrece.

El conocimiento y uso de varios de estos materiales es muy antiguo. Los pueblos que contaron con yacimientos accesibles descubrieron sus propiedades hidrófugas y, especialmente, sus cualidades adherentes o ligantes.

I) HISTORIA. — Se estima que un breve resumen histórico del hallazgo y utilización de los materiales bituminosos, puede contribuir a fijar conceptos y explicar los orígenes de una terminología actual-

mente confusa en que abundan con exceso nombres distintos para designar substancias similares o, por el contrario, nombres comunes para denominar substancias químicamente diferentes.

Los rastros más antiguos de la utilización de un material bituminoso, se refieren a la edad pre-babilónica, hacia el año 3800 A. C. en que los pueblos que habitaban el valle del Eufrates, donde se encuentran varios depósitos de asfalto natural, lo tomaron y emplearon en distintas formas: para calafatear embarcaciones, para pegar o adherir motivos decorativos a diversas estructuras y para impermeabilizar depósitos de agua y piscinas. Hacia la misma época numerosos escritos hacen referencia al material obtenido en esos depósitos y desde entonces aparecen los términos « Betún » y « Asfalto » derivado el primero del sánscrito y el segundo del griego. Análogamente el Génesis hace referencia a un material utilizado por Noé en la construcción de su arca utilizando la palabra « Slime » que vuelve a ser citada al describir el mortero empleado en la construcción de la torre de Babel; parece comprobado que esa palabra se refiere al asfalto.

Entre las construcciones más interesantes conservadas hasta nuestros días y donde el asfalto fué utilizado como material ligante e hidrófugo, figuran las ruinas recientemente descubiertas en la localidad de Tell-Asmar, ubicada 80 Km. al N. E. de la ciudad de Bagdad. En esas construcciones, cuya ejecución se atribuye al año 3200 A. C., se encuentra un tipo de mampostería donde se ha utilizado un mortero formado por asfalto, polvo de roca y fibras vegetales. Este « mastic » muestra un excelente comportamiento, lo mismo que el encontrado en las ruinas de Babilonia, formando revestimiento de las paredes y piso de baños y otros depósitos de agua.

El geógrafo griego Estrabón (principios de la Era Cristiana) hace muy interesantes referencias a los depósitos de asfalto del Mar Muerto y otros yacimientos de los que llama asfalto líquido o « nafta » entre las que distingue la « nafta blanca » y la « nafta negra ». Dice textualmente: « La nafta blanca que atrae al fuego, está compuesta por sulfuro líquido; la nafta negra es simplemente asfalto líquido el cual puede ser quemado en las lámparas en lugar de aceite de oliva ». Se refiere sin duda a yacimientos de petróleo surgente con mayor o menor proporción de contenidos volátiles.

Plinio, años 23 a 79, hace una interesante referencia a un « ... petróleo surgente en las cercanías de Artacensis (Noroeste de Persia) del cual puede obtenerse asfalto ». Dice también: « el betún es muy valioso cuando es brillante y pesado; cuando es mezclado con

brea se torna opaco »). Más adelante: « La parte más rica flota en la superficie cuando se hace hervir la masa... y el betún líquido puede ser quemado en las lámparas ». Describe, asimismo, la producción de alquitrán de madera y la obtención de la brea como producto residual de la destilación del alquitrán de madera.

Muchos otros escritores, Plutarco, Tácito, Dioscórides, Marco Polo, etc., hacen frecuentes referencias al asfalto, petróleo, betún, brea y alquitrán, y muestran conocer los yacimientos del Mar Muerto, Bakú, Babilonia, el Mar Caspio, y otros.

En 1498, Colón llega a la isla de Trinidad donde, procede al carenado de sus buques utilizando el asfalto natural que se halla en dicha isla en uno de los yacimientos más importantes del mundo por la cantidad y por la gran pureza del material. En 1635, Valdés, descubre los manantiales de Puerto Príncipe en Cuba. Respecto de estos yacimientos americanos, es interesante hacer notar que se ha establecido la utilización del asfalto por los Incas en la construcción de caminos que pavimentaban en forma similar a la forma como se construye hoy un macadam asfáltico.

En 1661, R. Boyle en un tratado de Química hace la primera referencia a la preparación industrial del alquitrán de madera y en 1681, Becker y Serle descubren el alquitrán de hulla patentado un método para su obtención. La refinación del alquitrán o sea la separación de los destilados livianos obteniendo como residuo la brea, fué descripta en 1746 por H. Haskine.

En lo que respecta a las primeras utilidades importantes de materiales bituminosos en la construcción de pavimentos, merecen ser citadas las siguientes:

En 1832 se construye en Inglaterra el primer macadam a penetración utilizándose como material bituminoso un alquitrán de hulla.

En 1835, en Francia, y un año después en Inglaterra, se construyen dos pavimentos formados por ladrillos de mastic asfáltico, utilizándose un asfalto francés (asfalto natural de Seyssell).

En 1867, Tellier ejecuta el primer tratamiento de tipo a penetración, aplicando varios riegos de alquitrán en caliente y recubriendo con sucesivas capas de pedregullo. Por su parte, la primera utilización de un fluxante para contar con una baja viscosidad momentánea en el momento de aplicación y un posterior rápido endurecimiento, fué llevada a cabo por el ingeniero Rimini, quien empleó un alquitrán fluxado mediante la incorporación de un aceite volátil.

En EE. UU. de Norte América, los tratamientos superficiales bituminosos, tan difundidos actualmente, comenzaron con los rie-

gos paliativos de polvo en los caminos entonces mejorados con la adición de pequeñas cantidades de ripio o grava. El material empleado era usualmente petróleo crudo con un contenido reducido de volátiles; posteriormente se utilizaron los residuos de las destilaciones parciales de petróleo en los que sólo se separaban los destilados más livianos. De este uso nació el nombre de Road-oil (aceite para caminos) expresión tan difundida en la literatura vial estadounidense.

· II) DEFINICIONES Y NOMENCLATURA. — Los petróleos, asfaltos, betunes, alquitranes y breas, son cuerpos extremadamente complejos constituídos esencialmente por carburos de hidrógeno asociados a materiales minerales en mayor o menor proporción. De esta complejidad y de la incorporación a los distintos idiomas de palabras originadas en fuentes diferentes, ha nacido una terminología ambigua en exceso. Las denominaciones antiguamente aplicadas lo fueron en base a ciertas características físicas de los materiales o a sus posibles utilidades. Hoy la técnica ha creado un importante número de cuerpos nuevos y por otra parte la Química ha averiguado hasta cierto punto la naturaleza íntima de esas sustancias. Resulta, pues, posible y de todo punto de vista necesario, establecer una nomenclatura correcta y precisa y, por supuesto, internacional. La reunión sostenida en Milán, en 1926, por la Asociación Internacional de Congreso de la Ruta, ha significado en ese sentido un gran paso hacia adelante al definir un gran número de sustancias. Quedan, aún, no obstante, varias divergencias por solucionar.

En primer lugar ha habido acuerdo general para abarcar con la calificación genérica de *Bituminosas* todas las sustancias como el petróleo, el asfalto, el alquitrán, la brea y sus derivados y combinaciones. Esto sobre la base de que todos esos cuerpos contienen una sustancia que en cada caso puede ser químicamente distinta, pero que tiene propiedades físicas comunes como ser: el color, la adhesividad, la variación de consistencia al variar la temperatura, etc. En seguida se vuelve sobre este punto que reviste gran importancia desde el punto de vista de clasificación en razón de la definición del término *betún* o *bitumen*.

H. Abraham clasifica los distintos productos bituminosos considerando las características señaladas en el esquema adjunto.

I. Origen	{	Natural .. { Mineral Vegetal Animal
	{	Pirogenado { Destilación fraccionada Destilación destructiva Destilación con inyección de oxígeno
II. Propiedades físicas .	{	Color Consistencia Fractura Lustre Tacto Olor Volatilidad Fusibilidad
III. Solubilidad	{	Sulfuro de carbono Tetracloruro de carbono Eter de petróleo
IV. Composición química	{	Hidrocarburos (H y C) Cuerpos oxigenados (H, C y O) Parafinas cristalizables Substancias minerales

Existe como se ha dicho, acuerdo en adoptar como genérica la expresión de « sustancias bituminosas », pero no existe el mismo acuerdo en lo que respecta a la acepción que al término corresponde. Mientras para unos ello significa contenido de *betún* para otros significa contenido de *una substancia* (entre las de un numeroso grupo) cuyas cualidades y características físicas son *similares a la del betún* palabra que significa en este caso un determinado cuerpo o un pequeño número de cuerpos, que constituyen una especie dentro del grupo.

La definición del término « betún » constituye pues, el nudo de la cuestión cuando se intenta una clasificación. Dentro de la terminología usual pueden considerarse las cuatro definiciones siguientes:

- a) Betún: Grupo de hidrocarburos naturales.
- b) Betún: Grupo de hidrocarburos bien naturales, bien obtenidos de la destilación de petróleo.

c) **Betún**: Grupo de hidrocarburos bien naturales, bien obtenidos de la destilación del petróleo o bien producidos artificialmente (por ejemplo el alquitrán).

d) **Betún**: Grupo de hidrocarburos formado por aquellos comprendidos por la definición c) que resulten totalmente solubles en sulfuro de carbono.

La primera expresa la acepción más corriente atendiendo a su utilización más común y antigua; sólo se incluyen en ellas sustancias naturales o nativas. La segunda incluye también los residuos obtenidos de la destilación de petróleo y la tercera es más amplia aún al comprender productos como el alquitrán y la brea provenientes de la destilación destructiva de ciertos compuestos orgánicos (*). La definición c) es de tipo técnicamente convencional y ha sido aceptada por la American Society for Testing Materials (***) y por la antes mencionada Asociación Internacional de Congresos de la Ruta. Se estima que esta última definición constituye la acepción más correcta y por lo tanto en ella se basa la nomenclatura aquí adoptada.

La acepción conferida al término **betún** por las definiciones a) y b) se transfieren al vocablo «asfalto» haciendo resaltar el criterio de que la significación dada en algunos países (Francia, por ejemplo) a este último término, está mejor expresado por la denominación de «rocas asfálticas».

Se establecen pues, las siguientes definiciones:

Betún: Componente básico de las sustancias o cuerpos bituminosos, constituídos por hidrocarburos, naturales o no, totalmente solubles en sulfuro de carbono.

Asfalto: Sustancias bituminosa, compuesta por hidrocarburos naturales y también pirogenadas ⁽¹⁾ como en el caso de los residuos obtenidos de la destilación del petróleo. Color negro, relativamente duro, comparativamente no volátil —substancialmente libre de cuerpos oxigenados— frecuentemente asociado a materiales minerales (arena, arcilla, sílice, etc.). Su base no mineral es fusible e intensamente soluble en sulfuro de carbono.

(*) El punto de vista b) es sostenido por la British Engineering Standard Association, y en Alemania por H. MOLLISON. El punto de vista c) es sostenido por D. HOLDE y W. REINER, entre otros.

(**) «Definiciones de los términos referentes a materiales para caminos» (D. 8-33).

(1) Dícese que un producto es «pirogenado» cuando ha sido originado por la acción del fuego o elevadas temperaturas.

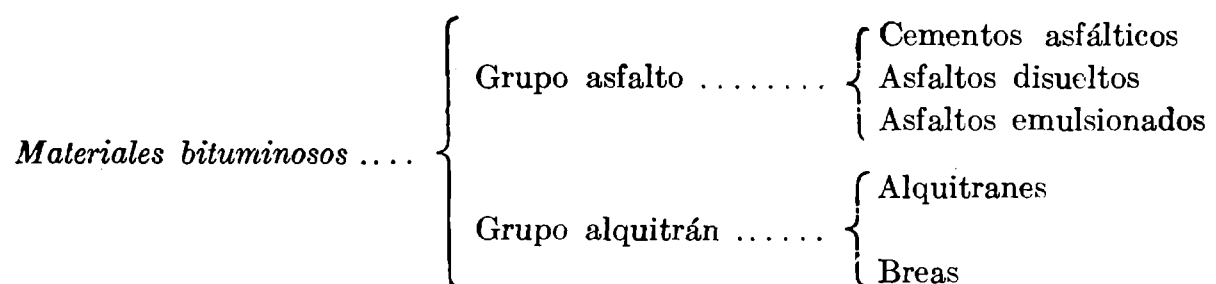
Petróleo: Material bituminoso compuesto por hidrocarburos naturales. Color claro u obscuro. Consistencia líquida. Olor característico. Comparativamente volátil. Soluble en sulfuro de carbono.

Alquitrán: Material bituminoso, compuesto por hidrocarburos pirogenados, obtenido por condensación en la destilación destructiva de ciertos compuestos orgánicos. Color obscuro. Consistencia líquida. Olor característico. Comparativamente volátil.

Brea: Sustancia bituminosa, compuesta por hidrocarburos pirogenados. Obtenido como residuo en la destilación de los alquitranes y ciertas sustancias orgánicas. Color obscuro. Consistencia sólida o semisólida. Comparativamente no volátil.

Las sustancias así definidas, comprenden una gran cantidad de cuerpos que constituyen especies distintas y existen, por ejemplo, petróleos de base asfáltica, petróleos de base parafínica, alquitrán de hulla, alquitrán de madera, numerosas especies de asfaltos naturales y rocas asfálticas (gilsonita, grahamita, kyrock), etc.

Desde el punto de vista que interesa a este resumen, los distintos materiales bituminosos serán descriptos más adelante de acuerdo con el esquema siguiente:



III) CONSTITUCIÓN QUÍMICA. — Cada especie del grupo de las sustancias bituminosas es una mezcla homogénea o heterogénea de una multitud de unidades químicas de definida composición molecular. Estos constituyentes pueden estar asociados de varios modos: como soluciones simples de líquido en líquido, como soluciones coloidales, como emulsiones y suspensiones, etc.

De un modo general, pueden distinguirse en un cuerpo bituminoso:

- a) Una base o matriz constituída por el betún.
- b) Sustancias agregadas de índole mineral; y
- c) Sustancias agregadas de índole no mineral.

a) *Base o matriz*. Está compuesta por una mezcla compleja de hidrocarburos saturados o no; estos últimos poseen uniones por valencia múltiple entre carbonos y tienen la propiedad de formar cuerpos o compuestos de adición.

Desde el punto de vista físico-químico puede decirse, siguiendo a F. J. Nellesteyn, que un betún es un « carbón - óleo - sol », es decir, una solución coloidal ⁽¹⁾ de partículas de carbono en un medio oleaginoso de hidrocarburos. Las propiedades del betún dependen del grado de concentración en que esa fase dispersa se halla en el medio aceitoso.

El sistema determinado por esa solución comprendería:

1) El medio aceitoso que constituye lo que se llama « Maltenes » o « Petrolenes ».

2) Una porción « lyófoba » constituida por partículas ultramicroscópicas de carbono, los « Asfaltenes ».

y 3) Una porción « lyófila » constituida por cuerpos protectores de las partículas de carbono, las llamadas resinas bituminosas.

Las porciones 2) y 3) constituyen la miscela bituminosa, y la estabilidad del sistema depende de las respectivas tensiones superficiales del medio y la miscela. La presencia del oxígeno, la acción de altas temperaturas o presiones, y la intervención de ciertos agentes químicos, modifican la constitución de esa miscela. Los carbones, por ejemplo, son asfaltenes modificados, en que han desaparecido en gran parte los cuerpos protectores, y el carbón libre ⁽¹⁾ está constituido por partículas desprovistas de protectores.

Desde el punto de vista de su solubilidad se tiene:

Substancia	SOLUBLE EN:		
	Sulfuro de carbono	Tetracloruro de carbono	Eter de petróleo
Maltenes	Sí	Sí	Sí
Asfaltenes	Sí	Sí	No
Carbones	Sí	No	No

Los maltenes confieren al betún sus propiedades aglutinantes y los asfaltenes les comunican cohesión asegurando su estabilidad. Según Clifford Richardson ⁽²⁾ un betún debe contener, para constituir un buen ligante, no menos de 15 % de asfaltenes.

⁽¹⁾ La naturaleza coloidal está confirmada por los movimientos brownianos y el efecto Tyndall.

⁽¹⁾ El llamado « carbón libre » no es como pudiera creerse carbón puro, sino una mezcla de hidrocarburos muy ricos en carbono.

⁽²⁾ « The Modern Asphalt Pavement ».

A continuación se consignan algunos valores obtenidos para varios conocidos asfaltos, naturales y residuales. Los análisis fueron hechos de acuerdo con el método de J. Marcusson:

Constituyentes de algunos asfaltos típicos

Asfalto	Asfaltenes	Resinas bituminosas	Medio oleaginoso
<i>Naturales:</i>			
Val de Travers (Suiza)	12,9 %	33,2 %	42,2 %
Trinidad	37,0 »	23,0 »	31,0 »
Bermúdez (Venezuela)	35,3 »	14,4 »	39,6 »
<i>Residuales:</i>			
California (EE. UU.)	4,6 »	59,0 »	36,4 »
Illinois (EE. UU.)	5,2 »	35,1 »	59,5 »
Méjico	16,4 »	30,8 »	52,8 »
Colombia	6,9 »	20,4 »	72,6 »
Venezuela	16,0 »	35,0 »	49,0 »
Rusia	15,5 »	16,1 »	66,0 »
<i>Soplados:</i>			
California (EE. UU.)	19,1 »	28,5 »	52,3 »
Illinois (EE. UU.)	18,3 »	28,3 »	52,8 »
Méjico	30,2 »	27,3 »	41,8 »
Colombia	13,6 »	36,8 »	49,6 »
Venezuela	20,0 »	26,0 »	54,0 »

Es interesante observar que el efecto del soplado se traduce en un aumento del porcentaje de asfaltenes a expensas de los contenidos de resinas y constituyentes oleaginosos. Este hecho puede resultar muy importante para el mejoramiento de ciertos asfaltos obtenidos de la destilación de petróleos con escaso contenido original de asfaltenes. Si el soplado puede ejercer un efecto nocivo en la destilación de petróleos cuyo contenido original de asfaltenes alcanza ya cierto valor, ese es un problema aún no definitivamente resuelto.

En lo que atañe a la composición química elemental de la base o matriz « betún », su determinación es factible por los métodos comunes de análisis. Los porcentajes de carbono existente varían entre un 50 % y un 90 % (antracita). El hidrógeno nunca pasa de un 15 %; los porcentajes máximos se hallan en los miembros de la serie parafínica en que las valencias de carbono toman el máximo posible de hidrógeno $C^n H^{2n+2}$. El porcentaje de azufre varía con-

siderablemente, y los alquitranes y breas son prácticamente libres, mientras que ciertos petróleos contienen hasta un 5 %. El nitrógeno y el oxígeno, rara vez exceden de un 2 % y un 5 %, respectivamente.

b) Agregados minerales. Pueden hallarse en diferentes formas integrando la estructura del cuerpo bituminoso :

- Como partículas consolidadas formando una roca porosa impregnada con los constituyentes bituminosos. Es el caso de las llamadas rocas asfálticas, generalmente compuestas por calizas, areniscas, etc.
- Como partículas no consolidables mezcladas con los constituyentes bituminosos. Es el caso de algunos asfaltos nativos que contienen cantidades variables de productos de la desintegración de rocas y suelos adyacentes. También en alquitranes y breas se encuentran con frecuencia estos agregados, incorporados en el proceso de su industrialización. Los más comunes son carbonato y sulfato de calcio, carbonato de magnesia, dolomita, arcilla y sílice.
- Como partículas coloidales existentes en suspensión. El asfalto de Trinidad es un caso típico de esta clase; contiene aproximadamente un 25 % de material mineral constituido en su mayor parte por fracciones coloidales.

c) Agregados no - minerales. Los asfaltos naturales contienen frecuentemente impurezas de origen animal y vegetal, asociadas a la base betún; derivan principalmente de la acción de los ácidos existentes en los suelos, entre otros los ácidos húmicos, úlmico y crénico. Algunos alquitranes y asfaltos residuales contienen variables cantidades de lo que se llama « carbón libre ». Esta fracción, consistente en derivados hidrocarburos, es producida por la polimerización de moléculas bajo la acción de muy altas temperaturas.

PARTE II. — GRUPO ASFALTO

I. CEMENTOS ASFÁLTICOS. — Los materiales pertenecientes al grupo Asfálticos son obtenidos:

- a) Por refinación más o menos intensa de los asfaltos naturales;
- b) Por separación de las rocas asfálticas;
- y c) Por destilación de petróleos.

a) *Asfaltos naturales.* Algunos asfaltos naturales se encuentran casi puros; la gilsonita y la grahamita (EE. UU.) contienen 99 % y 95 %, respectivamente, de betún; no son utilizados con fines viales sino que aprovechando su gran pureza se emplean en la fabricación de enduídos hidrófugos de gran calidad. El yacimiento de asfalto natural más conocido es el de la isla de Trinidad; este asfalto es de reconocidas condiciones en lo que a sus propiedades adherentes respecta y ello es atribuído a su elevado contenido de « filler » mineral (como ya se ha dicho este asfalto contiene más de 25 % de materia coloidal). La densidad de este asfalto eliminado su contenido de agua, es de 1,40; su análisis da:

Betún	57 %
Materia mineral	36 %
Substancias orgánicas insolubles en C S ₂ ..	7 %

Las manipulaciones a que son sometidos los asfaltos naturales consisten generalmente en procesos de secado y deshidratación, los cuales son realizados en recipientes abiertos calentados por llama directa, tuberías de vapor, etc.; la eliminación de la humedad se activa mediante agitadores mecánicos.

b) *Rocas asfálticas.* El contenido en betún de las rocas asfálticas más conocidas varía entre 5 y 15 %. Merece citarse los yacimientos de Texas y Kentucky (EE. UU.), Val de Trever (Suiza), Seyssel (Francia), y los de Abruzos y Sicilia (Italia). Para la extracción del asfalto se utilizan industrialmente dos métodos principales: separación mediante ebullición con agua, y arrastre mediante solventes volátiles. El primero es el más usual; está basado

en el hecho de que el peso específico del agua es menor que el de los agregados minerales y mayor que el del asfalto fundido; cloruro de calcio, carbonato de sodio y sal común pueden ser utilizados con el objeto de acrecentar el peso específico del agua. Los mejores resultados se obtienen cuando el punto de fusión del asfalto contenido en la roca, no excede de 35° y cuando las partículas del mineral están poco consolidadas y poseen un grosor adecuado que facilite su sedimentación más o menos rápida.

c) *Asfaltos de Petróleo.* Así como destilando un alquitrán se obtiene un residuo no volátil e intensamente bituminoso, la brea, del mismo modo destilando un petróleo se obtiene asfalto cuya riqueza y cualidades están ligadas a la clase del petróleo original. Desde este punto de vista los petróleos existentes en la naturaleza se clasifican en tres categorías:

- Petróleos de « base asfáltica », que contienen una apreciable proporción de betún, careciendo casi totalmente de parafinas consistentes.
- petróleos de « base semi-asfáltica », que contienen una mediana cantidad de betún.
- petróleos de « base parafínica », que no poseen betún pero que pueden engendrarlo durante el proceso de destilación; comúnmente contienen parafinas sólidas.

A continuación se indican las cantidades aproximadas de asfalto, dadas por algunos petróleos americanos, característicos:

<u>Petróleo</u>	<u>Producción de asfalto</u>
Perú	4 %
Méjico	65 %
California (EE. UU.) liviano	12 %
California, pesado	65 %
California (Santa María)	90 %
Texas (EE. UU.)	14 %
Oklahoma (EE. UU.)	2 %

Para los petróleos comunes pueden darse, en general, las siguientes proporciones:

Destilados livianos (nafta, kerosene, gas oil) ..	1/3
Destilados pesados (aceites lubricantes)	1/3
Residuo asfáltico	1/3

El tratamiento industrial de los petróleos para la obtención de los componentes livianos (nafta, kerosene, gas oil), los aceites pesados (lubrificantes) y los residuos asfálticos, comprenden tres métodos principales:

- 1) Destilación;
- 2) Oxidación (soplado)
- y 3) « Cracking ».

1) *Destilación.* Los procesos de destilación incluyen a su vez distintos métodos cuyas diferencias fundamentales derivan del constante perfeccionamiento en la procura de un bajo costo de producción o sea un alto rendimiento de la energía térmica que es menester emplear, y también de la conveniencia de obtener en la operación un mayor porcentaje de tal o cual producto.

De un modo general se comienza, por someter el petróleo a un proceso de secado o deshidratación, ya que el mismo contiene comúnmente una elevada proporción de agua, bien en estado libre, bien emulsionada. La regla es llevar el secado hasta menos de un 2 % de agua en peso. Comúnmente se efectúa un estacionamiento o período de decantación y a veces se acude a sustancias químicas que aceleran el proceso de floculación del agua emulsionada (p. ej. 1 % de oleato de sodio). También se utiliza en algunas destilerías una centrifugación en que el petróleo calentado a una temperatura de 50° a 80° C, es sometido a rotaciones intensas (15.000 rev. por minuto) mediante el empleo de turbinas.

Efectuado el secado del petróleo, el mismo es pasado a la planta de destilación. Debe citarse como los dos principales, los sistemas llamados « Batch Still » (destilación por lotes) y « Pipe Still » (destilación continua). Este último es más moderno y reemplaza rápidamente a aquel otro, por su mayor eficiencia y economía. En el sistema « Batch Still » la destilación se opera por lotes en recipientes de 200 a 300 m.³ de capacidad aproximada. En el « Pipe Still » el petróleo es tratado al vacío y a temperaturas muy elevadas, 500° C o más; las plantas que utilizan este sistema contienen unidades para destilar arriba de 3000 m.³ por día.

Los procesos de destilación pueden incluir o no la mezcla del petróleo con vapor de agua sobre-calentado. Cuando el vapor es utilizado, la destilación recibe el nombre de destilación al vapor o fraccionada. La introducción del vapor de agua está basada en la propiedad física que dice que el punto de ebullición de una mezcla de dos líquidos es menor que el punto de ebullición correspondiente a cualquiera de los integrantes del sistema. Su uso se

traduce pues en una disminución del punto de ebullición del petróleo con la consiguiente economía de energía térmica y aceleramiento del proceso; además se origina una mayor producción de destilados pesados (aceites lubricantes).

Uno de los métodos de destilación « conservativa » (por oposición a la destilación « destructiva ») es el conocido con el nombre de « topping ». Se comienza por enviar el petróleo a presión a una serie de tuberías en las cuales se calienta a una temperatura del orden de 350° C a 400°; de allí pasa a una cámara, la « torre de fraccionamiento », donde por condensación se separan: éter de petróleo (nafta muy liviana), nafta, kerosene y las fracciones livianas del gas-oil. En el fondo de la torre queda un residuo que contiene más o menos asfalto (según la naturaleza del petróleo crudo utilizado) las fracciones correspondientes a los aceites lubricantes y el gas-oil pesado. Este residuo suele constituir los llamados « road-oil » y « fuel oil ». (Una correcta distinción entre ambas denominaciones consistiría en entender por « road oil » los residuos provenientes de petróleos de base asfáltica o semi-asfáltica, y por « fuel-oil » los de petróleos de base parafínica).

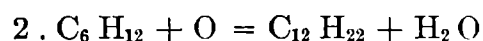
Cuando se desea separar el gas-oil y los aceites lubricantes, aquel residuo es llevado a cámaras de calentamiento donde la destilación se continúa al vacío. Regulando convenientemente la temperatura se obtienen distintos grados de penetración o consistencia del cemento asfáltico residual.

En el croquis adjunto pueden observarse los rangos de temperaturas a las que destilan los diferentes volátiles.

2) *Oxidación* (« Soplado ». Se realiza mediante la inyección de aire a presión a través de la masa del residuo de petróleo calentada a aproximadamente 220°. El oxígeno del aire desplaza el hidrógeno de ciertas moléculas formando vapor de agua que se elimina. En esa forma se produce por condensación molecular hidrocarburos más complejos que presentan los caracteres de sustancias bituminosas ⁽¹⁾. A medida que se continúa el soplado el residuo es más duro, elevándose notablemente el punto de fusión; el peso específico, por el contrario, no varía sensiblemente.

3) « *Cracking* ». Varios hidrocarburos que hierven y destilan sin que se produzcan fenómenos de disociación molecular, dan

(1) Una de las formas más simples de este tipo de reacción está representado, según PREVOST HUBBARD, por la fórmula:



lugar a los mismos si la temperatura es elevada bruscamente. Las fracciones de elevado peso molecular, se « quiebran » originando moléculas más simples y correspondientes a dos clases de hidrocarburos: unos, pesados, ricos en carbono y otros, livianos, ricos en hidrógeno. La temperatura a la que en la práctica es calentado el petróleo, será tanto menos elevada cuanto más elevada sea la presión; la operación se activa mediante el empleo de catalizadores adecuados.

Características. - Clasificación. La calidad de los residuales es influenciada por el método de destilación que se haya seguido. Como ya se ha expresado, el soplado tiene por resultado acrecentar el contenido de asfaltenes a expensas de las resinas y contenido oleaginoso; el mayor contenido de asfaltenes se traduce en una elevación del punto de fusión y la disminución del contenido resínico significa una pérdida de ductilidad (se dice que el asfalto se « acorta » aludiendo al método con que se mide la ductilidad).

Comparando los métodos de destilación al vapor de agua y soplado, se tiene:

- 1) El producido de residuo asfáltico es mucho mayor en el soplado que en el destilado al vapor.
- 2) El residuo asfáltico en el soplado, es de menor susceptibilidad a los cambios de temperatura ganando asimismo en elasticidad. Entre dos asfaltos residuales de idéntico punto de fusión, el « soplado » es más blando, o sea menos viscoso.
- 3) En el proceso de soplado es más fácil regular el grado de penetración final del residuo asfáltico.

En lo que respecta a los asfaltos « craqueados » no resulta definitiva su inferior calidad como materiales de aplicación vial. Distintos ensayos de adhesividad han arrojado mejores resultados para materiales « craqueados » que para materiales similares no craqueados u « homogéneos ». Se estima que el inconveniente mayor reside en el hecho de que se trata de materiales de más fácil oxidación; ello puede constituir, claro está, una seria desventaja cuando se trata de aplicaciones donde el material bituminoso ofrece gran superficie de ataque a la acción del aire, del agua y de la luz, p. ej. en el caso de tratamientos superficiales con agregados de granulometría abierta.

Los asfaltos naturales o provenientes de la destilación del petróleo son generalmente sólidos o semi-sólidos a temperatura ambiente, denominándose en las prácticas camineras: Cementos asfálticos.

En el caso de los provenientes del petróleo, esa consistencia final

variará, por supuesto, si la destilación se interrumpe en cierto punto de manera que en el residuo quede una cierta cantidad de volátiles pesados; en la práctica esto sucede comúnmente, como se verá. El límite que separa el grupo de los Cementos Asfálticos o Asfaltos sólidos, del grupo de los Asfaltos líquidos o Disueltos, se ha fijado convencionalmente en el valor « 200 » de la consistencia del material a 25° C. medida esa consistencia por el ensayo de Penetración (1) con aguja standard cargada con 100 gramos y librada durante 5 segundos. Los materiales con valores menores que 200 o sea más consistentes se clasifican como Asfaltos sólidos, y los más blandos o sea con valores mayores que 200, como Asfaltos líquidos o Disueltos. La limitación en 200 responde a una reciente modificación ya que ese límite estaba fijado en el valor 350.

Las especificaciones para cementos asfálticos fijan distintos grados de consistencia y así se especifican los siguientes tipos: 40-50, 50-60, 60-70, 70-85, 85-100, 100-120, 120-150 y 150-200; esta creciente fluidez significa creciente proporción del medio aceitoso en el oleosol que constituye el material bituminoso, o lo que es lo mismo concentraciones cada vez menos intensas de la fase dispersa (Asfaltenes).

Aplicaciones. Los cementos asfálticos se utilizan en las aplicaciones camineras empleándolos a temperaturas muy altas, 150 a 200° lo cual permite una conveniente fluidez del material en el momento de su manipulación. Esa alta temperatura necesaria para fluxarlos, constituye en cierto modo un inconveniente. Los grados de penetración menores que 50 no se utilizan sino como excepción por cuanto a temperaturas ambientes medias, vitrifican produciendo el hendidamiento o agrietamiento de los pavimentos, o el « descascarado » en los revestimientos de poco espesor, (la excepción se refiere a regiones de clima tropical donde nunca se registran temperaturas inferiores a 20 ó 25°). Los grados comprendidos entre 100 y 200, son utilizados en mezclas en usinas y también en tratamientos superficiales de tipo « a penetración » (1).

Esta última aplicación ofrece el reparo de que el film bituminoso de recubrimiento que se provee con un material tan viscoso como son los cementos asfálticos, resulta siempre excesivamente espeso con los riesgos consiguientes de comunicar al sistema un efecto lubricante en lugar de adherente. En las mezclas en usina este defecto

(1) El valor de penetración se expresa en diezmilímetros. Penetración 100 significa que la aguja, con una determinada carga y en un tiempo dado, ha entrado 1 centímetro.

desaparece por la eficiencia del mezclado mecánico que comúnmente se favorece con un previo calentamiento de los agregados pétreos. Asimismo, cuando el tratamiento superficial posee un mayor espesor apreciable, aquel inconveniente resulta amenguado por el hecho de que el material pétreo trabado ofrece ya una inicial estabilidad. Los cementos asfálticos son también utilizados por la técnica vial, en la ejecución de membranas para impermeabilizar subrasantes, fondos de cajas, etc:

II. ASFALTOS DISUELTOS. — El grupo de los Asfaltos Disueltos comprende los productos de más intensa aplicación en la actualidad. Entran, en este grupo, residuos asfálticos blandos en que la destilación se ha suspendido sin extraer la totalidad de los volátiles y cementos asfálticos fluxados mediante su disolución en distintos solventes provenientes de la misma destilación del petróleo, como ser: nafta, kerosene, gas oil y aceites lubricantes.

El material bituminoso resulta así más manejable, no se requieren temperaturas de aplicación muy elevadas y además cada tipo de solvente y cada proporción del mismo, confieren al material propiedades distintas adaptables a los requerimientos de los distintos tipos de obra.

Al considerar este grupo de materiales se encuentran varias denominaciones usuales: « Cut back », « Road oil », « Fuel oil », respecto de las cuales existe cierta ambigüedad en su empleo común. La denominación Road-oil (aceite para camiones) nació del uso que se le dió en EE. UU. a ciertos petróleos (desposeídos de sus volátiles más livianos) en la ejecución de tratamientos fijadores de polvo. La palabra Fuel-oil, se aplica a un material similar al Road-oil, constituido asimismo por un residuo en la destilación del petróleo. Tanto la determinación Road-oil como la denominación Fuel-oil no definen tipos determinados de materiales y las especificaciones corrientes de los productos así llamados coinciden con las correspondientes a los distintos asfaltos disueltos llamados de « Endurecimiento lento ». Se estima que dentro de la nomenclatura vial actual las palabras « Road oil » y « Fuel oil » no deben ser utilizadas ya que la designación asfalto disuelto de endurecimiento lento o *S.C.* es más correcta y lógica (en seguida se verá el significado del símbolo *S.C.*). La denominación de « Cut - back » es también discutible; su significación (tomando la acepción « relicuar » para

(1) Se dice « a penetración » porque el recubrimiento de los agregados por el ligante bituminoso, no se realiza por mezcla sino por riego de este último sobre aquéllos.

el verbo « To cut » = cortar, licuar, etc.), es: la adición a un cemento asfáltico, de un solvente proveniente de la misma destila-

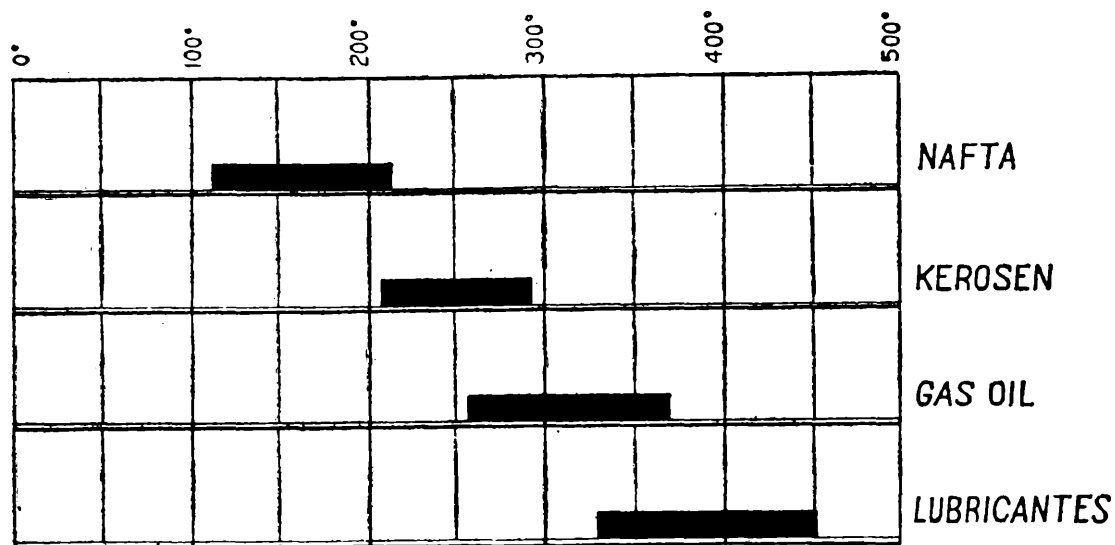


FIG. 1.

ción del petróleo con el objeto de hacerlo líquido o sea manipulable sin la necesidad de acudir a temperaturas elevadas. De acuerdo con esta definición, la mezcla de un cemento asfáltico con:

- 1) Nafta;
- 2) Kerosén;

3) Gas-oil y aceites lubricantes, produce materiales denominados « cut backs »; ello no obstante, la práctica más difundida en los EE. UU. de Norte América (país donde esta denominación comenzó a utilizarse) limita la aplicación de ese vocablo a los asfaltos líquidos o disueltos que han sido obtenidos fluxando un cemento asfáltico, de una dada consistencia, con nafta o kerosén. Esa acepción inspira la definición dada a continuación:

« *Cut - backs* »: Cementos asfálticos fluxados con un volátil *liviano* de los destilados del petróleo, siendo luego ese volátil eliminado por exposición a las condiciones atmosféricas dejando como remanente al cemento asfáltico original » (1).

Se insiste en que se estime preferible prescindir de la utilización de los términos: cut-back y road-oil, y ampliar en su lugar las siguientes denominaciones que atañen a la propiedad o característica primaria de los asfaltos disueltos utilizados por la técnica vial:

Asfaltos disueltos o diluidos	{	De endurecimiento rápido o <i>RC</i>
		De endurecimiento medio o <i>MC</i>
		De endurecimiento lento o <i>SC</i>

(1) Definición dada por el « Engineering Terminology », Gillette.

Los dos primeros incluyen los materiales comúnmente llamados « cut-backs » y los de endurecimiento lento son los conocidos como « road-oils ».

El proceso por el cual el material elimina el solvente hasta adquirir su « consistencia final », proceso que aquí se llama « Endurecimiento » es en efecto la característica fundamental para definir cada tipo de asfalto disuelto.

Aquellos en los cuales el solvente es *nafta* tienen, luego de utilizados, (es decir cuando quedan expuestos libremente a la acción atmosférica) un proceso de *endurecimiento* comparativamente *rápido*. Cuando el solvente es *kerosén*, el proceso de *endurecimiento* se dice que es, en cuanto al plazo en que se cumple, *medio*.

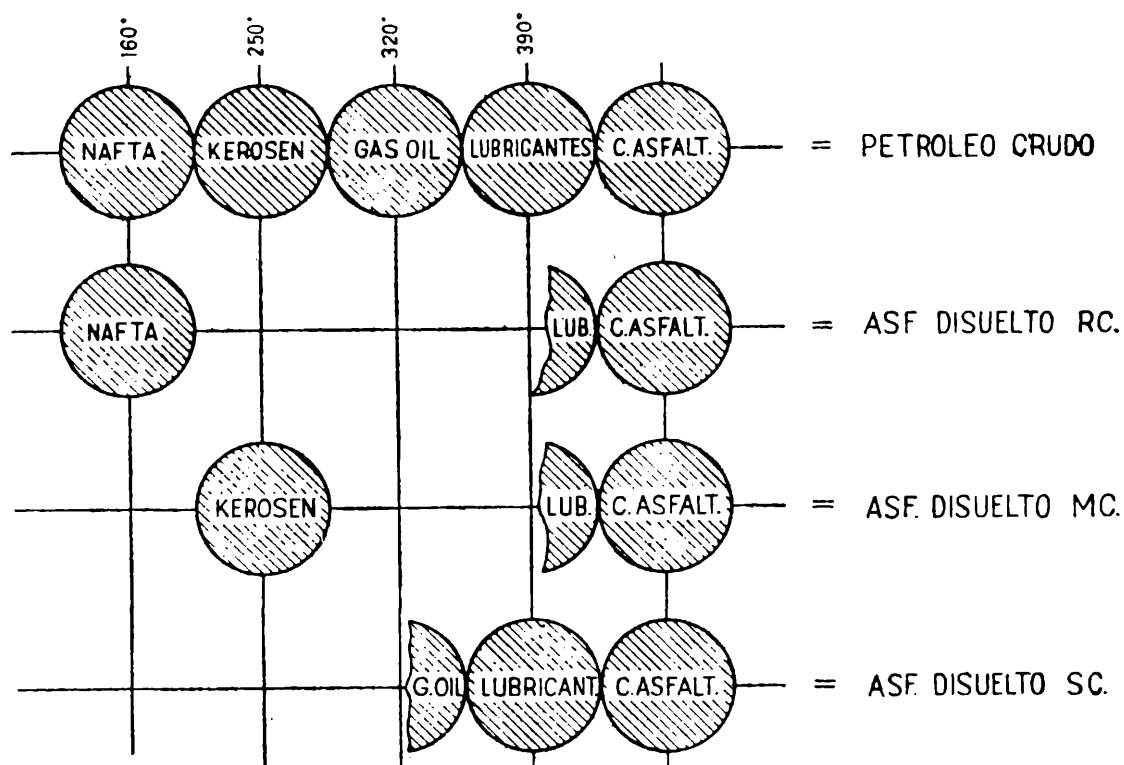


FIG. 2.

Finalmente, los que tienen como solvente *gas-oil* o bien volátiles muy pesados como los *aceites lubricantes*, no experimentan en realidad un proceso comparable al de los dos casos anteriores; la pérdida de una parte de la fracción oleaginosa se opera más bien por una transformación de índole química; el *endurecimiento* se dice *lento*. La palabra « endurecimiento » significa pues, la adquisición, por parte del material, de la consistencia que poseía, o debe poseer la fracción asfáltica, sin el solvente; con la misma acepción los estadounidenses emplean la palabra inglesa « curing » (curado) y así dicen: « Rapid Curing » (curado rápido), « Medium Curing » (curado medio) y « Slow Curing » (curado lento).

Las iniciales de esas denominaciones: *RC*, *MC* y *SC* constituyen los nombres abreviados de esos materiales y son utilizados ya por la técnica caminera mundial; por esa razón se estima que deben conservarse esos mismos símbolos para designar en la nomenclatura argentina a los distintos asfaltos disueltos ⁽¹⁾.

En la figura N° 2 se representa la formación de los materiales bituminosos correspondientes a los tres grupos que comprenden los asfaltos disueltos.

La incorporación del solvente en distintas cantidades hace posible la obtención de un número prácticamente ilimitado de tipo de asfaltos líquidos; no obstante la extendida experimentación efectuada en EE. UU. ha fijado a través de las especificaciones corrientes, las que a continuación se consignan:

Asfaltos disueltos: *RC*: *RC. 1 - RC. 2 - RC. 3 - RC. 4.*
 » » *MC*: *MC. 1 - MC. 1 A - MC. 2 - MC. 3 - MC. 4*
 MC. 5.
 » » *SC*: *SC. 1 - SC. 1 A - SC. 2 - SC. 3 - SC. 4*
 SC. 5 - SC. 6.

En el cuadro que sigue figuran, en porcentajes, los contenidos máximos de solvente ⁽¹⁾ fijados por las especificaciones más comunes:

Tipo	1	1 a	2	3	4	5	6	Solvente	Penetración del asfalto base
<i>RC</i>	40 %	—	35 %	30 %	25 %	—	—	Nafta	Aprox. 80
<i>MC</i>	50 »	35 »	27 »	25 »	23 »	20 »	—	Kerosene	» 120
<i>SC</i>	50 »	30 »	25 »	20 »	18 »	12 »	7 %	Destilados pesados	» 80-100

Como se vé, a índices mayores, menor contenido de solventes y por lo tanto mayor consistencia. En la figura N° 3 están re-

⁽¹⁾ Los Yacimientos Petrolíferos Fiscales emplean los símbolos ER, EM y EL, formados por las iniciales de las designaciones en castellano.

⁽¹⁾ Entiéndese por solvente el total extraíble del producto por destilación a 360°.

presentados los mismos valores en forma de contenido mínimo de cemento asfáltico.

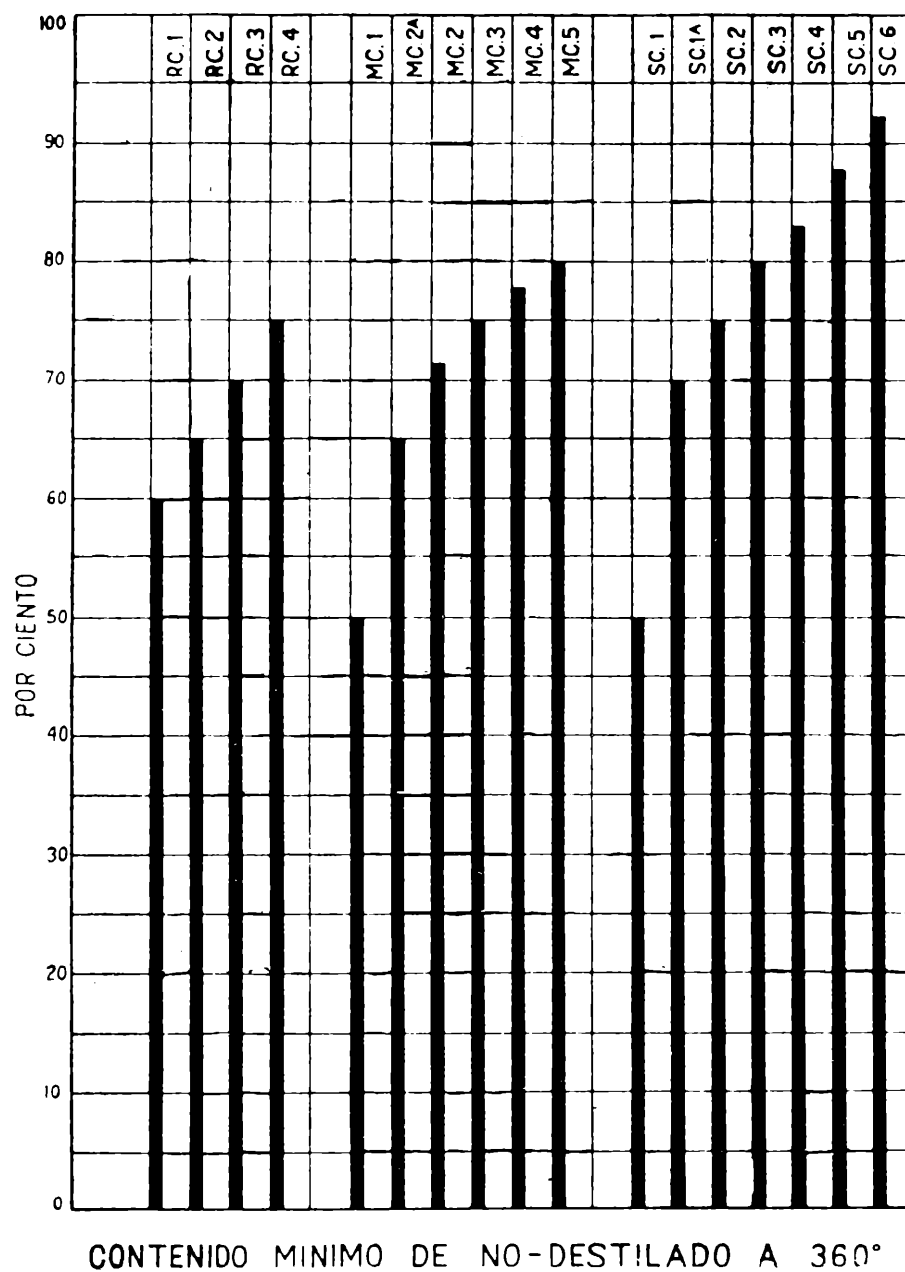


FIG. 3.

Como dato de interés se dan los contenidos usuales de solventes en los productos preparados por la industria Californiana (EE. UU.).

<i>RC. 1</i>	35 % de nafta
<i>RC. 2</i>	27 » » »
<i>RC. 3</i>	20 » » »
<i>MC. 1</i>	46 % de kerosén
<i>MC. 1 A</i>	33 » » »
<i>MC. 2</i>	22 » » »

En la figura N° 4, se trata un punto de gran interés: la representación gráfica de los distintos asfaltos disueltos de acuerdo con su viscosidad o consistencia. Como medio de comparación se ha utilizado la viscosidad Saybolt-Furol a 60° C.

VISCOSIDAD COMPARADA DE LOS ASFALTOS DISUELTOS

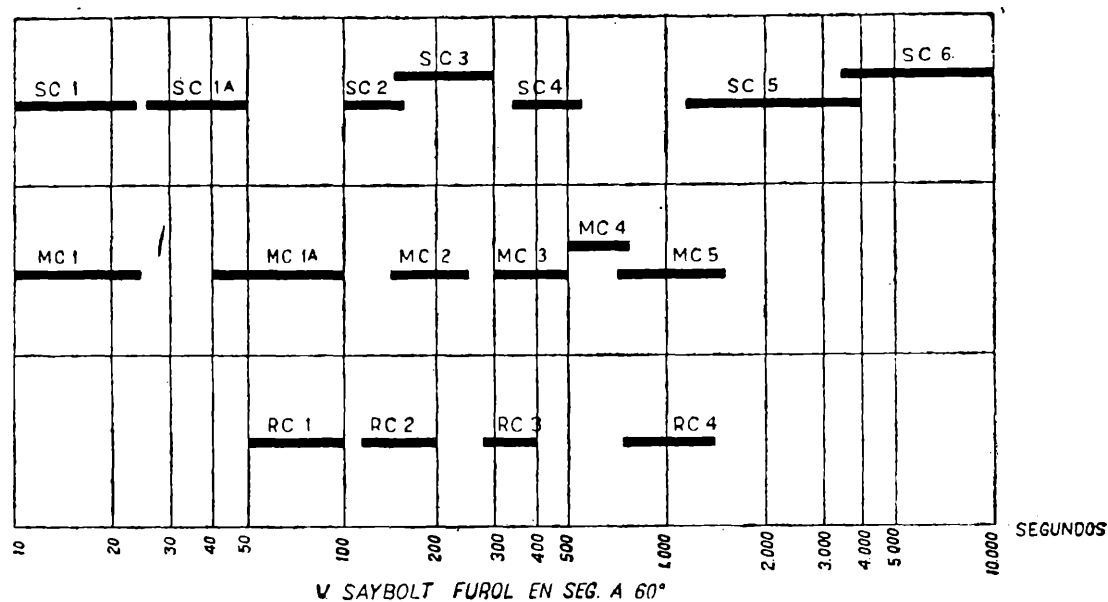


FIG. 4.

Según puede verse, los materiales pesados para los cuales no se usa ese ensayo a esa temperatura si no a 80° C, o bien el ensayo

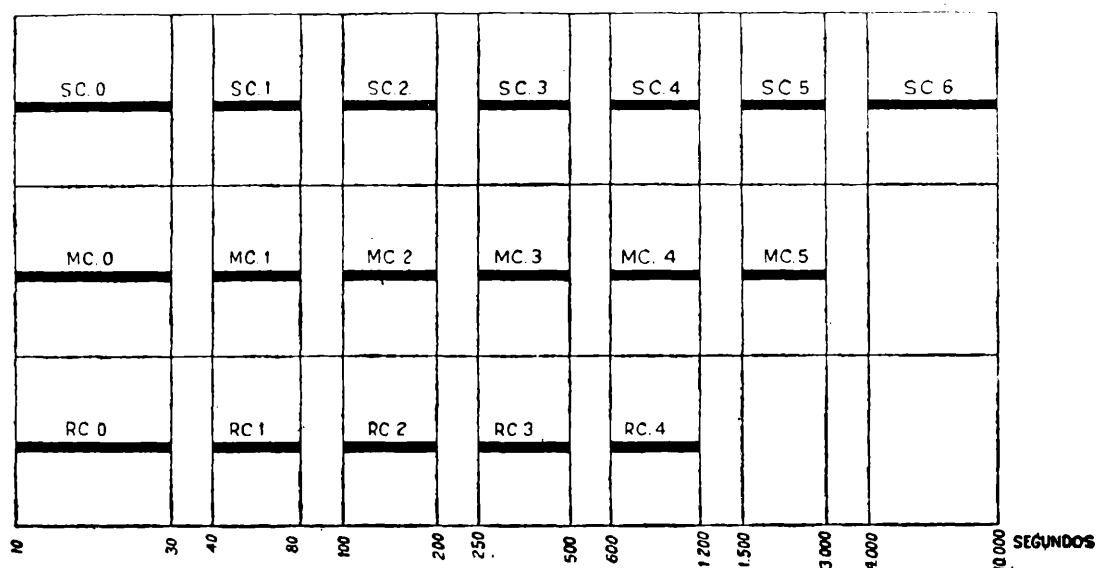


FIG. 5.

de Flotación, están también representados (a la derecha de 500 segundos) habiéndose calculado las correspondientes equivalencias. La figura N° 5 representa la misma cuestión, pero de acuerdo

con una reciente propuesta del Asphalt Institute ⁽¹⁾, de aprobarse esa modificación el índice que sigue a los símbolos *RC.*, *MC.* y *SC.* representaría, para números iguales, coincidentes rangos de consistencia para los tres grupos de productos. Como puede apreciarse, sería necesario introducir algunas modificaciones en las especificaciones actualmente en uso; los productos de tipo 1 pasarían a ser tipo 0, y los de tipo 1A a tipo 1. Se estima que es una alteración racional.

Aplicaciones. — Entre las aplicaciones más importantes de los asfaltos disueltos en las obras viales, deben indicarse:

- A) Fijación de polvo.
- B) Imprimación.
- C) Tratamiento superficiales;
- y D) Mezclas asfálticas,

estas últimas, desde la estabilización de suelos hasta los más densos tipos de concretos asfálticos.

Las condiciones que deciden la elección de un determinado producto para cualquiera de esas aplicaciones, están vinculadas a:

1°. Viscosidad ⁽¹⁾ probable del producto en el momento de su aplicación.

2°. Viscosidad final del cemento asfáltico cuando la eliminación del solvente puede considerarse terminada.

3°. Tiempo que medie entre esas viscosidad inicial o de aplicación y la viscosidad final.

4°. Vida y retrabajabilidad del cemento asfáltico una vez obtenida la viscosidad final.

Respecto del punto 1°. o sea consistencia del asfalto disuelto (ver Esquema N° 4), se pueden considerar en general tres grupos:

a) Livianos, o sean aquellos cuya viscosidad S.F. a 60° C. es menor de 100 seg.

b) Medianos, aquéllos cuya viscosidad en las mismas condiciones está comprendida entre 100 y 400 seg.;

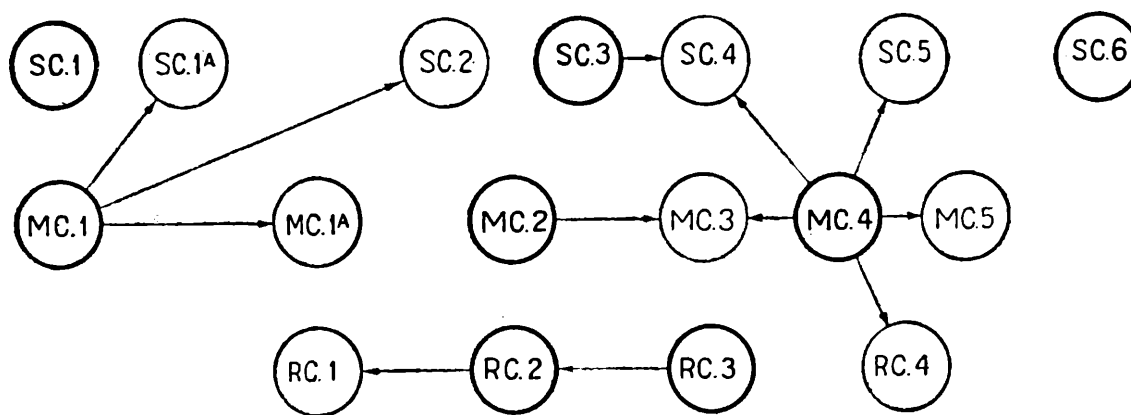
y c) Pesados, aquéllos en que es superior a 400 seg.

El segundo punto, viscosidad final, está relacionado con el grado que poseía el cemento asfáltico original al ser fluxado. En los *R.C* como en los *SC.* se trata de uno de penetración comprendida

⁽¹⁾ Organización de tendencias científicas, sostenida por las principales refinerías estadounidenses.

⁽¹⁾ Viscosidad y consistencia son consideradas aquí palabras sinónimas.

entre 80 y 100, pero mientras que en el primer caso es dable esperar después de la volatilización, un residuo en el camino equivalente con aproximación a ese valor, en el caso de los *SC.*, en cambio, se debe tener en cuenta que el medio solvente está constituido por fracciones muy pesadas (lubricantes y algo de gas-oil) que en la práctica no abandonan sino parcialmente el cemento original. En el caso de los *MC.* el cemento base es algo más blando, penetración 120, y el solvente (kerosén) es eliminado en mucha mayor proporción que en el caso de los *SC.* pero no tan completamente como ocurre con los *RC.*; los *MC.* conservan en efecto, a veces años, parte del solvente. En relación con la consistencia final, estos produc-



- SC.1: FIJACION DE POLVO
 GRUPO MC.1: IMPRIMACION
 " MC.2: MEZCLA EN SITIO (Mezclas cerradas - climas húmedas)
 " SC.3: " " (" " " secas)
 " RC.3: " " (" " " abiertas - tipo macadam)
 " MC.4: MEZCLA EN USINA
 " RC.2: TRATAMIENTO SUPERFICIAL (Recubrimientos livianos)
 SC.6: " " " " " espesos)

FIG. 6.

tos colocados en orden de « dureza » decreciente son: *RC - MC* y *SC*. El tercer punto, tiempo que media entre las dos consistencias, es de muy grande importancia; del mismo depende la elección del material en función del clima, la calidad de la subrasante, la eficiencia de los drenajes, la calidad y cantidad del tránsito y el equipo a utilizarse.

Finalmente, el cuarto punto está íntimamente vinculado al punto 2º. y su discusión puede hacerse con la de este último.

En la figura N° 6 se ha intentado representar la aplicabilidad de los distintos asfaltos disueltos de acuerdo con las recomendaciones más serias fundadas en experiencias de largos años. Los distintos productos se han colocado en columnas teniendo en cuenta su viscosidad de acuerdo al esquema N° 4, y que para el caso es

creciente de izquierda a derecha. Los productos representados en una misma columna tienen una consistencia media equivalente. Los productos subrayados constituyen lo que podría llamarse « tipos específicos » es decir, los productos que en las diversas especificaciones tienen funciones más definidas o netas; los demás productos son tipos intermedios y su aplicabilidad (dependiente de factores más bien locales que generales) está representada por las flechas interiores del cuadro.

Una discusión somera del cuadro puede contribuir a fijar el concepto que guía la elección de un dado material para una dada aplicación.

A) *Fijación de polvo.* — El objeto es fijar el material suelto en un camino, material que por su liviandad es levantado por el viento con los consiguientes inconvenientes para el tránsito. (Este problema asume gran importancia en los caminos de grava en EE. UU.). El paliativo a utilizarse deberá ser un producto de baja viscosidad para que pueda rodear las pequeñas partículas de suelo; no deberá desarrollar una viscosidad susceptible de « pegar » el material a los rodados; deberá mantenerse « vivo » el mayor lapso de tiempo posible y, finalmente, podrá conservar la totalidad del solvente el que contribuirá a hacer posible el recubrimiento de mayor número de partículas. La acción desarrollada es: una liviana cohesión por un lado, y una mayor pesantez de las partículas; por las razones dadas, el paliativo debe ser un *SC.* y entre ellos uno muy liviano. El **SC.1** es el material que reúne por excelencia las mejores condiciones. Los resultados obtenidos con los paliativos han sido a menudo excelentes. Por supuesto si los agentes dispersivos son de una energía superior a ciertos límites, el tratamiento puede ser insuficiente, en especial cuando se trata de climas excesivamente secos y suelos muy finos.

B). *Imprimación.* — El objeto de la imprimación es bien conocido: preparar una base cualquiera para recibir en las mejores condiciones un tratamiento superficial. Esa preparación supone: a) « cerrar » la superficie de la base a la posible penetración del agua, es decir, impermeabilizarla, y b) proveer una superficie adherente que fije la delgada carpeta originada por el posterior tratamiento superficial. La elección del tipo de imprimador depende en forma importante del grado de oclusión de la base; si ésta aparece muy densa o sea muy cerrada, deberá utilizarse un material liviano para que pueda penetrar, por ejemplo, un *MC.1*, si la base

aparece algo más porosa o sea más abierta, podrá utilizarse uno más consistente, por ejemplo un *SC.2* o un *MC.2*. Se han indicado aquí tres materiales y según puede verse en el cuadro, existen (no contando por ahora los tipos intermedios *SC.1A* y *MC.1A*) otros dos: el *SC.1* y el *RC.1* que tienen más o menos la misma consistencia que el *MC.1* el primero, y que el *SC.2* y *MC.2* el segundo; la razón de que ellos no se consideren como imprimadores es que el *SC.1* no desarrolla prácticamente la función *b*) mencionada arriba, mientras que el *RC.1* por la rapidez con que adquiere su elevada viscosidad final, no penetra en absoluto. El **MC.1** debe ser considerado como el imprimador por excelencia; no obstante posee un elevado contenido en kerosén y ello lo hace un producto caro. Actualmente no se utiliza casi en la mayoría de las obras, siendo substituído por el *SC.1A*, *SC.2* y *MC.1A*. El primero y el último especialmente, parecen ser productos altamente recomendables para las prácticas más comunes en nuestro país. Debe agregarse aquí, que el polvo o material suelto en las superficies a imprimir debe ser siempre cuidadosamente eliminado; su existencia desempeña el papel de un filtro que retiene la mayor parte del material asfáltico impidiendo su penetración.

C). *Tratamiento Superficiales.*— Los tratamientos superficiales son casi siempre incorporaciones de material pétreo en tamaños que dan una gradación abierta, es decir, «no estable por sus propios medios» por la falta de finos que llenen los abundantes vacíos proveyendo fricción y cohesión suficientes.

En esas condiciones, las partículas de material pétreo destinadas a dar aquellas cualidades de resistencia, rugosidad, etc., son «pegadas» con un cemento asfáltico que al efecto debe poseer una elevada viscosidad. Además, debe tenerse en cuenta la necesidad de librar al tránsito la obra inmediatamente después de ejecutada. El material recomendado con más frecuencia es actualmente el **RC.2** material perfectamente trabajable a temperaturas normales (no menos de 15° C) y que desarrolla de inmediato, por volatilización de la nafta solvente, un enérgico cemento asfáltico. También es utilizado el *R.C.1* que es algo más liviano por su mayor contenido de solvente. El perfecto «curado» de este material lo hace especialmente apto para tratamientos delgados; además, seca completamente haciendo posible que el mismo sea regado cubriendo el agregado pétreo y sin requerir adicionales distribuciones de material fino que lo proteja de adherencias a los rodados de los vehículos. (No obstante esto, es recomendable efectuar una ligera distribución de material fino exento de polvo).

Cuando se trata de tratamientos más o menos espesos, resulta más económico utilizar un producto con mayor contenido de asfalto, o sea menor contenido de solvente, que, cuando es nafta o kerosén hacen oneroso al material. Por tratarse de una masa mayor de agregado pétreo, existe una mayor fricción y por lo tanto una mayor estabilidad y resistencia a los corrimientos; para este tipo de tratamiento, es cada vez mayor la utilización del **SC.6** tanto a penetración directa como invertida, (se dice penetración invertida porque en vez de regarse el material bituminoso sobre el agregado pétreo, es éste que se distribuye sobre un previamente regado grueso film de cemento asfáltico que luego va subiendo por entre los intersticios del pedregullo, bajo la acción de los rodillos y del tránsito).

D). *Mezclas asfálticas.* — Constituyen lo que se llama pavimentos de costo intermedio; su utilización en los EE. UU. es la base de los nuevos programas racionales de construcción de firmes. En los últimos 5 años su crecimiento en los estados del Oeste está representado por una progresión geométrica. Su espesor varía entre 5 y 15 cm.; el espesor más general es de 7,5 cm. (3").

También están incluídas en este tipo las llamadas estabilizaciones de bases, en que un suelo natural en una subrasante es mejorado con la adición de un pequeño porcentaje de material bituminoso. La elección de los tipos de material a utilizarse debe completar en primer término, dos puntos:

1) Gradación del agregado mineral que compone la mezcla.

2) Sistema de trabajo a emplearse. Con respecto al primer punto, las mezclas pueden ser cerradas o abiertas; las mezclas cerradas incluyen material de gradación gruesa o fina en modo de obtener el mínimo posible de espacios vacíos o sea máxima compacidad; las mezclas abiertas, llamadas también « tipo macadam », no incluyen material fino. En estas condiciones, las primeras poseen de por sí una estabilidad propia dada por los finos, que las segundas no poseen; por lo mismo un *SC.* o un *MC.* serán convenientes para ellas, mientras que las otras requerirán el auxilio de un « binder » o ligante fuertemente adhesivo como el que desarrolla un *RC.* La elección (cuando de bases cerradas se trata) entre un *SC.* y un *MC.*, se continúa considerando que los *SC.* dejan un producto más « vivo » que el dejado por un *MC.* o sea un producto que permite con cierta facilidad la retrabajabilidad de la mezcla cuando alguna reparación se hace necesaria; esa retrabajabi-

lidad es también posible con los *MC*. (Que como ya se ha dicho nunca pierden la totalidad del solvente), pero en menor grado. Querría decir esto que un *SC*. es preferible a un *MC*., pero ello sólo será aproximadamente cierto, cuando se trate de mezclas que de por sí poseen mucha estabilidad y (muy importante), cuando la base esté a cubierto de la acción del agua, sea llovida, sea capilar; esta cuestión del agua debe llevar la elección a los *MC*. por cuanto éstos con un curado relativamente rápido, desarrollan una resistencia al lavaje que no poseen los *SC*. Otro factor a tomarse en cuenta es el de la rigidez de la base. Un *RC*. desarrollará una menor capacidad a las deformaciones flexibles que el *MC*. y éste a su vez que el *SC*. (siempre considerando el producto final que deja cada material). Queda, pues, en general, esbozado el siguiente esquema de elección:

Mezclas cerradas:	Condiciones secas:	<i>SC</i> .
»	»	»
»	»	»
»	abiertas:	<i>RC</i> .

El tipo depende del sistema de ejecución a emplear siendo claro, que a igual posibilidad habrá siempre una ventaja económica en la utilización de los índices mayores por su más alto contenido asfáltico. Si se elige el sistema de mezcla en sitio (Road Mix) el material bituminoso irá enfriándose paulatinamente después de regado, mientras se ejecuta la mezcla con las motoniveladoras. Un material relativamente liviano será entonces necesario. Si se utiliza el sistema de mezcla en planta (« Plant - Mix » - Stationary o Traweling Plant), entonces podrá usarse un tipo más pesado, pues la temperatura es mantenida durante todo el tiempo de mezclado. Las recomendaciones usuales, sobre las bases aludidas, fijan el **SC.3** para las mezclas en sitio de tipo cerrado en condiciones secas: El **MC.2** para las mismas en condiciones húmedas: el **RC.3** para las mezclas de tipo abierto. En lo que se refiere a las mezclas en planta, el **MC.4** es un material de gran utilización, pero no pesando tanto la cuestión de la temperatura de mezclado (ya que ella puede ser elevada y mantenida como más convenga) otros factores locales hacen posible la utilización de otros tipos de acuerdo con las experiencias de diferentes Estados y según muestra el cuadro N°. 5.

III. — ASFALTOS EMULSIONADOS

III. ASFALTOS EMULSIONADOS. — Para disminuir la viscosidad de un cemento asfáltico, un alquitrán, o una brea, se recurre a su emulsión con agua. Ello permite la aplicación del material bituminoso sin necesidad de un previo calentamiento a elevadas temperaturas y también (de suma importancia en algunos tipos de obra) el recubrimiento de las partículas sólidas de las mezclas con una membrana bituminosa prácticamente tan delgada como se desee.

En rigor debe hablarse de *dispersiones*, distinguiendo entre « suspensiones » y « emulsiones » según la naturaleza sólida o líquida, respectivamente, de la fase dispersa en el medio líquido. Por lo que hace a las dispersiones bituminosas el caso general es el de las emulsiones en agua — « hidrosoles » — o sea, sistemas formados por:

- a) Una fase « dispersa » o « interior »,
- y b) una fase « continua » o « externa ».

Además podrá presentarse cualquiera de los dos casos siguientes: 1º) emulsión tipo aceite en agua, y 2º) emulsión tipo agua en aceite; la producción de uno u otro tipo depende en parte de las cantidades relativas de una u otra fase, pero principalmente de la índole de un tercer componente: el « agente emulsivo ». Las emulsiones cuya preparación interesa a la técnica caminera, son del tipo aceite en agua.

Obtenido el emulsiónamiento de una cantidad determinada de betún en agua, interesa obtener la permanencia del sistema, o « estabilidad », hasta el momento de su utilización, y también un adecuado grado de rapidez o facilidad en el proceso de coalescencia una vez iniciado el mismo. Denomínase coalescencia el proceso de coagulación de la fase dispersa produciendo lo que en la técnica caminera se ha llamado « rotura » de la emulsión. Estos conceptos de estabilidad y rotura son de extrema importancia y deben ser bien comprendidos. Considérase, como ejemplo, la existencia de una partida de emulsión bituminosa acopiada en obra; hasta el momento de su aplicación (que por cualquier causa podrá ocurrir dos o tres meses después de su preparación industrial), la emulsión deberá permanecer inalterada sin mostrar sedimentación o principios de coagulación; satisfecha esta condición e inmediatamente después de la incorporación en obra, las características especiales de ésta impondrán un determinado grado de resistencia a la desemulsión o lo que es lo mismo un determinado grado de rapidez de rotura; para

una mezcla granular cerrada que incluye partículas muy finas, la estabilidad debe ser muy grande para dar tiempo al mezclado íntimo de los agregados y al posterior manipuleo de la mezcla antes de que el betún adquiera su viscosidad y dificulte esas operaciones; por el contrario, si la emulsión se aplica como en el caso de un tratamiento superficial, en forma de riego sobre una previamente extendida capa de agregado pétreo de granulometría abierta, la rotura debe entonces producirse con suficiente velocidad como para que luego de una o dos pasadas de rastra queden totalmente recubiertas todas las caras de las partículas pétreas y el material bituminoso haya desarrollado su viscosidad evitándose así que el mismo escurra y se deposite en el fondo de la superficie recubierta con el tratamiento. La industria ha aprendido a obtener emulsiones de facilidad de rotura distinta variando desde las muy rápidas hasta las sumamente estables: en general se especifican dos o tres tipos: de rotura Rápida, de rotura Media y de rotura Lenta.

Queda dicho que una emulsión es un sistema formado por una fase dispersa y una fase continua. La fase dispersa lo habrá sido por una acción mecánica, por ejemplo, un intenso agitado, y el grado de fraccionamiento o sea el tamaño de los glóbulos del líquido que la constituye, dependerá de la intensidad de esa acción mecánica. El tamaño de las partículas ejerce una gran influencia en la estabilidad de la emulsión: para tamaños de 5μ el movimiento browniano apenas es perceptible, pero se hace ya muy intenso para 2μ , y cuando el tamaño baja de $0,5 \mu$, su aceleración es mayor que la de la gravedad obteniéndose entonces verdaderas dispersiones coloidales de extraordinaria estabilidad ⁽¹⁾. El movimiento browniano sería la expresión de los choques producidos por los glóbulos de la fase dispersa con las moléculas en movimiento que constituyen la masa del medio o fase continua; la velocidad resulta inversamente proporcional al tamaño de esas partículas. Además de los movimientos brownianos, otros dos factores influyen en la estabilidad o permanencia de las emulsiones bituminosas; uno es el establecimiento de un potencial eléctrico durante la formación del emulsionamiento, y el otro la acción de las tensiones interfaciales. En las emulsiones bituminosas del tipo aceite en agua, la fase externa posee una carga positiva, mientras que las esférulas que componen la fase interna son electro-negativas; la diferencia de potencial es del orden de 50 milivoltios y una emulsión de 4 a 5 % de concentración ⁽²⁾ es prácticamente permanente cuando esa carga es de 70 milivoltios ⁽³⁾. La acción estabilizadora de estas car-

gas electrostáticas se traduce en una mútua repulsión de las partículas, y puede aumentarse por la adición de un electrolito adecuado.

Contrariamente a la acción de los movimientos brownianos y cargas electrostáticas, la de las tensiones interfaciales es una acción coalescente y desmulsiva. Para explicarla es necesario recordar el concepto de « tensión superficial », relacionado con la materia en estado líquido. Si sobre la superficie plana de un sólido es derramada una determinada cantidad de dos líquidos distintos, como por ejemplo alcohol y mercurio, será dable observar que ambos se habrán configurado, luego de reposo, en forma diferente; mien-

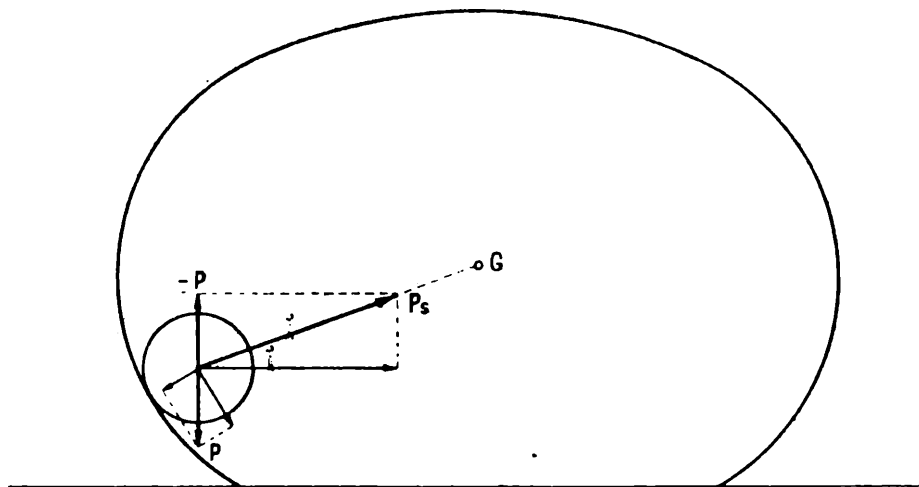


FIG. 7.

tras el alcohol se extenderá sobre la superficie sólida en forma de una delgada y extendida lámina, el mercurio se presentará en forma de pequeñas esférulas tanto más perfectas cuanto menor sea su masa; se observará también que aproximando unas a otras, esas esférulas se unen ávidamente. Se dice en consecuencia que el alcohol tiene un gran poder de mojado o que su tensión superficial es muy reducida, e inversamente para el mercurio. En el caso de la gota de mercurio una molécula de la periferia como la mostrada en la fig. 7, estará solicitada por una fuerza, una de cuyas componentes deberá ser, en reposo, igual y contraria a la acción

(1) Las partículas cuyo tamaño va de pocos micrones a $0,1 \mu$ se denominan microscópicas; por debajo de ese tamaño se dice que son ultramicroscópicas. Se distinguen: dispersiones « groseras » en que el tamaño de las partículas es superior a $0,1 \mu$; « coloidales » con partículas comprendidas entre $0,1 \mu$ y $0,005 \mu$, y « atómicas » con partículas menores.

(2) La concentración está definida por el porcentaje en peso de la fase dispersa respecto del total.

(3) La influencia de las cargas eléctricas desaparece cuando la diferencia de potencial baja de 30 milivoltios.

de su peso; esa fuerza es la energía superficial y representa la *cohesión molecular*, variable para cada substancia. Cuando su intensidad es suficientemente grande, prevalece sobre la resultante de las fuerzas externas (gravedad y otras) y el cuerpo tiende a la forma esférica que supone el área superficial mínima. De lo expuesto se deduce que, cualquiera sea el líquido considerado, de formar su masa para aumentar su área superficial requerirá un trabajo destinado a vencer esa energía superficial; análogamente, producido el acrecentamiento de superficie de la masa de una substancia líquida dada, la tendencia a la recuperación de la superficie mínima se manifestará en cuanto dejen de actuar las fuerzas que han producido ese incremento de superficie; por ejemplo, si se agitan en un recipiente dos líquidos como agua y aceite, éste sufrirá una dispersión en el seno del agua por la acción mecánica del agitado, aumentando enormemente su superficie en contacto con el medio dispersante (superficie de las numerosas esférulas formadas), pero en cuanto se produce el reposo, las esférulas de aceite se reúnen rápidamente reconstituyéndose el sistema primitivo de los dos líquidos inmiscibles colocados uno sobre otro por acción de la gravedad y en contacto en una superficie igual a la sección horizontal del recipiente, que es la mínima posible en esas condiciones.

La expresión del trabajo necesario para producir el aumento de una unidad de superficie, se denomina «tensión superficial» y se mide en dinas, correspondiendo para cada líquido un valor distinto que varía a su vez con la temperatura. A 20° el valor de la tensión superficial para el alcohol y el mercurio es:

Alcohol	22	dinas	por	centímetro
Mercurio	500	»	»	»

Lo que antecede es considerando el caso particular líquido-gas, pero el razonamiento es análogo para el caso líquido-líquido con la diferencia de que mientras en el primer caso pueden considerarse nulas las fuerzas de cohesión molecular de una de las fases, el aire, en el caso líquido-líquido debe considerarse la acción mútua de las dos tensiones superficiales en la superficie de contacto o sea, la «tensión interfacial». Para las emulsiones bituminosas esa acción se manifiesta en una tendencia al enérgico ⁽¹⁾ agrupamiento o peptización de las partículas de la fase dispersa y, mecánicamente, sólo es posible contrariar esa tendencia (o sea esta-

(1) Tanto más enérgico cuanto mayor la tensión interfacial.

bilizar la emulsión) mediante una muy grande subdivisión de las partículas. La estabilidad así obtenida no es con todo satisfactoria y por lo mismo la industria del emulsionamiento de betunes ha debido recurrir, para asegurarla o aumentarla, al empleo de sustancias químicas especiales que aseguran esa finalidad produciendo el debilitamiento de las tensiones interfaciales. Por ejemplo: la tensión interfacial del sistema agua-benzol es, a 20° C, de 35 dinas/cm.; pero si el agua contiene 0,4 % de soda cáustica, Na (OH), y el benzol 2,8 % del ácido oléico, dicha tensión se reduce a 0,04 dinas/cm. o sea aproximadamente 1 milésimo del valor anterior, aproximadamente. En uno u otro caso será muy distinta la estabilidad que se obtenga en la emulsión agua-benzol; la adición de los emulsivos indicados permitirá alargar considerablemente su permanencia o estabilidad. Con respecto a como se produce la acción emulsiva o, mejor dicho, conservativa de esas sustancias, se han ensayado varias teorías; en general se admite que el emulsivo se dispone según una película que rodea a cada esférula de la fase dispersa, haciendo las funciones de aislador o protector, debido a una especial propiedad de orientación molecular, lo cual explica asimismo que se disperse una u otra fase de un sistema de dos líquidos en contacto, como por ejemplo agua y aceite, según la naturaleza del emulsivo; si el emulsivo es soluble en agua, la emulsión resulta del tipo aceite en agua, si es en cambio soluble en aceite, la fase que se dispersa es el agua. Como ya se ha dicho, las emulsiones bituminosas son del tipo aceite en agua.

Por último, en relación con la estabilidad de las emulsiones, debe tenerse en cuenta la diferencia de peso específico de ambos líquidos; claro está que cuanto mayor sea esa diferencia mayor será la resistencia mecánica al emulsionado y más intensa la tendencia a la coalecencia.

Resumiendo, los factores principales que intervienen en la estabilidad de las emulsiones son:

Estabilidad

Factores que la favorecen	Factores que la contrarían
1) Movimientos brownianos 2) Potencial eléctrico	1) Tensión superficial 2) Diferencia de peso específico

Tanto los movimientos brownianos como el potencial eléctrico se aumentan acrecentando el grado de dispersión de la fase interna,

y la disminución de la tensión superficial se logra mediante la acción de los emulsivos. En lo que respecta a la diferencia de pesos específicos, es una cuestión de elección previa.

En las emulsiones bituminosas suministradas por la industria, los emulsivos se incorporan en proporción de 0,5 a 2 % en peso. Las sustancias más comúnmente usadas como emulsivos, son: cuerpos alcalinos como los jabones de ácidos grasos y el carbonato de sodio — bases orgánicas como la piridina — cuerpos de estructura coloidal como el almidón, el silicato de sodio y las arcillas coloidales — ácidos naftélicos — gomas, etc. De la utilización de uno u otro emulsivo depende la resistencia a la rotura de la emulsión bituminosa que se considere; existen las emulsiones de rotura rápida y de rotura lenta y entre ellas una serie de tipos intermedios en las que la facilidad de rotura se gradúa como se desee, según se utilice uno u otro tipo de emulsivo o una combinación de ellos. Son conocidas como sustancias que retardan la rotura: los ácidos en presencia de oxalato, tartrato o fluorsilicato de sodio o potasio, el aluminato de sodio, el acetileno, etc.; por el contrario, aceleran el proceso de rotura: el ácido sulfúrico, el ácido clorhídrico, el sulfato de sodio y los cloruros de calcio y sodio. El alcohol, que disuelve el jabón, produce la inmediata coagulación de las emulsiones preparadas con dispersantes jabonosos. El proceso de la producción de la rotura es de sencilla comprensión; en general significa una alteración de la tensión interfacial entre las dos fases de una emulsión en equilibrio produciéndose la coalescencia. Esa alteración puede ser originada por distintas causas:

- Acción de una sustancia que altere el film protector. (Sales, alcohol, etc.).
- Acción de fuerzas mecánicas, como ser compresiones, trepidaciones, choques, etc.
- Eliminación del agua por evaporación, capilaridad o filtraciones.
- Acciones electrolíticas o químicas que modifiquen las cargas eléctricas de las dos fases.
- Contacto con la superficie de cuerpos, tales como partículas pétreas de suelo, etc.
- Acción prolongada de frío intenso ⁽¹⁾.

(1) Para proteger las emulsiones bituminosas de la acción de heladas o fríos muy intensos se incorpora a las mismas pequeñas cantidades de sustancias tales como glicerina, acetona, anilina, etc.

FABRICACIÓN DE LAS EMULSIONES. — *Cantidad y tipo de asfalto.* Se pensó originalmente que la cantidad máxima de la fase dispersa en una emulsión estaba expresada por la cifra 74,048 %, en volumen con respecto al total. Ese número representa el por ciento de espacio ocupado por un conjunto de esferas de igual diámetro en un cubo que las contenga exactamente.

En esas condiciones ese porcentaje representaría el « punto crítico » de la emulsión, es decir el valor pasado el cual se produciría la inversión de las fases. Tal teoría demostró ser inconsistente y así, por ejemplo, fueron obtenidas emulsiones en que el volumen del medio dispersante era sólo de 1 % del volumen total. En la práctica las emulsiones asfálticas contienen de 50 a 70 % de cemento asfáltico y los tipos más comunes, de 52 a 58 %. En lo que respecta al tipo del cemento asfáltico utilizado, corresponde señalar dos tipos más usados de emulsión: el que utiliza cemento de penetración aproximadamente 100 ⁽²⁾ y el que utiliza cementos de penetración 150-200; este último tipo es el que se emplea en el país con fines camineros, y ello determina una característica importante a la que se aludirá al hablar de las aplicaciones viales de las emulsiones. También la calidad de los cementos asfálticos parece ejercer gran influencia en la obtenibilidad del emulsionamiento; a este respecto cabe hacer referencia a las dificultades que hasta la fecha han obtenido algunas refinerías para preparar emulsiones asfálticas con cementos obtenidos de petróleos de base semiasfáltica y mediante procesos de soplado o cracking.

Tipos de Emulsión. — Como queda dicha, una característica importantísima de las emulsiones es su mayor o menor habilidad de coalescencia una vez aplicada en obra. La técnica vial ha reclamado, fundamentalmente, dos tipos de emulsión bituminosa: las que una vez aplicadas rompen muy rápidamente y las que, en cambio, son sumamente estables y rompen luego de un proceso relativamente largo en que la emulsión soporta la acción mecánica de las operaciones de mezclado y extendido, y la de otros agentes como el viento y el calor. Existen en consecuencia dos tipos fundamentales de emulsión: de Rotura *Lenta* y de Rotura *Rápida*; entre esos límites la velocidad de rotura se puede variar gradualmente y en la medida de lo deseable. Corresponde insistir en el concepto de que lo que se define como « velocidad de rotura » debe ser traducido como « facilidad de rotura ».

⁽²⁾ Ensayo standard (25° C-100 gr-5 seg.).

Viscosidad: La reducida viscosidad de las emulsiones asfálticas comparada con la del cemento asfáltico que lo constituye, es una de las propiedades que justifica su empleo. La viscosidad de una emulsión asfáltica es función hasta cierto punto de su concentración, pero principalmente de su grado de dispersión y de la naturaleza de la fase dispersa. Hasta 60 % de betún, la viscosidad prácticamente no varía; por arriba de 60 % aumenta rápidamente. También influencia la viscosidad la presencia de algunos coloides; así, por ejemplo, la presencia del ácido cítrico produce un aumento de fluidez, mientras que el grupo fenol acrecienta la viscosidad. (1).

Medios mecánicos de producción: Las máquinas utilizadas para la industrialización de las emulsiones asfálticas responden a las características de dos grupos principales:

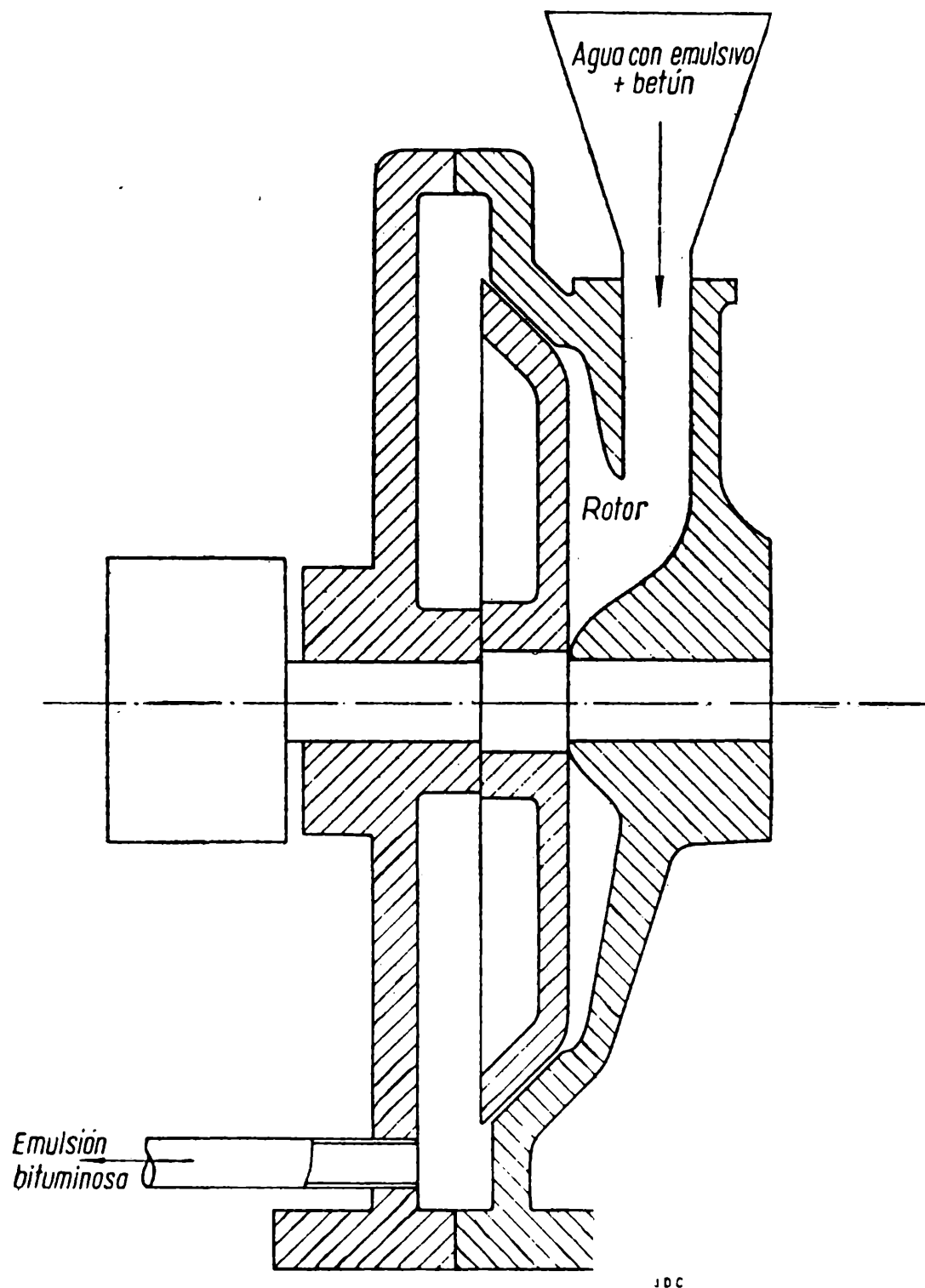
- 1) Agitadores u homogeneizadores.
- 2) Desintegradores o « Molinos Coloidales ».

Al primer grupo, de funcionamiento intermitente, pertenecen los aparatos compuestos esencialmente por un recipiente provisto o no de doble fondo (o tuberías) para calentamiento y un dispositivo de agitación. La acción dispersante es producida por la presión mútua que entre sí ejercen ambos líquidos; las emulsiones asfálticas obtenidas de ese modo constituyen en general dispersiones bastante groseras. Los llamados molinos coloidales, de funcionamiento continuo, producen una mayor subdivisión de la fase dispersa y hoy día son casi exclusivamente utilizados esos tipos de aparatos: el desmenuzamiento por corte de una delgada membrana líquida se verifica entre dos superficies separadas por un espacio de una a dos décimas de milímetro. El aparato representado en la figura 8, es el de Hurrel; consta de un motor a eje horizontal que gira, dentro de una superficie troncónica paralela, a una velocidad de 3.500 a 5.000 rev. por minuto. También debe citarse el de Hinckley y Plauson, y el Harrison Carter; este último está constituido esencialmente por un disco que gira a gran velocidad desmenuzando el líquido contra un segundo disco paralelo fijo. Finalmente, son también utilizados aparatos en que el chorro líquido se desmenuza al chocar contra una rueda de paletas que gira rápidamente.

Generalmente la fabricación de las emulsiones se opera en caliente con la finalidad de disminuir, bien la viscosidad, bien la tensión

(1) Tendiendo a transformar el hidrosol en hidrogel.

superficial de ambas fases. Comúnmente el emulsivo es incorporado a la fase en que es soluble y luego se agrega gradualmente la



TIPO DE HOMOGENEIZADOR CON EJE HORIZONTAL

FIG. 8.

otra fase. Como ya se ha dicho, en las emulsiones asfálticas el emulsivo se incorpora en muy pequeñas cantidades ⁽¹⁾ aprox. 1 %;

⁽¹⁾ Cuando se utiliza arcilla coloidal como emulsivo, se incorpora de un 5 a un 8 %.

la tendencia moderna es disminuir ese porcentaje tanto como es posible en vista de que algunas hipótesis atribuyen acciones perjudiciales sobre el betún a algunas sustancias dispersantes; esa disminución se consigue principalmente aumentando la estabilidad « mecánica » de la emulsión o sea su grado de dispersión.

En lo que respecta a la concentración debe decirse que muchas veces son preparadas en refinería emulsiones muy concentradas que luego son diluídas en obra hasta el punto deseado; el objeto es disminuir el volumen a transportar. Se aconseja, para evitar una posible rotura, que esa concentración no vaya más allá del punto que suponga un agregado en obra de más de 20 % de agua (2). En la operación de dilución debe echarse el agua dentro de la emulsión y nunca lo contrario.

APLICACIONES. — Indudablemente el uso de las emulsiones ha constituido un apreciable paso hacia adelante en la técnica de las construcciones viales que utilizan materiales bituminosos.

Las ventajas de las emulsiones asfálticas son, fundamentalmente, las cuatro siguientes:

1) Son susceptibles de ser manípulas y aplicadas o incorporadas en obra, sin calentamiento previo.

2) Hacen posible la ejecución de las distintas etapas constructivas aún en condiciones de baja temperatura ambiente o de humedad elevada.

3) Permiten el recubrimiento de las partículas del agregado pétreo, con un film tan delgado como resulte conveniente.

4) Hacen factible la utilización de agregados pétreos de granulometría cerrada.

1. — El primer punto o sea la aplicabilidad del material sin necesidad de calentamiento previo, reviste importancia económica y técnica. Mientras un asfalto disuelto de tipo *RC.1* debe ser calentado hasta 50° ó 55° C, la temperatura de aplicación de un cemento asfáltico de penetración 150 - 200 es de aproximadamente 170° C. En el caso de *RC.1* y de algunos otros asfaltos disueltos el calentamiento a temperaturas comprendidas entre 50° y 80° C, se obtiene con un costo reducido en forma relativamente rápida, pero el calentamiento de los asfaltos disueltos pesados y cementos asfálticos es sensiblemente costoso y sobre todo difícil y lento; en la mayoría de los casos se requieren instalaciones especiales de ca-

(2) Especialmente cuando se trata de emulsiones de rotura rápida.

lentamiento, no sólo para proceder a la aplicación del material sino también para efectuar su transvase de las unidades de transporte a las de distribución. Las emulsiones bituminosas tienen a temperatura ambiente una fluidez muy grande; raramente las especificaciones admiten viscosidades superiores a 70 segundos en el ensayo Saybolt - Furol a 25° C.

Técnicamente la no necesidad de calentar se traduce en la eliminación de los riesgos de enfriamiento que afectan a los otros materiales asfálticos; ese enfriamiento puede significar, por una parte irregularidades en la distribución, y por otra, una defectuosa adherencia entre el betún y el agregado pétreo. Otra ventaja de apreciable importancia es la no existencia del peligro que representa el manipuleo de materiales que deben ser calentados a temperaturas elevadas en relación con su inflamabilidad, especialmente en el caso de los asfaltos disueltos que contienen nafta o kerosén.

Como queda expresado, la práctica más extendida admite la aplicación de las emulsiones asfálticas a temperatura ambiente aún en los casos en que ésta es muy baja, 10° C por ejemplo; ello no obstante, se estima que debe tenderse a un ligero calentamiento de las emulsiones, más o menos, a 35° ó 40° C, especialmente en épocas frías. Debe pensarse que las miscelas bituminosas que forman la fase dispersa de la emulsión, pierden, a bajas temperaturas, la elasticidad necesaria para desarrollar íntegramente sus cualidades adherentes.

2. — La misma cualidad de fluidez en frío a que se ha hecho referencia en el punto anterior, permite la realización de las distintas etapas constructivas a temperaturas que excluyen la posibilidad de utilizar otros materiales. Respecto de la cualidad de hacer factible el empleo de agregados pétreos mojados, debe decirse que ello constituye una ventaja sumamente importante, y capaz de justificar por sí sola la elección de emulsión en lugar de otros materiales, para proyectos de obras en zonas donde frecuentes precipitaciones de agua deben ser esperadas durante la época constructiva. Por regla general, el agregado pétreo debe ser acopiado en grandes montones a lo largo de la obra; en esas condiciones una lluvia produce el mojado de la piedra y esa humedad permanece en el interior de los montones durante días, aún en pleno verano. La existencia de un discreto grado de humedad en las partículas pétreas no sólo no perjudica las operaciones de mezcla con el betún emulsionado sino que más bien constituye una circunstancia favorable al retardar un tanto la rotura eliminando la posibilidad de coagulación aisladas.

3. — La cuestión del espesor del film bituminoso que debe recubrir la superficie de las partículas pétreas, reviste gran importancia. Conocido es el hecho de que un material adherente actúa poco intensamente si el mismo es aplicado en una película muy gruesa entre dos superficies a pegar. El exceso de betún en los pavimentos produce las tan frecuentes corrugaciones cuya posterior corrección o eliminación constituye un serio problema de la técnica caminera. Mediante la utilización de emulsiones, el espesor de la película asfáltica puede regularse con suma precisión. En mezclas bituminosas cerradas se obtienen incorporaciones muy homogéneas de cantidades de asfalto tan reducidas como un 3 % o menos.

4. — Al decir que las emulsiones hacen factible la utilización de agregados de granulometría cerrada, se enuncia una cualidad que ha desarrollado un tipo especial de obra caminera; la estabilización de suelos. Ello ha permitido asimismo mejorar la técnica de ejecución de las bases estabilizadas de granulometría graduadas que incluyen fracciones libradas por el tamiz 200. La emulsión bituminosa facilita por su gran fluidez el recubrimiento de las más pequeñas partículas y el agua que contiene facilita el posterior mojado de las mismas por la película asfáltica. El proceso de ejecución de estas mezclas es generalmente el de « mezcla en el sitio » o « mixín - place » y la operación requiere un cierto intervalo de tiempo; por la misma razón las emulsiones empleadas en estos tipos de obra son del tipo de rotura lenta. Ofrecen sobre los asfaltos de tipo disueltos *MC* y *SC* las siguientes ventajas especiales:

a) Los procesos de mezclado, extendido y compactación no ofrecen riesgos de endurecimiento prematuro o demasiada lentitud; mediante riegos de agua oportunos, esos procesos se regulan a voluntad;

b) la homogeneidad del mezclado es sensiblemente más eficiente;

c) la eliminación total del agua es fácil de asegurar mientras que ello no ocurre así en el caso de los solventes kerosén y gas-oil.

CAPITULO II

AGREGADOS PETREOS

PARTE I. — <i>Estudio general</i>	I. - Definiciones. II. - Clasificación. III. - Tipos.
PARTE II. — <i>Agregados triturados</i> . .	I. - Materiales utilizados. Canteras. II. - Elaboración.
PARTE III. — <i>Agregados no triturados</i>	I. - Materiales utilizados. Yacimientos. II. - Extracción.
PARTE IV. — <i>Características y ensayos</i>	

PARTE I. — ESTUDIO GENERAL

I. DEFINICIONES. — Llámense *Agregados Pétreos de Recubrimiento* a los materiales minerales tales como pedregullo, escoria triturada, grava, arena, o combinaciones de los mismos, cuyas partículas pasen por la criba de aberturas cuadradas de 1 pulgada (o sea de aberturas cuadradas de 25 milímetros de lado).

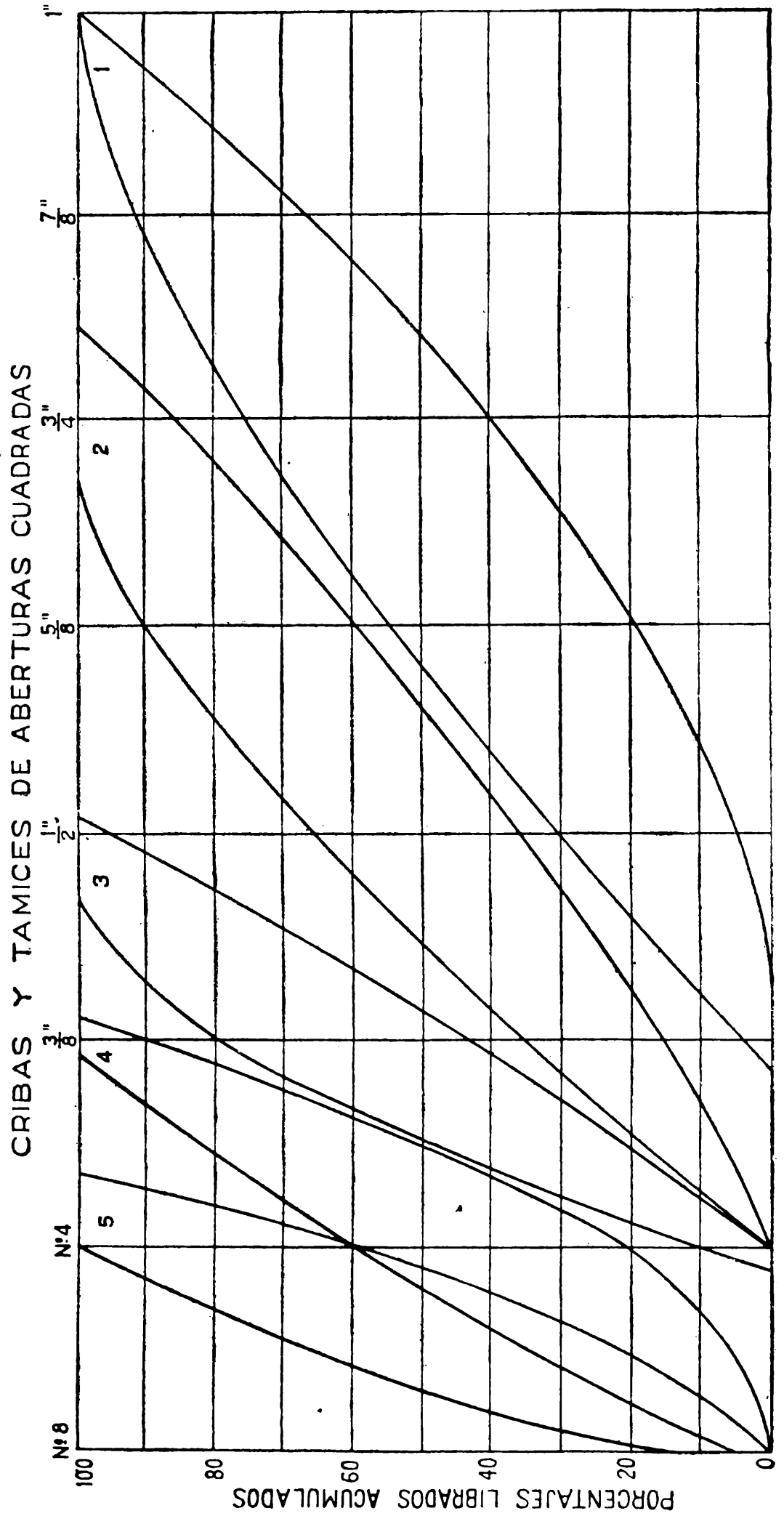
— Denomínanse *agregados gruesos*, los agregados pétreos de recubrimientos cuyas partículas queden retenidas por el tamiz standard N° 4.

— Denomínanse *agregados finos* los agregados pétreos de recubrimiento cuyas partículas pasen por el tamiz standard N° 4.

II. CLASIFICACIÓN. — Los agregados pétreos de recubrimiento se clasificarán en agregados *Triturados* y *No-triturados*. La diferencia fundamental entre los mismos, reside en las siguientes características: los agregados triturados pueden ser controlados cuidadosamente en su calidad (desgaste, dureza, tenacidad, etc.) ya que antes de su trituración los bloques de piedra, o cantos rodados, pueden ser clasificados de acuerdo a sus propiedades físicas, eliminando aquéllos que no cumplan con los requerimientos fijados en cada caso. Además, las caras de las partículas son, en el caso de los

GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS PÉTREOS
PEDREGULLO

GRANULOMETRÍA		CRIBAS Y TAMICES DE ABERTURAS CUADRADAS									
TIPO	APLICACION	1"	7" 8	3" 4	5" 8	1" 2	3" 8	Nº. 4	Nº. 8	Nº. 40	
1	Mat. grueso en el trat. Tipo Triple	100	—	40-75	—	5-30	0-5	—	—	0-1	
2	Mat. grueso para Bacheo		100	—	60-90	—	15-35	—	—	0-1	
3	Mat. grueso en el trat. Tipo Doble				100	95-100	45-80	0-10	—	0-2	
4	Mat. fino en el trat. Tipo Triple - Tipo Simple					100	90-100	20-60	0-5	0-2	
5	Mat. fino en el trat. Tipo Doble						100	60-100	0-15	0-2	



agregados, triturados, más rugosas que las de los no-triturados (grava, arena), presentando en sus superficies las características de la especie petrográfica a que pertenecen.

Los agregados no-triturados, están constituidos generalmente por partículas pertenecientes a distintas especies petrográficas, siendo prácticamente imposible, bajo los aspectos, mecánico y económico, intentar una selección cualitativa de dichas partículas. Por otra parte, la superficie de los agregados no-triturados se halla casi siempre alterada por la acción de los agentes atmosféricos, en especial por fenómenos de abrasión durante el proceso de su formación. Finalmente, el perfeccionamiento de los métodos y maquinaria empleados en el proceso industrial de la trituración, permiten modificar apreciablemente las características de forma de las partículas, en los agregados triturados, con el fin de obtener un factor de cubricidad adecuado.

III. TIPOS. — Se entenderá por Tipos de agregados pétreos de recubrimiento, las gradaciones de tamaño de las partículas que componen un determinado agregado, y que conforman ciertas limitaciones granulométricas, adecuadas a la clase de tratamiento a ejecutar. En general esas granulometrías parten de un tamaño máximo aproximadamente igual al espesor del recubrimiento que se desea obtener. Se dan aquí cinco tipos de granulometría (especialmente diseñados para pedregullo) que pueden representar las gradaciones usuales y adecuadas a los tres principales tipos de Tratamiento Superficial ejecutados por la Dirección Nacional de Vialidad.

Trat. Sup. Bit. — Granulometrías de Pedregullo

Granulometría		Cribas de aberturas circulares								
Tipo	Aplicación	1 1/4"	1"	7/8"	3/4"	5/8"	1/2"	3/8"	1/4"	1/8"
Nº 1	Detalle A	100	40 8	—	15 45	—	0-5	—	—	—
« 2	« B		100	90 100	—	30 70	—	0-10	—	—
« 3	« C				100	—	50 80	—	0 10	0-5
« 4	« D					100	90-100	—	20 60	0-10
« 5	« J							100	0 100	0 15

Estas granulometría están dadas en porcentaje totales librados por las cribas cuyas aberturas circulares están designadas por la dimensión de sus diámetros, en pulgadas.

Las aplicaciones correspondientes, son:

Detalle A: Primer agregado en el Tratamiento T. Triple.

Detalle B: Primer agregado en el Trat. T. Triple liviano. Agregado grueso para Bacheo.

Detalle C: Primer agregado en el Trat. T Doble. Bacheo.

Detalle D: Segundo agregado en el Trat. T. Triple. Primer agregado en el Trat. T. Doble con Grava. Trat. T. Simple.

Detalle E: Tercer agregado en el Trat. T. Triple. Segundo agregado en el Trat. T. Doble.

Los mismos tipos están representados en la tabla y gráfico adjuntos, fig. 9, pero adaptados a la serie de cribas y tamices de aberturas cuadradas. La adaptación es adecuadamente aproximada y las equivalencias entre aberturas circulares y cuadradas, las adoptadas por la A.A.S.H.O. (1).

<i>Aberturas cuadradas</i>	<i>Aberturas circulares equivalentes</i>
1 1/2"	2"
1"	1 1/4"
3/4"	1"
1/2"	5/8"
3/8"	1/2"
Nº 4	1/4"
Nº 8	1/8"

PARTE II. - AGREGADOS TRITURADOS

I. A). MATERIALES EMPLEADOS. — En la preparación de agregados triturados (pedregullo) se emplean materiales pétreos naturales y artificiales. Los primeros son las rocas y los rodados; los segundos, las escorias.

Se hará a continuación una breve descripción de las clases de rocas empleadas, y dentro de esta división las diferentes especies petrográficas comúnmente usadas para la elaboración de agregados pétreos. Se agregan asimismo, las características físicas de algunas rocas argentinas.

(1) « American Association of State Highway Officials » - EE. UU.

ROCAS ERUPTIVAS. — Dentro de las rocas Eruptivas debe citarse el *Granito*, muy común en el país, en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, San Luis y otras zonas. Es una roca de grano grueso, mediano o fino, según las variedades, compuesta de cuarzo, feldespato (ortosa, plagioclasa) y mica (liotita), como elementos esenciales. Las *Dioritas*, son rocas de aspecto similar al granito y están compuestas principalmente de feldespato, mica, anfíbol (horblenda), o piroxeno, o dos de esos elementos. Los *Gabros*, de colores verde o gris obscuro, de grano grueso o fino, están compuestos esencialmente de feldespato (plagioclasa básica, labrador o anortita) y piroxeno. Los *Basaltos* son rocas básicas, representantes volcánicos de los gabros y noritas; su color es obscuro a negro y su grano fino. Los componen el feldespato, el piroxeno y el peridoto (olivina). También deben citarse las *Diabasas*, los *Porfidos* y las *Andesitas*.

ROCAS SEDIMENTARIAS. — Incluyen: las *Calizas* o *Calcáreos* de las cuales se emplean para agregados de recubrimiento, las de estructura cristalina, siendo su principal componente el carbonato de calcio. En la provincia de Córdoba existen extensos mantos de roca calcárea, en explotación. Los *Cantos Rodados*, son rocas detríticas cuyos elementos son materiales fragmentarios procedentes de distintas rocas. Sus partículas se presentan redondeadas por la fricción producida por su rodamiento. Para la elaboración de pedregullo deben eliminarse los rodados menores de 10 centímetros a los efectos de velar por una adecuada elaboración.

ROCAS METAMÓRFICAS. — El *Gneis* es una roca más o menos hojosa, de la misma constitución petrográfica que los granitos. Las *Cuarcitas* son rocas macizas de color blanco o gris amarillento, formadas por granos de cuarzo y variable proporción de minerales accesorios.

En el cuadro que figura adjunto, se dan las características físicas de rocas argentinas analizadas en la Dirección Nacional de Vialidad. Como puede apreciarse se incluyen, para cada variedad y para cada región consideradas, los valores máximos, promedios y mínimos, respectivamente, correspondientes a Peso Específico, Absorción, Desgaste, Dureza, Tenacidad y Resistencia a la compresión.

CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS ROCAS EMPLEADAS EN LA ARGENTINA PARA LA TRITURACION DE AGREGADOS TRITURADOS (PEDREGULLO)

ESPECIE PETROGRAFICA	PELLO ESPECIFICO			ABSORCION EN PESO %			DESGASTE (DEVAL) %			DUREZA (DORRY)			TENACIDAD (PAGE)			COMPRESION Kg/cm ²			PROVINCIA o TERRITORIO	
	MAX.	PROM.	MIN.	MAX.	PROM.	MIN.	MAX.	PROM.	MIN.	MAX.	PROM.	MIN.	MAX.	PROM.	MIN.	MAX.	PROM.	MIN.		
GRANITO	2.72	2.67	2.64	0.28	0.06	0.02	2.6	2.3	1.6	19.7	19.3	19.0	26.7	15.9	10	3210	1597	565	BUENOS AIRES	
	2.71	2.67	2.63	0.15	0.06	0.04	4.6	3.0	0.8	19.7	19.1	18.5	21.3	14.8	9.7	1895	1340	781	CORDOBA	
	2.80	2.68	2.61	0.21	0.10	0.03	4.6	3.7	2.6	19.7	19.4	19.2	13.0	11.2	8.7	1100	921	653	S ^{GO} DEL ESTERO	
	2.66	2.65	2.62	0.07	0.06	0.04	6.6	3.3	1.6	19.7	18.8	16.3	15.3	10.0	7.7	1723	802	473	SAN LUIS	
	2.69	2.67	2.65	0.25	0.15	0.06	2.7	2.1	1.7	19.3	18.9	18.3	15.3	9.8	5.7	1748	1436	1146	LA PAMPA	
	2.62	2.61	2.60	0.07	0.06	0.05	6.0	4.7	2.1	19	18.2	17.3	22.7	15.5	8.3	1330	9	610	MENDOZA	
	2.73			0.05			4.6			17.5				9.3			466			TUCUMAN
	2.73			0.05			2.4			19.4				16.4			891			CATAMARCA
	2.60			0.02			2.0			19.3				20			1802			CARMELO (URUGUAY)
DIORITA	3.06			0.01				1.7		19				28			2483			BUENOS AIRES
	3.01	2.76	2.70	0.002	0.05	0.002	2.5	2.1	1.6	19.3	18.7	18	45	25	13	2042	1372	837	CORDOBA	
	2.78			0.09				1.9			18.9			17.3			1317			TUCUMAN
GRANDIORITA	2.74	2.70	2.65	0.04	0.03	0.02	2.3	1.9	1.6	19.3	18.9	18.3	29.6	24.3	16.6	1762	1298	611	BUENOS AIRES	
	2.79	2.73	2.68	0.12	0.06	0.02	4.3	2.8	1.9	19.7	19.2	18	21.3	14.1	6.7	1620	932	468	CORDOBA	
	2.68			0.04				4.4			18.3			7.3			378			CATAMARCA
	2.67			0.04				2.2			19.6			12.6			1455			CARMELO (URUGUAY)
CALCAREOS	2.72	2.59	2.47	1.21		0.48	7.2	5.6	4.0	17.3	17.0	16.7	7.7	7.5	7.3	736	609	482	BUENOS AIRES	
	2.91	2.81	2.71	0.16	0.13	0.10	5.0	4.5	4.0	16.4	16.4	16.4	7.3	7.2	7.0	820	553	286	CORDOBA	
	2.82			0.07				2.4			18.5			16.7			1777			SAN JUAN
	2.63			0.4				3.4			14.5			17.3			1286			ENTRE RIOS
CUARCITAS	2.65	2.51	2.44	2.5	0.84	0.06	6.0	3.5	1.9	19.7	18.8	18	24	12.8	4.3	2363	1109	529	BUENOS AIRES	
	2.55	2.39	2.22	0.86	0.46	0.18	8.2	5.3	2.6	19.3	16.8	12.8	21	14.3	8.7	2771	1499	805	CORRIENTES	
	2.73	2.64	2.58	0.42	0.18	0.03	3.0	1.74	0.9	19.5	19.3	19	31	22.9	17.3	2970	1777	1096	SALTA	
	2.37			0.31				5			18.7			8.3			430			ENTRE RIOS
PORFIDO	2.71	2.65	2.59	0.35	0.13	0.04	2.4	2.1	1.8	19.7	19.6	19.3	38.7	24.9	12.3	2181	1654	1125	MENDOZA	

ESCORIAS. — Las Escorias son materiales pétreos artificiales obtenidos como productos secundarios en la reducción de minerales metálicos. Están esencialmente constituídos por silicatos y carbonatos.

B). CANTERAS. — Reciben el nombre de Canteras los yacimientos de rocas, en explotación. Como norma general, esas explotaciones se realizan a cielo abierto, y de acuerdo con la situación de sus « frentes » pueden distinguirse dos tipos generales: a) en « Circo excavado », y b) a « Media ladera ». En los primeras el material es extraído desde profundidades que pueden llegar a 75 m. y aún más, por debajo del plano donde ha comenzado la excavación. En las segundas, el material destinado a la trituración es descendido desde los frentes hasta la planta de trituración, surgiendo como una ventaja de estas canteras con respecto a las del otro tipo, la

circunstancia de que el transporte del material a triturarse se realiza por gravitación. La decisión por uno u otro tipo se basa en la ubicación topográfica del yacimiento. Con respecto a la industria argentina de cantera, pueden resultar interesantes algunas referencias incluídas en un trabajo presentado al Tercer Congreso Argentino de Vilalidad y titulado «La Piedra y el Macadam al Agua». En ese trabajo se consignan algunos datos descriptivos referentes a las principales canteras de granito ubicadas en la provincia de Buenos Aires, así como algunas generalidades sobre costos.

II. ELABORACIÓN. — En la explotación de una cantera destinada a la trituración de roca cabe distinguir una serie de operaciones que pueden agruparse como sigue:

A. <i>Preparación del material a triturar</i>	{	Destape. Perforación primaria. Voladura primaria. Perforación secundaria. Voladura secundaria. Carga y transporte.
B. <i>Trituración</i>	{	Primaria y secundaria.
C. <i>Manipuleo del material triturado</i>	{	Clasificación. Acopio. Expedición.

A continuación se dará una relación sumaria de esas operaciones. Los datos consignados corresponden a la explotación de una cantera de granito, a circo excavado.

A). PREPARACIÓN DEL MATERIAL A TRITURAR. DESTAPE. — Las operaciones de Destape corresponden a la remoción de las cargas superficiales de suelo o materiales pétreos en descomposición que cubren los mantos de la roca que se desea explotar.

Se utilizan comúnmente a tal fin excavadoras mecánicas de 0.3 a 0.5 m.³ de capacidad, las cuales cargan el material removido, directamente en camiones que lo transportan a sitios donde el mismo puede prestar servicios de terraplenamiento o bien es acopiado para ser empleado en obras especiales (balasto, p. ej.). Las operaciones de destape se realizan intermitentemente y a medida que lo requiere la marcha de la explotación. Su costo incide, en el precio de la tonelada de material triturado, de acuerdo con el espesor y calidad del manto en relación con el espesor del horizonte de roca útil.

PERFORACIÓN PRIMARIA. — El « Desbloqueo » consiste en extraer o separar el material del manto a que pertenece. Se realiza mediante la utilización de explosivos, los cuales se colocan en el fondo de profundas perforaciones llamadas « barrenos ». Al explotar los mismos se produce la desintegración de la roca.

La preparación del barrenado constituye el objeto de la Perforación Primaria. En la actualidad sólo se emplean perforadores mecánicos, de los que hay varios tipos; uno de ellos puede describirse así: sobre un pequeño chasis montado sobre cuatro ruedas, un dispositivo especial accionado por un motor permite levantar y dejar caer sucesivamente, un barreno de acero especial suspendido por un cable. Los siguientes datos pueden dar una idea de esta perforadora a percusión: motor eléctrico de 25 HP; peso del barreno 500 kg.; andanadas de 50 golpes por minuto; altura de caída aprox. 1.00 m; perforando granito, la cabeza del barreno y trepano se cambia cada 150 a 250 golpes; el polvo producido es removido a intervalos mediante un chorro de agua a presión. En promedio esta perforadora puede dar un rendimiento de 25 centímetros de profundidad por hora y para un orificio de 0.15 m. de diámetro.

Para un frente de 20 m. de altura las perforaciones se hacen en una línea paralela al acantilado separada aproximadamente 7 m. del borde y distanciadas unas de otras en 5 ó 6 m. La profundidad de la perforación ubica el fondo de la misma a más o menos 0.50 m. por debajo del plano que corresponde al pie del frente a desbloquear.

VOLADURA PRIMARIA. — Una vez preparadas las perforaciones o barrenos, se procede a colocar en las mismas, los explosivos. Hasta el año 1865, en que Nobel inventó los detonadores, el único explosivo empleado fué la pólvora negra, consistente en una mezcla de 65 a 75 % de nitrato de potasio, 15 a 20 % de polvo de lignita y 10 a 20 % de azufre.

El elemento fundamental de los explosivos detonadores (dinamitas) es la nitroglicerina utilizándose como vehículo una masa de aserrín de madera. La proporción en que se emplea la nitroglicerina es variable de acuerdo con las distintas dinamitas. Así, por ej., en las dinamitas normales llega hasta un 40 %; a un 60 % en las llamadas « nitroglicerinas », y hasta un 95 % en las denominadas « gelatinitas ». Para dar una idea de estos explosivos baste decir que un decímetro cúbico de nitroglicerina produce, en el momento de la explosión, 1.200 litros de gases. También son utili-

zados el aire líquido o, mejor dicho, el oxígeno líquido mezclado con carbono.

De acuerdo con las características físicas de las rocas a remover, se procede a elegir el tipo y la cantidad de explosivo a utilizar en la carga de cada barreno. El barreno recibe una carga fraccionada en varias porciones desde el fondo hasta arriba, intercaladas con tapones, de alrededor de 1 m. cada uno, de arena apisonada. El rendimiento de estas voladuras puede variar entre 5 y 10 t. de piedra desprendida, por cada kilogramo de explosivo.

Como detonadores, se emplean generalmente magnetos accionados a mano que producen la chispa encendedora.

PERFORACIÓN SECUNDARIA. — Como consecuencia de la voladura primaria, la piedra arrancada se presenta en bloques de tamaño variable. Para la explotación que se describe, más de un tercio de la piedra se presenta en grandes trozos de más de 500 kg. de peso cada uno. El objeto de la trituración secundaria es justamente barrenar esos trozos para que una nueva voladura los reduzca a piezas de tamaño adecuado para la alimentación de las máquinas trituradoras. Los barrenos perforados en esta etapa son más cortos y de diámetro mucho menor, siendo asimismo más livianos los explosivos utilizados. Para la perforación secundaria se utilizan martillos o perforadoras neumáticas.

El aire comprimido es servido por cañerías ad-hoc a una presión de 6 a 8 atmósferas y generado por una batería de compresores. Los trozos de piedra de un peso comprendido entre 100 y 500 kg. se fraccionan con pequeños cartuchos.

VOLADURA SECUNDARIA. — Para la voladura secundaria se utiliza dinamita al 40 %. En esta operación el rendimiento se eleva a más o menos 20 t. de piedra por kilogramo de explosivo.

Los trozos menores, 150 kg. o menos, se fraccionan por medio de martillos o « marrones » y unas puntas de acero llamadas « pinchotes ».

CARGA Y TRANSPORTE. — Para el cargueo del material preparado para la trituración y su transporte a la planta de trituración, se utilizan varios sistemas. En canteras chicas, la carga se hace directamente a mano; cuando las trituradoras primarias admiten piezas de mayor volumen, entonces se emplean grúas excavadoras que permiten cargas alrededor de 500 t. o más, por día de labor.

En lo que respecta al transporte del material reducido a trozos

de tamaño conveniente, desde el frente de la cantera hasta la planta de trituración, se utilizan distintos procedimientos según se halle ubicado el frente a cota superior (caso general de las canteras a media ladera) o inferior (caso general de las canteras en circo excavado) con respecto a la del plano de las bocas de las trituradoras primarias. Cuando la piedra desciende se utilizan trenes «decauville» y también planos inclinados con tracción funicular. Para el ascenso de las vagonetas vacías se utilizan mulas en el caso de los trenes decauville o la acción de las propias vagonetas cargadas en el caso de los planos inclinados. El desgaste de rieles y llantas por la enorme fricción del frenado necesario cuando las pendientes adquieren cierto valor, así como la inevitabilidad de descarrilamientos frecuentes, hacen que el sistema de trenes decauville sea eliminado de las instalaciones de tipo permanente. Para el ascenso de la piedra desde el frente hasta el puente de trituración, en los casos de canteras en circo excavado, se utilizan planos inclinados con tracción funicular o a cremallera, y a veces, montacargas.

B). TRITURACIÓN. — El material pétreo proveniente de las voladuras primaria y secundaria, es reducido a los tamaños requeridos mediante su trituración por la acción de máquinas trituradoras o machacadoras. Esos requerimientos de tamaño dependen del tipo de obra en que el pedregullo va a ser utilizado; así por ej., un macadam admite piezas de hasta 90 mm., y un hormigón de hasta 70 mm. En los Tratamientos Superficiales Bituminosos, el tamaño máximo aceptado es de más o menos 30 mm.

En un primer momento, el predominio de las obras en que se utilizaba pedregullo de tamaño grande, permitió a la industria de cantera cubrir las necesidades de la demanda mediante una o dos trituraciones efectuadas con trituradoras primarias. Mediante este sistema, los agregados para recubrimiento (menores que $1\frac{1}{4}$ " pulgadas) puede decirse que eran obtenidos como un verdadero subproducto. En general, las características de forma de estos agregados de recubrimiento así obtenidos, eran deficientes; un elevado porcentaje de partículas se presentaban achatadas y alargadas.

Posteriormente, el continuo incremento de las calzadas de tipo económico cuyas superficies de rodamiento están constituídas por tratamientos superficiales bituminosos, creó la necesidad de obtener en las explotaciones industriales de la piedra triturada, un mayor porcentaje de los tipos de agregado adecuados a esos recubrimientos. Ello se ha conseguido mediante el uso de trituradoras especiales, denominadas «secundarias», las que como su nombre lo in-

dica, permiten con un rendimiento mucho mayor, reducir el tamaño de las partículas provenientes de la trituración primaria. Esta doble trituración tiene además la ventaja de proporcionar a los agregados características de forma (cubicidad adecuada) que no poseen los obtenidos como subproductos de la trituración primaria.

Se dará a continuación una somera descripción de los distintos tipos de trituradoras empleados en el fraccionamiento de los agregados pétreos.

1. TRITURADORAS PRIMARIAS. — Las trituradoras utilizadas comúnmente como primarias, son de dos tipos: *a)* « a mandíbula y *b)* « giratorias ». En menor escala son también utilizadas las de tipo « a cilindro único » y las conocidas como « molinos a martillo ».

a) Trituradoras a Mandíbulas. — Ha sido hasta hace pocos años el tipo más utilizado; últimamente va siendo desplazado por el tipo giratorio cuyo perfeccionamiento año a año es incesante. Las ventajas del tipo a mandíbula, pueden resumirse como sigue: 1º Para una determinada capacidad, ocupa, en altura, un espacio mucho menor que el tipo giratorio. 2º Su costo de adquisición es menor y, 3º Su costo de funcionamiento es más bajo. Por el contrario, el rendimiento horario de este tipo de machadora es inferior al de las giratorias. Además, dado que el trabajo triturante es intermitente, estas máquinas requieren un volante para almacenar energía en los intervalos no triturantes. El fraccionamiento de la piedra se efectúa esencialmente por compresión, lo que determina el hecho de que las características de forma del pedregullo producido, dependan casi exclusivamente de la estructura petrográfica del material utilizado. Además y por la misma causa gran número de partículas resultan agrietadas. Por las precedentes razones, las trituradoras a mandíbula deben ser exclusivamente utilizadas para trituraciones primarias cuando se trata de materiales muy duros. Los elementos principales de estas máquinas son las mandíbulas, de las cuales una es móvil y la otra fija. La mandíbula móvil puede tener un movimiento simplemente pendular, o bien estar dotada de varios movimientos, producidos en todos los casos por la acción de una excéntrica. El rendimiento de estas trituradoras es variable con su tamaño y el tipo de piedra triturado. Como dato ilustrativo se dan las características de una de ellas:

—Tamaño de la trituradora (boca de alimentación)	0,35 m × 0,60 m
—Peso aproximado	4,5 t
—Potencia requerida	20-30 HP
—Capacidad:	
Con abertura de descarga de 1½" (3,8 cm)	18 a 23 t/hora
» » » » » 2" (5,1 cm)	20 a 25 »
» » » » » 2½" (6,4 cm)	23 a 27 »
» » » » » 3" (7,6 cm)	25 a 32 »

En casi todos los modelos actuales de trituradoras de mandíbulas, éstas están provistas de planchas de desgaste con superficie acanalada, y fácilmente intercambiables.

b) *Trituradoras Giratorias.* — Están compuestas esencialmente de un cono móvil dotado de movimiento giratorio o excéntrico, dentro de una envoltura fija, cónica o cilíndrica. La trituración se produce por compresión y flexión. El movimiento giratorio del cono se obtiene de distintas maneras según los diferentes tipos de máquina.

1º Mediante un dispositivo de excéntrica que recibe movimiento de un juego de engranajes colocado en la parte inferior de la trituradora, y que lo transmite al árbol o eje del cono móvil. Según que este eje móvil sea suspendido o no, se tienen los tipos denominados de « Eje suspendido » o de « Eje apoyado » (Trituradoras giratorias de eje móvil).

2º Por medio de una excéntrica que recibe movimiento mediante un juego de engranajes adosado a la parte inferior de la misma y sobre la cual, independientemente, en forma de manga de eje se encuentra el cono móvil. Ambos, excéntrica y cono en toda su longitud, están atravesados por un eje fijo en sus dos extremos (Trituradoras giratorias de eje fijo).

3º Existe por último un tipo de trituradora giratoria en que el cono móvil de trituración ha sido remplazado por un casquete esférico. Se denominan « Cónicas » o « Esféricas ». Ambas machacadoras tienen la característica común, que precisamente define a este tipo, de que su cono o casquete esférico móvil, no tiene ningún contacto con la parte superior de la trituradora, y que el eje al cual están adosados los mismos, ocupa una posición inclinada y excéntrica con respecto a una manga que lo rodea y a la cual se transmite el movimiento por medio de un juego de engranajes. Al hacer referencia a las trituradoras secundarias, se describirá con más

detalle este tipo de machacadora giratoria. Se incluyen a continuación algunas características de una trituradora de esta clase:

—Tamaño de la trituradora:		
Semi-boca de alimentación	0,35 m	× 1,50 m
Boca completa	0,35 m	× 3,00 m
—Peso aproximado	13 t	
—Potencia requerida	40 - 50 HP	
—Capacidad:		
Con abertura de descarga de 2" (5,1 cm)	63 - 72 t/h	
» » » » 2½" (6,4 cm)	72 - 81 »	
» » » » 3" (7,6 cm)	81 - 90 »	

c) Trituradoras de Cilindro Único. — Las trituradoras de cilindro único, empleadas muy raras veces y con agregados pétreos tales como, calcáreos, dolomitas (resistencia a la trituración inferior a 100 kg/cm²), son especialmente adecuadas para la trituración de materiales que contengan arcilla o substancias que favorezcan el « empaste » y en consecuencia el obturamiento de los otros tipos de trituradoras. Consisten en un cilindro móvil de origen horizontal con su superficie lateral estriada o recubierta con dientes. Dicho cilindro gira produciendo la trituración del material pétreo, contra una superficie envolvente recubierta de una plancha de acero muy resistente.

d) Trituradoras de Molinos a Martillo. — Las trituradoras de este tipo fueron utilizadas años atrás únicamente como trituradoras secundarias. En la actualidad y para el caso de materiales no muy duros, se utilizan como primarias grandes unidades de este tipo. La gran ventaja de estas machacadoras consiste en la trituración de la piedra en forma tal que el agregado resultante ofrece por lo general, una excelente cubicidad.

2. TRITURADORAS SECUNDARIAS. — Se han explicado ya las razones que motivan la trituración secundaria y las ventajas que ella permite obtener. Los tipos de trituradoras que se adaptan especialmente a la quebradura en menudas piezas, con :a) Giratorias; b) de Mandíbulas; c) de Cilindro único o doble y d) de Molino a martillos. De las giratorias se ha dicho ya que el tipo « Cónica » o « Esférica » se adapta especialmente a los fines de la trituración secundaria. Las características que se consignan a continuación pertenecen a una trituradora secundaria de ese tipo:

—Ancho de la boca de alimentación	0,11 m
—Potencia requerida	50 a 60 HP
—Revoluciones por minuto	350
—Peso aproximado	10 t
—Capacidad	
Abertura de descarga 1/2" (12 mm)	31 - 54 t/h
» » » 3/4" (19 mm)	45 - 67 »
» » » 1" (25 mm)	63 - 90 »
» » » 1 1/4" (35 mm)	81 - 104 »

Los otros tipos de trituradora aludidos han sido ya ligeramente descriptos con excepción de las Cilíndricas a Doble Cilindro. Estas constan de dos cilindros separados por una distancia constante mediante la acción de poderosos resortes. Ambos cilindros giran en sentido contrario y sus superficies están recubiertas por planchas de desgaste, intercambiables. Los siguientes datos pertenecen a una máquina de este tipo:

—Diámetro de los cilindros	1 m
—Ancho de los cilindros	0,60 m
—Velocidad de rotación	45 - 50 r.p.m.
—Potencia requerida	60 - 100 HP
—Capacidad:	
Abertura de descarga 3/4" (19 mm)	40 - 65 t/h
» » » 1/4" (6 mm)	25 - 50 »

C). MANIPULEO DEL MATERIAL TRITURADO. CLASIFICACIÓN. — Las partículas provenientes de la trituración del material pétreo, son lógicamente de muy diferente « tamaño ». Los distintos usos de los agregados pétreos, según el tipo de construcción elegido, exigen partículas de una gradación de tamaños definidas. Es decir, dichas partículas deben cumplir una determinada granulometría, surgiendo en consecuencia la necesidad de clasificarlas de acuerdo a su dimensión. Para ese objeto se utilizan zarandas de distintas clases y formas, pero que en resumen pueden pertenecer a uno de los siguientes tipos:

- 1º Zaranda giratorias;
- 2º Zarandas vibratorias.

1º *Zarandas Giratorias.* — Las zarandas giratorias consisten, como su nombre lo indica, en planchas metálicas perforadas, o tejidos metálicos, conformados en paños cilíndricos de un mismo o de diferentes diámetros, pero de eje común.

La distribución más sencilla de los paños consiste en colocarlos, uno a continuación de otro, comenzando por los perforados con agujeros más chicos hasta terminar con los de aberturas mayores. Esta distribución tiene el inconveniente de que el paño de aberturas menores, que es el más débil y costoso, recibe todo el producto de la trituración, y su desgaste es por lo tanto muy rápido. Para evitar esta circunstancia suele emplearse como primer paño una criba de aberturas intermedias, rodeándolo con uno o dos o más paños de aberturas progresivamente menores, concéntricos con él. El ángulo de inclinación del eje de las zarandas giratorias, está comprendido por lo general entre 5° y 7°. La velocidad de rotación es comúnmente de 15 a 20 r. p. m. lo que da una velocidad periférica de 45 a 60 m. por minuto para diámetros de zaranda de alrededor de 1 m.

2° *Zarandas Vibratorias.* — Las zarandas vibratorias consisten en un bastidor metálico, en el cual se colocan zarandas o cribas planas, superpuestas; dicho bastidor recibe un movimiento vibratorio que de 250 períodos por minuto en los primeros modelos, hoy llega a 3.600 en los modelos más perfeccionados.

Las ventajas de este tipo de zaranda con respecto a las giratorias, pueden resumirse como sigue:

- 1° — Clasificación perfecta.
- 2° — Facilidad de intercambio de cribas.
- 3° — Ocupación de un espacio reducido.
- 4° — Mayor resistencia.
- 5° — Menor potencia requerida.
- 6° — Menor costo de conservación.

Debe agregarse, en lo que respecta a la clasificación, que sus dificultades aumentan a medida que las partículas a separar, son más chicas. La eliminación del polvo, particularmente, requiere instalaciones ad-hoc de sopladores, de lavadores con chorros de agua o de aspiradores.

ACOPIO DE MATERIALES. — El producto de la trituración, una vez clasificado en los tamaños requeridos, comúnmente se acopian en silos que pueden ser de hormigón armado, madera o metálicos. La capacidad de estos silos es limitada y por lo mismo, las canteras deben poseer espacios libres para el acopio en pilas o stocks cuando la demanda del material no es continua. Una solución muy conve-

niente consiste en disponer de un espacio libre enfrente de los silos y de los rieles de carguio que pasan debajo de los mismos. En el centro del espacio libre, una grúa de largo alcance descarga los silos y va depositando el material de acuerdo con su tamaño en el espacio libre en forma de tres cuartos de círculo. El carguio se realiza, cuando llegan los trenes de vagones realizando la operación inversa.

EXPEDICIÓN. — La carga de los materiales pétreos para su envío a obra, constituye uno de los problemas más interesantes si se pretende eliminar la segregación de las partículas de acuerdo a sus distintos tamaños. Además y con el objeto de suministrar agregados pétreos exentos de polvo, las plantas modernas de trituración, lavan, como ya se ha dicho, los mismos mediante fuertes chorros de agua, procedimiento que resulta más efectivo que el empleo de sopladores o aspiradores.

Para evitar la segregación de los agregados, algunas canteras han ideado un dispositivo que consiste en una pequeña tolva móvil de descarga que evita que esta operación se afectúe formando conos y con ello la acumulación de las partículas gruesas en la superficie de los mismos.

El transporte del pedregullo se realiza generalmente por ferrocarril. Los vagones más adecuados para ese fin son metálicos y su capacidad varía entre 20 y 40 t.

PARTE III - AGREGADOS NO-TRITURADOS

I. MATERIALES UTILIZADOS Y YACIMIENTOS. — Los materiales pétreos no-triturados empleados como agregados de recubrimiento, son las *gravas* y las *arenas* (Rocas detríticas o elásticas).

Las palabras « Canto Rodado », « Grava » y « Arena », designan el material pétreo naturalmente dividido en partículas de distintos tamaños, denominándose ⁽¹⁾: Canto Rodado el material constituido por partículas mayores que 5 centímetros o sea retenidos por la zaranda de aberturas cuadradas de 50 milímetros de lado. Grava al constituido por partículas de tamaño comprendido entre 50, y 2 milímetros (tamiz N° 10). Arena el constituido por partículas de tamaño comprendido entre 2, y 0,050 milímetros (en la práctica se utiliza el tamiz N° 200 para la determinación de este límite infe-

(1) Definiciones convencionales.

rior). El material naturalmente compuesto por una mezcla de canto rodado, grava y arena, o solamente dos de ellos, se designa con la palabra « Ripio ».

La ubicación más común de los yacimientos de estos materiales, yacimientos generalmente denominados « Ripieras », ocurre a lo largo de los cursos de agua, abandonados o no, o también en depósitos aluviales. En EE. UU. de Norte América, existen inmensos depósitos de ese tipo, de material transportado por los glaciares (morenas). En el país son conocidos los extendidos depósitos de la Patagonia, así como los yacimientos existentes en las provincias andinas y centrales. En el Litoral deben mencionarse los yacimientos de la costa del río Uruguay.

Según pertenezcan a uno u otro tipo de depósito, los materiales se presentan más o menos libres de impurezas, tales como materias orgánicas, arcilla, etc. Por otra parte, los yacimientos pueden estar libres de agua o, por el contrario, inundados.

II. EXTRACCIÓN. — Existe un número considerable de sistemas de extracción de gravas o arenas, según que los yacimientos estén inundados o no.

A). *Yacimientos en seco.* — 1º *Por derrumbe de barrancas.* Este método consiste en socavar el pié de la barranca con picos o barretas, en profundidad tal que se produzca el derrumbe del material ya sea naturalmente, ya presionando en la capa superior con herramientas adecuadas. Este procedimiento sólo es aconsejable cuando el ripio se presenta suelto. El material desmoronado es cargado a mano o con dispositivos mecánicos para poder transportarlo a la planta de clasificación (cribado).

2º *Por excavadoras mecánicas.* Cuando mezclado con el material ripioso se encuentran materiales ligantes como arcilla, concreciones calcáreas, etc., que dan cohesión al conjunto, suele emplearse con ventaja excavadoras mecánicas de cuchara, accionadas eléctricamente, por motores de combustión interna o vapor, según resulte más económico. En todos los casos, estas excavadoras están montadas sobre orugas, lo que facilita su movimiento dentro de la ripiera, aún en terrenos irregulares.

3º *Por palas de arrastre guiadas por cables.* — Este método presenta ventaja cuando el yacimiento es amplio y los materiales de características uniformes. El equipo de extracción consiste en un par de torres, una fija y otra móvil, entre las cuales un sistema de cables permite maniobrar una pala de arrastre, que por su propio

peso y adecuado dispositivo de dientes o uñas actúa como excavadora. El material extraído es volcado por la misma pala en una criba fija, en donde se separan las partículas de tamaño excesivo.

B). *Yacimientos inundados.* — 1º *Por derrumbe de barrancas y succión.* Este método consiste en lo siguiente: sobre una balsa un equipo de bombeo permite por una parte dirigir un potente chorro de agua a la barranca, desmoronando la misma y por otro un caño de succión recoge el material utilizando el agua como elemento de transporte. Este sistema es especialmente indicado para la extracción de material relativamente fino.

2º *Por excavación y succión.* — El método es idéntico al anterior, con la diferencia que en vez de un chorro de agua para desmoronar el material, el equipo flotante (balsa) dispone de un dispositivo de excavación giratorio en correspondencia de la boca de succión. Tanto en este método como en el anterior, el tipo de bomba empleado es el denominado centrífugas.

3º *Por excavación mecánica.* — Si las aguas son poco profundas, (torrentes, arroyos) se emplean excavadoras comunes, si en cambio son profundas, entonces las excavadoras están montadas en barcasas o balsas.

4º *Por palas de arrastre guiadas por cables.* — Este método es idéntico al descrito anteriormente para el caso de yacimiento en seco.

PARTE IV - CARACTERISTICAS Y ENSAYOS

I. OBTENCIÓN DE MUESTRAS. — A. *En Canteras.*

a) Para obtener muestras representativas de la calidad de la piedra de una cantera en explotación o no, se debe efectuar un prolijo examen del frente de ataque de la misma, determinando las distintas capas de agregado existente, por su color o estructura, y teniendo cuidado de elegir trozos de roca que no hayan sido alterados por los agentes atmosféricos.

b) Para ejecutar los ensayos standard, las muestras deberán ser, como mínimo dos trozos de piedra de 15 Kg. por lo menos.

c) Cuando se trate de canteras no explotadas, deberán consignarse los siguientes datos:

Nombre del propietario, cantidad aproximada de material explotable, características del destape, distancia de transporte a la obra donde se empleará el agregado.

d) Cuando se pretende conseguir muestras de la granulometría de un agregado pétreo en la cantera misma, deberá tenerse en cuenta los siguientes factores que afectan el tamaño de las partículas: dimensión y tipo de las cribas empleadas (abertura circular o cuadrada), longitud de los paños en las zarandas, ángulo de inclinación de los mismos, velocidad de rotación en las zarandas giratorias, número de vibraciones por minuto en las vibratorias, intensidad de alimentación de las zarandas.

La muestra deberá tomarse preferentemente de los vagones de ferrocarril o camiones en el momento de su carga desde pilas o silos. Con el objeto de que la muestra sea representativa se recomienda tomar muestras separadas en diferentes momentos de la carga.

Si las muestras deben ser tomadas de pilas o silos, se elegirán diferentes partes de la pila o de la parte superior y abertura de descarga del silo, para la extracción de las mismas. Estas muestras obtenidas por separado deberán mezclarse completamente y lo que se empleará para el ensayo será preparado según la cantidad requerida, mediante el método del « cuarteo ».

e) Cuando no es posible obtener muestras en la cantera, o deben sacarse las mismas en obra, se procederá a la extracción de ellas en el momento de descarga de los vagones de ferrocarril o camiones, teniendo cuidado de tomarlas del fondo, medio o superficie del vehículo de transporte. La muestra representativa se hará mezclando todas ellas y seleccionando por cuarteo la cantidad deseada para el ensayo.

f) El peso de las muestras representativas para el ensayo de granulometría, no será menor de:

1 Kg.	para un tamaño máximo de	.....	$\frac{3}{8}$ "				
2,5	»	»	»	»	»	.....	$\frac{1}{2}$ "
5	»	»	»	»	»	.....	$\frac{3}{4}$ "
10	»	»	»	»	»	.....	1 "
15	»	»	»	»	»	.....	$1\frac{1}{2}$ "

B. *En Yacimientos.* — En el caso de yacimientos no explotados cabe distinguir dos situaciones; que las mismas presenten un frente de ataque descubierto (barranca) en cuyo caso para la extracción de la muestra deberá hacerse un corte vertical a lo largo del espesor de la capa del material que se vaya a explotar (eliminando previamente el material de destape si lo hubiera); y que la ripiera no presente frentes de ataque, descubiertos, debiéndose entonces hacer pozos de explotación, de los cuales se obtendrán las muestras respectivas. La profundidad y números de estos pozos dependerá de

la cantidad de material a explotar y de la uniformidad de las muestras que se vayan extrayendo. Si éstos presentan características semejantes, con todos ellos se hará una mezcla, de la cual se obtendrá por cuarteo una muestra representativa. En caso contrario, las muestras tomadas se analizarán por separado.

Tratándose de muestras de arena únicamente, conviene tomar las mismas si es posible húmedas a fin de evitar segregaciones. Deberán consignarse además los datos mencionados en el apartado c) del título anterior.

En el caso de yacimientos en explotación las muestras se tomarán en idéntica forma y con las precauciones descriptas anteriormente en el apartado d) del título anterior.

La cantidad de material de cada muestra será de por lo menos 45 Kg. cuando el material sea arena y grava mezcladas y la proporción de esta última mayor del 50 % del conjunto.

Tratándose de arena sola, la muestra será de 10 Kg. como mínimo y de grava sola no menos de 25 Kg.

II. PESO ESPECÍFICO. — Dado que en el país, todavía no se ha adoptado una definición standard, respecto de lo que se entiende por peso específico de un agregado pétreo, en la descripción sumaria de este ensayo se hará referencia al procedimiento seguido por la Dirección Nacional de Vialidad, que consiste en lo siguiente:

Se toma una muestra representativa de la roca que pese cerca de 10 gramos; se la seca completamente en la estufa, se la hace enfriar en un secador y se determina su peso con una aproximación de 0,01 de gramo. A este peso se le llamará A.

Se suspende la muestra en el gancho de la balanza y se lo sumerge en un vaso con unos 100 cm.³ de agua destilada. Se determina a continuación su peso en agua que se llamará B.

El peso específico se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{A - B}$$

III. ABSORCIÓN. — Se toma una muestra de aproximadamente 5 Kg. de pedregullo del agregado pétreo a analizar, eliminando las partículas de tamaño inferior a 3/8", y se la sumerge, por medio de un canasto metálico en agua a 15° - 25° C, agitando energicamente la muestra en forma de eliminar el polvo u otras substancias adheridas a la superficie de las partículas.

Después de esto se deja sumergida la misma durante 24 horas, transcurridas las cuales, se frota las partículas con un trapo absor-

bente hasta que desaparezcan todos los films visibles de agua (no importa que las superficies aparezcan todavía húmedas). Las partículas más grandes pueden frotarse individualmente. Se tendrá cuidado de impedir toda evaporación durante la operación del secado de la superficie de las partículas. A continuación se determinará el peso del agregado en esta condición de superficie saturada pero exenta de agua libre. Llamaremos a este peso A.

Luego la muestra será secada en estufa a 100° - 110° C hasta peso constante, enfriada y su peso determinado, que designaremos B.

El porcentaje de agua absorbida en peso se calcula con la fórmula:

$$\text{Absorción} = \frac{A - B}{B} \times 100$$

IV. DESGASTE DEVAL. — A. *Para pedregullo.* — La máquina Deval consiste en una serie de cilindros huecos de hierro cerrados en una base, y provistos en la otra de una tapa hermética, cuyas dimensiones son: diámetro 20 cm. y profundidad 34 cm. Estos cilindros están montados sobre un eje con el cual forman un ángulo de 30°.

El ensayo se ejecuta de la siguiente manera: Se prepara una muestra del agregado a ensayar que estará formada por 50 partículas de forma lo más cúbica posible y cuyo peso sea aproximadamente 100 gr. cada una. El peso total de la muestra deberá estar comprendido entre 4990 y 5010 gramos después que la misma haya sido lavada y secada en estufa a 100 - 110° C. Se carga con ella un cilindro de la máquina Deval y luego se la hace funcionar hasta cumplir 10000 vueltas a razón de 30-33 vueltas por minuto (aproximadamente 5 horas). Se considera como producto de desgaste el material pétreo que después del ensayo pase a través del tamiz N° 12 y su peso referido al original de la muestra como porcentaje constituye el resultado del ensayo. Una roca con desgaste Deval inferior a 6 es considerada aceptable como agregado de recubrimiento.

El coeficiente Francés o de calidad se determinará con la fórmula:

$$\text{C. F.} = \frac{40}{\text{Desgaste Deval.}}$$

B. *Para Gravas.* — La muestra estará formada enteramente por partículas de grava sin triturar y podrá cumplir una de las cinco

granulometrías dadas a continuación:

GRADACION	TAMAÑO DE CRIBAS (Aberturas cuadradas)				Porcentaje
	Librado		Retenido		
	Pulgadas	cm.	Pulgadas	cm.	
A	2	5,1	1 ½	3,8	25
	1 ½	3,8	1	2,5	25
	1	2,5	¾	1,9	25
	¾	1,9	½	1,3	25
B	1 ½	3,8	1	2,5	50
	1	2,5	¾	1,9	25
	¾	1,9	½	1,3	25
C	1	2,5	¾	1,9	50
	¾	1,9	½	1,3	50
D	¾	1,9	½	1,3	50
	½	1,3	Nº 4	—	50
E	½	1,3	¾	0,9	50
	¾	0,9	Nº 4	—	50

Se elegirá la gradación que más se acerque al tipo de grava a emplear en obra.

El peso de la muestra a ensayar será de 5000 gramos (grava seca) que se colocará en un cilindro de la máquina Deval junto con 6 (seis) esferas de acero empleadas como carga abrasiva. Estas esferas tienen un diámetro de 4,8 cm. y un peso aproximado de 0,450 Kg. cada una.

Se hace funcionar la máquina Deval a razón de 30-33 vueltas por minuto, durante 10000 revoluciones, después de lo cual se extrae la muestra y se criba a través del tamiz Nº 12. El material retenido se lava, se seca y se pesa. La diferencia entre este peso y el peso de la muestra original, referido como porcentaje de este último, expresa el resultado del ensayo. Gravas con un porcentaje de desgaste Deval inferior a 12, cuando sus partículas son redondeadas se consideran aceptables como agregado de recubrimiento.

V. DESGASTE « LOS ANGELES ». — La máquina de desgaste denominada « Los Angeles » está formada por un cilindro de acero hueco, cerrado por ambas bases, que puede girar horizontalmente, y que en su interior tiene una arista de acero que sobresale radialmente del cilindro que se extiende en toda su longitud.

Las dimensiones del cilindro son: diámetro interior 71 cm., longitud interior 51 cm.; la arista o pestaña interior sobresale 9 cm. con respecto a la superficie interior del cilindro.

La carga abrasiva está formada por 11 ó 12 esferas de acero con un peso individual comprendido entre 390 a 445 gramos, pero que en conjunto pesarán entre 4975 y 5025 gramos para el segundo caso, y 4558 - 4608 gramos para el primero. El diámetro de las esferas es de aproximadamente 4,8 cm. La muestra estará formada por 5000 gramos del agregado, cumpliendo una de las dos granulometrías siguientes:

GRADACION	TAMAÑO DE LA CRIBA (Aberturas - Cuadradas)				eso gramos
	Librado		Retenido		
	Pulgadas	cm.	Pulgadas	cm.	
A	1½	3,8	1	2,5	1250
	1	2,5	¾	1,9	1250
	¾	1,9	½	1,3	1250
	½	1,3	⅜	0,9	1250
B	¾	1,9	½	1,3	2500
	½	1,3	⅜	0,9	2500

Doce esferas se emplean con la gradación A, once con la B. La muestra con la carga abrasiva correspondiente se somete a 500 revoluciones en la máquina de « Los Angeles », girando el cilindro a razón de 30-33 vueltas por minuto. Después de esto la muestra se criba a través del tamiz N° 12 y el material retenido se lava, se seca y se pesa. La diferencia entre este peso y los 5000 gramos, expresada como porcentaje del peso original, constituye el resultado del ensayo. Rocas cuyo desgaste « Los Angeles » sea inferior a 40 % se consideran aceptables como agregados para recubrimiento.

El ensayo de desgaste « Los Angeles », ha desalojado casi por completo al Deval en los EE. UU. de Norte América. No existe una relación bien definida entre el ensayo de « Los Angeles » y el Deval. No obstante, se estima que los resultados del primero corresponden a un valor 5 a 6 veces mayor que el expresado por el Deval para los agregados triturados gruesos y 2 a 3 veces mayor para las gravas. (Deval para gravas).

VI. DUREZA DORRY. — La dureza determinada por la máquina Dorry, se obtiene hallando el desgaste del agregado, por frotamiento. Se preparan dos cilindros de roca de 2,5 cm. de diámetro y 10 cm. de altura. El cilindro y el portamuestras de la máquina Dorry deben pesar 1250 gramos, conseguido esto se coloca a ambos en el soporte de la máquina, que esencialmente está formada por un disco móvil y los dos soportes mencionados que son fijos. Un par de embudos llenos de arena suministran al disco el material de frotamiento. Al cabo de 1000 revoluciones del disco en que se ha distribuido 500 gramos de arena, de una granulometría determinada, por cada muestra, se retiran los cilindros y se determina por diferencias de pesadas el material depositado. Si llamamos al número de gramos P , el llamado coeficiente de dureza se calcula por la fórmula:

$$C. D. = \left[20 - \frac{P}{3} \right]$$

Una roca con un coeficiente de dureza superior a 17 es considerada como excelente para agregado de recubrimiento y buena cuando el mismo es inferior a 14.

Este ensayo ha desaparecido de las especificaciones americanas.

VII. TENACIDAD PAGE. (*Ensayo de impacto*). — La máquina de Page en esencia, es un dispositivo que permite la caída de un martillo de 2 Kg. de peso sobre una muestra de la roca, desde alturas que progresivamente van aumentando en 1 cm. La muestra es un cilindro de 2,5 cm. de altura y 2,5 cm. de diámetro y la primer caída del martillo se hace desde 1 cm.

El resultado del ensayo se expresa por la altura de caída en centímetros, del martillo, en el momento en que el impacto produce la fractura de la muestra.

Suele tomarse como muestras, cuando son rocas con planos de estratificación, dos cilindros con su eje perpendicular a dicho plano y uno con su eje paralelo al mismo. El resultado del ensayo en este caso se expresa como promedio de los valores obtenidos en las tres muestras.

Una roca con tenacidad mayor de 20 es considerada excelente, y buena cuando este valor está comprendido entre 12 y 20.

Este ensayo tampoco se especifica actualmente en los EE. UU. de Norte América.

VIII. ENSAYO GRANULOMÉTRICO. — Este ensayo tiene por objeto determinar la relación en que se encuentran las partículas de un agregado pétreo, de acuerdo a sus distintos tamaños, es decir, determinar su granulometría.

La dosificación de las partículas se hace por zarandeo de los mismos a través de cribas y tamices Standard. Las cribas pueden ser de abertura cuadrada o circular. Poco a poco se va abandonando el uso de los últimos por los primeros. El día en que se haya abandonado por completo de las plantas de trituración las cribas clasificadas de aberturas circulares, no tendrá ningún objeto el utilizar para los ensayos granulométricos cribas con este tipo de abertura.

Se considera que un zarandeo ha terminado, cuando no pasa más del 1 % del peso del residuo, por una criba, después de 1 minuto de agitación.

La balanza en que se harán las pesadas, tendrá por lo menos una aproximación del 0,1 % del peso de la muestra a analizar.

Las muestras a analizar, deben obtenerse por cuarteo de muestras representativas.

La cantidad de agregados para formar una muestra de acuerdo al tamaño máximo de las cribas a utilizar, fué dado en el apartado f) del título « Obtención de muestras ».

Los resultados de los análisis granulométricos pueden expresarse en porcentajes en peso *acumulados que pasan; acumulados retenidos o retenidos parciales* (pasan una criba y son retenidos en la siguiente).

La tendencia moderna es expresar los resultados como porcentajes en peso acumulados que pasan.

IX. FORMA DE LAS PARTÍCULAS PÉTREAS. — A continuación se hace referencia a un punto de suma importancia relacionado con la ejecución de los recubrimientos bituminosos, y a un ensayo destinado a la estimación cualitativa de los agregados, en relación con ese aspecto: el *Ensayo de Cubicidad*.

Es indudable, que las formas que afectan las partículas de un agregado pétreo, tienen una relación fundamental con el comportamiento del mismo, ya sea bajo el aspecto de la estabilidad que confiere a una mezcla con materiales bituminosos o suelos ligantes, de la resistencia a la compresión de los hormigones con cemento portland, o de la dificultad de seguir ciertas normas constructivas en la ejecución de tratamiento bituminosos superficiales.

Las partículas de agregado pétreo pueden, en general, afectar

distintas formas; desde las alargadas, denominadas astillosas, agujas y las achatadas llamadas lajosas, hasta aquéllas en que prácticamente sus tres dimensiones son iguales. Llamaremos « cubicidad » a la característica de forma de las partículas que cumplen esta última condición.

Es conocida la circunstancia de que las partículas que constituyen un agregado pétreo afectan diferentes formas aunque en lenguaje técnico se expresa que tienen el mismo tamaño. No se quiere decir con esto, por cierto, que deba haber abstractamente una relación entre la forma y el tamaño de una partícula. Nos hemos expresado de esta manera, porque hasta el momento, solamente condiciones de tamaño rigen las características de un agregado pétreo, en lo que se refiere a su conformación. Se especifica la *granulometría* que debe cumplir un agregado, pero nada se dice de manera concreta respecto de las características de forma que deban cumplir esas mismas partículas, en otras palabras, nada se especifica sobre « cubicidad ».

A fin de poder eliminar aquellas partículas cuyo empleo se considera realmente perjudicial, al tipo de obra a ejecutar, el proyectista agrega a las condiciones de granulometría, una cláusula que, en términos generales, expresa: « No se permitirá más de un determinado porcentaje de partículas alargadas o achatadas, entendiéndose por tales aquéllas en que su menor dimensión sea mayor que $1/5$ de la mayor ». No se hacen consideraciones sobre el alcance y aplicabilidad de esta exigencia, que, bajo el aspecto de fijar condiciones de forma, resulta evidentemente insuficiente; y bajo la circunstancia de su aplicabilidad, engorrosa e imprecisa, debido a la imposibilidad de relacionar, mediante un ensayo rápido y práctico, las dimensiones mayores y menores de las partículas de un agregado que cumple una determinada granulometría.

Un ensayo granulométrico, en principio, sólo define el tamaño de las partículas por su *dimensión media*, entendiéndose por tal, la correspondiente al « diámetro del menor círculo circunscripto a su sección transversal máxima » en el caso de emplearse cribas de abertura circular; al « lado del menor cuadrado circunscripto a su sección transversal máxima » cuando se utilizan cribas de abertura cuadrada.

Por secciones transversales se entiende la acepción común de cortes efectuados en las partículas perpendicularmente a su eje, y por eje de la misma, la recta determinada por los dos puntos que definen su dimensión máxima. Por lo tanto al hablar de tamaño de una partícula se hace referencia al valor de su dimensión media.

Como consecuencia de lo expuesto puede inferirse la necesidad de disponer de un ensayo práctico, que defina de manera precisa las características de forma de un agregado pétreo.

Este problema, fué tratado por primera vez en Alemania en donde el ingeniero Rothfusch del laboratorio de los FF. CC. del Estado en Kassel propuso un método de ensayo para determinar estas características de forma en el balasto destinado a las vías férreas. En septiembre de 1938 este ingeniero, en compañía del ingeniero Pickel, presentaron un nuevo ensayo, de uso general ahora, modificando el anterior,, de cuyo principio y método de trabajo haremos una breve descripción.

El principio en que se basa este ensayo es simple en su concepción. « El número de partículas de un « tamaño » definido, existente en una unidad de medida determinada, es tanto menor cuanto menos partículas achatadas o lajosas existan en dicha unidad, es decir, cuando las mismas tiendan hacia la forma cúbica ideal ». Ahora bien, como la unidad de medida elegida ha sido definida en peso por sus autores, es evidente que debe tenerse en cuenta para el ensayo el peso específico del agregado analizado.

Para un dado peso específico, los autores han determinado lo que denominan « valores tipos » correspondientes a tamaños definidos de partículas clasificadas por cribas de abertura circular valores que expresan el número mínimo y máximo de ellas existentes en 1 kilogramo, cuando se trata de un agregado de cubicidad óptima, o mínima respectivamente. Para el caso cubicidad óptima han elegido las partículas más cúbicas de un agregado obtenido por doble trituración; para la mínima, las partículas más lajosas o achatadas de uno obtenido por trituración simple. Luego han contado el número de partículas correspondientes a cada caso y determinado así los « valores tipos » mencionados.

La Tabla I es la que corresponde a partículas de tamaño comprendido entre 3 y 30 mm. y de un peso específico de 3.

Estos resultados permiten calcular el número máximo y mínimo de partículas que deben encontrarse en cualquier mezcla de diferentes tamaños, comprendidos entre 3 y 30 mm. con la única condición de conocer el dosaje de esta mezcla. Para las granulometrías más corrientes en Alemania los resultados de este cálculo están expresados en la Tabla II, la cual se ha calculado suponiendo una repartición igual entre los diferentes tamaños de las partículas de cada granulometría. Se ha admitido, por ejemplo, que una granulometría definida por los tamaños 3-5 mm. (100 % pasa una criba de 5 mm. y 0 % pasa una de 3 mm.) estará formada por una mez-

TABLA I

Número de la muestra	Tamaño de las partículas en mm	Número de partículas por Kg en caso de cubicidad	
		Optima	Mínima
1	29-30	37	110
2	28-29	41	120
3	27-28	46	133
4	26-27	50	148
5	25-26	56	163
6	24-25	63	186
7	23-24	72	208
8	22-23	81	234
9	21-22	94	272
10	20-24	104	302
11	19-20	122	350
12	18-19	138	407
13	17-18	159	484
14	16-17	194	573
15	15-16	235	671
16	14-15	291	792
17	13-14	336	943
18	12-13	435	1224
19	11-12	543	1575
20	10-11	709	2009
21	9-10	965	2722
22	8-9	1328	3808
23	7-8	2000	5150
24	6-7	3080	8600
25	5-6	5037	14472
26	4-5	8661	26376
27	3-4	18174	44921

cla de un 50 % de partículas comprendidas entre 4 y 5 mm. y un 50 % de partículas entre 3 y 4 mm.

El resultado del ensayo se expresa por lo que los autores han denominado « Índice de cubicidad » del agregado analizado. Este valor se determina como se indica en el gráfico de la fig. 10.

Para la ejecución del ensayo en campaña se aconseja tomar las precauciones siguientes :

TABLA II

Referencia a los números de las muestras de la tabla I	Granulometrías partículas de tamaño comprendido entre	Número de partículas por Kg en caso de cubicidad	
		Optima	Mínima
1 a 12	18 y 30 mm	75	220
13 > 18	12 > 18 >	275	781
19 > 22	8 > 12 >	886	2529
23 > 25	5 > 8 >	3373	9407
26 > 27	3 > 5 >	13417	35649

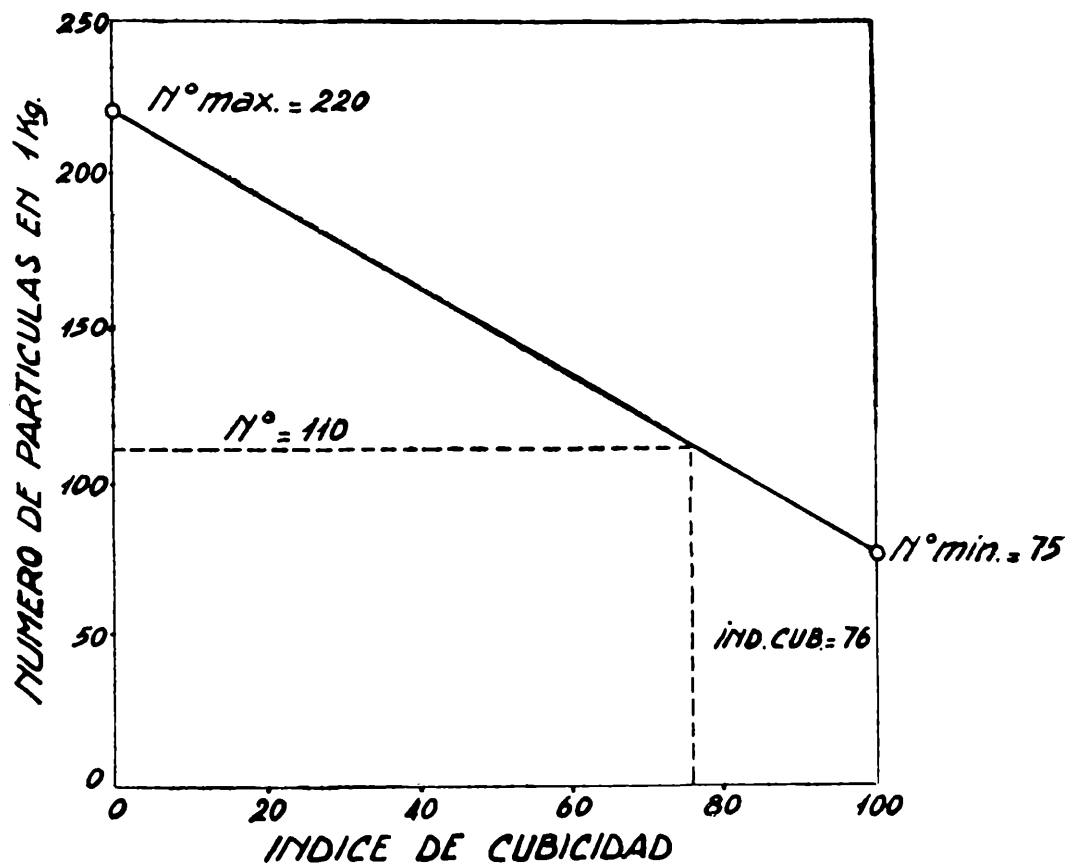


FIG. 10.

1°) Elegir una muestra, que sea representativa de la granulometría especificada.

2°) Cuando esta granulometría esté definida por distintos tamaños, y no se disponga en obra de las cribas de tamaño variando de milímetro en milímetro, se utilizará solamente dos cribas de diámetros que difieran lo menos posible, y en este caso, sólo se ensa-

yará las partículas comprendidas entre estos dos tamaños. Así por ejemplo, para una granulometría definida por los tamaños 5 y 8 mm. se podrá utilizar los tamices 6 y 7 mm. y expresar el resultado únicamente en función de las partículas comprendidas entre los mismos. Según los autores, los resultados obtenidos muestran pequeñas diferencias con los valores reales al analizar la muestra completa.

3°) Antes de efectuar el ensayo, se eliminará las partículas en forma de aguja o astilla.

4°) Determinar con precisión el peso específico de los agregados a ensayar.

Este problema ha sido objeto, en la Dirección Nacional de Vialidad, de observaciones y estudios minuciosos, y como consecuencia de ellos, es posible ahora ofrecer a la consideración de la Cuarta Conferencia Anual de Caminos, un método original con carácter de Ensayo Tentativa, para la determinación de las características de forma en un agregado pétreo. Este ensayo ha sido denominado *Ensayo de Cubicidad* ⁽¹⁾.

El principio en que se basa este método de ensayo es el siguiente: « El tamizado de partículas de un *tamaño* definido, a través de cribas de aberturas rectangulares de menor dimensión, permite relacionar el *tamaño* de estas partículas, o sea su *dimensión media*, con su *dimensión menor*, es decir, determinar en cierto modo, sus características de forma o *cubicidad* ».

En base a este principio, se ha elegido para la determinación del *tamaño* de las partículas a analizar, cribas de abertura circular, y para las cribas de aberturas rectangulares de menor dimensión, que llamaremos desde ahora « reductoras », aberturas equivalentes a los $\frac{3}{5}$ e $\frac{1}{3}$ del diámetro de la criba de abertura circular correspondiente.

Estos valores de $\frac{3}{5}$ e $\frac{1}{3}$ para las cribas reductoras, comportan un concepto idéntico al sustentado por los ingenieros Rothfusch y Pickel, al determinar sus *valores tipos* de que hemos mención anteriormente.

De la relación entre los porcentajes en peso de las partículas retenidas por las cribas reductoras correspondientes a los distintos *tamaños* del agregado a analizar, y el número de esos *tamaños* elegidos para la muestra a ensayar, resulta un valor que se ha denominado « factor de cubicidad ». Este factor de cubicidad toma el valor de 1, para agregados de cubicidad óptima, y 0, para los de cubicidad mínima.

(1) Método desarrollado por el Ing. E. F. TAGLE.

La lectura de la Especificación Tentativa para la ejecución del ensayo de « cubicidad », que se ha redactado y se incluye a continuación, aclarará completamente el método de trabajo a seguir en la ejecución del mismo.

METODO TENTATIVA DE ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE FORMA DE UN AGREGADO PETREO « ENSAYO DE CUBICIDAD »

1. La muestra estará formada por partículas de pedregullo o grava, y el ensayo se efectuará empleando una de las cuatro gradaciones (A, B, C ó D) dadas en el párrafo 3. Se elegirá para el ensayo, la gradación que sea más representativa del tipo de agregado a utilizar en el trabajo.

2. Los agregados serán clasificados previamente por cribado, en los diferentes tamaños exigidos para el ensayo.

3. La muestra será de 12 kilogramos de agregado pétreo seco para la gradación A, 6 kilogramos de agregado pétreo seco para las gradaciones B y C, y 2 kilogramos de agregado pétreo seco para la gradación D. Los diferentes tamaños de sus partículas cumplirán con una de las siguientes granulometrías:

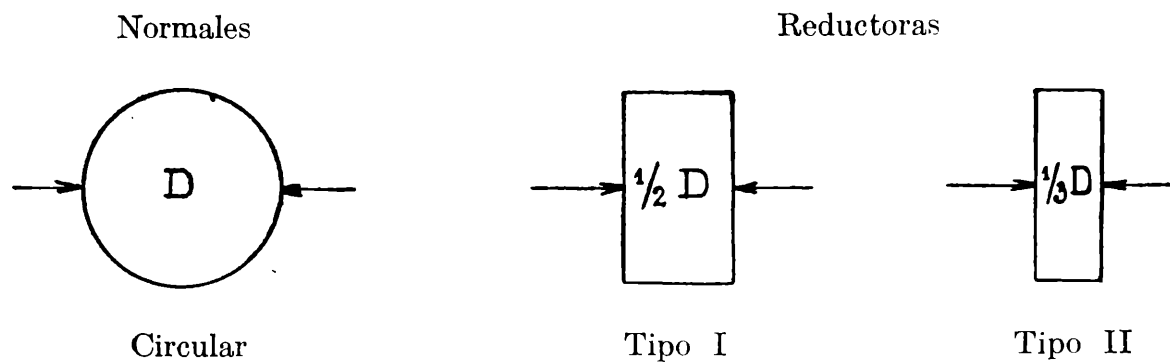
Dimensiones de las cribas (abertura circular)

Gradación	Tamaños directrices		Retenido sobre pulgadas	Peso kilogramos
	Pasa			
	Pulgadas	Centímetros		
A	3	(7,63)	2 1/2	3
	2 1/2	(6,36)	2	3
	2	(5,08)	1 1/2	3
	1 1/2	(3,81)	1 1/4	3
B	1 1/4	(3,18)	1	2
	1	(2,54)	3/4	2
	3/4	(1,90)	5/8	2
C	3/4	(1,90)	5/8	2
	5/8	(1,59)	1/2	2
	1/2	(1,27)	3/8	2
D	1/2	(1,27)	3/8	1
	3/8	(0,95)	1/4 (0,64 cm.)	1

4. Cada una de las fracciones de la muestra para el ensayo, será cribada a través de las cribas « Reductoras » I y II, correspondientes a su tamaño « Directriz ».

5. Por cribas « reductoras » se entiende cribas cuyas aberturas son rectangulares y de dimensión igual a los 3/5 del diámetro de su criba circular para el Tipo I, y 1/3 del diámetro para el Tipo II.

Aberturas de las cribas



6. El cribado a través de cribas reductoras continuará hasta que no pase más del 1 % en peso del agregado retenido, durante un minuto.

7. La sumatoria de los porcentajes de los agregados retenidos por la criba « Reductora » I, más la sumatoria de los porcentajes de los agregados retenidos por la criba « Reductora » II, sobre 2, divididas por 100 y por el número de « Tamaños directrices » correspondientes a la muestra analizada, definen al « factor de cubicidad » y expresan el resultado del ensayo.

$$f = \frac{\Sigma P_1 + 1/2 \Sigma P_2}{100 \cdot n}$$

En la cual :

f = factor de cubicidad.

P_1 = porcentajes de agregados retenidos en la criba reductora I.

P_2 = porcentajes de agregados retenidos en la criba reductora II.

n = número de tamaños directrices correspondientes a la muestra analizada.

El equipo necesario para la ejecución del ensayo de Cubicidad, es el siguiente:

- Marco o recuadro metálico.
- 1 Juego de cribas circulares de 3" a 1/4".
- Marco o recuadro metálico para las cribas reductoras.

Se estima que el ensayo aludido tiene la ventaja de ser independiente de las características petrográficas del agregado a analizar, ya que no es necesario conocer su peso específico, y además, su resultado se expresa en función de datos obtenidos en el mismo ensayo.

CAPITULO III

EL PAR PIEDRA - BETUN

EL FENÓMENO DE LA ADHERENCIA. — Los problemas relacionados con el fenómeno de la adherencia entre ambos elementos del par agregado pétreo-betún, han adquirido actualmente una gran importancia para el Ingeniero de Caminos, empeñado en extraer el mayor rendimiento posible de este fenómeno en procura de soluciones económicas y eficientes.

Especialmente los recubrimientos bituminosos y tratamientos superficiales donde se utilizan granulometrías sensiblemente abiertas y donde el material bituminoso provee un recubrimiento más o menos delgado, han agudizado los efectos de una adherencia deficiente; ello, porque las características apuntadas significan una mayor facilidad para el ataque de los agentes adversos a la intensidad y perduración de este fenómeno.

No existen discusiones sobre que los materiales bituminosos (tanto los del grupo asfalto como los del grupo alquitrán) son ligantes excepcionales en que la adherencia — lo que Riedel llama « adhesión seca » — es tan perfecta para cualquier clase de agregado pétreo que no es posible una separación por medios mecánicos externos. La disidencia comienza con la explicación de la naturaleza íntima del fenómeno, el cual siendo inherente a las superficies de contacto de los cuerpos que constituyen el sistema de que se trate, obliga a la discriminación de un gran número de factores señalados por las más recientes investigaciones de la físico-química: polaridad, tensión superficial, energía de mojado, constitución química, textura y otros. Riedel y Weber fueron de los primeros en plantear el problema, e indudablemente sus conclusiones, materializadas en el « Boiled Test » (ensayo de Ebullición) sirvieron de punto de partida para todas las investigaciones actuales.

Estos investigadores expusieron como fundamental conclusión de sus trabajos, los siguientes puntos: 1º) La adherencia depende casi

exclusivamente de la naturaleza química del agregado pétreo; 2°) La adherencia depende en menor grado de la polaridad de los constituyentes bituminosos; 3°) La naturaleza química de los materiales bituminosos desempeña un papel de muy secundaria importancia. Además, Riedel y Weber hablaban de la orientación de los constituyentes polares del betún en el sentido de formar con la superficie del mineral, y en relación con su naturaleza química, un film adsorbido químicamente insoluble en agua. Los minerales capaces de originar la producción de tal reacción química son denominados por esos investigadores: *hidrófobos*, y son los únicos recomendados por ellos para la construcción de revestimientos bituminosos. Los posteriores estudios realizados en los laboratorios y sobre todo la experiencia recogida en la compulsa de resultados prácticos en obra, trajeron como consecuencia un movimiento de opinión tendiente a rectificar los conceptos de Riedel y Weber. Primero, P. Herrmann, luego H. Nüssel y H. Neuman, más tarde J. Oberbach, impugnaron la teoría. Nüssel y Neuman, encontraron tras una extensa realización de ensayos que el valor de la adherencia para un mismo material pétreo variaba con las distintas clases de sustancias bituminosas. A. R. Lee, por otra parte, encuentra que la adición de filler mineral al betún aumenta su viscosidad y su valor de resistencia a ser desplazado por el agua. Estos hechos que no varían la naturaleza química del mineral, señalan la gran importancia que tiene la clase o calidad del material bituminoso y conducen a eliminar la idea de las piedras « ácidas » y « básicas » en que las primeras rechazan los betunes mientras que las segundas los adhieren. En la práctica algunos minerales de cuarzo y la generalidad de las arenas cuarzosas estando compuestas por una de las más inertes sustancias químicas e individualizadas como hidrófilas en el ensayo de Riedel y Weber, dan resultados buenos y a menudo excelentes.

El doctor Lee afirma que las diferencias en la adherencia dependerían más que de ninguna otra causa del grado de rugosidad microscópica del agregado. Finalmente deben considerarse los más recientes trabajos en pos del mejoramiento de la adherencia mediante la utilización de jabones primarios, resinas y otras sustancias intensamente polares y cuyos resultados señalarían, no la existencia de reacciones químicas sino la de un proceso de adsorción por orientación de los elementos polares como expresa el doctor Celestino Ruiz en su trabajo sobre este asunto.

Un punto importante al considerar la adherencia entre piedra y betún es el que se refiere a la diferencia que existe entre « recubrimiento » y « mojado ». El mojado es un caso especial de recubrimiento en que el contacto entre la partícula pétreo y el film luego H. Nussel y H. Neuman, más tarde J. Oberasch, impugnaron bituminoso es absolutamente íntimo no existiendo una fase intermedia; lo contrario es el caso frecuente del recubrimiento de agregado pétreo húmedo en que una película de agua separa la piedra del betún no desarrollándose verdadera adherencia hasta que por cualquier medio la película de agua es eliminada. Del mismo modo puede existir total recubrimiento sin adherencia alguna cuando sobre la partícula del agregado existe una cierta cantidad de polvo. Bien es cierto que en algunos casos, especialmente cuando se trata de partículas pétreas muy finas o de suelo, el recubrimiento se favorece mediante un previo humedecimiento de aquéllas; pero no debe olvidarse que ese procedimiento sólo es factible cuando existe la certeza de una rápida y total desaparición de esa humedad.

Otro punto de importancia surgido de las últimas experiencias es el hecho aparente de que la adherencia mejora con el tiempo. La explicación más atrayente es la de que el betún contiene un gran número de moléculas eléctricamente dobles o dípolos; en contacto el film bituminoso con la superficie de la partícula pétreo, sus moléculas irían orientándose lentamente (según la viscosidad del mismo) hasta que un íntimo contacto y la adherencia estuvieran asegurados por una polaridad opuesta entre ambas superficies de contacto.

Surge evidente la necesidad para el proyectista de un recubrimiento bituminoso, poder predecir el comportamiento del mismo desde el punto de vista de la intensidad y durabilidad de la adherencia en el par agregado pétreo-betún destinado a constituirlo. Desafortunadamente, la carencia de un concepto definitivo en la explicación del fenómeno, se traduce, como en casos análogos, en la inexistencia de un método suficientemente exacto que permita al ingeniero de caminos, avaluar con precisión el grado de adherencia para un agregado pétreo determinado y un material bituminoso cualquiera.

Conocido es el clásico ensayo de ebullición de Riedel y Weber y también las serias objeciones que se le han ido formulando:

1°) De que el fraccionamiento del agregado pétreo hasta los límites del ensayo (entre tamices *DIN* N° 10 y N° 90) constituye una granulometría no usual en las prácticas camineras.

2°) De que la acción de las soluciones carbonato de sodio utilizadas en el ensayo no es comparable a la de los agentes que afectan el par en el camino.

3°) De que el empleo de esas soluciones a temperatura de ebullición, constituye otra disimilitud con las posibilidades en la práctica.

Vandone, al sustituir el empleo de las soluciones de carbonato de sodio por agua destilada y al utilizar un tamaño de ensayo para el agregado, similar al requerido por las construcciones más comunes, ha desarrollado un ensayo más lógico y que por lo mismo ha sustituido al ensayo de Riedel y Weber en casi todos los laboratorios. Retiene no obstante, como característica objetable la de utilizar agua en ebullición.

Se estima que un ensayo recientemente propuesto por el Highway Research Board de EE. UU. y derivado del ensayo de Lavaje (1) de Nicholson, supondrá en breve plazo una práctica de laboratorio standard en substitución de todos los demás ensayos utilizados hasta el presente. Dicho ensayo, denominado ensayo de Descubrimiento (Stripped Test) será descripto aquí brevemente:

a) Se toma el material pétreo a ensayar con un tamaño medio comprendido entre 3/8" y N° 4.

b) Se mezcla con aproximadamente 5 % en peso del material bituminoso elegido, y aproximadamente 50 gramos de la mezcla, luego de enfriada se coloca en platos de porcelana de fondo plano.

c) Se facilita el « curado » de la mezcla por un tiempo y a una temperatura determinadas. Generalmente se trabaja con una doble muestra para cada par piedra-betún; sobre una el curado se realiza a temperatura ambiente (25° C) durante 23 horas, en la otra se opera en estufa a 60° C y durante 24 horas.

d) Se colocan 50 grs. de la mezcla ya curada en un frasco de Erlenmeyer de 250 c.c. y se echan 175 c.c. de agua destilada.

e) Se introducen los frascos en la maquinaria agitadora y se opera el lavaje en períodos de 1 - 3 - 5 - 15 y 30 minutos a 25° C - 45 minutos a 37° C (~ 100° F) y 60 minutos a 50° C (~ 120° F).

Al cabo de cada uno de los siete períodos se detiene la máquina y se mide visualmente el grado de descubrimiento o sea de contracción del film bituminoso. Para apreciar ese valor se utiliza una escala de calificaciones que va de « Sin descubrimiento » o « muy fuerte descubrimiento »; esta última es válida cuando aparentemente el 25 % o más de la superficie del agregado se halla descubierta.

(1) « Wash Test ».

La constación de una inadecuada o débil adherencia para un dado par piedra-betún o la probable existencia en obra de factores adversos, debe llevar a una cuidadosa elección de elementos y circunstancias.

En primer lugar la piedra. De los dos elementos del par será posible, por regla general, elegir el más adecuado material bituminoso con prescindencia de consideraciones económicas. El agregado pétreo, en cambio, estará impuesto por razones económicas: existencia local, yacimientos próximos, etc. Si el ensayo de adherencia da resultados no satisfactorios para un dado agregado, valdrá la pena considerar hasta qué punto será conveniente no substituirlo por un agregado más caro o en última instancia, proceder a efectuar un tratamiento previo del mismo con substancias químicas como los ya aludidos jabones, resinas, etc.

A este respecto puede citarse una obra reciente (realizada en el Parque Nacional de Nahuel Huapí), en donde los agregados de recubrimiento fueron previamente tratados con una lechada de cemento portland de una concentración del 10 % en peso.

Teniendo en cuenta el fenómeno de la adherencia, los principales arbitrios destinados a preservar y mejorar su acción en un recubrimiento bituminoso o a impedir la actuación de los agentes adversos, pueden ser resumidos como sigue:

1°) Rechazo de los agregados hidrófilos o su transformación en hidrófobos mediante el empleo de mejoradores.

2°) Utilización de materiales bituminosos tan viscosos como sea posible de acuerdo con el tipo de obra y los requerimientos de la misma.

3°) Incorporación del agregado pétreo en condiciones de humedad mínima posible y total carencia de polvo.

4°) Incorporación del material bituminoso en proporciones que aseguren un film lo más espeso, compatible con la estabilidad del conjunto.

5°) Proyecto de mezclas cerradas y espesores gruesos en zonas muy lluviosas.

6°) Obtención de un recubrimiento completo por parte del betún sobre las partículas pétreas.

7°) Prescindencia de ejecución de obras en tiempo frío o con posibilidades de lluvias próximas.

8°) Eliminación del tránsito hasta que el tratamiento haya desarrollado una adecuada resistencia.

SECCIÓN VII. ESPECIFICACIONES GENERALES

TRATAMIENTO SUPERFICIAL BITUMINOSO. TIPO DOBLE

I. — DESCRIPCIÓN

1. Este artículo comprende provisión de materiales, mano de obra, utilización de equipo e implementos, organización, dirección y ejecución de toda otra tarea, en un todo de acuerdo con los detalles que en él se consignan y con las restantes piezas del contrato.

Como esquema general, se detallan las operaciones principales previstas por este artículo:

1° Acondicionamiento final de la base a recubrir con el tratamiento superficial.

2° Aplicación de un primer riego bituminoso ligante.

3° Distribución de una cantidad de agregado pétreo de granulometría abierta.

4° Aplicación, luego de un intervalo entre 4 y 24 horas, de un segundo riego bituminoso ligante.

5° Mezclado y emparejamiento provisto con rasta de cepillos.

6° Distribución de una cantidad de agregado pétreo de granulometría de cierre.

7° Cilindrado provisto por una aplanadora automóvil.

8° Librado al tránsito luego de un intervalo mínimo de 24 a 48 horas.

2. Los materiales a incorporar serán, en cantidades globales.

a) Material bituminoso: entre 2,00 y 2,50 l/m.²

b) Agregado pétreo de granulometría N° 1: 15 l/m.²

c) Agregado pétreo de granulometría N° 2: 3 l/m.²

3. No se permitirá la ejecución de trabajos correspondientes a este artículo durante el período: 1° de..... al 1° de.....

II. — MATERIALES

1. Se emplearán los siguientes materiales:

- a) Material bituminoso:
- b) Agregado pétreo:

Las características y especificaciones a que deben responder estos materiales se consignan a continuación:

AGREGADOS PÉTREOS

2. *Pedregullo. - Grava.* Se utilizará pedregullo o grava de acuerdo con la indicación especial que al respecto contenga este artículo. De no existir esa indicación especial se utilizará pedregullo.

La palabra Pedregullo designa el producto de trituración de rocas y también de canto rodado o ripio cuanto ello se autoriza especialmente. Ese producto de trituración incluirá zarandeos y cualquier otra operación destinada a la corrección granulométrica en consonancia con los requerimientos especificados. Cuando el pedregullo provenga de mantos compactos de roca, ésta deberá ser sana, uniforme, durable y capaz de proveer las exigencias de desgaste, tenacidad y dureza. Cuando el pedregullo sea obtenido de la trituración de ripio o canto rodado, no se llevarán a las trituradoras piezas menores de 10 cm. (o sea que pasen por una zaranda de aberturas circulares de cuatro pulgadas).

El pedregullo presentará sus partículas limpias y exentas de material que pase el tamiz malla 40. Cuando esa fracción no sea eliminable mediante otro procedimiento, se recurrirá al empleo de sopladores o lavadores especiales. La cantidad de partículas achatadas no excederá de un 10 % en peso con respecto al total. La determinación se hará sobre una muestra representativa tomando como partículas achatadas aquéllas en que el espesor medio aproximado sea menor que $1/5$ de la dimensión mayor medible sobre la partícula.

El agregado pétreo, pedregullo o grava, se presentará absolutamente limpio de cualquier material extraño como ser: tierra, virutas, residuos, etc. No se permitirá la incorporación en obra de agregado pétreo con un contenido de humedad mayor que 1 % en peso.

3. Los requerimientos especiales para los agregados pétreos, serán:

Desgaste:

Granulometría: Porcentajes en peso que pasan por cribas de abertura circular:

Clase	Tip ^o	3/4"	5/8"	1/2"	3/8"	1/4"	1/8"	Tamiz N ^o 40
Pedregull ^o	N ^o 1	100	—	50-80	—	0-10	—	0-1
	» 2	—	—	—	100	60-100	0-15	0-2
Grava ...	» 1	—	100	90-100	—	20-60	0-5	0-1
	» 2	—	—	—	100	60-100	0-15	0-5

En el caso particular de que se utilicen Emulsiones Bituminosas, existirá para los límites inferiores (curvas de tamaños mínimos) correspondientes a ambos tipos de granulometría en las dos clases de materiales, una tolerancia de un 5 % excepto en lo que respecta al tamiz N^o 40.

MATERIALES BITUMINOSOS:

4. *Asfalto disuelto de Endurecimiento Rápido RC.1.* — El asfalto disuelto de tipo *RC.1*, se aplicará a una temperatura comprendida entre 40 y 50 grados centígrados. Satisfará las siguientes condiciones:

- Viscosidad S. Furol a 50° C entre 80 y 160 seg.
- Punto de inflamación (V. ab. Tag.) mayor de 27° C
- Destilado total a 190° C » » 5 %
- Destilado total a 225° C » » 12 %
- Destilado total a 260° C » » 20 %
- Destilado total a 315° C » » 25 %
- Destilado total a 360° C menor » 40 %

Sobre el residuo de la destilación

- Penetración entre 70 - 110
- Ductilidad mayor de 100
- Betén (soluble en CS₂) » » 99,5 %
- Betún (soluble en C Cl₄) » » 99,65 %

5. *Asfalto disuelto de Endurecimiento rápido RC 2.* — El asfalto disuelto de tipo *RC.2* se aplicará a una temperatura comprendida entre 60 y 80° grados centígrados. Satisfará las siguientes condiciones:

— Viscosidad S. Furol a 50° C	entre 200 y 400 seg.
— Punto de inflamación (V. ab. Tag.)	mayor de 27° C
— Destilación total a 225° C	» » 10 %
— Destilación total a 315° C	» » 20 %
— Destilación total a 360° C	menor de 35 %

Sobre el residuo de la destilación

— Penetración	entre 70 y 110
— Ductilidad	mayor de 100
— Betún (soluble en CS ₂)	» » 99,50 %
— Betún (soluble en C Cl ₄)	» » 99,65 %

6. *Emulsión bituminosa de rotura media. - EB.M.* — Estará constituida por una emulsión homogénea de agua y betún.

No mostrará coagulación o separación alguna dentro de los treinta días de su llegada a obra.

Los ensayos ejecutados sobre la muestra de emulsión satisfarán los siguientes resultados:

— Viscosidad S. Furol a 25° C	15 - 60 seg.
— Residuo por separación de (163° C — 3 horas)	50 - 60 %
— Asentamiento (5 días) (*)	menor de 5 %
— Desemulsibilidad (Myers).	
50 ml. de 0,2 N Cl ₂ Ca.	menor de 20 %
35 ml. de 0,2 N Cl ₂ Ca.	mayor de 80 %
— Tamiz	menor de 0,10 %

El residuo, obtenido por destilación, cumplirá con los siguientes requerimientos:

— Penetración a 25° C (100 g. 5 seg.)	100 - 200
— Ductilidad a 25° C	no menor de 80 cm.
— Soluble en CCl ₄	no menor del 95 %
— Peso específico a 25° C	mayor de 1,00

7. *Alquitrán R.T.4.* — El alquitrán de tipo *R.T.4* se aplicará a una temperatura comprendida entre 30 y 65 grados centígrados. Satisfará las siguientes condiciones:

— Viscosidad Esp. Engler a 40° C	entre 22 y 35
— Peso específico a 25° C/25° C	mayor de 1,09
— Betún total por ciento en peso ..	mayor de 88
— Destilado total a 170° C	menor de 5 %
— Destilado total a 270° C	» » 30 %
— Destilado total a 300° C	» » 40 %
— Punto de ablandamiento en el residuo	entre 35 y 60

Acopio de materiales

8. *Toma y remisión de muestras.* — El acopio de materiales en obra se efectuará contemplando:

a) Que los materiales no puedan sufrir en modo alguno, daño o transformación perjudicial de sus características y cualidades.

b) Que la organización y marcha de la obra resulte lo más eficiente posible.

c) Que los sitios destinados para el acopio, sean aptos a tal fin y no perturben condiciones importantes como, por ejemplo, la del tránsito.

La Inspección deberá conocer las decisiones que el Contratista tome a este respecto para poder indicar oportunamente los reparos que estimare prudente formular.

No se autorizará a comenzar trabajos cuando la Inspección estime que los materiales acopiados en obra no lo están en cantidad suficiente.

La remisión de muestras para efectuar los ensayos destinados a decidir sobre la aceptabilidad de los materiales a utilizar, debe ser hecha con toda la anterioridad posible a esa utilización. En el caso de materiales bituminosos se permitirá su utilización bajo la responsabilidad única y directa del Contratista quien resultará pasible de las medidas previstas en la parte: « Penalidades » — de este artículo, cuando los materiales bituminosos resulten no adecuados.

(*) El ensayo de desémulsibilidad deberá ser hecho dentro de los 30 días de la legada de la emulsión a la obra.

El Contratista correrá con los gastos que demande la toma y la remisión de las muestras, bien al Laboratorio en obra, bien al Laboratorio Seccional, bien al Laboratorio Central de la Repartición en Buenos Aires.

Los ensayos de granulometría durante la marcha de los trabajos, se ejecutarán en obra, debiendo proveer el Contratista el siguiente equipo mínimo para ensayos: un juego completo de zarandas, una balanza con aproximación al gramo, carpetas de lona y bolsas de tela.

Los ensayos granulométricos serán efectuados sobre muestras obtenidas por la Inspección y serán de un peso mínimo de 10 kg. para el agregado pétreo N° 1, y 3 kg. para el agregado pétreo N° 2.

Las muestras para ensayos de materiales bituminosos serán tomadas por la Inspección y enviadas al Laboratorio Central de la Repartición, dentro de recipientes de latón con boca grande cerrada con tapa a rosca o similar aprobada por la Inspección. La capacidad de estos recipientes, los cuales serán provistos por el Contratista, será de 1 litro en general y de 3 litros en el caso particular de emulsiones bituminosas.

III. — EQUIPO

1. *Distribuidor de material bituminoso.* — Estará montado sobre camión de rodado neumático. Aplicará el material bituminoso a presión, en forma homogénea, sin la más mínima producción de estrías y podrá regularse exactamente la cantidad unitaria de material bituminoso a aplicar en cada riego.

Constará de:

- manómetro para el control de la presión o contador de revoluciones de la bomba.
- tacómetro para el control en metros por minuto de la velocidad del camión durante la aplicación de los riegos.
- termómetro controlable para la medición de las temperaturas de aplicación.
- chapas para-brisa en la barra de distribución con el objeto de proteger los abanicos de material bituminoso, de la acción del viento.
- chapas marginales en los extremos de la barra de distribución a fin de dejar un borde neto y bien alineado en los costados de la zona regada.

Además, los picos serán todos iguales de manera que las cantidades regadas por cada uno de ellos sea idéntica a la del resto para una velocidad de marcha y presión dadas. La válvula de cierre de los grifos actuará con suficiente rapidez como para que los riegos puedan iniciarse y terminarse sin dificultad sobre chapas « ad-hoc » colocadas al principio y al final de cada tirada a regar.

El control del buen funcionamiento de todos los dispositivos será efectuado por la Inspección en cualquier momento y el Contratista proveerá los elementos y personal necesarios para la realización del mismo.

Antes de su utilización la capacidad del distribuidor será calibrada ante personal autorizado por la Repartición. Se confeccionarán las tablas respectivas y ellas servirán de base a la medición de los materiales bituminosos aplicados.

2. *Distribuidor de agregados pétreos.* — Los agregados pétreos se incorporarán mediante la utilización de un distribuidor mecánico del tipo de los de enganche a culata de camiones volcadores.

Estará montado sobre ruedas neumáticas y poseerá un mecanismo especial y efectivo para la regulación y cierre de la abertura por la cual sale el material pétreo, así como regulador de velocidad del rodillo en función de la velocidad de desplazamiento.

El dispositivo de acoplamiento a los camiones será regulable a fin de procurar una buena adaptación a las distintas alturas del enganche en los diferentes camiones.

3. *Rastras de cepillos.* — Estará construída sobre un bastidor de perfiles metálicos perfectamente arriostrados para evitar su deformación.

El ancho de calzada a cubrir por la rastra será de aproximadamente 3,20 m. debiendo ser por tal causa de tipo articulado.

Las hileras de cepillos serán cuatro, dispuestas en forma de *M*. Los cepillos serán de escobillas constituídas por delgadas y angostas chapitas de acero.

4. *Aplanadora.* — Será de tipo tandem o de tres ruedas. En el primer caso los rodillos tendrán un ancho no menor de 70 cm. ni mayor de 1,00 m. La presión por centímetro de ancho de rodillo estará comprendida entre 30 y 40 kg.

El comando de la aplanadora será adecuado en el sentido de que el conductor pueda maniobrar con facilidad y muy especialmente llevar la máquina en línea recta. La aplanadora estará pro-

vista de un mecanismo eficiente para el mojado de los rodillos con agua. Se evitará cuidadosamente el goteado sobre el pavimento de combustible o lubricante, debiéndose a tal efecto revisar la máquina diariamente.

5. *Rodillo neumático múltiple.*—El rodillo neumático múltiple será de dos ejes con no menos de cinco ruedas en el eje posterior y no menos de cuatro en el eje delantero. La presión interior del aire en los neumáticos no será inferior a 3,15 kg/cm.² (45 libras por pulgada cuadrada) y la carga total del rodillo será como mínimo de 35 kg. por centímetro de ancho de banda de rodamiento en los neumáticos. Los neumáticos serán del tipo llamado « balloon ».

6. *Elementos varios.*—Se dispondrá en obra en todo momento de: palas, cepillos de piazaba con mango largo, regaderas de mano con cubrepiso especial para aplicar pequeñas cantidades de material bituminoso, y otros, de manera que la totalidad de los trabajos detallados en estas especificaciones, puedan ser realizados con el máximo de eficiencia posible.

IV. — PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

1. *Acondicionamiento final de la base a recubrir.*—Además de los trabajos especificados en otras partes de este contrato, serán ejecutados todos aquellos que resulten necesarios para que la base a recubrir se presente en perfectas condiciones.

Inmediatamente antes de ser aplicado el primer riego ligante, la superficie a tratar se presentará completamente seca, absolutamente limpia y totalmente desprovista de material suelto o flojo. El polvo será muy cuidadosamente eliminado mediante barrido, precedido, si fuera necesario, por riegos de agua.

2. *Aplicación del primer riego ligante.*—En condiciones aceptables la base a recubrir, se iniciará la ejecución del tratamiento superficial aplicando un primer riego de material bituminoso en modo de obtener por metro cuadrado la cantidad de litros que fija la Inspección y que estará comprendida entre 1,00 y 1,20 litros por metro cuadrado. Tanto para este primer riego ligante como para el segundo, la temperatura del material bituminoso al ser aplicado en el camino será menor de..... C ni mayor de C. La temperatura ambiente a la sombra en ningún caso será menor de..... C.

Si el viento llevara sobre la calzada polvo proveniente de la existencia de suelo seco y suelto sobre las banquetas o sobre alguna superficie de rodamiento próxima a la misma, se subsanaría tal inconvenientes regando con agua las zonas que correspondan.

Se insiste en que el riego de material bituminoso deberá ser perfectamente uniforme y abarcando un ancho ni mayor ni menor que el que corresponda. A tal efecto los distintos riegos serán iniciados y terminados en chapas especiales colocadas sobre la calzada al principio y al final de cada pequeña sección. Con anterioridad a cada funcionamiento, el distribuidor hará sobre las banquetas u otro sitio adecuado, una pequeña descarga para probar que ningún pico se halla obturado total o parcialmente. Si resultare necesario, los picos serán calentados antes de cada descarga. Diariamente el distribuidor será limpiado mediante la utilización de una adecuada cantidad de kerosene o gas oil, que a tal efecto existirá en obra y que podrá ser utilizada a ese mismo fin cuantas veces pueda llenar su cometido con eficiencia.

Con el objeto de guiar y enmarcar la distribución del material bituminoso se dispondrá sobre ambos costados un pequeño borde hecho con suelo humedecido o bien se tenderán delgadas sogas en todo el largo de la sección a regar. La Inspección elegirá el procedimiento que en cada caso estime más conveniente.

El material que resulte aplicado fuera de la zona a recubrir, será descontado al efectuarse el pago del ítem correspondiente.

3. *Distribución del pedregullo N° 1.* — Inmediatamente de finalizado el primer riego de enlucido, el que en ningún caso comprenderá superficies a recubrir mayores de 1800 metros cuadrados por tirada, se procederá a distribuir el agregado pétreo de granulometría tipo N° 1, en la proporción indicada de 15 litros por metro cuadrado.

Previamente se regulará la abertura de la ranura de distribución y la velocidad de arrastre para que el material pétreo resulte incorporado exactamente en la proporción fijada.

Se cuidará durante la repartición de que la cantidad de material dentro de la tolva del distribuidor sea constante para regularizar la operación en forma satisfactoria, a tal fin se alimentará la misma en forma continua desde la caja del camión volcador. Dado que el distribuidor deberá rodar sobre la superficie regada a medida que la va recubriendo con pedregullo, el camión deberá empujar el dispositivo en marcha atrás; por esa razón la Inspección exigirá que los conductores de los camiones que deben

efectuar esa operación, demuestren poder jecutarla con toda corrección antes de comenzar a trabajar sobre el material bituminoso. Se evitará asimismo que el dispositivo marche a tirones o en forma ondulante por exceso de juego en el acoplamiento.

Si el Contratista lo solicitara especialmente se permitirá la distribución de los agregados pétreos a pala desde montones ubicados en banquetas, siempre que ello no implique defectos, a juicio de la Inspección, en lo que respecta a uniformidad de la distribución y limpieza del material así acopiado. Cuando esas condiciones no se cumplan, cesará la autorización dada debiendo continuarse el trabajo con distribuidor mecánico.

4. *Aplicación del segundo riego ligante.* — Transcurrido desde la ejecución del recubrimiento con pedregullo N° 1 un tiempo suficiente para que las partículas pétreas que estén en contacto con la superficie a recubrir se hallen bien adheridas a la misma, se procederá a aplicar el segundo riego bituminoso. Para favorecer esa fijación del material pétreo, la Inspección podrá disponer que se realice una pasada del rodillo neumático múltiple en forma de cubrir todo el ancho de la totalidad de la sección de que se trata. El intervalo de tiempo de referencia podrá variar entre 4 horas como mínimo y 24 horas como máximo en condiciones normales. La Inspección fijará en cada caso este intervalo.

La cantidad a aplicarse en este segundo riego será fijada por la Inspección y variará entre 1,00 y 1,50 litros por metro cuadrado.

Para la ejecución del segundo riego ligante se seguirán las mismas disposiciones descriptas para la aplicación del primer riego bituminoso. La superficie máxima a cubrir en cada tirada será como en aquel caso de 1.800 m.²

5. *Mezcla y emparejamiento.* — Inmediatamente de aplicado el segundo riego ligante se procederá a efectuar sucesivas pasadas de la rastra de cepillos. Esta operación tiene por objeto emparejar las pequeñas irregularidades existentes y proveer un verdadero mezclado en sitio en modo de permitir un perfecto recubrimiento bituminoso de cada partícula de pedregullo.

El número de pasadas de rastra, será como mínimo de 2, pero la Inspección podrá exigir en todos los casos el número de pasadas suplementarias que estimara necesarias. Prácticamente salvo muy raras excepciones, el rápido desarrollo de alta viscosidad por los materiales bituminosos no permitirá un número de pasadas mayor de 4. La rastra será tirada por un vehículo automóvil a una velo-

cidad mayor de 7 km/hora y menor de 12 km/hora. Los tiros de arrastre estarán colocados muy bajos y serán suficientemente largos para evitar el cabeceo de la rastra. Serán impedidas asimismo las oscilaciones laterales mediante cables sujetos a la parte superior de la rastra y tiradas por peones desde las banquetas. Después de cada utilización diaria, la rastra será cuidadosamente limpiada con algún solvente adecuado.

6. *Distribución del pedregullo N° 2.* — Transcurrido un período de $\frac{1}{2}$ hora a 4 horas, que fijará la Inspección se incorporará el material pétreo N° 2 en la proporción indicada de 3 litros por metro cuadrado. El procedimiento de aplicación será análogo al descrito para la distribución del pedregullo N° 1. Si la Inspección lo estima necesario, se proveerá un cilindrado, con aplanadora a rueda entera, previo a esta distribución de pedregullo N° 2.

7. *Cilindrado.* — Bien de inmediato, bien dentro de las dos horas de distribuido el pedregullo N° 2 se efectuará el cilindrado de la zona recubierta. Si el cilindrado a rueda entera a que se hace referencia en el apartado anterior N° 6, no ha sido aún provisto, entonces se procederá a efectuarlo. El cilindrado se completará con un mínimo de 2 a 3 pasadas de aplanadora a media rueda. Las operaciones de cilindrado se efectuarán como es de práctica, de los bordes hacia el centro.

8. *Librado al tránsito.* — Completadas en la forma descripta las operaciones correspondientes al tratamiento superficial, la calzada estará en condiciones de ser librada al tránsito transcurrido un período comprendido entre 24 y 48 horas desde la distribución del pedregullo N° 2 o de cierre. Inmediatamente antes de proceder a dicho librado se cubrirá todo el ancho del total de la sesión a librar con sucesivas pasadas del rodillo neumático múltiple. El número de pasadas será cinco como mínimo por cada lugar.

Las secciones libradas cada vez al servicio público tendrán una longitud mínima de 1 km. y durante la primera semana el tránsito sobre las mismas será dirigido en forma de que todo el ancho tratado resulte afectado por igual. Los obstáculos que se utilicen para estrechar los anchos útiles transitables, serán aprobados o rechazados por la Inspección atendiendo a su eficiencia y sobre todo a su seguridad ante la posibilidad de accidentes.

Si durante los primeros días de librado al tránsito se observaren desprendimientos del agregado pétreo, el Contratista deberá volver de inmediato con el equipo de compactación (aplanadora y rodi-

llo neumático múltiple) y disponer el trabajo del mismo en las horas de mayor temperatura sobre las secciones en que se hubieran localizado las fallas.

V. — CONSERVACIÓN

1. Durante cualquiera de las etapas constructivas o desde la terminación de éstas hasta la fecha de recepción definitiva de las obras, pueden ocurrir desperfectos de importancia variable.

Si el deterioro de la calzada fuera superficial, el mismo será reparado cuidadosamente con material premezclado de agregado pétreo y ligante bituminoso, o bien se repetirán las operaciones íntegras del proceso constructivo del tratamiento; este último cuando lo requiera la magnitud de la zona a reparar.

Si el deterioro afectara la base o la subrasante, el Contratista efectuará la reparación de esas partes sin derecho a pago de ninguna naturaleza, excepto cuando el mismo no haya intervenido en la ejecución de esas partes de la obra.

2. La conservación de la calzada incluirá en todo momento el mantenimiento en perfectas condiciones de las banquetas a los efectos de una total eliminación de las aguas llovidas.

3. La conservación de las obras estará a cargo del Contratista durante un plazo de..... meses, a contar de la fecha de la terminación de toda la obra contratada. De este plazo, los primeros dos meses serán por cuenta exclusiva del Contratista y los..... restantes serán pagados por la Dirección Nacional de Vialidad mediante certificados mensuales.

VI. — MEDICIÓN Y PAGO

1. *a) Superficie del tratamiento bituminoso.* — Se computarán las superficies que resulten de considerar las longitudes realmente ejecutadas y los anchos marcados por los planos y especificaciones. No se tolerarán anchos menores que los indicados.

2. *b) Cantidades de material pétreo.* — Se medirán los volúmenes de pedregullo sobre vehículo transportador en obra y en el sitio en que el material es incorporado al camino.

3. c) *Cantidades de material bituminoso.* — Se computarán las cantidades realmente aplicadas medidas en litros considerados a la temperatura del 15,5° C (60 Farenheit). Para efectuar la correspondiente reducción, se utilizarán las tablas que figuran en la designación D 206-34 de la « American Society for Testing Materials ».

4. La ejecución de las obras previstas en este artículo estarán totalmente pagadas con los siguientes ítems:

Item.... « *Material bituminoso ligante* ». Incluirá el pago de la incorporación en obra del material bituminoso realmente colocado y medida en litros a 15,5° C.

Item.... « *Agregado pétreo* ». Incluirá el pago de la incorporación en obra del pedregullo medido en metros cúbicos.

Item.... « *Mano de obra* ». Incluirá el pago por mano de obra y todo otro gasto emergente de la ejecución del tratamiento, incluidos todos los trabajos descriptos en el presente artículo y los necesariamente anexos, cuyo pago no se prevea en otros ítems del contrato. Se pagará por metro cuadrado.

VII. — TOLERANCIAS

Con respecto a la incorporación de materiales correspondientes a la ejecución de los trabajos previstos por este artículo regirán las disposiciones siguientes:

a) *Incorporación de agregados pétreos:*

1. Excepto en el caso de órdenes de la Inspección, dadas con anterioridad a la incorporación del material en la sección de que se trate, no se admitirán cantidades unitarias menores que las fijadas. Cuando ello resulte, el Contratista estará obligado a complementar la sección o secciones correspondientes de la manera más uniforme posible, debiendo la Inspección decidir la forma de realizar esa incorporación complementaria.

2. Cuando en una o varias secciones resulten distribuciones que den cantidades unitarias mayores que las fijadas, ese exceso será pagado solamente hasta la cantidad que suponga el 10 % de la cifra fijada por este artículo. Además, el Contratista deberá regularizar esa distribución, ya que en el total de la obra sólo será

pagado hasta un 2 % de exceso con respecto a las cantidades fijadas por este artículo o por la Inspección.

b) Incorporación de material bituminoso:

3. No se admitirán secciones en que el material bituminoso incorporado en las dos aplicaciones previstas, sea menor que el total que arrojen los dos límites mínimos fijados para esos riegos.

4. En las secciones en que el material bituminoso incorporado en las dos aplicaciones resulte mayor que el total dado por los dos límites superiores fijados, sólo se pagará el exceso hasta un 5 % y además el Contratista deberá incorporar, sin derecho a pago de ninguna naturaleza, material pétreo en cantidad de aproximadamente 10 veces en peso, respecto del exceso de referencia.

Las cantidades de material bituminoso fijadas por este artículo, son litros a la temperatura de 15,5° C.

VIII. — PENALIDADES

Además de las penalidades establecidas en otras partes del Contrato, el incumplimiento o cumplimiento defectuoso de las cláusulas de este artículo darán lugar a las indemnizaciones que a continuación se consignan:

1° Cuando por cualquier circunstancia, exceptuando el caso de órdenes expresas dadas por la Inspección, no se siguieran para la ejecución de una dada sección, los procedimientos fijados por este artículo, la obra será rechazada o provisoriamente certificada con reservas, definiendo un juicio sobre la calidad de la misma, hasta tanto el uso permita hacerlo con seguridad.

2° Cuando el material bituminoso aplicado lo haya sido con anterioridad al conocimiento de los resultados dados por el ensayo practicado por la Repartición, y los mismos resultaran luego fuera de los límites aceptables, la obra efectuada con ese material será contemplada con el criterio expuesto en el apartado 1°, es decir, se rechazará o postergará su aceptación, pero de todos modos y en forma definitiva, se liquidará la cantidad de material bituminoso que corresponda, con un descuento de hasta un 10 % sobre el precio neto fijado contractualmente.

3° Cuando, durante el plazo comprendido entre la ejecución de cada distinta sección y la recepción definitiva, se visualizaran fallas como las de estrías longitudinales u ondulaciones cortas transversales, el Contratista estará obligado a proveer, en las secciones afectadas, un riego suplementario de material bituminoso (similar al utilizado en los riegos de construcción) a razón de 0,75 litros por metro cuadrado y un recubrimiento con pedregullo de granulometría N° 2, a razón de 4 litros por metro cuadrado, o bien sufrirá un descuento de hasta un 10 % en el total de los tres ítems con que se paga este artículo.

ESTABILIZACION DE SUELOS CON CEMENTO PORTLAND

POR LOS

INGS. VICTOR CARRI Y JUAN L. CARATTINO

1) GENERALIDADES

2) CLASIFICACION DE LOS ENSAYOS

I. — ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN.

A) *Ensayos de los componentes.*

B) *Ensayo de Proctor.*

a) Equipo.

b) Descripción del ensayo.

c) Modificaciones introducidas en la forma de compactación

d) Cálculos y representación gráfica.

e) Interpretación del ensayo.

f) Empleo de las curvas.

g) Anomalías en las curvas de Proctor.

h) Ensayo de Proctor en mezclas de suelo con cemento.

i) Curvas de compactación-humedad en mezclas de suelo y cemento en función del tiempo.

C) *Cantidad de agua para la preparación de las probetas.*

D) *Preparación de las probetas.*

E) *Ensayos realizados en probetas moldeadas en laboratorio para fijar el porcentaje de cemento.*

a) Absorción de agua por capilaridad.

b) Cambio de volumen por absorción de agua.

c) Ensayo de estabilidad con el aparato de Watt.

d) Ensayo de compresión.

e) Ensayo de durabilidad.

f) Conclusiones.

II. — ENSAYOS DE VERIFICACIÓN.

A) *Ensayos de campaña inmediatamente de terminada la construcción.*

B) *Ensayos de laboratorio sobre probetas extraídas del camino.*

III. — MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS POR LA ADICIÓN DE CEMENTO.

- IV. — CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN GRUPOS SEGÚN SU COMPORTAMIENTO AL SER TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND.
- V. — NORMAS PARA EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE SUELOS EN EL CAMINO PARA EFECTUAR LOS ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN.
- VI. — ESQUEMA DE LOS PASOS A SEGUIR EN LOS ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN. CANTIDAD NECESARIA DE SUELO PARA CADA ENSAYO Y CANTIDAD TOTAL.
- VII. — ELEMENTOS PARA LABORATORIO DE CAMPAÑA.

3) TRAMOS EXPERIMENTALES

- I. — PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.
 - A) *Preparación del suelo.*
 - B) *Distribución del cemento.*
 - C) *Mezcla de suelo y cemento.*
 - D) *Riego y mezcla húmeda.*
 - E) *Distribución, compactación y terminado.*
 - F) *Curado.*

II. — CONCLUSIONES.

4) ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCION DE UNA BASE DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND

1) GENERALIDADES

En la Tercera Reunión Anual de Caminos de esta Facultad llevada a cabo el año pasado, nos ocupamos de una serie de ensayos que nos determinaban la cantidad necesaria de cemento a mezclar con un suelo dado, a fin de lograr una estabilidad conveniente.

En el presente estudio nos ocuparemos de nuevas investigaciones realizadas en este segundo año de trabajo. Los ensayos descriptos en la conferencia anterior no serán tratados ahora, sólo serán citados, y ampliados aquellos en que se hayan introducido modificaciones. No es pues este trabajo una continuación del anterior sino más bien una ampliación dentro de lo mucho que queda por investigar.

2) CLASIFICACION DE LOS ENSAYOS

Los ensayos pueden clasificarse en ensayos de investigación y ensayos de verificación.

El primer grupo comprende todos aquellos ensayos que contribuyen a determinar en que cantidades hay que mezclar el suelo y cemento portland, a los efectos de obtener una mezcla técnica y económicamente satisfactoria. También todos aquellos que nos dan normas de trabajo y nos ponen en conocimiento de los fenómenos en sí del procedimiento; es decir como actúa el cemento sobre el suelo, en qué grado modifica las propiedades del mismo y cuáles van a ser las propiedades de la mezcla.

Con estos ensayos se realiza el proyecto, y se preparan las especificaciones de manera que en el terreno nos acerquemos lo más posible a las condiciones más favorables estudiadas en laboratorio.

Los segundos son los ensayos a efectuar durante y después de la construcción para verificar si se ha cumplido con las especificaciones.

I. — ENSAYOS DE INVESTIGACION

A) ENSAYO DE LOS COMPONENTES.

a) *Suelo*. — Previo a todo ensayo, se realizan las determinaciones de las constantes físicas y análisis mecánico. Para ésto se separa de la muestra total una porción representativa, con la cual se realizan los siguientes ensayos:

Límite líquido,
Límite plástico,
Humedad equivalente de campaña,
Humedad equivalente de centrífuga,
Límite e índice de contracción,
Curva granulométrica.

Estos ensayos se encuentran detallados en la Conferencia del Ingeniero Adolfo Grissi en el volumen de la Primera Reunión Anual de Caminos de la Facultad de Ciencias Físicomatemáticas de la Universidad de la Plata.

b) *Cemento*. — De los ensayos que se realizan comúnmente en los cementos nos interesa la determinación del óxido de calcio, principio y fin de fraguado y los ensayos a la comprensión y tracción.

La determinación del óxido de calcio — que se puede consultar en cualquier tratado —, nos sirve para las determinaciones de la cantidad de cemento en las mezclas terminadas. Este ensayo será tratado en el apartado « Ensayos de investigación ».

El ensayo de principio y fin del fraguado se realiza con la aguja de Vicat. Este método es el adoptado por la Dirección de Obras Sanitarias de la Nación y en el folleto de esa Dirección « Pliegos de Bases y Condiciones para recepción de Cemento Portland » está explicado el procedimiento. Con este ensayo tendremos el tiempo a partir del cual el cemento comienza sus reacciones químicas de fraguado, y el tiempo en que estas reacciones terminan prácticamente, por cuanto ellas siguen por períodos de años. De estos dos tiempos el que nos interesa más es el del principio del fraguado.

Es conveniente en la construcción, realizar todos los trabajos de mezcla, humedecido y compactación en un tiempo inferior al del principio del fraguado, porque entonces se aprovechará en un máximo la acción estabilizadora del cemento sobre el suelo.

TABLA I

Suelo N°	IV		V		VI		VII		VIII		IX		X
	Río I-La Fran- cia. Prov. de Córdoba		Río I-La Fran- cia. Prov. de Córdoba		Río I-La Fran- cia. Prov. de Córdoba		Acceso a Villa Numancia		Acceso a Villa Numancia		Las Flores Azul		
Progresiva Km.			64.079 a 65.290 Primero		65.290 a 65.515 Primero		1.748 a 1.969 Primero		2.248 a 2.548 Segundo		—		—
Tramo experimental	Segundo				—		35,9		41,2		—		—
Límite líquido	33,1		28,9		—		6,2		16,4		—		38,5
Índice de plasticidad	3,5		9,1		Arena		26,3		15,7		—		13,4
Límite de contracción	27,1		17,6				1,48		1,8		—		16,7
Relación de contracción	1,6		1,8				32,6		33,3		—		1,7
Humedad eq. del terreno	30,0		24,9				0,0		0,0		22,6		31,0
Material grueso. Mayor 2 mm. ...	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
Arena Gruesa de 2,0 a 0,25 mm. ...	0,0		2,0		31,0		3,71		1,20		0,73		1,98
Arena Fina de 0,25 a 0,05 mm. ...	19,0		18,5		50,0		15,29		18,00		61,27		18,02
Limo de 0,05 a 0,005 mm.	49,0		42,5		10,0		56,0		49,0		24,0		50,0
Arcilla menor de 0,005 mm.	32,0		37,0		9,0		25,00		31,8		14,0		30,0
Coloides menor de 0,001 mm. ...	13,0		12,0		3,0		9,00		13,00		7,00		9,0
Peso específico 25°C	2,47		2,56		2,66		2,42		2,60		2,55		2,51
Clasificación	A 4		A 4		A 3		A 4		A 7		—		A 4
Clasificación granulométrica	Arcilloso		Arcilloso		Arenoso		Loan arcillo- limoso		Arcilloso		Loan arcillo- arenoso		—

En los ensayos de investigación ya veremos la importancia de realizar todos los trabajos de construcción en un tiempo inferior al principio del fraguado.

Los ensayos de resistencia a la compresión y tracción se realizan al solo efecto de controlar la calidad del cemento. En el folleto anteriormente citado, se encuentran detallados estos ensayos.

B. — ENSAYO DE PROCTOR

En la conferencia anterior, dejamos establecido que las humedades óptimas del suelo virgen y suelo mezclado con cemento portland son prácticamente iguales; su diferencia no oscila en más de 2%, por lo cual consideramos que la humedad óptima determinada en el suelo virgen podía ser usada para moldear las probetas.

Pero en este segundo año de experiencias, hemos encontrado ciertas

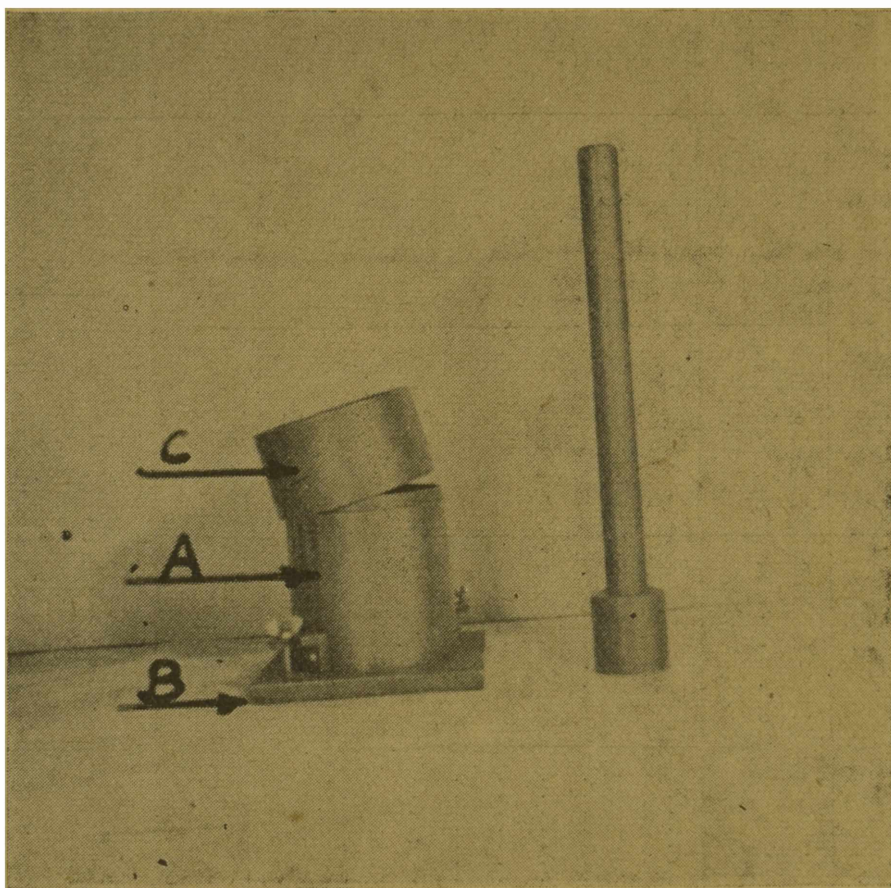


FIG. .1

anomalías en el ensayo de Proctor; además nos vimos en la necesidad de trazar otros tipos de curvas para las mezclas de suelo y cemento que hasta la fecha no habían sido estudiadas.

Al trabajar intensamente en estos ensayos tuvimos que fijar normas precisas para los mismos, con el objeto de poder comparar los resultados obtenidos por 2 operadores; tuvimos que eliminar tam-

bién el error personal del apisonado. Para eso ideamos un pisón especial que será descrito más adelante.

A continuación transcribimos en forma detallada las normas de la realización del ensayo de Proctor según el método ideado por su autor. También hacemos la interpretación del mismo y sus empleos para entrar luego a tratar las anomalías y nuevas curvas encontradas en las mezclas de suelos y cemento.

a) **EQUIPO.** El equipo ideado por el Ing. Proctor está formado de los siguientes elementos:

1) *Molde.* (fig. 1). Consta de un cilindro A, de un volumen determinado, que se fija mediante tornillos a mariposa a una placa B que le sirve de base. En la parte superior se fija otro cilindro C que se denomina collar.

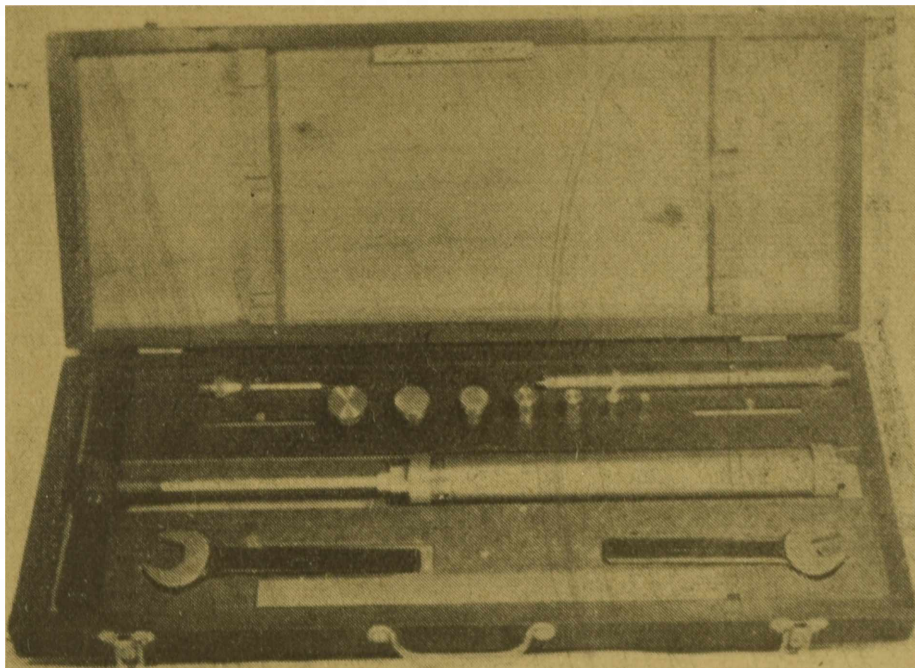


FIG. 2.

2) *Pisón.* Este tiene un peso de $5 \frac{1}{2}$ libras (2.49 kgs.) y de 2 pulgadas (5,08 cm.) de diámetro en la base.

3) *Penetrómetro.* Consta de un dinamómetro y un juego de 6 ó 7 agujas o émbolos (fig. 2).

El extremo *F*, fig. 3 del dinamómetro tiene una rosca para atornillar alguna de las agujas mostradas en la parte superior de la

fig. 2. En el interior del cilindro *H*, hay un resorte que se comprime al aplicar la fuerza en el mango *I*, para hacer penetrar la aguja en la tierra. La varilla *J*, graduada de 0 a 110 libras, se desliza entonces dentro del cilindro en una longitud proporcional a la fuerza. El índice *K* es un anillo que queda un poco apretado a la varilla y al entrar ésta al cilindro *H*, el anillo choca contra el extremo superior del cilindro. Cuando se deja de aplicar la fuerza en *I*, el resorte empuja hacia afuera la varilla, arrastrando al anillo que habrá quedado fijo en el punto hasta donde entró la varilla, señalando la intensidad de la fuerza aplicada. Las agujas de penetración (*L* fig. 2) ideadas originalmente por Proctor, son

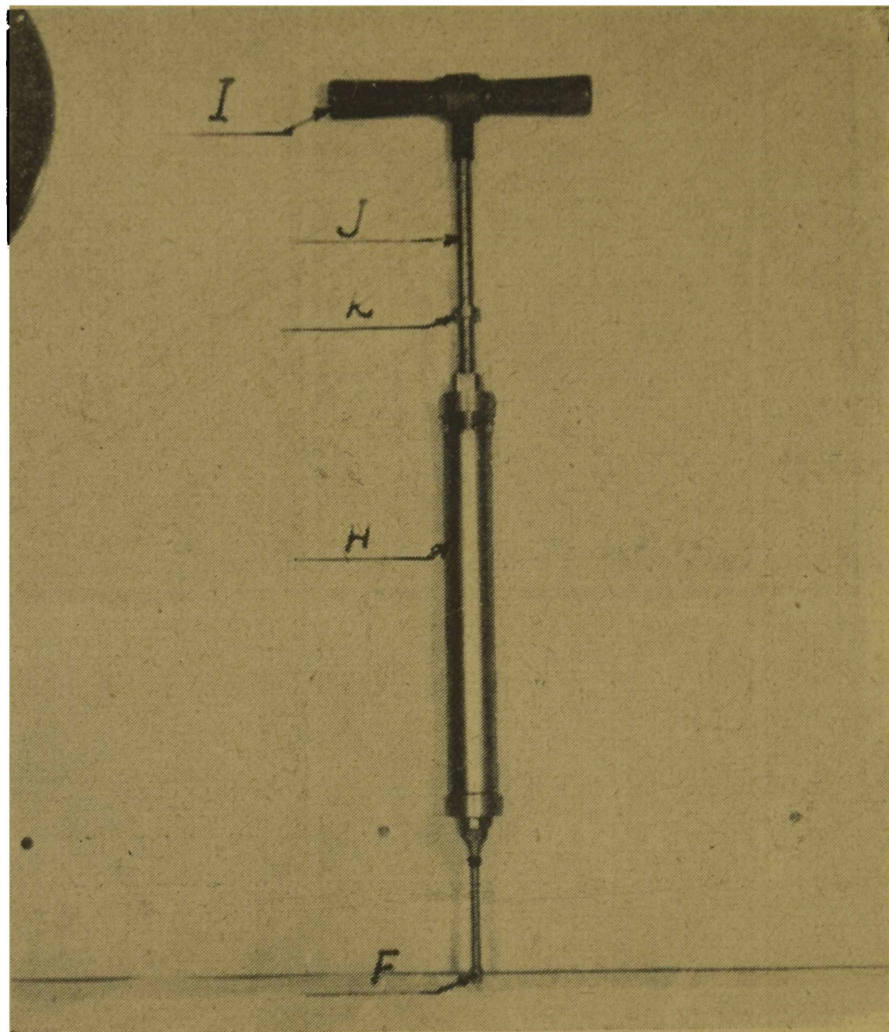


FIG. 3.

unas varillas de 15 a 25 cm. de longitud que en uno de sus extremos llevan rosca para atornillar al dinamómetro y en el otro tienen una placa. Estas placas son de diversos tamaños para utilizar la que sea conveniente según la resistencia de los suelos. El área más chica es de $1/20$ de pulgada cuadrada, y después siguen de $1/10$, $1/5$, $1/3$, $1/2$, $2/3$ y 1 pulgada cuadrada.

b) *Descripción de ensayo:*

1) *Preparación de la muestra.* La tierra a ensayar se seca al aire. Luego se desmenuza con un rolo de madera, igual al usado para preparar tierra para los ensayos físicos y mecánicos, y se pasa por el tamiz N° 4. Se pueden presentar dos casos; que la tierra pase íntegramente por el tamiz N° 4, o que la tierra no pase totalmente por el tamiz N° 4. Trataremos primeramente el primer caso porque el segundo es una variante del primero.

Se toman 2500 gramos de la muestra así preparada, cantidad esta que permite efectuar el ensayo con 10 puntos sin ninguna dificultad.

2) *Compactación de la muestra dentro del molde.* Armado el molde Proctor, con el suplemento superior colocado, la tierra seca al aire es colocada dentro en 3 capas, y se compacta cada una con el pisón Proctor dejándolo caer de 30 cm. de altura 25 veces, debiendo la tercera capa quedar $\frac{1}{2}$ " arriba de la base superior del cilindro propiamente dicho. Hay que asegurarse que el cilindro Proctor se encuentre bien ajustado a la base inferior, y al aplicar 25 golpes por capa, el molde tiene que estar apoyado sobre una base lo más firme posible.

3) *Pesada del ejemplar compactado y el molde. Prueba de penetración.* Se saca el collar desmontable del molde Proctor y se empareja la parte superior del ejemplar con una regla metálica. Hay que tener cuidado al sacar el collar para evitar roturas o rajaduras que aflojarían la tierra compactada motivando errores en el ensayo. Una vez emparejado, se pesa la tierra compactada con el molde y se registra este peso en la planilla correspondiente. La pesada se realiza al gramo y es de mucha importancia efectuarla con cuidado. Con la aproximación de un gramo el error que se comete es inferior al 1^o/₀₀ sobre el peso del litro seco. Luego se hacen 3 pruebas de penetración con el penetrómetro de la fig. 2. Consisten en hacer introducir en el suelo compactado en el molde, una de las agujas, con velocidad uniforme, de modo que en 6 segundos penetre 3 pulgadas. La resistencia a la penetración se obtiene dividiendo la lectura del dinamómetro por el área de la placa.

4) *Extracción del ejemplar del molde. Toma de muestra para determinar humedad.* El suelo compactado es sacado del molde, y de la parte del centro se toma una porción colocándola en un pesafiltro para determinar la humedad y poder calcular el peso del litro

seco. Estas muestras son tomadas cada vez que se moldea un ejemplar. Las muestras así tomadas junto con el pesafiltro son pesadas en una balanza sensible al milígramo y este peso es registrado en la planilla correspondiente como peso del suelo húmedo más peso del pesafiltro ($PSH + PP$). Luego el pesafiltro, con la tapa sacada es colocado en la estufa a $110^{\circ} C$ y se deja hasta conseguir el peso constante. Después de haber dejado enfriar la muestra es un secador, se vuelve a pesar y se registra éste como peso del suelo seco más peso del pesafiltro. Conocido el peso del pesafiltro se calcula el contenido de humedad en porciento del peso de tierra seca.

5) *Rotura del ejemplar y preparación para el primer incremento de humedad.* Después que la muestra de humedad ha sido

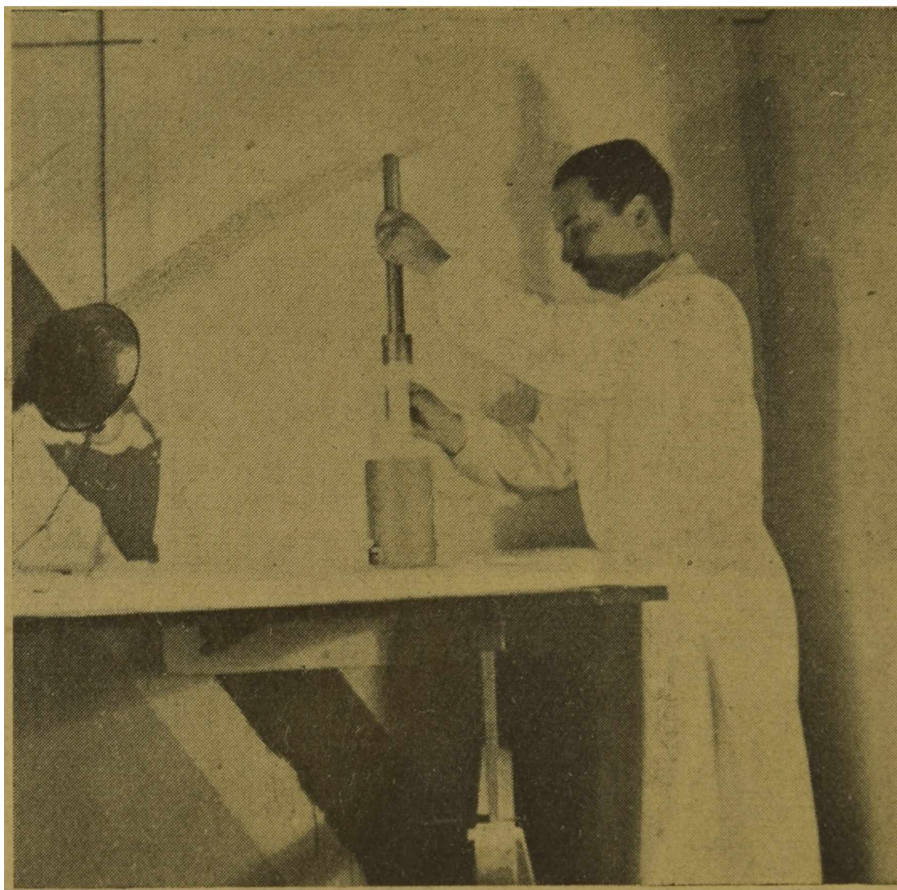


FIG. 4.

tomada, se desmenuza el ejemplar pulverizándolo con una cuchara de albañil u otro elemento, y se desparrama sobre la mesa en un espesor uniforme, aproximadamente de 1 cm. Hecho esto se le agrega el primer incremento de agua, distribuyéndola lo más uniformemente posible sobre toda la capa. Es práctico usar un fumigador.

La cantidad de agua a agregar depende de la clase de tierra. En

tierras arcillosas la pérdida por evaporación es apreciable, porque al retener con más fuerza la humedad cada porción de la tierra mojada, se hace necesario una mayor manipulación para homogeneizar la muestra. Mientras que con tierras arenosas las pérdidas por evaporación son pequeñas, pues el agua puede incorporarse rápi-

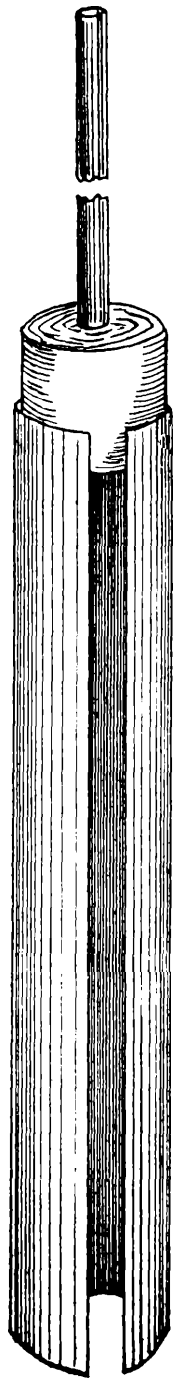


FIG. 5.

PISON DE COMPACTACION

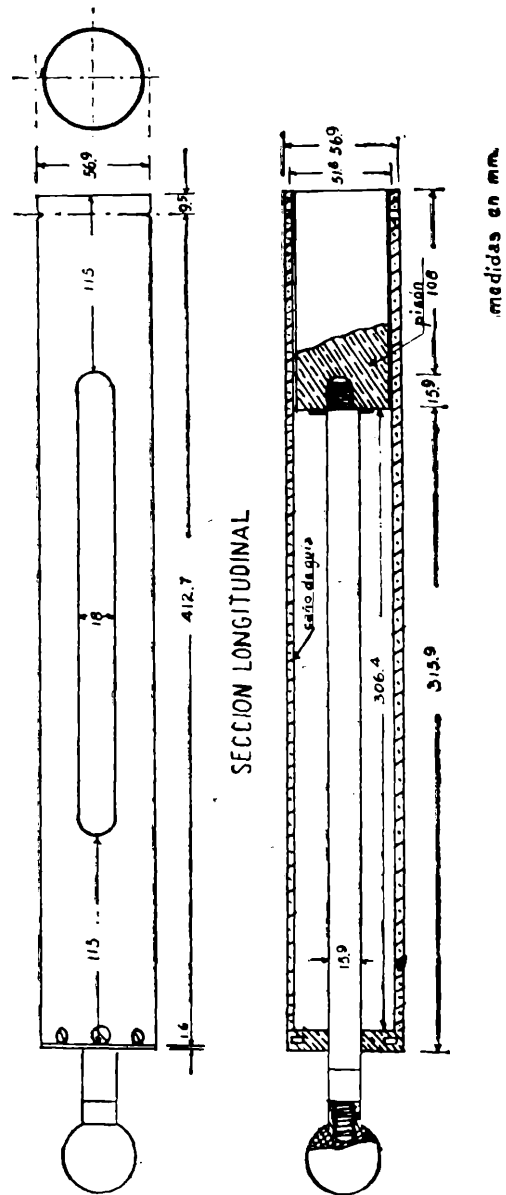


FIG. 6.

damente en la muestra. Por lo tanto una adición de cierta cantidad de agua en una tierra arenosa dará como resultado un aumento de humedad mayor que en el caso de una tierra arcillosa a la cual se le haya agregado la misma cantidad de agua. La pérdida de humedad puede llegar hasta 1 % en las tierras arcillosas.

Esto hay que tenerlo en cuenta al agregar el agua para obtener un aumento de humedad preestablecido. La evaporación depende además de la calidad de la tierra, de la humedad y temperatura del

PISON PARA EL ENSAYO PROCTOR

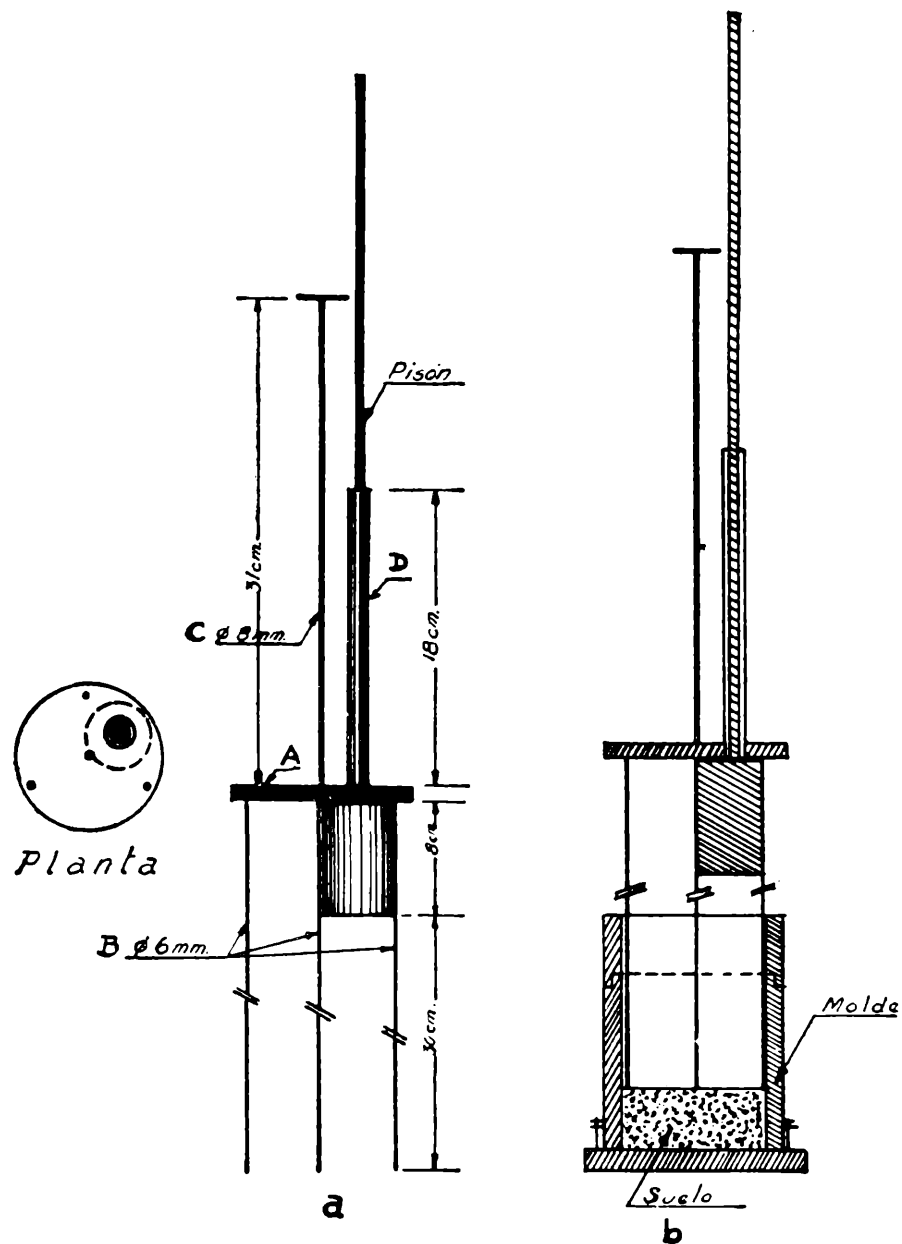
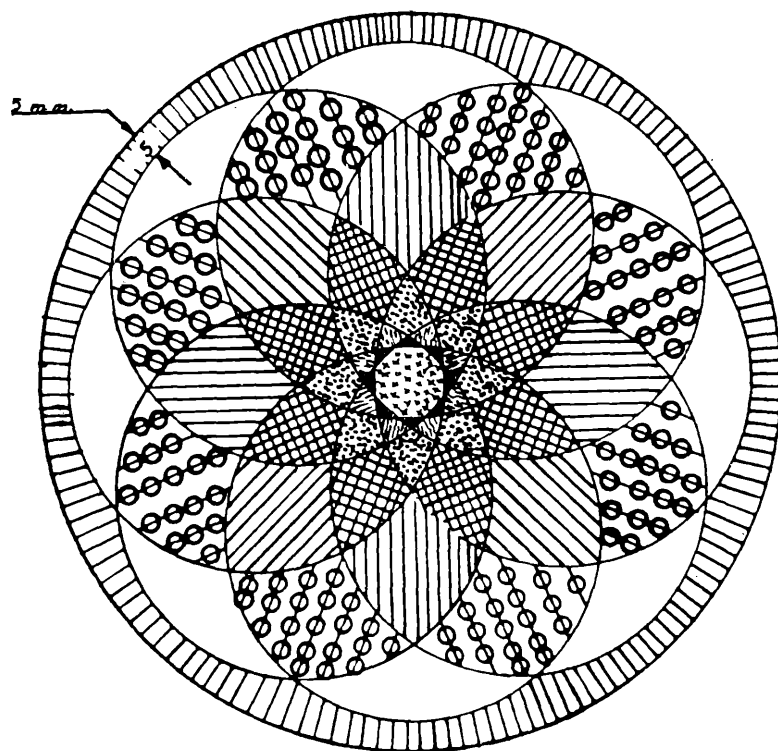


FIG. 7.

medio ambiente, pues puede suceder, especialmente en días húmedos, que la tierra no pierde humedad sino que la absorbe del medio ambiente. Por lo tanto el operador debe hacer observaciones en cada caso y sacar conclusiones de las mismas.

Si el ensayo está al comienzo se puede agregar una cantidad de agua tal, que aumente la humedad en un 3 % del peso de la tierra

seca, mientras cuando se está llegando al peso del litro máximo, esta cantidad conviene reducirla a la mitad. Una vez agregada la cantidad de agua de acuerdo a un criterio establecido se homogeneiza bien el suelo con una cuchara de albañil tratando de romper las bolitas de tierra húmeda que se forman. Se prestará mayor atención a la mezcla cuando se trata de suelos arcillosos por ser más



Referencias

	Ningun golpe
	1- Golpe cada vuelta
	2 - " " "
	3 - " " "
	4 - " " "
	5 - " " "
	6 - " " "
	7 - " " "
	8 - " " "

FIG. 8.

difícil obtener con estos una mezcla uniforme. Luego se compacta del suelo nuevamente en el molde Proctor, realizando las pesadas y ensayo de penetración en la forma ya descrita. Estas operaciones se continúan hasta que el operador esté seguro de haber conseguido el peso del litro seco máximo.

c) *Modificaciones introducidas en la forma de compactación del ensayo Proctor.* La forma de realizar el apisonado ha sido

objeto de modificaciones. Según las indicaciones dadas por el Ing. Proctor para efectuar este ensayo, el pisón se debía dejar caer libremente de una altura de 30 cm. controlando la caída con una reglilla. (fig. 4).

Pero en esta forma los resultados eran distintos entre dos operadores, pues el factor personal influye mucho; otro inconveniente

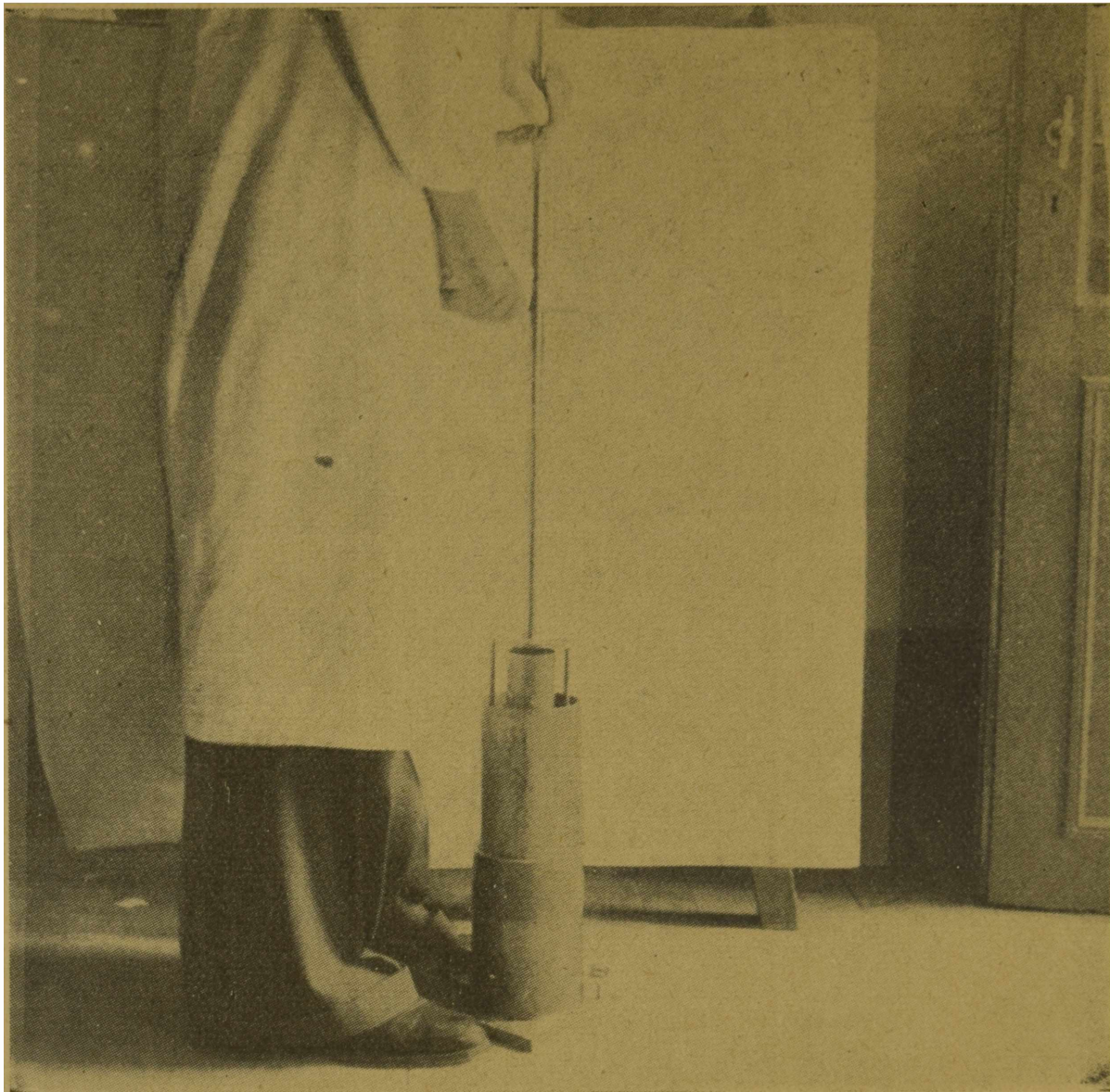


FIG. 9

es el que dejando caer el pisón libremente, no es fácil conseguir que este dé exactamente en el lugar deseado; además el operador tiene cierta tendencia a arrojar el pisón hacia el centro para evitar que pegue en las paredes del cilindro y las deteriore, recibiendo menor consolidación la tierra cercana a las paredes. Esto fué notado por el Ing. Cambell en 1936, quien solucionó el inconveniente utilizando un tubo de diámetro un poco mayor que el del pisón. Este estaba abierto en toda su longitud para que no forme un colchón de aire que amortiguara el golpe. (fig. 5).

En el laboratorio de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires se usó para este ensayo un caño de guía, con la diferencia que su diámetro exterior era un poco menor al diámetro del cilindro y sus paredes de un espesor de 0,5 mm., de manera que la zona sin compactar cerca de las paredes del molde se reducía al mínimo posible; de esta manera se obtuvieron resultados satisfactorios. Pero como la caída del pisón no era bien guiada y se necesitaba mucha precisión, se ideó otro aparato que será explicado más adelante.

En el volumen N° 29 de la Dirección Nacional de Vialidad, el Ing. San Miguel describe el pisón de la fig. 6. Es un pisón de 5 ½ libras de peso y de dos pulgadas de diámetro en la base, el cual está contenido en un cilindro metálico dentro del cual puede correr libremente hasta alcanzar su parte superior, desde donde su altura libre de caída es de un pié. Las paredes del caño tienen unas escotaduras para evitar que el aire forme un colchón y amortigue el golpe. El inconveniente que se presenta con este aparato es que la tierra al alcanzar cierto contenido de humedad se adhiere a las paredes interiores del caño guía y del pisón, dificultando la caída de éste.

Para solucionar esto, hemos ideado el siguiente apisonador, fig. 7 a. Está formado por una placa circular *A* de hierro a la que están soldadas hacia abajo tres patas de hierro cilíndricas, *B*, de diámetro igual a 6 mm. y de una altura de 30 cms. más la altura del pisón. Hacia arriba y en el centro está soldada una barra *C* de 31 cms. de altura y un caño *D* en correspondencia con un agujero de la placa *A*. Las patas *B* se introducen dentro del molde fig. 7b, y se apoyan sobre el suelo a compactar; de esta manera se conserva siempre constante la caída de 30 cms. La barra del pisón, de 8 mm. de diámetro, pasa dentro del caño *D*, el que le sirve de guía en la caída. Después de cada golpe se levanta primero el pisón y luego todo el aparato haciéndolo girar 45 grados y una vez apoyadas las patas sobre las capas de suelo se aplica el siguiente golpe, y así sucesivamente.

Con este aparato se obtienen las siguientes ventajas: *a*) Caída del pisón desde una altura constante; *b*) Caída libre sin traba que amortigüe el golpe; *c*) Haciendo girar 45 grados el aparato después de cada golpe, se obtiene una compactación uniforme en toda la muestra. Esto último se aprecia claramente en la fig. 8.

Usando un caño de cinc que contenga las varillas *B*, como se puede apreciar en la fig. 9, se consigue reducir el espacio no compactado de la orilla, a 2 mm.

TABLA I. — Ensayo Proctor

Fecha		de 1933		Operador												
Equipo usado:		Muestra N°		Procedencia												
Cilindro N°		V. Volumen 0,978 L.		T. peso 4.120 Kg. Juego de agujas N°												
Diámetro N°		Identificación		RESISTENCIA A LA PENETRACION												
N°	PESOS EN KG.				N° de aguja	Esf. de pe- netración			Prom. Kg.	Kg/cm ²						
	H Cilindro + tierra	B La tierra compacta- da	C = B / V Peso del litro húmedo	D = $\frac{C \times 100}{J + 100}$ Peso del litro seco		1°	2°	3°								
		DETERMINACION DE HUMEDAD				RESISTENCIA A LA PENETRACION										
		E P P + T H	F P P + T S	G P P	H = E - F Agua gr.	I = F - G Tierra seca	J = $\frac{H \times 100}{I}$ Humedad %									
1	6.075	1.955	2.000	1.770	67,8	63,7	31,4	4,1	32,30	12,9	5	30	29	31	30,0	150
2	6.155	2.035	2.110	1.810	60,3	54,3	14,57	6,0	39,73	15,1	3	20	21	20	20,3	61
3	6.110	1.990	2.040	1.738	68,0	65,05	24,53	2,95	30,52	17,2	1,5	19	23	22	21,3	32
4	6.060	1.940	1.985	1.670	49,59	44,72	19,32	4,87	25,40	19,2	0,7	23	24	22	23,0	16

d) Cálculo y representaciones gráficas.

Curvas de compactación-humedad. — Se conoce el peso del molde sin el collar superior PM , y el volumen del mismo D . Al peso de la tierra más molde $PT + PM$, se le resta el peso del molde y se obtiene el peso de la tierra húmeda compactada dentro del molde;

ENSAYO PROCTOR

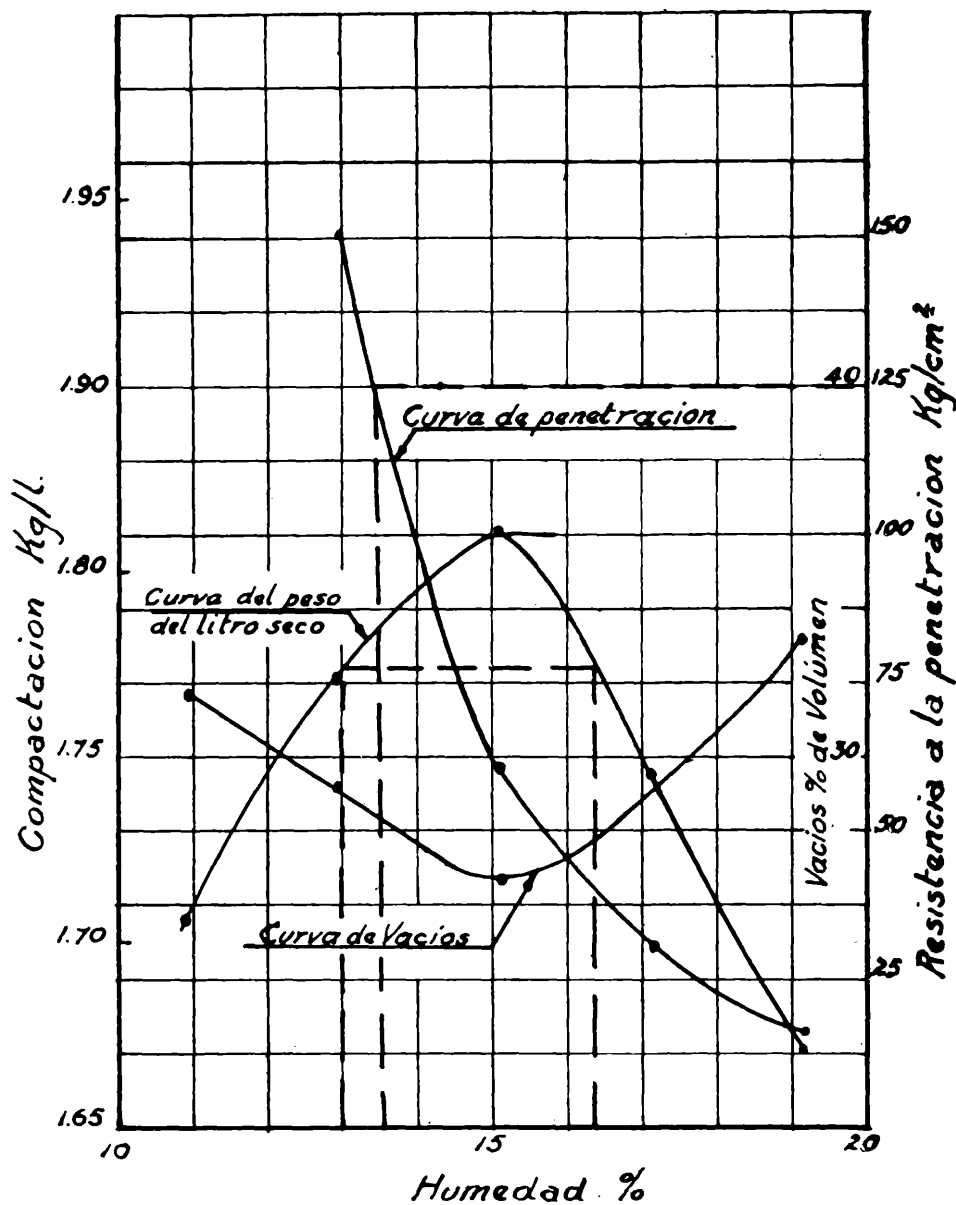


FIG. 10.

dividiendo a este por el volumen del molde se obtiene el peso del litro húmedo del suelo PLH .

$$PLH = \frac{PT + PM - PM}{V} \quad [1]$$

Como se conoce la humedad H en por ciento del suelo seco, se co-

rrige el peso del litro húmedo y se obtiene el peso del litro seco con la siguiente fórmula:

$$PLS = \frac{PLH \times 100}{100 + H} \quad [2]$$

PLS = Peso del litro seco

PLH = » » » húmedo

H = Humedad en porciento del suelo seco.

A los efectos de llevar los cálculos ordenados, es conveniente usar una planilla del tipo adjunto Tabla I. Las unidades usadas son litro y kilogramo. Como los datos así obtenidos se construye, en un sistema de ejes cartesianos, la curva de consolidación, tomando en el eje de las abscisas las humedades, y en el eje de las ordenadas los pesos de litro seco. Uniendo los puntos con una curva se obtiene la representación gráfica del ensayo, fig. 10. La humedad que corresponde al peso del litro máximo se denomina humedad óptima.

2) *Curva de penetración - humedad.* Los tres valores obtenidos con la aguja en cada ensayo, son promediados, dividiéndolos por el área de la aguja se obtiene el esfuerzo por unidad de superficie.

En un sistema de ejes cartesianos se toman las humedades sobre el eje de las abscisas y las presiones sobre el eje de las ordenadas. Uniendo los distintos puntos obtenidos queda representada la curva penetración - humedad, fig. 10.

Se puede hacer el trazado de las dos curvas en un solo gráfico; en el eje de las abscisas común, se toman las humedades, y en los dos ejes de ordenadas, a ambos lados, se representa en uno los pesos del litro y en el otro el esfuerzo de penetración, fig. 10. Es útil para el trabajo de campo trazar la curva que resulta de llevar al gráfico los valores del peso del litro húmedo, en la misma forma que en el caso del peso del litro seco; obteniéndose en esta forma una curva semejante a la primera que nos relaciona el peso del litro húmedo con la humedad del suelo expresada en porciento del peso del suelo seco, fig. 11. Más adelante explicaremos el uso de estas curvas.

3) *Curvas de vacíos.* Esta curva relaciona la cantidad de vacíos en la muestra compactada seca con la humedad de compactación.

Es decir que para cada ensayo de compactación se determina el volumen ocupado por el aire. Se calcula por la fórmula siguiente:

$$V = \frac{PEA - PLS}{PEA} 100 \quad [3]$$

V Volumen de vacíos expresados en por ciento del volumen total
PEA Peso específico aparente
PLS Peso del litro seco.

El peso del litro seco ya está indicado como se calcula.

El peso específico aparente se determina por el método del Picnómetro. Este procedimiento está tratado por el Ing. Adolfo Grissi en el volumen de la Primera Reunión Anual de Caminos, pág. 152.

En este método se usa una trompa de agua para extraer las burbujas de aire que quedan entre las partículas de suelo. Esto implica un inconveniente, porque no siempre es posible tener una corriente de agua adonde aplicar la bomba; además se necesita cierta práctica del operador e interviene la paciencia del mismo. Ahora se está generalizando hacer hervir la muestra del suelo en agua durante 10 minutos para eliminar el aire.

A continuación transcribo el método standard, con la designación de *T* 100 - 38 del A. A. S. H. O. (American Association of State Highway Offices).

Los aparatos necesarios son: Una balanza sensible al milésimo de gramo y un picnómetro o frasco de Gay Lussac con tapa perforada de 50 cm. cúbicos. Antes de hacer una determinación el picnómetro se calibra como sigue:

- 1) El picnómetro con su tapón se limpia, se seca y se pesa.
- 2) Se llena el picnómetro con agua destilada a la temperatura de $25^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$, se pone el tapón bien ajustado y se seca toda el agua sobrante con un trapo limpio y seco.
- 3) El frasco y su contenido se pesa y se anota el peso *b*.

Una cantidad conocida de suelo seco a la estufa *c*, preferiblemente alrededor de 10 gramos se coloca en el picnómetro al cual se le agrega agua destinalada hasta aproximadamente la mitad. La mezcla de agua y suelo se hierve durante 10 minutos, agitando el frasco cada tanto para ayudar la eliminación del aire. Cuando ha transcurrido el tiempo especificado de ebullición se enfría a $25^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ el picnómetro y su contenido. Conseguido esto se llena el picnó-

metro con agua destilada y se coloca el tapón sumergiéndolo completamente durante un período no menor de 30 minutos en agua a $25^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$, después de lo cual se saca, se seca y se pesa inmediatamente.

El peso específico se calcula por la siguiente fórmula:

$$PE = \frac{c}{b + c - d} \quad [4]$$

Donde b es igual al peso del picnómetro lleno de agua destilada a $25^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$.

c es igual al peso del suelo seco a estufa.

d es igual al peso del picnómetro lleno con suelo y agua destilada a $25^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ}$. El numerador de la fórmula 4 es el volumen del suelo medido en peso de agua destilada a 25°C , que es igual al volumen de la muestra en centímetros cúbicos por admitir el peso específico del agua destilada a 25°C igual a 1.

El peso específico del agua destilada en función de la temperatura está dada en la tabla II:

TABLA II

Temp.	P. E.	Temp.	P. E.	Temp.	P. E.
0	0,9998	15	0,9991	25	0,9970
1	0,9999	16	0,9989	26	0,9968
4	1,0000	17	0,9988	27	0,9965
5	0,9999	18	0,9986	28	0,9962
8	0,9998	19	0,9984	—	—
10	0,9997	20	0,9982	—	—
11	0,9996	21	0,9980	—	—
12	0,9995	22	0,9978	—	—
13	0,9994	23	0,9975	—	—
14	0,9992	24	0,9973	—	—

En esta tabla vemos que al realizar las pesadas b y d a 25°C y admitir el peso específico en estas condiciones igual a 1 cometemos un error, y este error disminuye si realizamos las pesadas anteriormente citadas a temperaturas inferiores a 25°C . Luego la rigidez del método de trabajar siempre con 25°C no aporta al ensayo una mayor exactitud que trabajando a una temperatura inferior.

Además los errores que se cometen trabajando con temperaturas que oscilen entre 4° C y 25° C son inferiores al centésimo de gramo; y el peso específico de los suelos se expresa al centésimo.

Con estas observaciones se simplifica mucho el ensayo, especialmente en los lugares donde existe agua corriente, por ser la temperatura de la misma constante durante el día y siempre está dentro de los límites de 4° C a 25° C. En estos casos el picnómetro se coloca dentro de un recipiente con agua destilada y este recipiente dentro de otro, por donde circula agua.

El picnómetro con la mezcla de suelo y agua se puede hacer hervir:

- 1) Directamente a la llama de un mechero.
- 2) En un baño de arena.
- 3) A bañomaría.

Con las dos formas primeras se consigue una ebullición más activa, que facilita la eliminación del aire, pero sino se tiene mucho cuidado rebalsa fácilmente y se malogra el ensayo. Con el tercer método se obtiene una ebullición muy lenta y después de mucho tiempo. Para solucionar este inconveniente es muy práctico aumentar el punto de ebullición del bañomaría con el agregado de sal; de esta manera se consigue una ebullición franca dentro del picnómetro y a la vez no se corre el riesgo que rebalse el líquido. La única precaución a tener en cuenta es la de lavar por su parte exterior el picnómetro después del hervido para eliminar la sal que pudo haberse depositado en las paredes del mismo.

Otra observación es la de determinar el peso del suelo que se usa en el ensayo por diferencia de peso entre el picnómetro vacío y el picnómetro con suelo. Porque al pasar el suelo y luego pasarlo al picnómetro se podrían perder partículas produciéndose errores mayores del centésimo de gramo.

Resumiendo, el ensayo se puede efectuar en la siguiente forma:

- 1) Se pesa el picnómetro vacío *P1*.
- 2) Se llena el picnómetro con agua destilada, después de haber sido puesto en el baño estabilizador de temperatura. Se pesa *P2*.
- 3) Se pesa el picnómetro más el suelo seco a estufa a 110° C *P3*.
- 4) Se agrega agua destilada hasta la mitad del picnómetro; se hierve durante 10 minutos, enfriándose luego.
- 5) Se agrega agua destilada, se enrasa y se coloca en el baño estabilizador de temperatura durante 30 minutos. Luego se seca y se pesa *P4*.

6) El peso específico se calcula con la siguiente expresión:

$$PE = \frac{P_3 - P_1}{P_2 + P_3 - P_1 + P_4} \quad [5]$$

La representación gráfica de la curva de vacíos se hace en un sistema de ejes cartesianos, tomando en las abscisas la humedad y en las ordenadas los vacíos.

Las tres curvas pueden reunirse en un solo gráfico fig. 10.

Cuando el suelo contiene partículas retenidas por el tamiz N° 4, la determinación del peso del litro se puede realizar con todo el material siguiendo el procedimiento ya descrito, o sino se determina el peso del litro de las partículas menores que el tamiz N° 4, calculando luego el peso del litro y la humedad óptima de la mezcla.

Supongamos tener un material con un 25 % retenido en el tamiz N° 4.

El ensayo de compactación usando la porción que pasa el tamiz N° 4, da los siguientes resultados:

Peso del litro seco máximo	$P_1 = 1.500 \text{ Kg/l.}$
Humedad óptima	$H = 14 \%$

Al peso P_1 le corresponde un peso P_2 de material retenido por el tamiz N° 4 para reproducir la mezcla natural del suelo. Este último peso se calcula por las siguientes fórmulas:

$$P = \frac{P_1}{M} \quad [6]$$

$$P_2 = P - P_1 \quad [7]$$

donde P = al peso total de la mezcla.

P_2 = al peso del material retenido por el tamiz N° 4.

P_1 = al peso del material que pasa el tamiz N° 4.

M = al porcentaje del material que pasa el tamiz N° 4.

Reemplazando valores, en nuestro ejemplo tendremos:

$$P = \frac{1.500}{0,75} = 2.0 \text{ Kg.}$$

$$P_2 = 2,0 - 1.500 = 0,5 \text{ Kg.}$$

El volumen del peso P va a ser igual al volumen del peso P_1 , que es igual a 1 litro más el volumen absoluto del peso P_2 que es igual a este peso, dividido por el peso específico aparente D_2 . Supongamos que D_2 sea igual a 2,7 Kg/1. Luego el volumen va a ser igual:

$$V = V_1 + V_2 = 1,0 + \frac{0,5}{2,7} = 1,18 \text{ litros} \quad [8]$$

El peso del litro de la mezcla es igual a:

$$PLSm = \frac{P}{V} = \frac{2,0}{1,18} = 1.695 \quad [9]$$

La humedad óptima de la mezcla se determina multiplicando la humedad óptima de la porción que pasa el tamiz N° 4 por el porcentaje de la misma sobre el total de la muestra:

$$H_1 = 0,75 \times 14 = 10,5 \% \quad [9 \text{ bis}]$$

Este valor de la humedad óptima no es exacto, porque las partículas granulares retenidas en el tamiz N° 4 al agregarse a la porción que pasa dicho tamiz absorben agua, restando humedad, y al ser compactada no se obtendrá el peso del litro máximo calculado teóricamente sino menor. La forma correcta para calcular la humedad óptima de la mezcla es sumarle a la humedad óptima de la porción que pasa el tamiz N° 4, que se calcula por la fórmula 9 bis, la humedad necesaria para saturar las partículas retenidas por el tamiz N° 4. Para determinar este último valor se puede proceder en la siguiente forma: Se toma una porción de este material y se lava sobre el tamiz N° 4, de manera de eliminar el polvo de la superficie de los granos. Luego se seca en una estufa a 110° C. hasta peso constante, y después de haberla dejado enfriar se obtiene su peso seco P_1 .

Se sumerge en agua hasta que no se vea salir burbujas de aire, y luego se seca rápidamente con un trapo y se vuelve a pesar P_2 . El agua absorbida expresada en porciento del peso seco es igual a:

$$h = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \cdot 100 \quad [10]$$

Supongamos que el valor obtenido sea de 4 %. La cantidad de agua H_2 en nuestro ejemplo, a agregar a la mezcla para tener en cuenta la absorción de las partículas retenidas sobre el tamiz N° 4 es:

$$H_2 = h \times 0,25 = 4 \times 0,25 = 1 \% \quad [11]$$

Luego la humedad óptima para la mezcla será igual:

$$H = H_1 + H_2 = 10,5 + 1 = 11,5 \% \quad [12]$$

En trabajos de laboratorio hemos comprobado que cuando la porción retenida por el tamiz N° 4 es agregada, saturada, a la porción de suelo que pasa el tamiz N° 4, conteniendo esta última la humedad óptima, y esta mezcla es compactada, la compactación obtenida es la misma que la que resulta de compactar la mezcla entera después de haber sido llevada a su humedad óptima.

Si el ensayo de compactación se realiza sobre el total de la mezcla, se procede de la siguiente forma. Se toma una porción de 3 Kg. de la mezcla total homogeneizada y se determina el porcentaje de material retenido en el tamiz N° 4, el resto de la muestra es separada en dos porciones tamizándola por el mismo tamiz.

En el momento de efectuar un ensayo se reconstituye el material natural mezclando las dos porciones en las proporciones que les corresponde, de esta manera tendremos en todos los ensayos la misma granulometría.

Respecto al cálculo, representación gráfica e interpretación de los ensayos vale lo dicho para las muestras de suelo que pasan íntegramente por el tamiz N° 4.

Lo único que se debe tener en cuenta es el ensayo de la resistencia a la penetración, que en estos casos debido a las partículas gruesas, no se puede efectuar por ser sus resultados erróneos.

e) Interpretación del ensayo. — Observando la curva del peso del litro seco, vemos que la compactación medida por el peso del litro seco aumenta con el contenido de humedad hasta llegar a un valor máximo y luego comienza a decrecer fig. 10. La explicación que da el Ing. Proctor, es que al estar el suelo con poco contenido de humedad higroscópica, las películas de agua que rodean a los granos, que son aproximadamente de un espesor de 0,000075 mm., provocan grandes tensiones capilares que mantiene unidos los granos del suelo, impidiendo su deslizamiento y además favorecen la fric-

ción interna. Luego, al compactar el suelo con este grado de humedad, estas tensiones dificultan la acomodación de las partículas. Al agregar agua, se aumenta el espesor de las películas de agua que rodean los granos, y esto motiva una disminución de ambas resistencias, tensiones capilares y fricción interna, permitiendo que las partículas se deslicen con más facilidad bajo el efecto de una fuerza exterior, provocando una mejor acomodación de las mismas que se manifiesta en un aumento de compactación y una disminución del volumen de vacíos.

Pero llega un momento que al seguir aumentando la cantidad de agua, las películas que rodean las partículas toman un espesor tal que pierden las propiedades capilares y separan los granos ocupando la mayor parte de los huecos, y al ser el agua incompresible no permite que se reduzca el volumen en la mezcla de agua y tierra por efectos de los golpes de pisón. A medida que sea mayor la cantidad de agua que se sigue agregando a partir de ese límite entorpecerá más el acomodo de las partículas y se irán obteniendo pesos del litro cada vez menores.

Lo expuesto explica también por qué el esfuerzo de penetración disminuye con el aumento de humedad.

Si en lugar de expresar la humedad como porcentaje del peso del suelo seco a estufa, se indica como porcentaje del volumen combinado de sólidos de suelos y humedad, la relación del contenido humedad - compactación se convierte en una serie de líneas rectas con diferentes inclinaciones como lo indica la curva llena en la fig. 12. La relación entre dos contenidos de humedad está dado por la siguiente ecuación:

$$W' = \frac{W}{W + \frac{100}{G}} \times 100 \quad [13]$$

donde:

W' = Contenido de humedad en porcentaje de volumen combinado de sólido y humedad.

W = Contenido de humedad en porcentaje de peso de sólidos.

G = Peso específico de los sólidos.

Los contenidos de humedad, a los cuales las líneas rectas de la curva se interceptan, indican los límites de cuatro estados distintos de mojado sufrido por la muestra compactada antes que los poros se llenen completamente de agua.

Hasta un contenido de humedad de 20,7 % - fig.12 - puede ser denominado el estado de hidratación. Durante este estado, parte del agua contenida es absorbida por las partículas de tierra y el resto es absorbido o condensado sobre la superficie en forma de película cohesiva. El contenido máximo de humedad de este estado es denominado límite de hidratación, por conveniencia.

Los contenidos de humedad desde 20,7 % al 31,0 % indican el estado de lubricación; parte del contenido de humedad ahora, actúa como un lubricante para facilitar la acomodación de las partículas en forma más apretada pero sin embargo sin excluir todo el aire. El contenido máximo de humedad de este estado se puede denominar límite de lubricación. Es el contenido de humedad óptimo con el cual se obtiene la máxima compactación. Un porcentaje de agua mayor de 31 % produce hinchazón en toda la masa. Aunque el aire contenido a un contenido óptimo de humedad no es apreciable, disminuye hasta el límite de hinchazón, alcanzado con un contenido de humedad de 43,7 % en este caso.

Los contenidos de humedad entre 43,7 % y el límite de saturación 55,0 % representan el estado de saturación. Durante este estado prácticamente todo el aire ha sido desplazado y la tierra se vuelve completamente saturada.

Algunas tierras tienen un estado intermedio de mojado entre el hidratación y lubricación como lo indica la fig. 13.

Efecto del grosor de la película en los cuatro estados de compactación. — Simples cálculos matemáticos que comprenden suposiciones no estrictamente verdaderas pero lo suficientemente válidas para propósitos ilustrativos, pueden ser usados para calcular el área de superficie de las partículas de tierra en una masa dada.

La tierra con la que se efectuaron los ensayos representados en la fig. 13 se compone de 44 % de arena, 12 % de limo y 44 % de arcilla. El área de la superficie calculada al límite de hidratación, que se supone ser de 30,6 %, es de 235.000 pies cuadrados por pié cúbico de masa de tierra. Si el agua y el aire estuvieran distribuídos uniformemente sobre la superficie entera de las partículas de tierra, el promedio de grosor de la película de agua sería igual a 11/1.000.000 de pulgada y la película de aire igual a 12/1.000.000 de pulgada. Un grosor de casi 5/1.000.000 de pulgada representa la humedad higroscópica contenida en la muestra secada al aire.

En la misma forma el grosor de las películas de humedad en

los límites de lubricación, hinchazón y saturación puede ser calculado en 14/1.000.000 de pulgadas, 22/1.000.000 de pulgadas y 46/1.000.000 de pulgadas respectivamente. La diferencia en el grosor de las películas en varios millones de avos de pulgada no tiene

ENSAYO PROCTOR

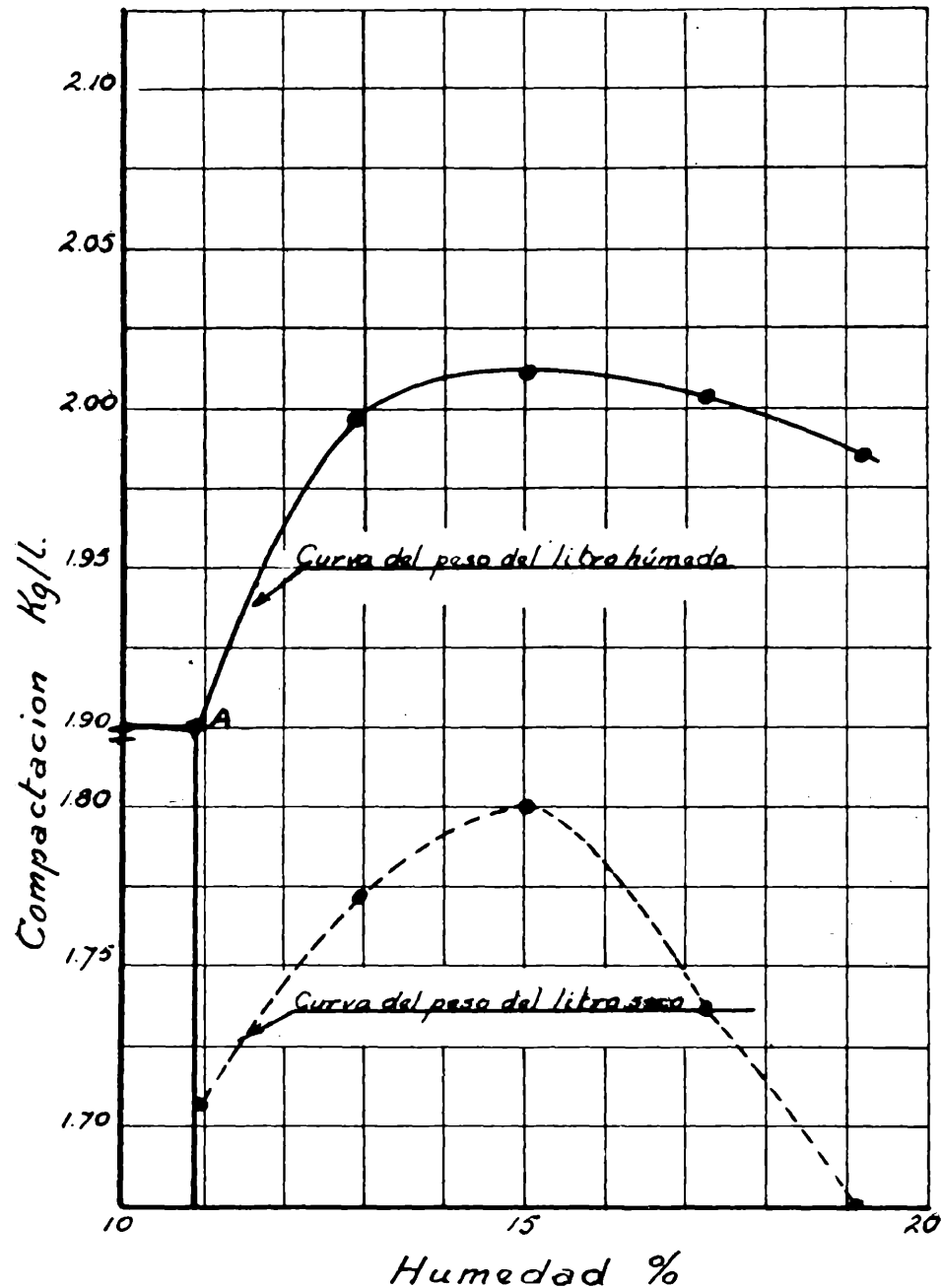


FIG. 11.

importancia en arena o partículas de grava. En una partícula de arcilla de 1/10.000 pulgadas (0,0025 mm.) de diámetro, una pequeña diferencia en el grosor de la película tiene influencia importante en la actuación de la tierra.

El diámetro de dicha partícula se compara según el grosor de la película que la rodea, fig. 14. Durante el estado de hidratación la película de humedad, más viscosa y gomosa que el aire libre, aumenta su grosor a un máximo de 11/1.000.000 de pulgadas. Durante el estado de lubricación, la película de agua aumenta en espesor a 14/1.000.000 de pulgadas. El exceso de 3/1.000.000 de pulgadas sobre la película de hidratación, actúa más como agua libre y facilita la compactación de las partículas. Por consiguiente el contenido de aire es reducido a casi 3 % por volumen.

Durante el estado de hinchazón las películas de agua aumentan en grosor a 12/1.000.000 de pulgadas; el contenido de aire de la tierra queda más o menos constante. La humedad en películas de este grosor y menores, posiblemente son atraídas con más fuerza por la partícula de tierra que por la gravedad. Por lo tanto ellas cubrirían las partículas de tierra como lo indica la fig. 15, sin llenar los vacíos de aire entre las superficies exteriores de las películas. La humedad en exceso del límite de hinchazón, posiblemente sea agua libre atraída más fuertemente por la gravedad que por la superficie de las partículas de tierra.

En consecuencia, la humedad gradualmente reemplaza al aire contenido hasta que la tierra se vuelve completamente saturada en un grosor equivalente de 46/1.000.000 de pulgada en este caso.

En el ensayo de humedad equivalente de centrífuga las películas se adhieren a las partículas de tierra tan fuertemente que una fuerza igual a 1.000 veces la fuerza de gravedad, fracasaría para sacarlas. El grosor calculado de la película en la tierra N° 2 fig. 15 B, a la humedad equivalente de centrífuga es de casi 21/1.000.000 de pulgadas.

Al calcular el promedio de grosores o espesores mencionados no se tuvo en cuenta el efecto del tamaño del grano, y como consecuencia las películas, en los granos de arena, pueden ser muchas veces tan gruesas como las partículas de arcilla.

El promedio de los diámetros de los granos de arena que pasan el tamiz N° 10 y son retenidos en el N° 270, es de 0,041 pulgadas; a una humedad equivalente de centrífuga de 3, el grosor calculado de la película es de 560/1.000.000 de pulgada. A un 6 % de humedad donde tiene un aumento considerable el volumen en arena, el grosor de la película se calcula en 1.120/1.000.000 de pulgada. Esto aumentaría el diámetro del promedio del grano de arena en casi 5,4 %. Si cada dimensión de un cubo de arena seca fuera aumentado en 5,4 %, el volumen total aumentaría 17 %, un aumento comunmente observado debido al abultamiento de arena húmeda.

f) *Empleo de las curvas.* — El Ingeniero de Camino usa las curvas determinadas, durante el proyecto de obras de tierra y la construcción de las mismas.

Al preparar un proyecto interesa saber cual es la estabilidad máxima que se puede conseguir con un suelo determinado y la humedad necesaria a usar en la misma; que estabilidad originaria se puede conseguir al realizar la compactación del suelo con una humedad inferior a la humedad óptima y cual sería si el suelo por cualquier causa absorbiera agua.

Supongamos, por ejemplo, tener que proyectar una obra, en la cual se va a usar un suelo cuyas curvas de Proctor son las de la figura 10. Vemos que la máxima compactación es de 1.810 Kg/l obtenida al compactar con 15,5 % de humedad y para esa misma humedad la resistencia a la penetración es de 60 Kg/cm.². Pero si la compactación se realiza con 13,0 % de humedad, tenemos que la compactación alcanzada es de 1,76 Kg/l., inferior a la anterior, y la resistencia a la penetración llega a 150 Kg/cm.².

Este último valor no hay que tenerlo en cuenta, porque el suelo puede absorber agua y volverse semejante a aquel que fué compactado con un contenido de humedad de 16,5 %; y con este contenido de humedad la resistencia de penetración es de 37,0 Kg./cm.² (ver fig. 10). Esta es la explicación del ablandamiento extremado que algunas veces ocurre en los suelos consolidados con poca humedad. Luego vemos que el Ing. puede con estas curvas prever la consolidación de acuerdo a la resistencia deseada.

Además, en obra, estas curvas son usadas para verificación. El Ing. necesita saber el grado de humedad que contiene el suelo para poder determinar la cantidad de agua a agregar, en el caso que éste no se halle con la humedad suficiente, o efectuar los trabajos necesarios para eliminarla si está con exceso.

La determinación de la humedad en campaña se puede realizar de dos maneras: a) Usando la curva de resistencia a la penetración; b) Usando la curva de peso del litro húmedo-humedad.

a) *Usando la curva de resistencia a la penetración.* Se toma el suelo cuya humedad se desea conocer y se compacta en el cilindro Proctor en tres capas en la forma ya descrita; se hacen tres determinaciones con la aguja y se promedian las mismas. Este valor se lleva al gráfico y se determina la humedad que le corresponde.

Supongamos por ejemplo, que el promedio de las tres lecturas dá 125 Kg/cm.², a este valor le corresponde 13,5 % de humedad (fig. 10).

Pero observando la curva a la que nos estamos refiriendo vemos que para humedades inferiores de 13,0 %, la aguja no nos da valores, por ser el esfuerzo necesario para introducir la aguja superior al máximo del aparato. Luego cuando la humedad es inferior al 13,0 % en nuestro caso, no se puede controlar por este método.

b) *Usando la curva peso del litro húmedo-humedad.* En este procedimiento se presenta el inconveniente del caso anterior.

Con el suelo cuyo contenido de humedad se quiere verificar, igual que en el caso anterior, se compacta en tres capas en el cilindro Proctor y se determina el peso del litro húmedo; de la curva correspondiente trazada con anticipación para el suelo estudiado, se obtiene por lectura de abscisa el contenido de humedad que corresponde al peso del litro húmedo hallado. Por ejemplo, supongamos que el peso del litro húmedo determinado es de 1,90 Kg/l. Llevando este valor a la curva de la fig. 11, punto A, vemos que le corresponde 10,9 % de humedad.

g) *Anomalías en las curvas de Proctor.* — En todo lo dicho se ha tratado el ensayo de Proctor de acuerdo a la forma ideada por su creador y a los usos dados por los Ingenieros que han tenido oportunidad de trabajar en obras de tierra. Pasaremos a ocuparnos de ciertas anomalías encontradas al emplear el método Proctor.

1) En varias oportunidades se realizaron determinaciones de humedad en campaña, usando la curva de peso del litro húmedo - humedad anteriormente explicada, y la verificamos secando una porción de suelo a la estufa a 110° C, hasta peso constante. Encontramos que la humedad obtenida usando la curva del peso del litro húmedo - humedad era menor que la obtenida por secado en la estufa.

2) También notamos que los resultados que se obtenían realizando el ensayo de Proctor en la forma ya descrita, y al repetir el ensayo con la misma porción de suelo después de dejarla perder humedad por evaporación durante 24 horas, no eran iguales. Los pesos del litro resultante en el 2° ensayo eran mayores. La representación gráfica de los mismos tomaba la forma de la fig. 16. Hacemos notar que al repetir el ensayo se comenzaba con una humedad superior a la del ensayo inicial, curva B, pues no se dejaba evaporar toda el agua sino un 8 % aproximadamente. Estas dos anomalías en un principio no la atribuimos a una misma causa, sino que la primera (1) supusimos que fuera por error del operador y la segunda (2) a la permanencia del suelo en estado húmedo que mo-

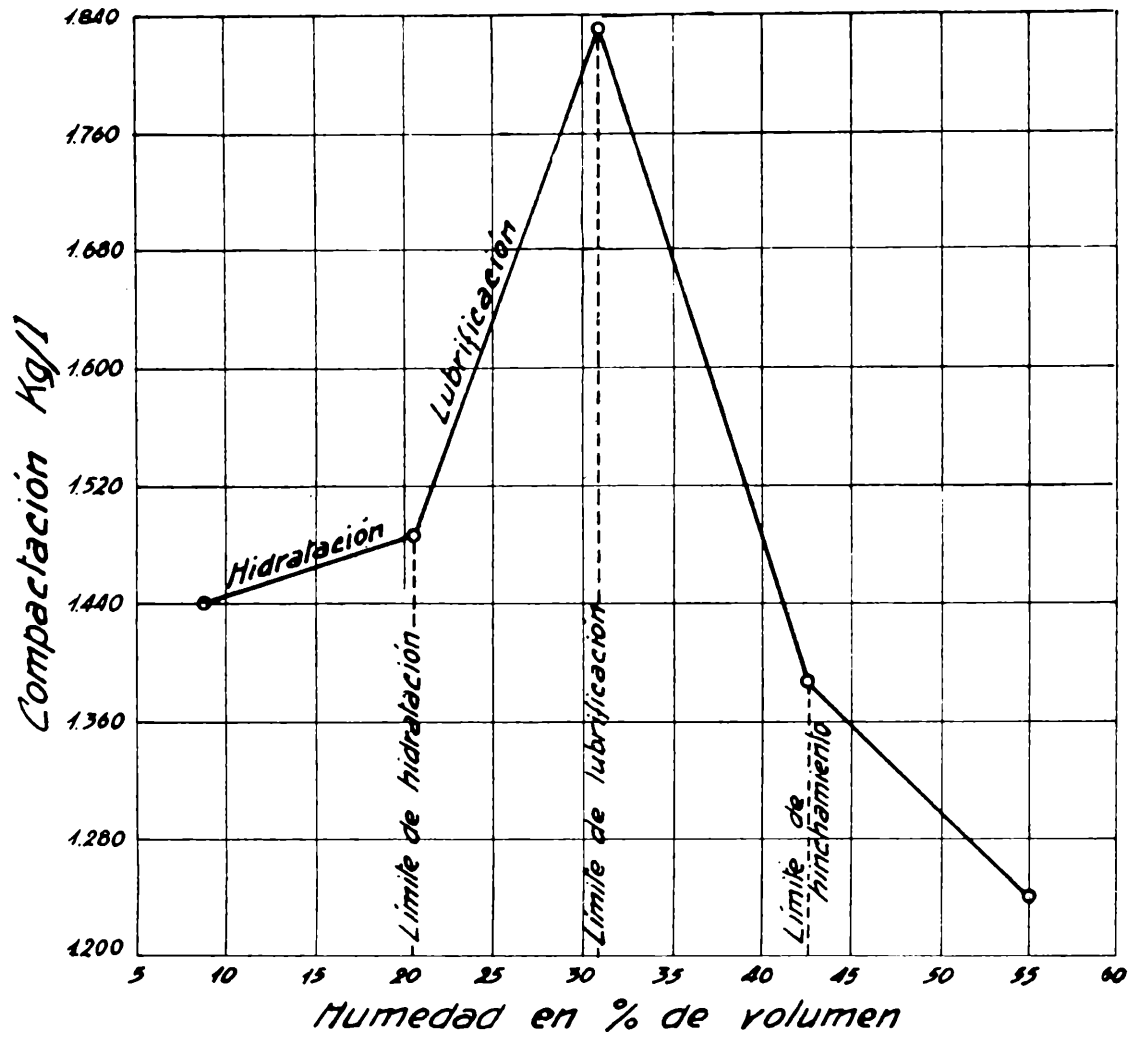


FIG. 12.

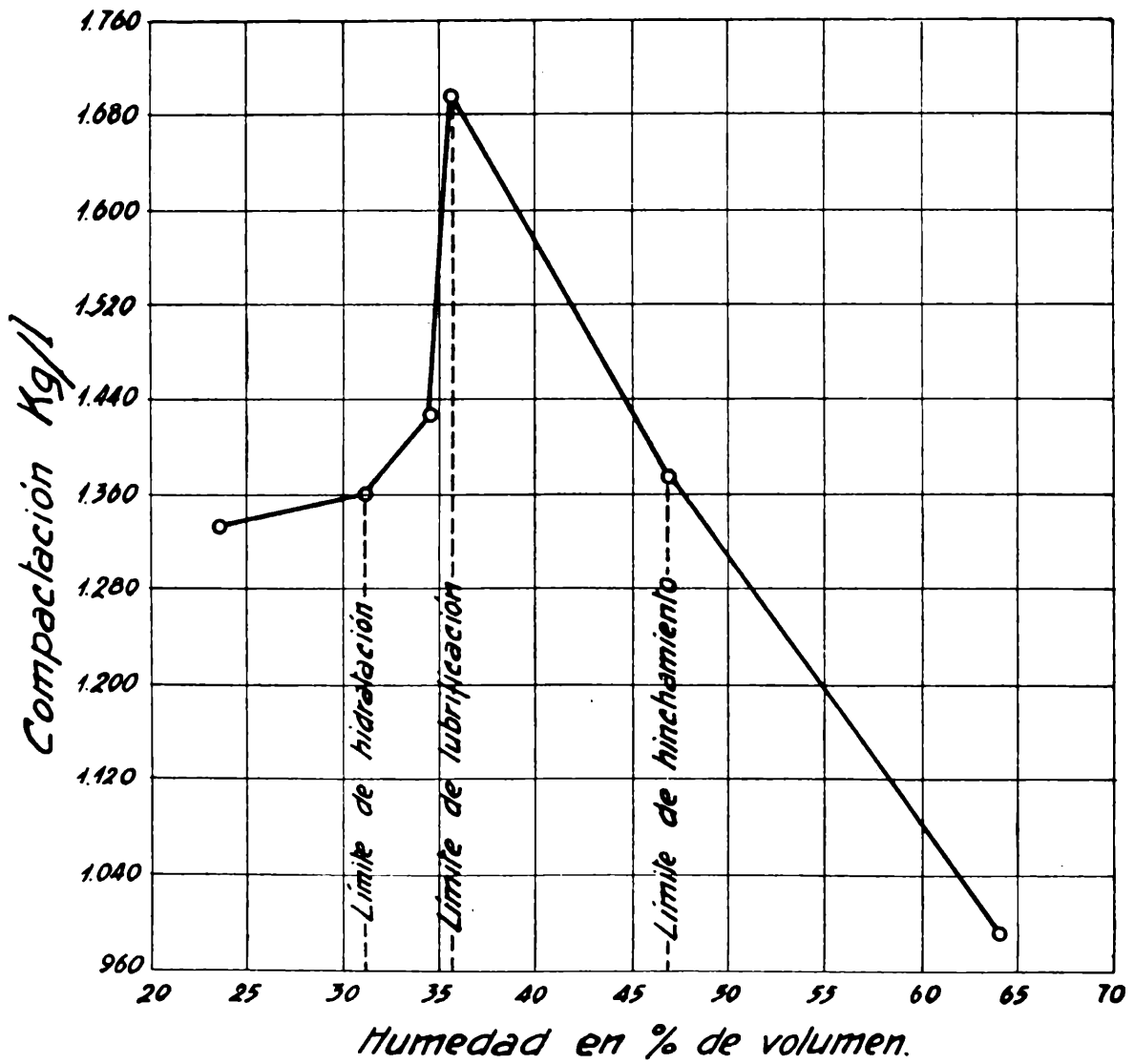


FIG. 13.

dificaría las partículas de arcilla. Para comprobar esto último tomamos dos porciones de un mismo suelo seco y le agregamos agua en una cantidad igual al 60 % de la humedad óptima. Con una de las porciones realizamos el ensayo Proctor inmediatamente después de agregada el agua, y con la otra, 24 horas después. Se tenía

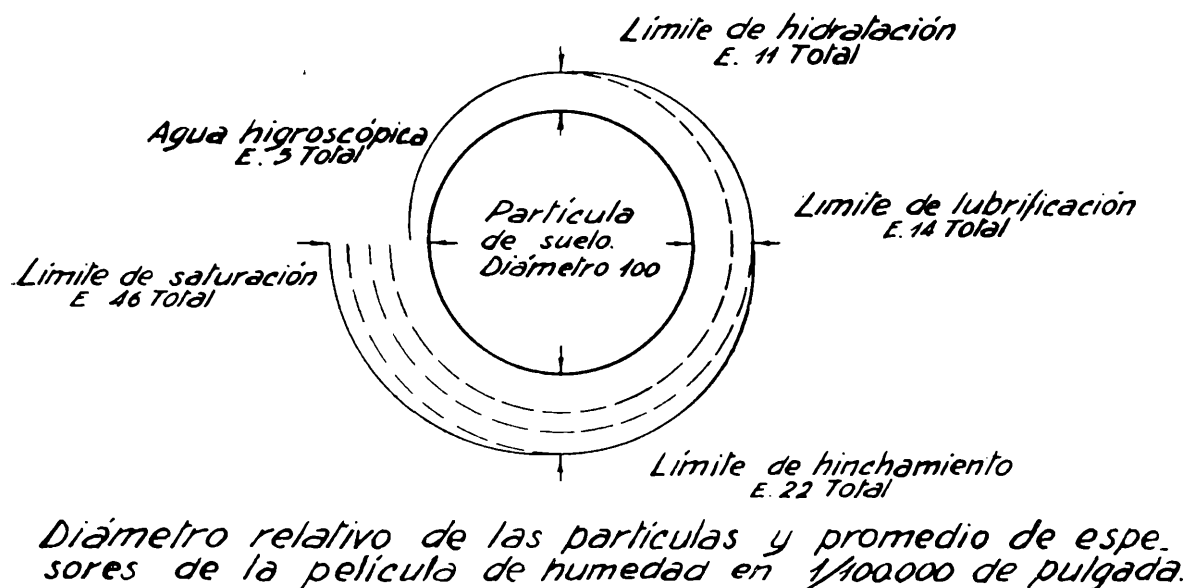


FIG. 14.

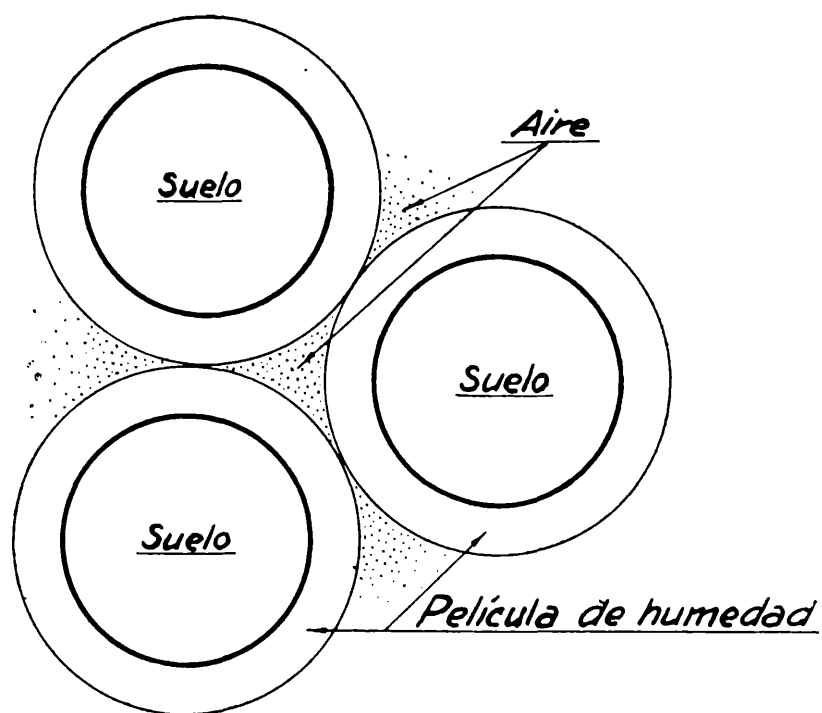


FIG. 15.

la precaución de tapar a esta última porción con un trapo húmedo para evitar las pérdidas de humedad. Los resultados obtenidos fueron iguales; luego la permanencia en estado húmedo del suelo no era la causa del aumento de compactación para una misma humedad.

Después de muchos ensayos se llegó a determinar que las dos anomalías anotadas dependían de una misma causa. Para su mejor comprensión y razonamiento, primeramente detallaremos una serie de ensayos y sus resultados y de la discusión de los mismos obtendremos la explicación. A efecto de eliminar el factor de tipo de suelo en los ensayos se tomó una cantidad suficiente para todos ellos y se desmenuzó y homogeneizó íntimamente.

ENSAYO PROCTOR

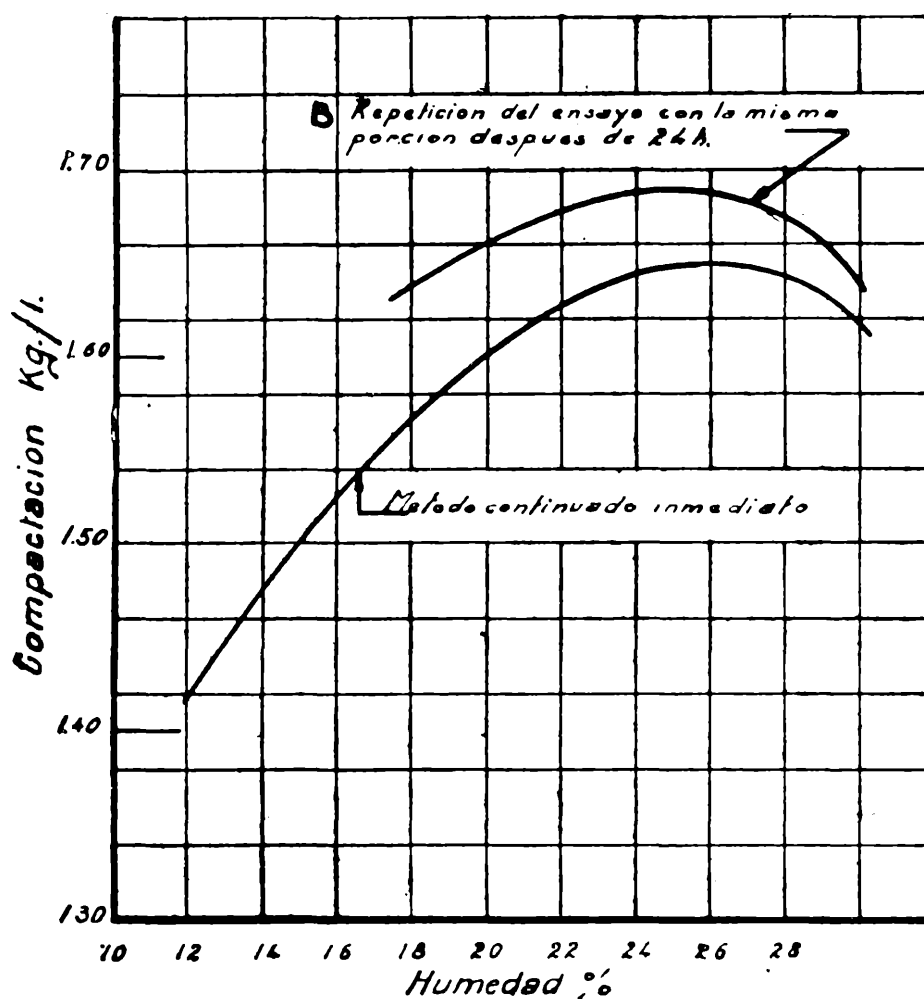


FIG. 16.

Los ensayos fueron los siguientes:

1) Con una porción de suelo se determinó la curva de compactación en la forma descripta. Esta curva A (fig. 17) la denominaremos curva de Proctor por el método continuado inmediato.

2) Se tomaron distintas porciones de suelo y a cada una se le agregó un porcentaje de humedad diferente y se determinó el peso del litro, es decir cada punto de la curva se obtuvo con una porción diferente del suelo. A esta curva B (fig. 17) la denominaremos curva de Proctor por el método por puntos inmediatos.

3) A dos porciones de suelo se le agregó igual porcentaje de agua. Con una de ella se realizó el ensayo de Proctor por el método continuado inmediato, y con la otra se hizo lo mismo después de 24 horas. Curvas C y D respectivamente, fig. 17.

ENSAYO PROCTOR

Suelo V

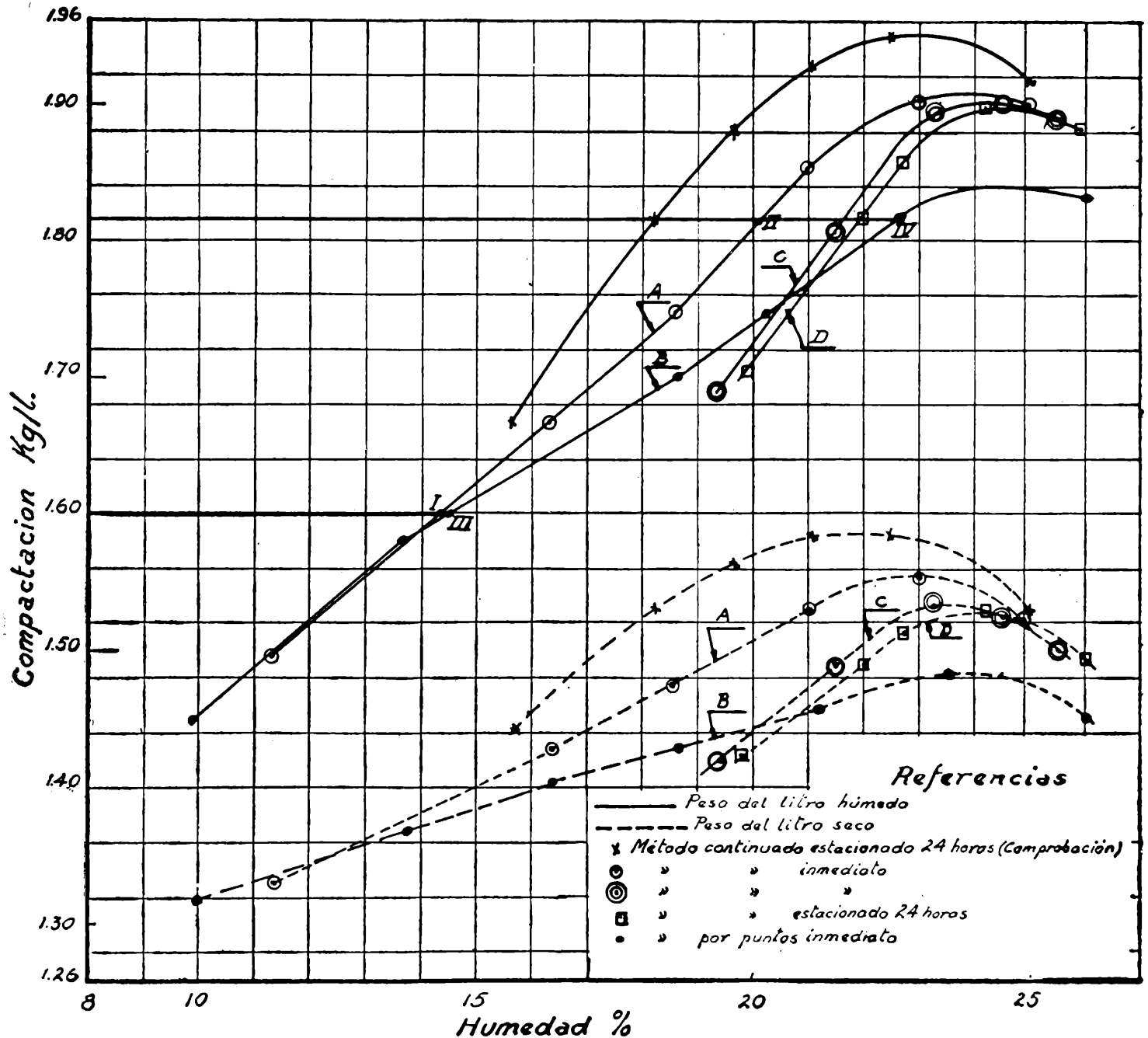


FIG. 17.

Observando estas curvas se llega a la conclusión que la causa de los diferentes resultados obtenidos, es el distinto grado de amasado del suelo, motivado por el apisonado. Esto se vé claramente comparando las curvas A y B, la única diferencia entre ellas es que la curva B se determinó usando para cada punto una porción dis-

tinta de suelo, mientras que en la A, se usó la misma porción para todo el ensayo. Esta última porción, por cada punto determinado recibe 75 golpes y al final del ensayo estos llegan a un total de 560 a 650; es decir que está sometida de ensayo a ensayo a un amasado

ENSAYO PROCTOR

Suelo 12

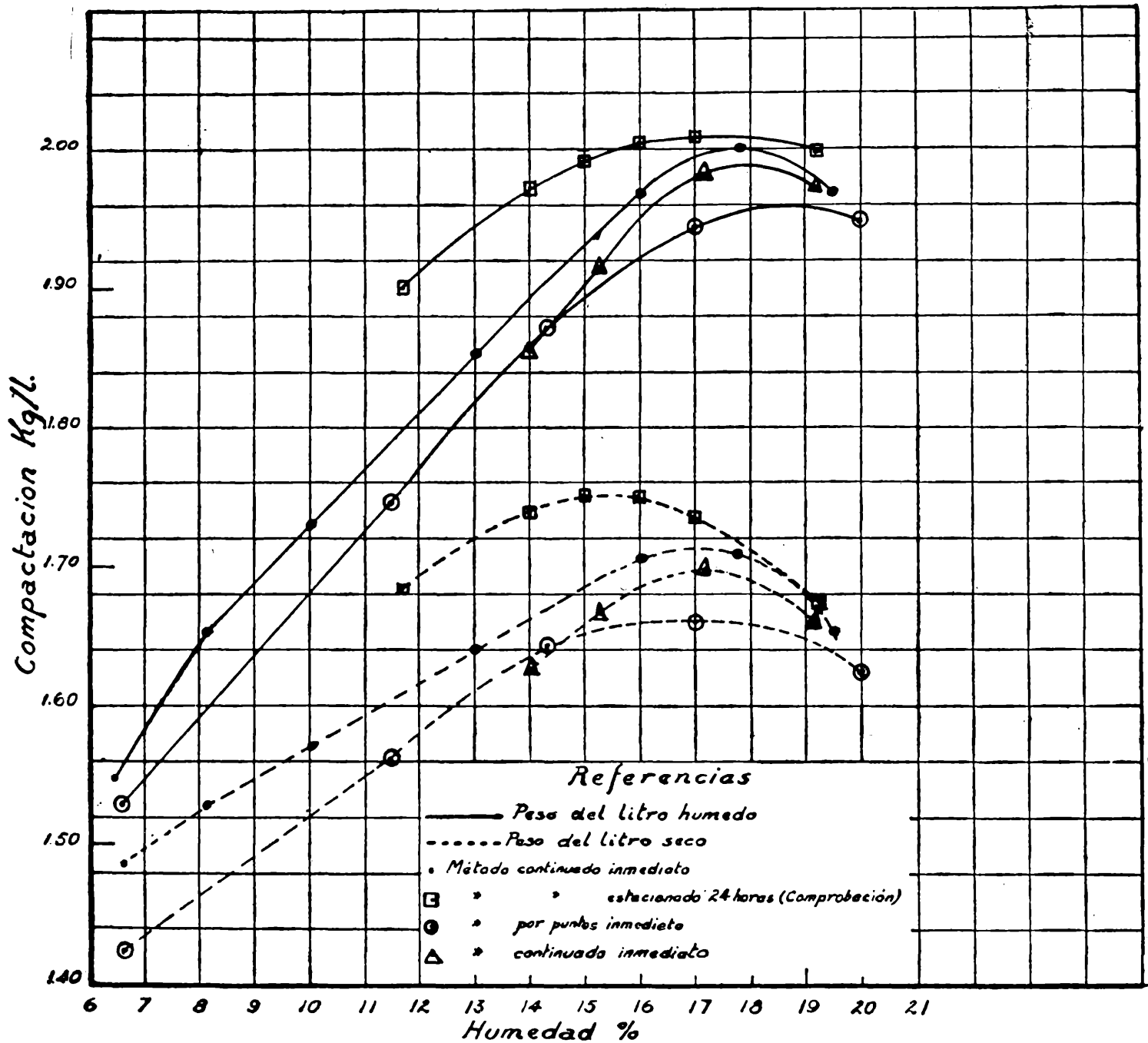


FIG. 18.

más. Este amasado modifica la película de agua que rodea a los granos de suelo, transformándola en un líquido más viscoso con mejores condiciones lubricantes que el agua que rodea a los granos de suelo sin amasar.

Podemos observar también que las curvas C y D son práctica-

mente iguales, de lo que se deduce que la compactación no depende del tiempo que ha permanecido húmedo el suelo. Además el primer punto de las dos curvas coincide con puntos de la curva *B*, y después los subsiguientes, que fueron determinados con la misma per-

ENSAYO PROCTOR SUELO X

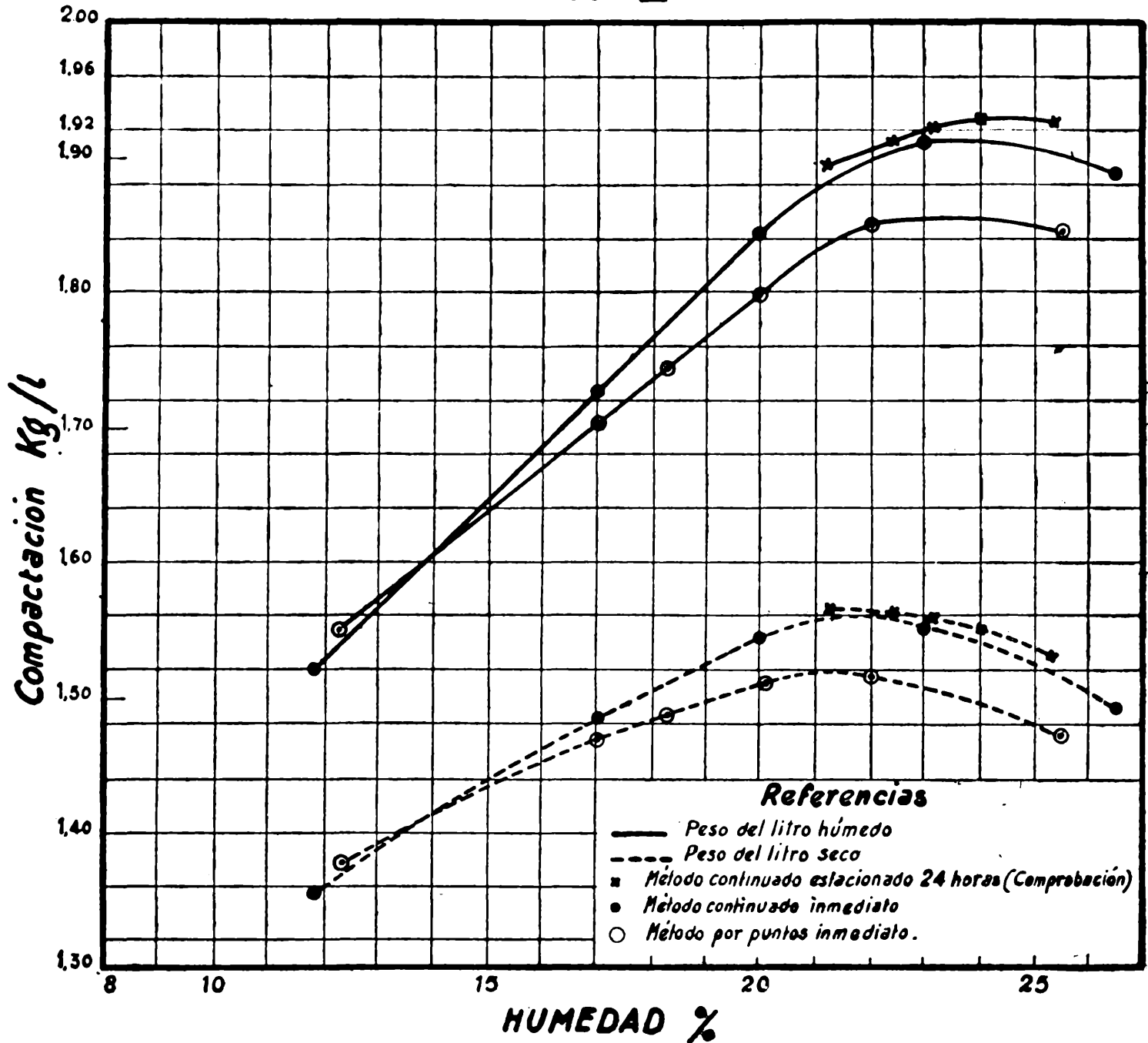


FIG. 19.

ción de tierra, tiende a acercarse a la curva *A*, para llegar a confundirse al final del ensayo después que el suelo ha sufrido una serie de apisonados. Con esto quedan aclaradas las anomalías anotadas al querer verificar la humedad en campaña; pues al determinar el peso del litro húmedo en la obra, el ensayo se efectuaba

con un suelo no amasado y este valor era llevado a una curva del tipo *A*, cuyos puntos, como sabemos, fueron determinados con una sola porción de suelo.

Si la tierra a verificar tenía poca humedad el error cometido era pequeño porque la diferencia entre las curvas *A* y *B* en estas condiciones es poca, pero si la humedad estaba próxima a la óptima el error era de importancia. Supongamos que con la tierra cuyas curvas están representadas en la fig. 17, realizamos dos verificaciones de humedad, una con una porción seca y otra con bastante humedad; los pesos del litro húmedo resultante fueron de 1,60 a 1,82 respectivamente. A estos dos valores les corresponden sobre la curva *A* los puntos I y II cuyas humedades respectivas son 14,4 % y 20,3 %. Pero las humedades reales son las que les corresponden a los puntos III y IV de la curva *B* es decir 14,6 % y 22,8 %. Vemos que en el primer caso el error es de 0,2 % y en el segundo caso es de 2,5 %.

En lo que respecta al aumento del peso del litro con una humedad determinada, al repetir el ensayo con la misma tierra que se había usado en un ensayo de Proctor por el método continuado y después de haberla dejado secar 24 horas, fig. 17, queda ya explicado con lo dicho.

Estas anomalías no se producen en todos los suelos. Como era de esperar, en los suelos arenosos no tienen importancia, mientras que en los suelos limo-arcillosos y limosos es donde se notan más. En suelos arcillosos no se han podido obtener resultados precisos debido a que las curvas de compactación-humedad para este tipo de suelo son irregulares.

En las figs. 18 y 19 están representados los ensayos realizados con otros dos suelos.

h) Ensayo de Proctor en mezclas de suelo con cemento. El suelo se prepara en la misma forma que en el caso del suelo virgen ya tratado. El peso elegido de cemento se agrega a la tierra secada al aire, inmediatamente antes de efectuar el ensayo. El procedimiento para determinar las relaciones de humedad y compactación de las mezclas de suelo y cemento es exactamente el mismo que el empleado con tierra virgen.

Para reducir la influencia de la hidratación del cemento a un mínimo, este ensayo debe efectuarse lo más rápidamente posible. Las curvas que indican las relaciones de humedad y compactación, también se trazan de una manera similar al caso de las tierras vírgenes.

Lo observado en la tierra virgen al determinar las curvas de compactación-humedad, usando una porción para todo el ensayo o usando una porción para cada punto de la curva, también se observa en las mezclas de suelos y cemento. En la fig. 20 se muestran los ensayos efectuados en el suelo IV y 8 % de cemento portland siguiendo el mismo criterio que el empleado con el suelo virgen. Por lo tanto creemos oportuno trazar las curvas de mezcla de suelo y cemento, empleando diferentes porciones para cada punto.

ENSAYO PROCTOR

Suelo IV + 8% de cemento.

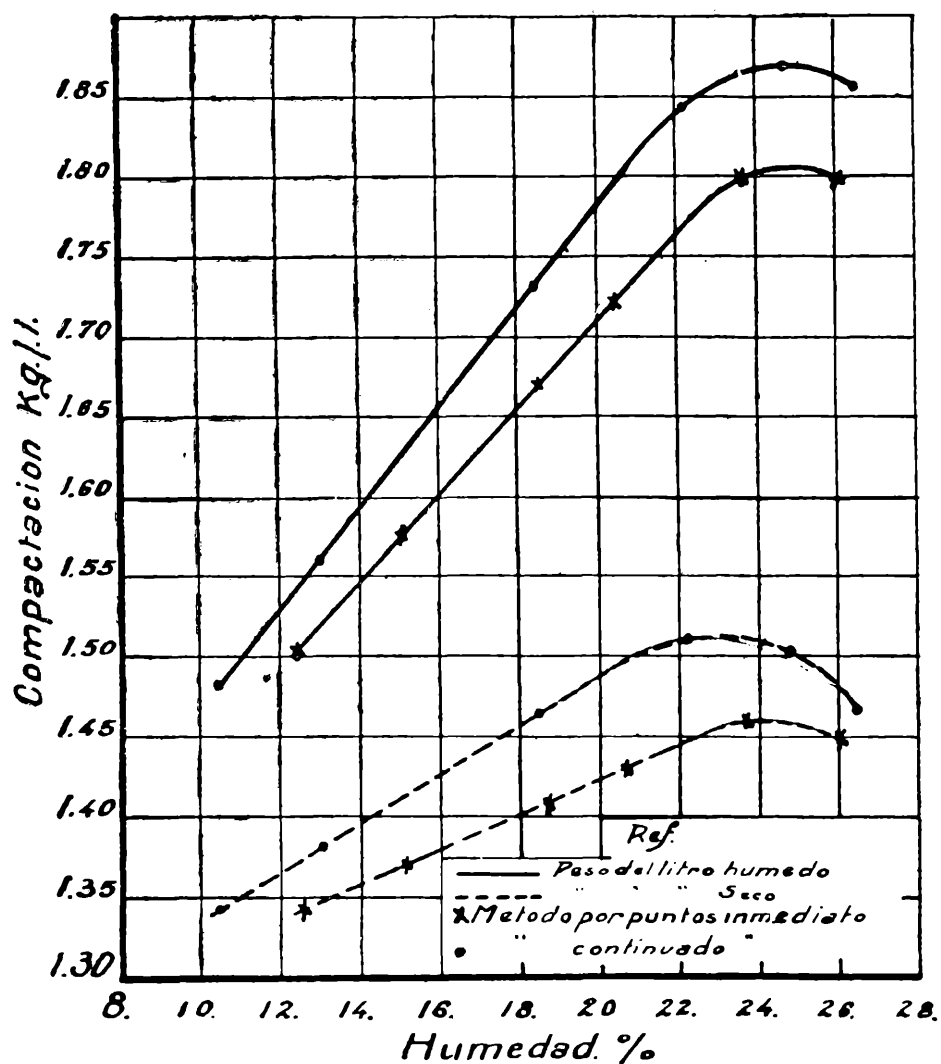


FIG. 20.

i) *Curvas de compactación-humedad en mezclas de suelo y cemento en función del tiempo.* Con el fin de estudiar el efecto del fraguado del cemento en la compactación de las mezclas de suelo y cemento, realizamos una serie de ensayos de compactación a distintos tiempos de mezclados y humedecidos, usando el método por punto, es decir una porción de mezcla para cada punto de la curva.

El procedimiento seguido fué el siguiente: Se tomaron varias porciones de dos kilogramos de la mezcla a estudiar y se les agregó distintos porcentajes de humedad, y luego de homogeneizarlas se las dejó en una bandeja tapada durante el tiempo fijado, después del cual se realizó el ensayo de Proctor.

ENSAYO PROCTOR

Suelo IV + 10,8% cemento

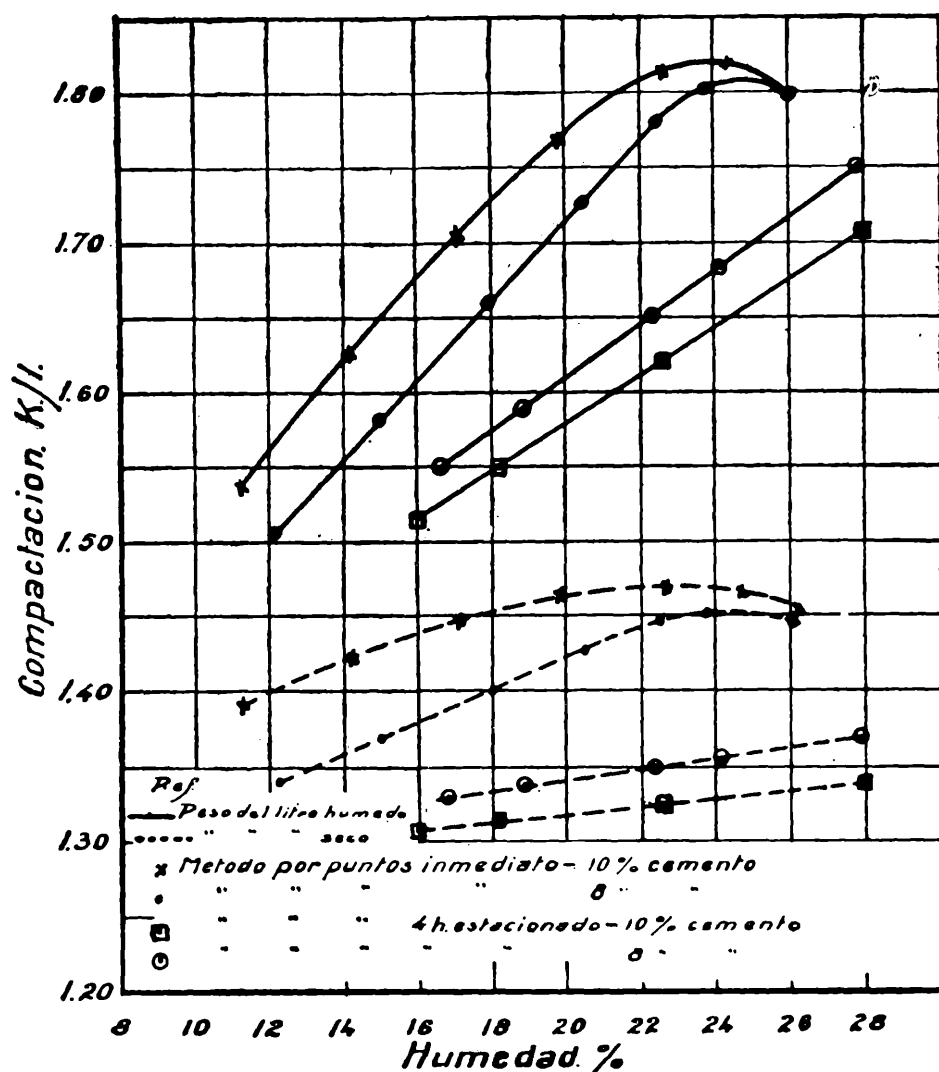


FIG. 21.

Para fijar el número de porciones se usó la curva del ensayo inmediato, de la que se sacaron los límites de humedad, es decir, la mayor o menor humedad deseada. Con estos límites a alcanzar se determinaron el número de porciones, teniendo en cuenta que se quería obtener puntos cada dos por ciento de humedad.

Al calcular el agua a agregar hay que tener en cuenta la humedad higroscópica de la mezcla y la evaporación posible durante el tiempo de estacionado.

Se ensayaron los suelos IV, V y VI pertenecientes al tramo expe-

rimental de Río Primero — La Francia, Provincia de Córdoba, y el VIII del tramo acceso a Villa Numancia, Provincia de Buenos Aires. Por sus constantes físicas (ver tabla O) los suelos IV y V pertenecen al grupo A₄, el VI al A₃ y el VIII al A₇. Por su gra-

ENSAYO PROCTOR.

Suelo v + 6 % cemento.

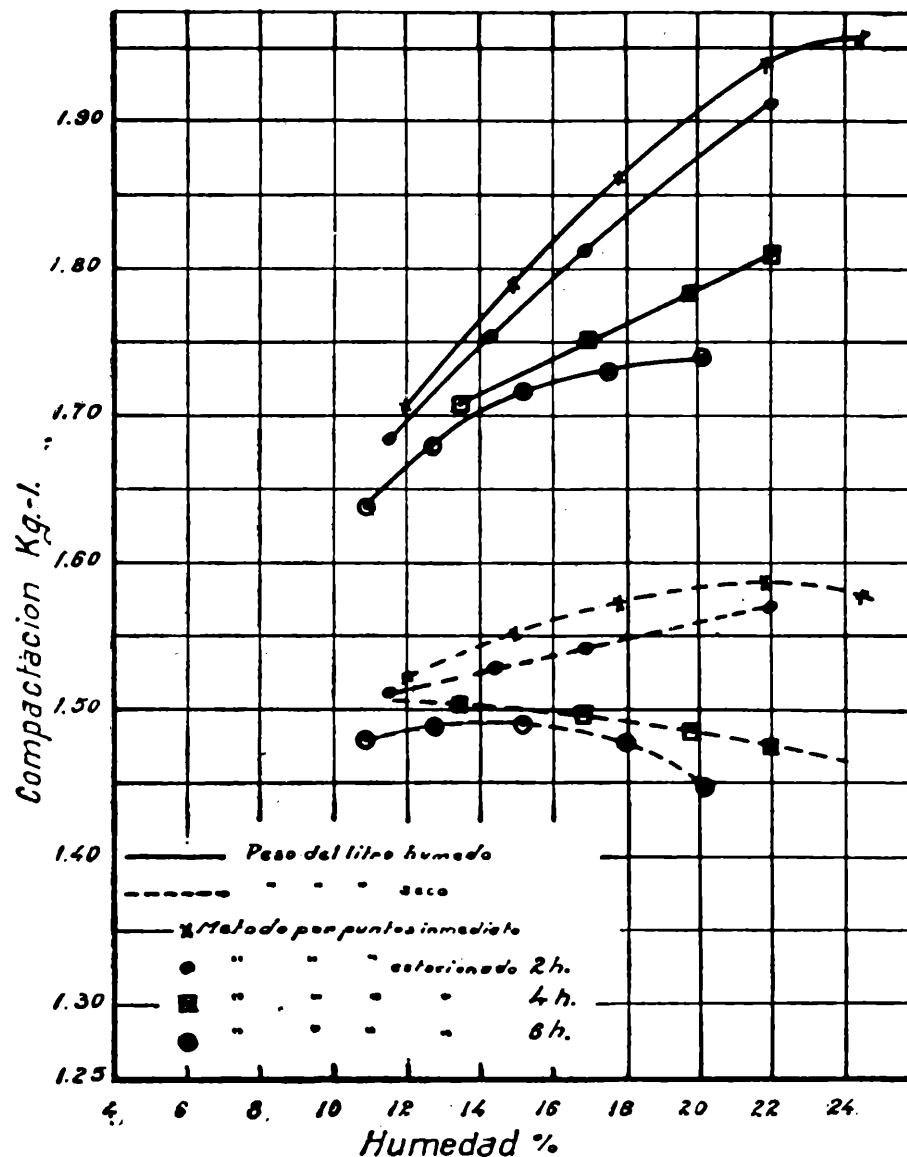


FIG. 22.

nulometría los suelos IV y V son arcillosos-limosos el VI arenoso y el VIII arcilloso.

Las figuras 21 - 22 - 23 - 24 - 25 - 26 - 27 - 28 y 29 representan los resultados obtenidos, en las cuales se pueden hacer las siguientes observaciones:

- 1) Para una humedad cualquiera el valor del peso del litro disminuye con el aumento del tiempo de estacionado.
- 2) Comparando los resultados del suelo IV y V con los del

suelo VI se nota que en los dos primeros la disminución del peso del litro seco estacionado, con respecto al peso del litro seco inmediato, es mayor.

3) Las curvas representativas de los ensayos de compactación de las mezclas estacionadas durante 4 y 6 horas de los suelos IV y V adoptan la forma de una recta casi horizontal o descendente.

ENSAYO PROCTOR.

Suelo V + 6 % cemento

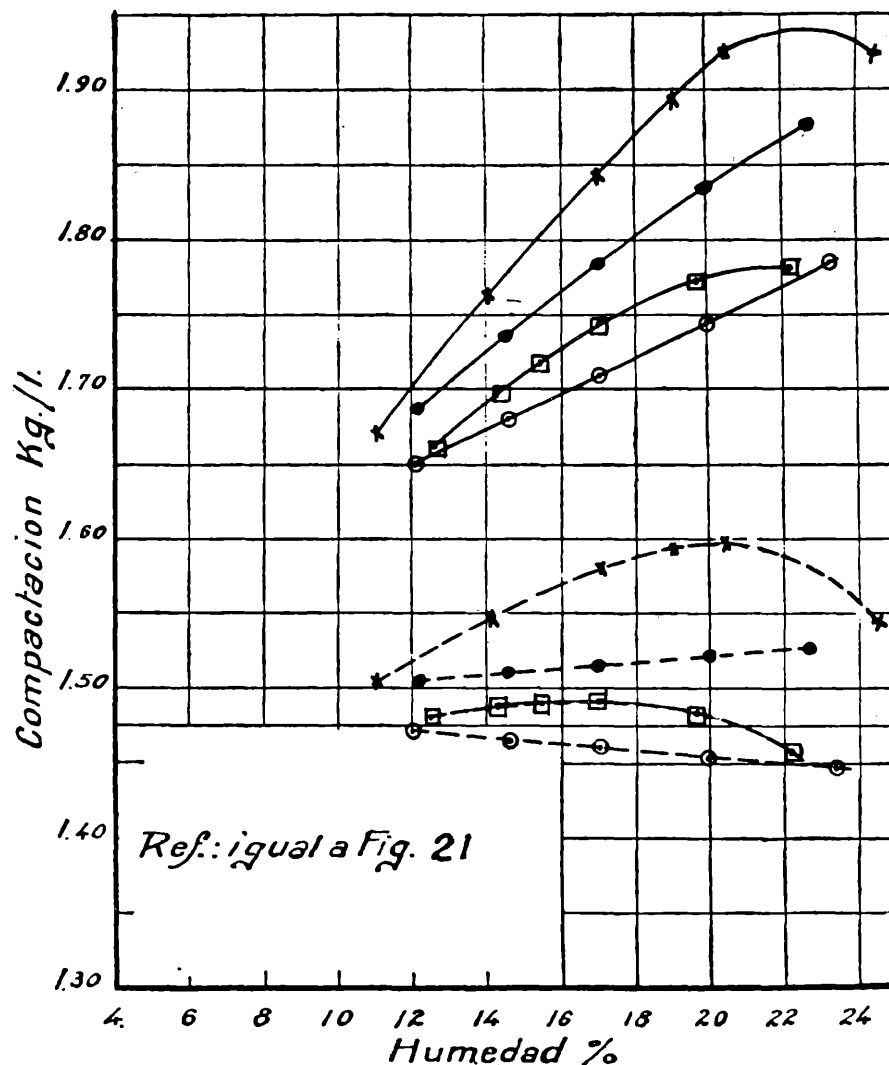


FIG. 23.

Al dejar estacionada la mezcla suelo-cemento, el cemento fragua y debido a su poder cementante une las partículas de suelo que se encuentran en contacto; pero como la mezcla no está compactada la estructura resultante toma una forma cavernosa o de panal.

Por cada unidad de superficie de partículas en contacto, tenemos una tensión en estado latente. La suma de todas esas tensiones nos dará el esfuerzo a vencer para destruir esa estructura cavernosa o de panal. De otra manera, al querer compactar nos encontramos

que esa fuerza en estado latente se opone al deslizamiento de las partículas de suelo, dificultando la acomodación de las mismas. Como consecuencia, la compactación resultante en las mezclas estacionadas resulta inferior a la compactación efectuada inmediatamente después de agregarse el cemento al suelo.

ENSAYO PROCTOR.

Suelo V + 10% cemento

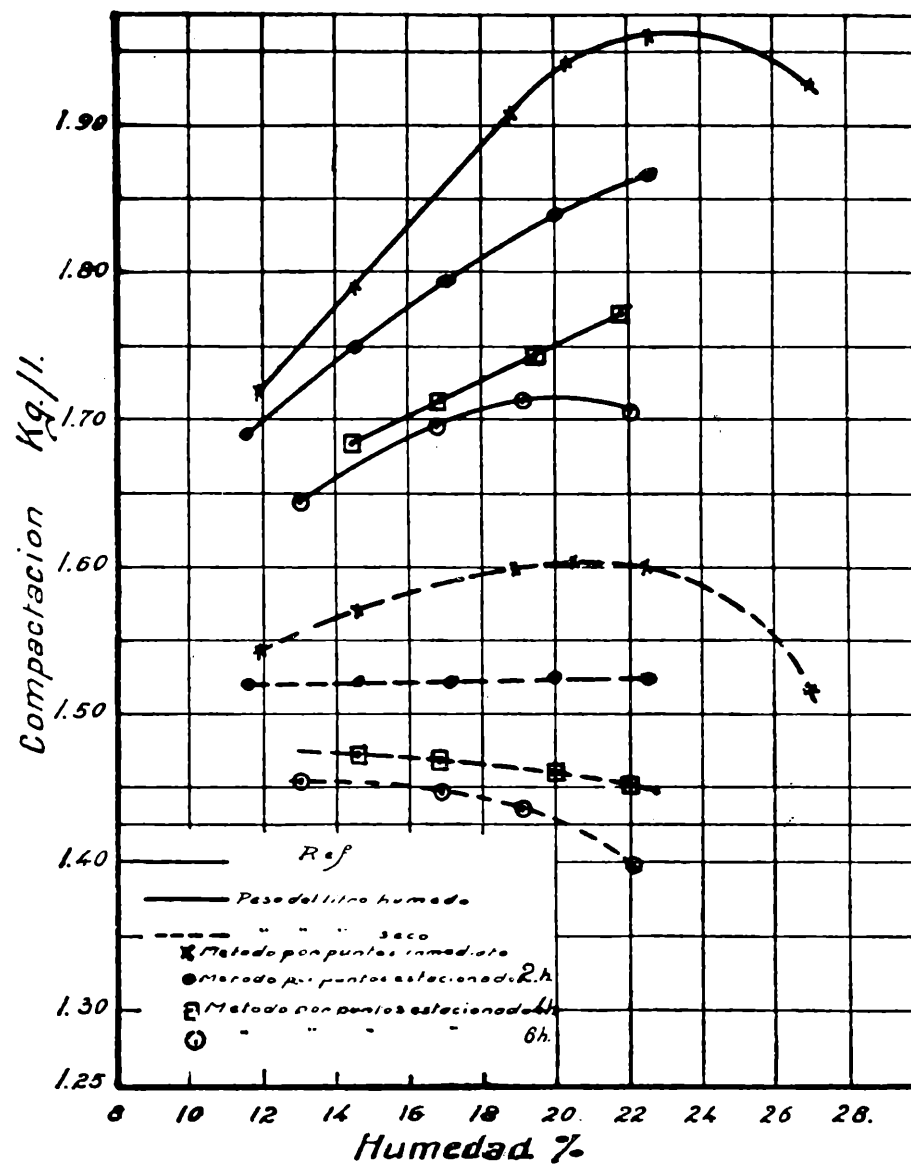


FIG. 24.

Esta disminución de compactación aumenta con el tiempo de estacionado dentro de un período de 12 horas. Con esto queda explicada la primera de las tres observaciones mencionadas.

Con respecto a la segunda observación que se refiere a la mayor disminución en el peso del litro seco estacionado en los suelos IV y V comparada con el del suelo VI, parece ser que dicha disminución

se debe a las distintas granulometrías. Como ya se ha dicho los suelos IV y V son arcillosos - limosos, mientras que el suelo VI es arenoso; luego los primeros, al tener una granulometría más fina, presentan mayor superficie de granos que implica una mayor superficie cementada; por lo tanto en ellos hay que vencer un mayor

ENSAYO PROCTOR

Suelo VI + 6% cemento

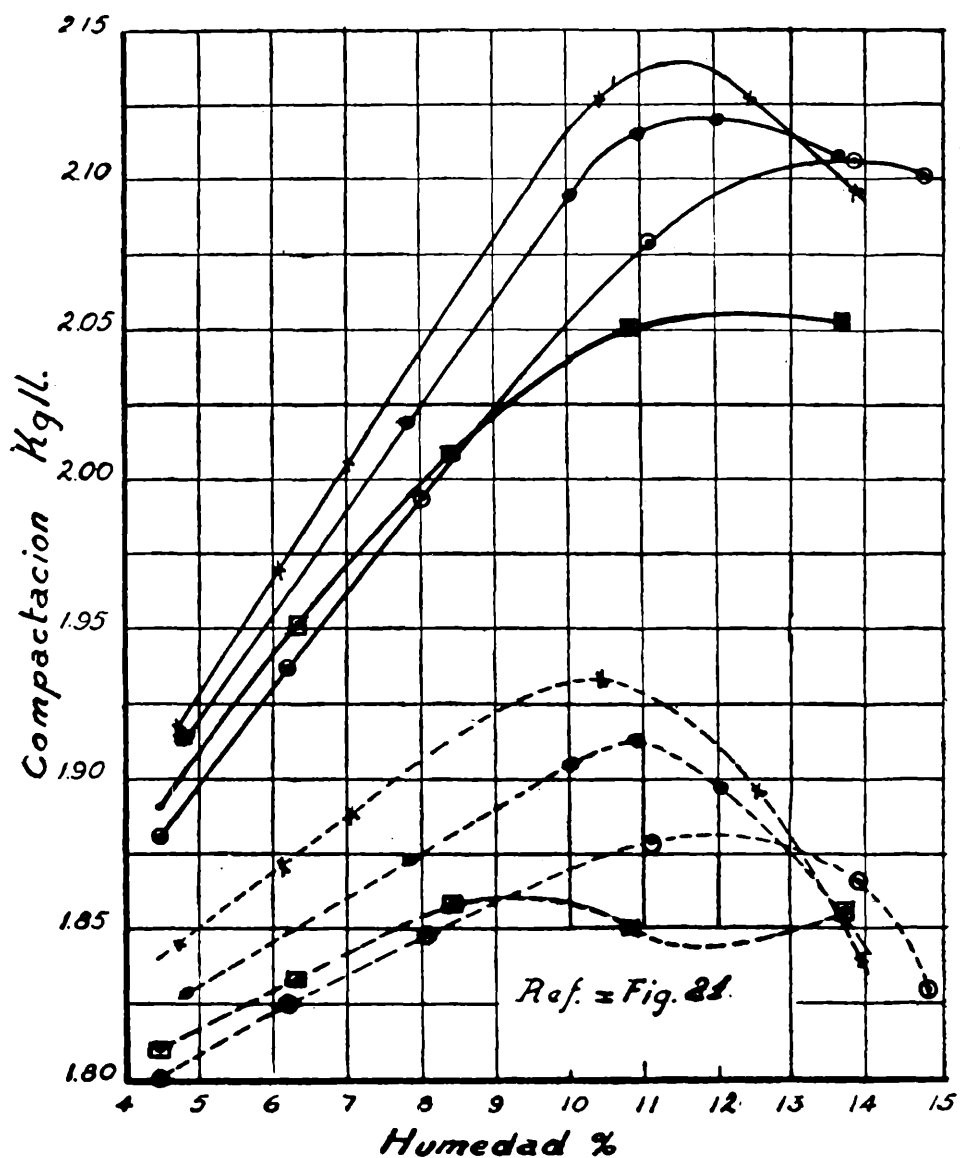


FIG. 25.

esfuerzo al querer compactar, y como el esfuerzo compactador — 25 golpes de pisón cayendo de 30 cm. de altura en cada una de las tres capas según procedimiento de Proctor — es igual para todos los ensayos, el peso del litro seco estacionado resulta menor, es decir que hay una mayor disminución con respecto al peso del litro efectuado por el método inmediato.

La tercera observación nos indica que el esfuerzo total que man-

tiene unidas las partículas, es mucho mayor que el esfuerzo que se aplica al efectuar el ensayo de compactación. La estructura formada por las partículas cementadas no es destruida por el apisonado. Este razonamiento está corroborado por el hecho de que si

ENSAYO PROCTOR

Suelo VI + 8% cemento

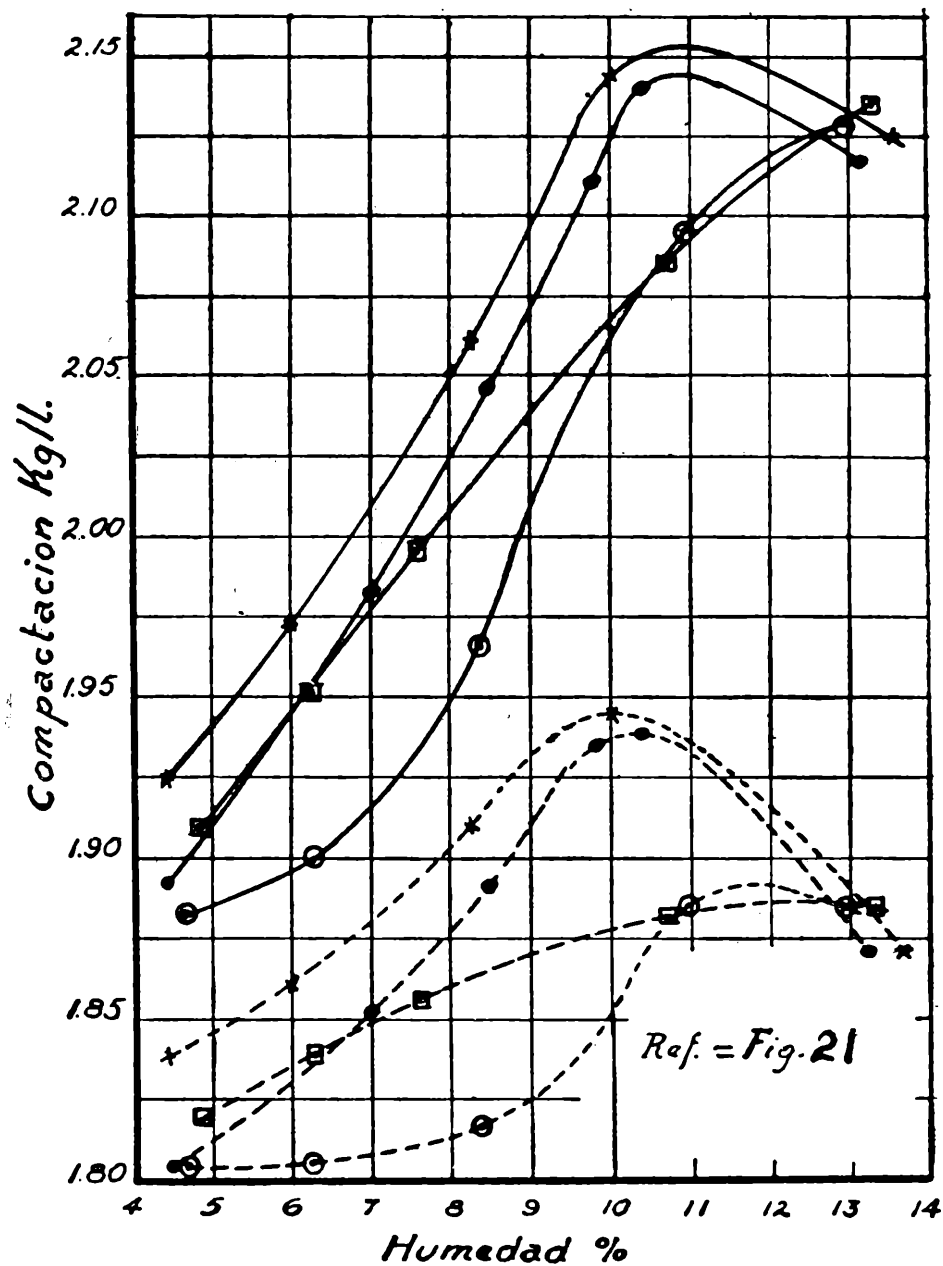


FIG. 26.

con una porción de mezcla, en lugar de hacer una sola determinación de compactación se continúa determinando nuevos puntos, el peso del litro aumenta, y se llega al mismo valor que el alcanzado en el ensayo inmediato. En la fig. 29 tenemos que la curva B representa la continuación del ensayo con la porción que se usó

para determinar el punto *I* de la curva *C* del método por puntos estacionados. Vemos que después de tres o cuatro compactaciones se consigue destruir la estructura de panal formada por la cementación de las partículas y se llega al peso del litro seco obtenido en

ENSAYO PROCTOR

Suelo VI + 10 % Cemento

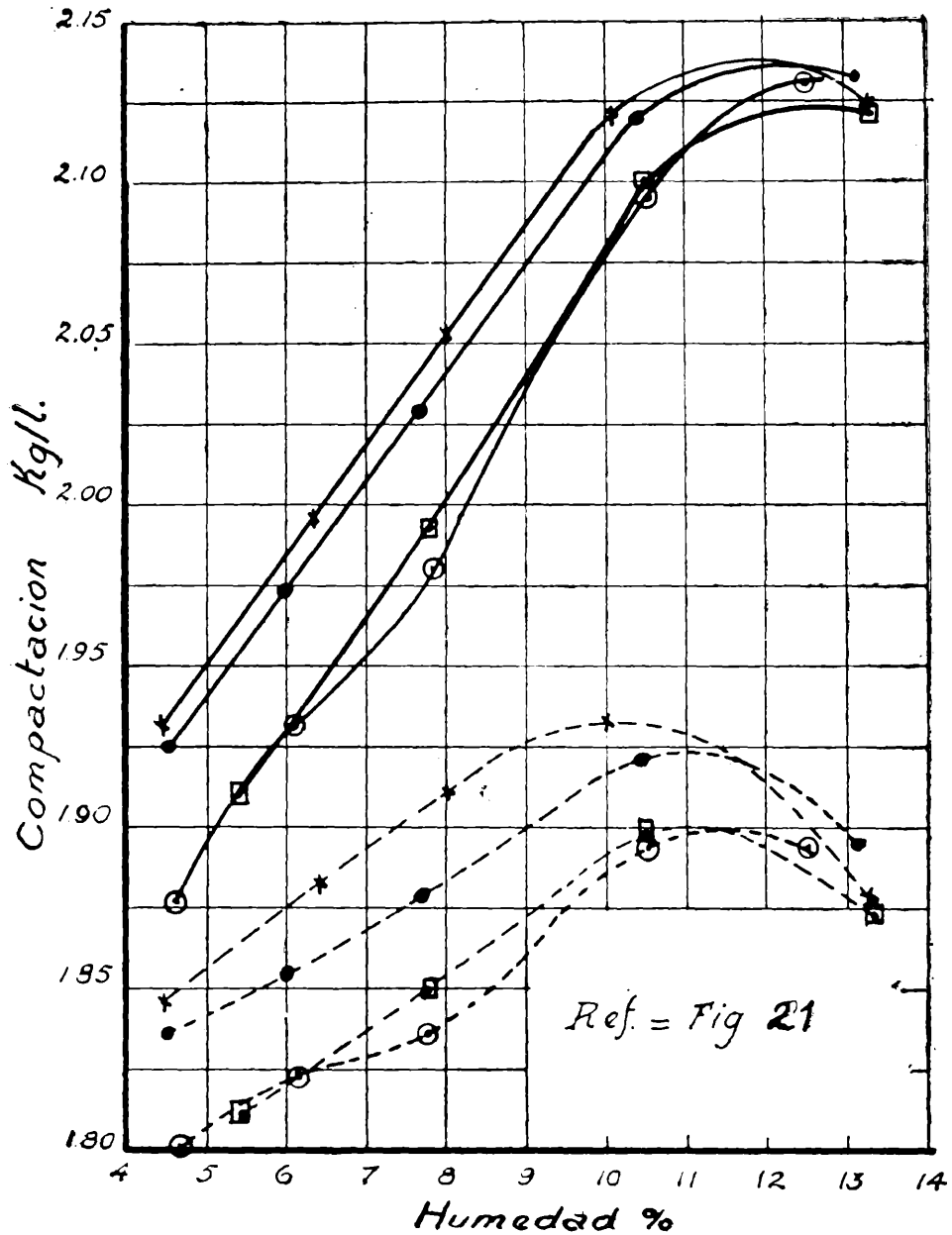


FIG. 27.

el ensayo por el método por puntos inmediatos. De todos estos ensayos sacamos la conclusión que en la construcción de carreteras de mezcla suelo-cemento es muy conveniente compactar antes que el cemento empiece a fraguar. De esta manera se obtendrá una compactación mayor y las partículas serán cementadas estando en un íntimo contacto y como consecuencia la calzada resultante será de mayor estabilidad y con un menor porcentaje de vacíos.

En los cementos portland comerciales, el fraguado comienza aproximadamente a las 2 horas y media. Con los métodos constructivos usados en los tramos experimentales se tardó 6 horas entre la iniciación del regado y la terminación de la compactación.

Como se podrá ver nos excedimos en 3 horas y media al momento

ENSAYO PROCTOR

Suelo + 8% cemento

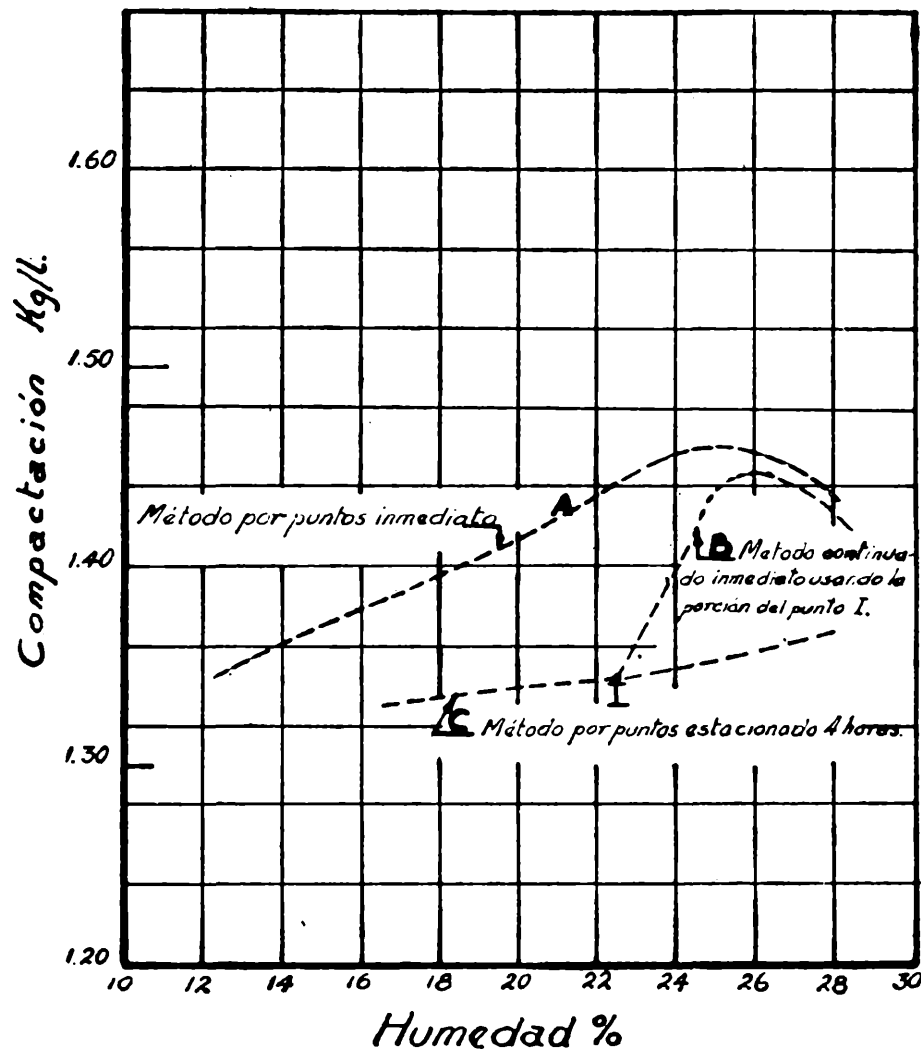


FIG. 29.

en que comenzó el fraguado; se notó la influencia del mismo al terminar la mezcla húmeda por la formación de grandes terrones de cierta consistencia. También se encontró que al querer determinar la humedad usando la curva del peso del litro húmedo - humedad hallada por el método continuado inmediato, los valores encontrados fueron menores que los reales en ese tiempo. Todavía no conocíamos la diferencia que existía entre el ensayo de Proctor efectuado por el método de puntos inmediatos y el método continuado inme-

diato. Tampoco conocíamos las curvas de las mezclas de suelo y cemento a diferentes tiempo de estacionado, razón por la cual al efectuar las determinaciones de humedad usando la curva del peso del litro húmedo - humedad cometíamos un doble error.

Para su mejor comprensión supongamos un ejemplo. En la fig.

ENSAYO PROCTOR

Suelo IV + 8% Cemento

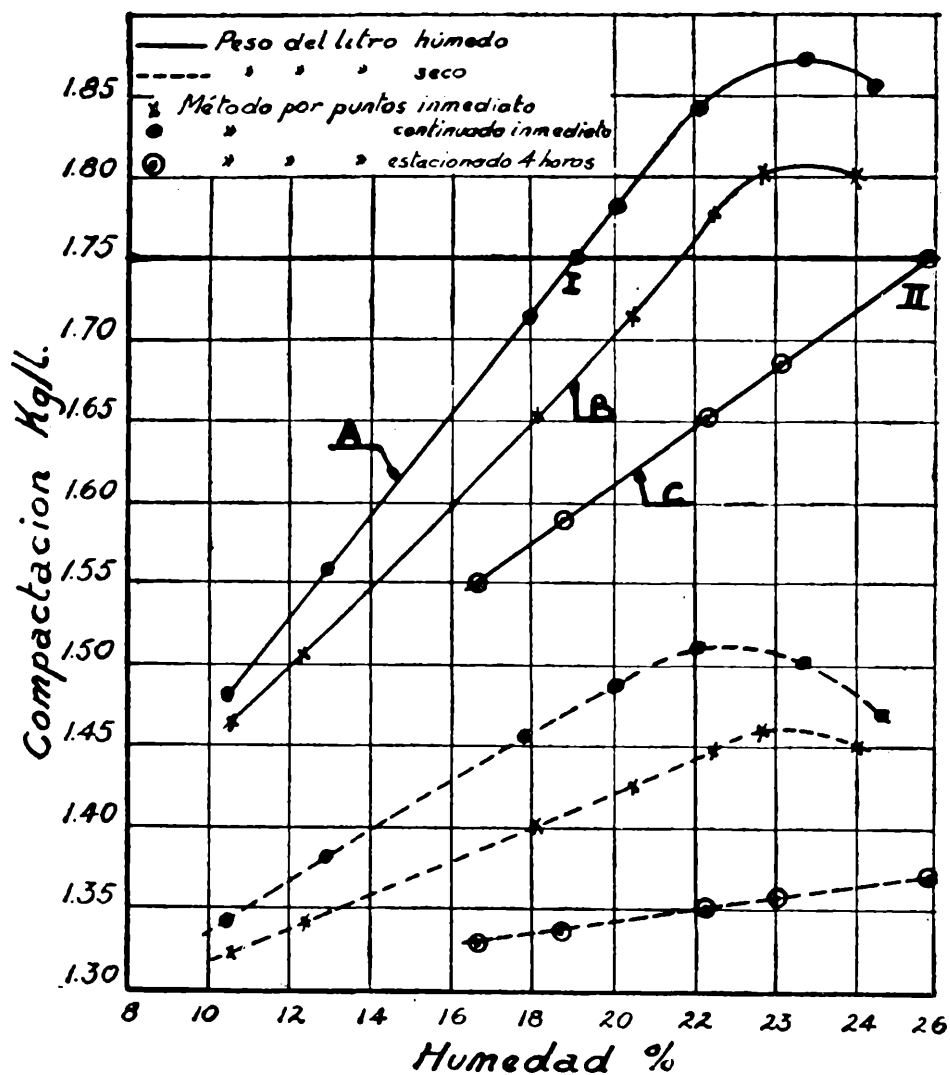


FIG. 30.

30 tenemos trazadas, para una mezcla de suelo y cemento, las siguientes curvas:

Curva A por el método continuado inmediato.

Curva B por el método por puntos inmediatos.

Curva C por el método por puntos estacionados 4 horas.

Supongamos que el peso del litro húmedo determinado en campaña a las 4 horas de mojada la mezcla era de 1,75 Kg/l. Llevan-

do este valor al gráfico, en la curva *A*, que era la que usábamos en campaña, le corresponde el punto I con 19 % de humedad. Pero en la curva *C* que es la que debíamos haber usado, le corresponde el punto II con 26 % de humedad. Como se ve el error cometido era de 7 %, referido a peso de suelo seco.

De todo esto se deduce que para usar los cementos portland comerciales existentes, hay que emplear un equipo que termine a mezcla y compactación en dos horas y media. Otra solución es la de usar un cemento que comience a fraguar más tarde; a esto último, lo consideramos más conveniente, porque de esa manera se podrían emplear todos los equipos existentes en el país. También podemos manifestar que no tardará mucho tiempo en aparecer un cemento especial para estabilización de suelos, pues ya nuestra experiencia ha llegado a interesar a los fabricantes de cemento.

C. — CANTIDAD DE AGUA PARA LA PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

En la Segunda Conferencia de la Tercera Reunión Anual de Caminos dejamos establecido que no existía diferencia apreciable para un mismo suelo en el valor de la humedad óptima obtenida con el suelo virgen y con las mezclas de suelo y cemento. A tal conclusión se había llegado estudiando resultados de ensayos efectuados por la Asociación de Cemento Portland del Estado de Illinois de los Estados Unidos de Norteamérica. En las experiencias realizadas en este segundo año tuvimos la oportunidad de comprobar nuevamente, con ensayos propios, lo dicho. También encontramos que realizando en ensayo de Proctor por el método por puntos inmediatos la humedad óptima del suelo virgen y de las mezclas de suelo y cemento son prácticamente iguales. En las figs. 31 y 32 podemos ver los ensayos efectuados en los suelos V y VI.

Por lo tanto creemos oportuno usar para la preparación de las probetas la humedad óptima determinada en el suelo virgen con el ensayo de Proctor por el método por puntos inmediatos.

D. — PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

En la Segunda Conferencia de la Tercera Reunión Anual de Caminos está descripto el método de preparación de las probetas.

Como se podrá constatar se emplea la porción de suelo que pasa el tamiz N° 4, desechando la porción retenida por el mismo. Esto no quiere decir que la porción de suelo retenida en el tamiz N° 4 sea perjudicial a la estabilidad de las mezclas, sino que se elimina

en la fabricación de las probetas, dado el tamaño reducido de las mismas. Además, la parte a estabilizar de suelo es la porción que pasa dicho tamiz, que es la que sufre cambios volumétricos y pérdida de estabilidad por la absorción de agua. En el caso de usarse para los ensayos probetas de mayor dimensión como lo hace la

ENSAYO PROCTOR SUELO V Peso del litro suelo seco.

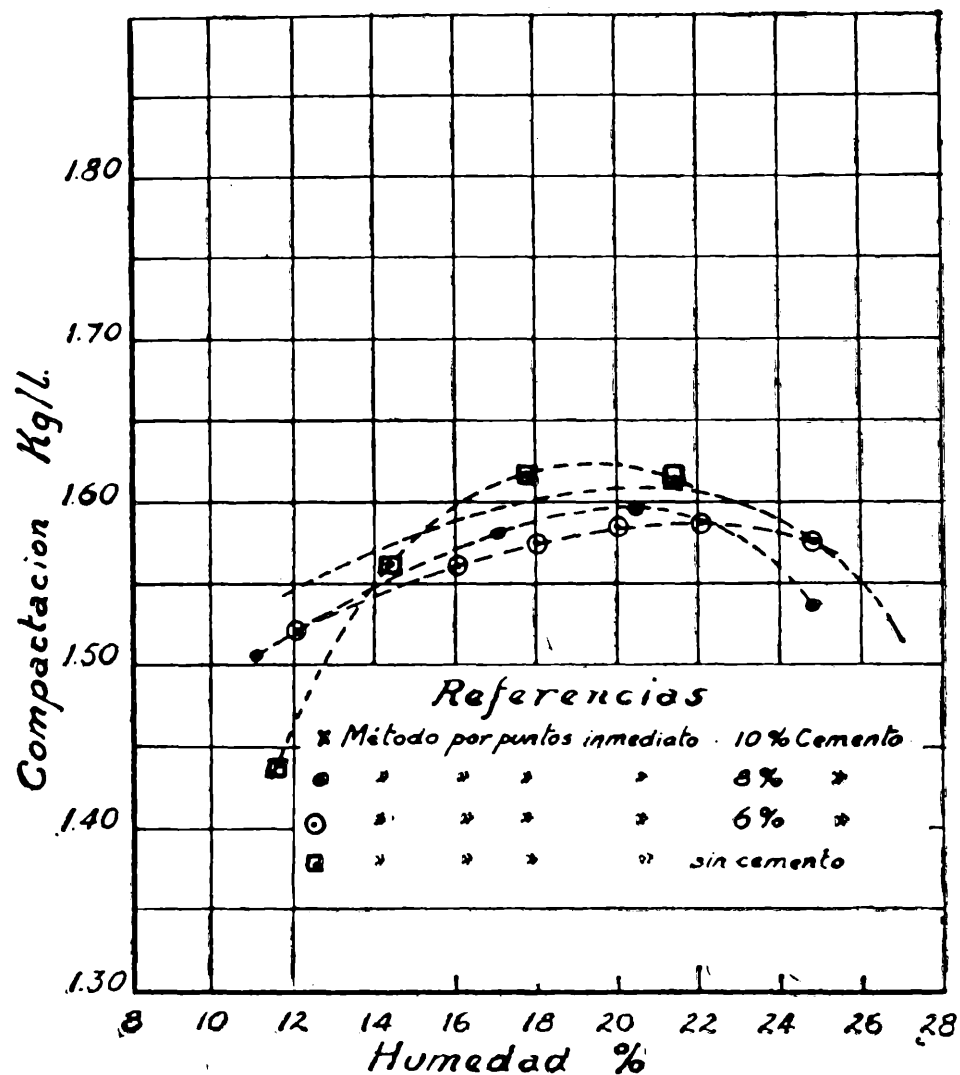


FIG. 31.

Asociación de Cemento Portland del Estado de Illinois de Norte América, puede ser incluido el material retenido por el tamiz N° 4. Dicha Asociación usa el mismo cilindro de Proctor para confeccionar las probetas e incluye las partículas hasta $\frac{3}{4}$ de pulgada. En tal caso se procede en la siguiente forma:

1) *Cálculo de material necesario.* Supongamos que para una probeta necesitamos 0,91 litro de mezcla; que el suelo a emplear

está formado por 25 % de partículas que retiene el tamiz N° 4 y 75 % pasa dicho tamiz; que la humedad óptima para la porción que pasa el tamiz N° 4 es h2 igual a 14 % y que la humedad de saturación de la porción retenida por el tamiz N° 4 es h1 igual a 4 %.

El cemento que se va a agregar es un 8 % del peso seco de la porción que pasa el tamiz N° 4.

ENSAYO PROCTOR

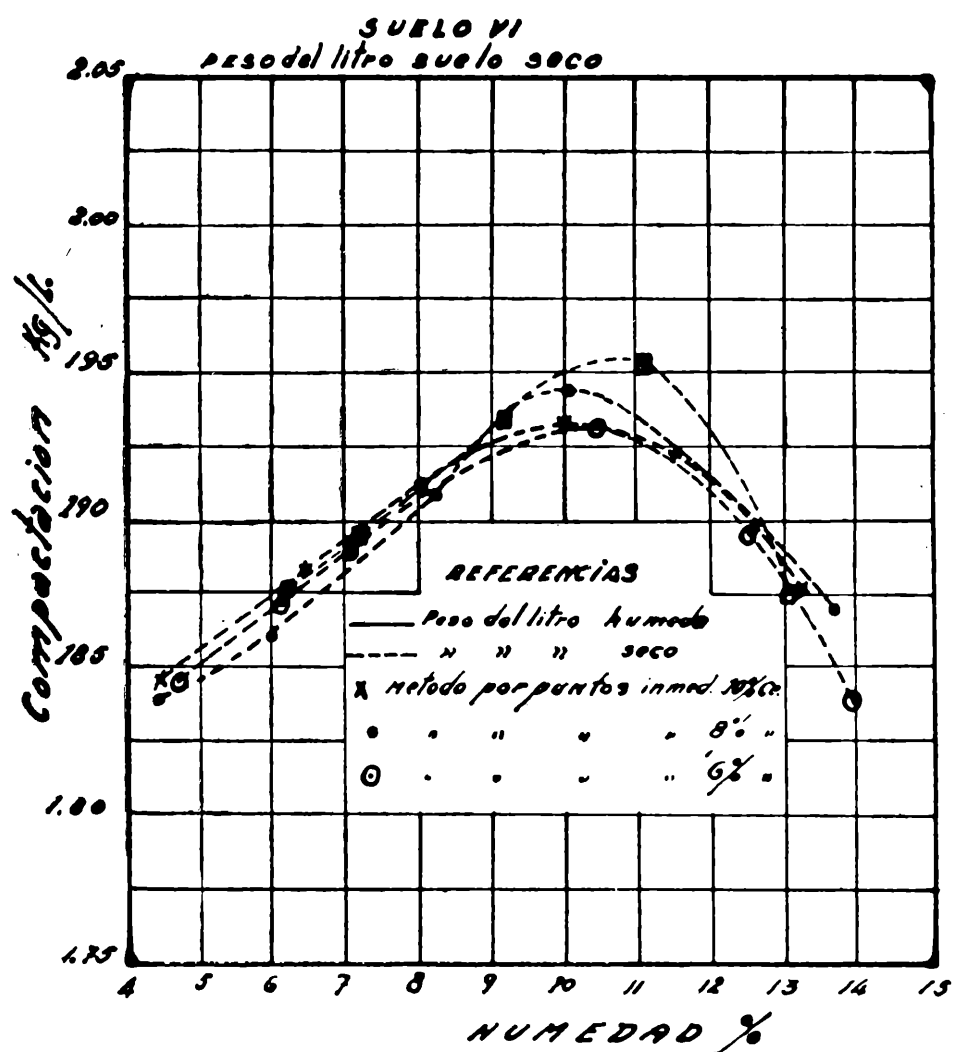


FIG. 32.

A los efectos de poder efectuar el cálculo, podemos suponer que el cemento al mezclarse con las dos porciones de suelo llene los vacíos de los mismos y no aumente el volumen de ellos; es decir que el volumen V de la probeta lo tenemos que conseguir con los dos componentes del suelo. Luego, si $P1$ es el peso del material retenido por tamiz N° 4, $P2$ peso del material que pasa el tamiz N° 4 y $D1$ peso del litro seco del total de la muestra de suelo, ya calculada en

el párrafo I, y P_3 peso de cemento, el volumen de la probeta será igual:

$$V = \frac{P_1 + P_2}{D_1} \quad [14]$$

$$P_1 + P_2 = V \times D_1 = 1.695 \times 0,91 = 1.543 \text{ gramos}$$

$$\text{Luego, } P_1 = 0,25 \times 1.543 = 385 \quad \gg$$

$$P_2 = 0,75 \times 1.543 = 1.158 \quad \gg$$

$$P_3 = 0,08 \times 1.158 = 92,6 \quad \gg$$

El agua de mezcla para la porción que pasa el tamiz N° 4 va a ser igual a:

$$H = (P_2 + P_3) \frac{h_2}{100} \quad [15]$$

2) *Reunir los materiales para moldear los ejemplares.* Previamente hay que determinar la humedad higroscópica de la porción que pasa el tamiz N° 4 y supongamos sea igual a 5 %, luego la cantidad de suelo que pasa dicho tamiz para una probeta es igual a: $P_2 + 5 \% \times P_2 = 385 + 0,05 \times 385 = 404,25$.

Se pesa esta cantidad, se le agrega el agua calculada y se mezcla. El agua se calculó por la fórmula (15). A esta cantidad hay que restarle la humedad higroscópica y aumentarle luego un 1 % para tener en cuenta la pérdida por evaporación. En nuestro caso tendremos:

$$H' = (P_2 + P_3) \frac{h_2}{100} - h^3 \times P_2 + 0,01(P_2 + P_3)$$

Una vez homogeneizado se le agrega el material retenido por el tamiz N° 4 saturado y se vuelve a mezclar. A los efectos de no perder tiempo, el material retenido por tamiz N° 4 se pesa seco el día anterior y se sumerge en agua y en el momento de agregarse se saca del agua y se seca su superficie con un trapo limpio.

Conseguida la homogeneización se moldea, usando el cilindro de Proctor como molde. El procedimiento seguido es el mismo que para la determinación de la compactación, es decir se compacta la mezcla en tres capas aplicando 25 golpes de pisón a cada una, cayendo este de 30 cm. de altura, después de lo cual se saca cuidadosamente usando un disco de acero.

A los efectos de llevar un control de la humedad verdadera con lo que se ha moldeado cada probeta, del material sobrante de cada una se saca una muestra en un pesafiltro y se seca a estufa a 110° C. Luego se calcula la humedad en por ciento del peso de la mezcla seca.

Razones por las cuales en nuestros ensayos no usamos el cilindro de Proctor para la preparación de probetas:

1) Para disminuir la cantidad de material, pues usando el cilindro Proctor se necesita 5 veces más.

2) Para poder medir los volúmenes de las probetas por desplazamiento de mercurio.

3) Para poder usar el aparato de Watt, en el ensayo respectivo.

4) Porque los espacios requeridos en la estufa, cámara húmeda, cámara de absorción, se reducen enormemente.

TABLA N° III

Suelo IV. Camino: Río I. — La Francia (provincia de Córdoba)

Cemento %	Vacíos en % de vol.	Absorción total en % del peso de la probeta seca hasta							Varia- ción de absorción	Peso del litro seco	Peso esp. aparente
		1° día	2° día	3° día	4° día	5° día	6° día	7° día			
0	38,8	—	28,0	29,0	29,2	29,7	30,1	30,6	—	1.510	2.470
2	39,6	23,8	28,3	26,8	27,1	27,6	27,8	28,3	— 2,3	1.500	2.485
4	40,0	19,9	25,1	25,6	25,8	26,0	26,1	26,8	— 3,8	1.497	2.495
8	40,3	15,3	22,8	24,0	25,4	26,0	26,5	26,8	— 3,8	1.495	2.507
8	40,4	10,8	15,8	19,3	23,0	24,2	25,5	26,4	— 4,0	1.500	2.519
10	40,8	8,8	13,2	15,6	18,2	19,4	20,4	22,1	— 8,5	1.497	2.529

TABLA N° IV

Suelo V. Camino: Río I. — La Francia (provincia de Córdoba)

Cemento %	Vacíos en % de vol.	Absorción total en % del peso de la probeta seca hasta							Varia- ción de absorción	Peso del litro seco	Peso esp. aparente
		1° día	2° día	3° día	4° día	5° día	6° día	7° día			
0	33,9	16,4	24,0	24,8	25,8	26,6	27,0	27,4	—	1.895	2.560
2	35,7	21,5	22,2	22,5	22,8	23,1	23,5	23,7	— 3,7	1.652	2.571
4	35,1	13,3	18,9	20,3	20,4	20,8	20,8	20,9	— 6,5	1.675	2.581
8	35,5	10,3	14,5	18,8	19,6	20,2	20,4	20,5	— 6,9	1.670	2.592
8	36,1	8,9	13,2	16,5	16,4	19,9	20,1	20,1	— 7,3	1.660	2.601
10	35,6	8,0	11,0	13,5	15,1	17,8	18,0	18,8	— 8,6	1.660	2.611

TABLA N° V

Suelo VII. Camino: Acceso a Villa Numancia (provincia de Buenos Aires)

Cemento %	Vacíos en % de vol.	Absorción total en % del peso de la probeta seca hasta							Varia- ción de absorción	Peso del litro seco	Peso esp. aparente
		1° día	2° día	3° día	4° día	5° día	6° día	7° día			
0	39,6	28,1	30,3	30,7	31,7	32,0	32,4	33,0	—	1.462	2.420
2	40,1	22,0	28,4	28,8	29,6	29,6	28,8	30,0	— 3,0	1.457	2.433
4	40,8	25,0	27,6	28,2	28,5	28,5	28,7	29,0	— 4,0	1.452	2.446
6	40,4	19,0	25,0	26,2	26,4	26,5	26,8	26,8	— 6,2	1.462	2.456
8	41,6	16,6	24,6	26,0	26,4	26,5	26,8	26,8	— 6,2	1.442	2.471
10	40,2	17,0	23,0	24,7	25,6	26,0	26,4	26,4	— 6,6	1.486	2.483

TABLA N° VI

Suelo VIII. Camino: Acceso a Villa Numancia (provincia de Buenos Aires)

Cemento %	Vacíos en % de vol.	Absorción total en % del peso de la probeta seca hasta							Varia- ción de absorción	Peso del litro seco	Peso esp. aparente
		1° día	2° día	3° día	4° día	5° día	6° día	7° día			
0	33,9	26,8	—	29,0	29,8	30,0	30,0	30,1	—	1.720	2.600
2	35,7	23,5	—	24,2	24,8	25,0	25,1	25,2	— 4,9	1.679	2.610
4	36,9	22,2	—	22,6	22,7	22,8	22,8	22,9	— 7,2	1.653	2.620
6	36,6	20,0	—	21,4	21,8	21,9	21,9	22,0	— 8,1	1.665	2.630
8	36,4	11,6	—	18,8	19,5	19,7	19,9	20,0	— 10,1	1.680	2.638
10	36,6	—	—	17,6	19,2	19,6	19,8	20,0	— 10,1	1.675	2.647

5) Las pesadas de las probetas en los ensayos de durabilidad y absorción, se pueden efectuar en una balanza sensible al miligramo.

ENSAYO DE ABSORCION

CAMINO Rio I La Francia MUESTRA IV
TIERRA A₄

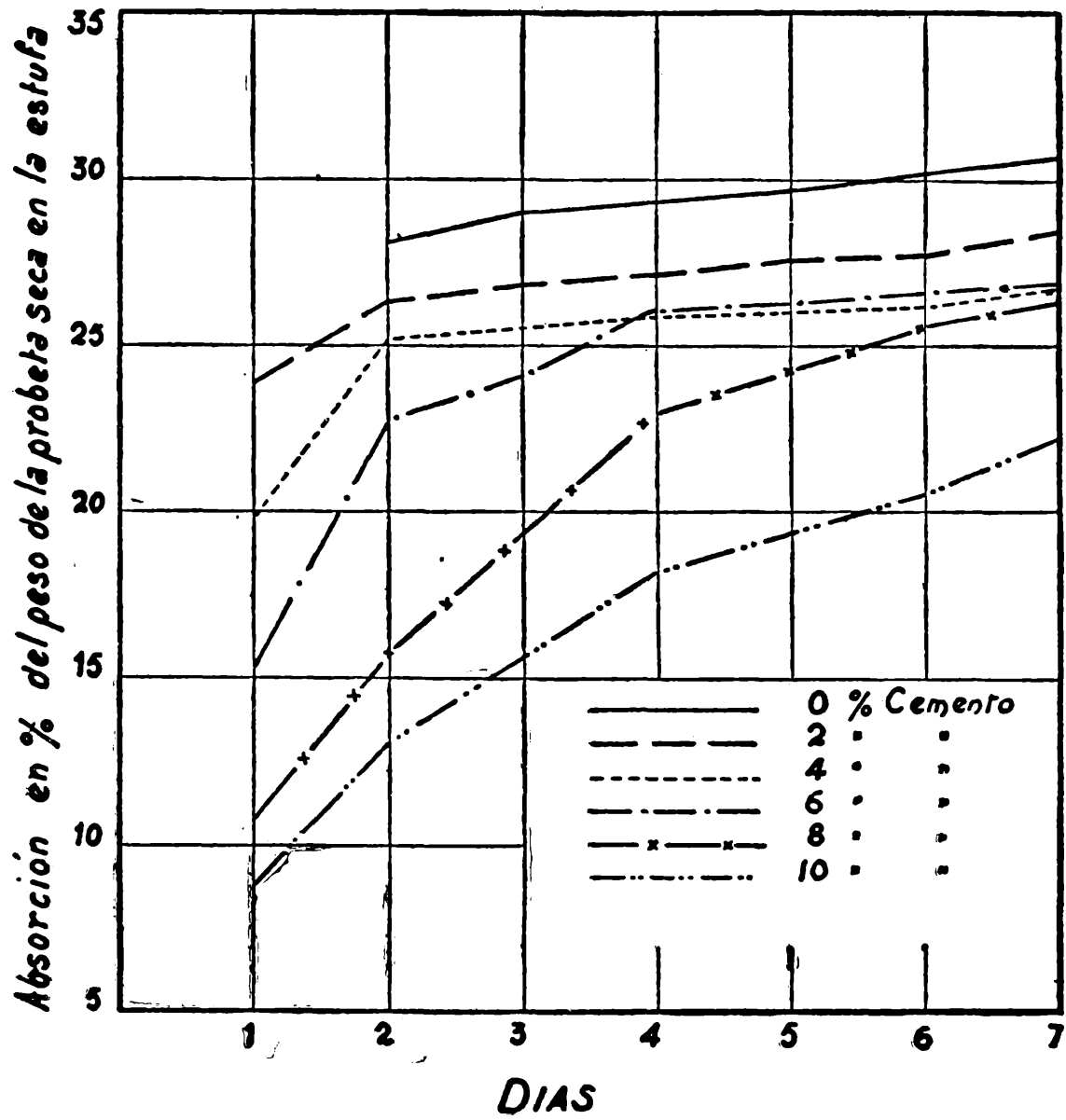


FIG. 33.

ENSAYO DE ABSORCION

CAMINO Rio I - La Francia MUESTRA V
TIERRA A4

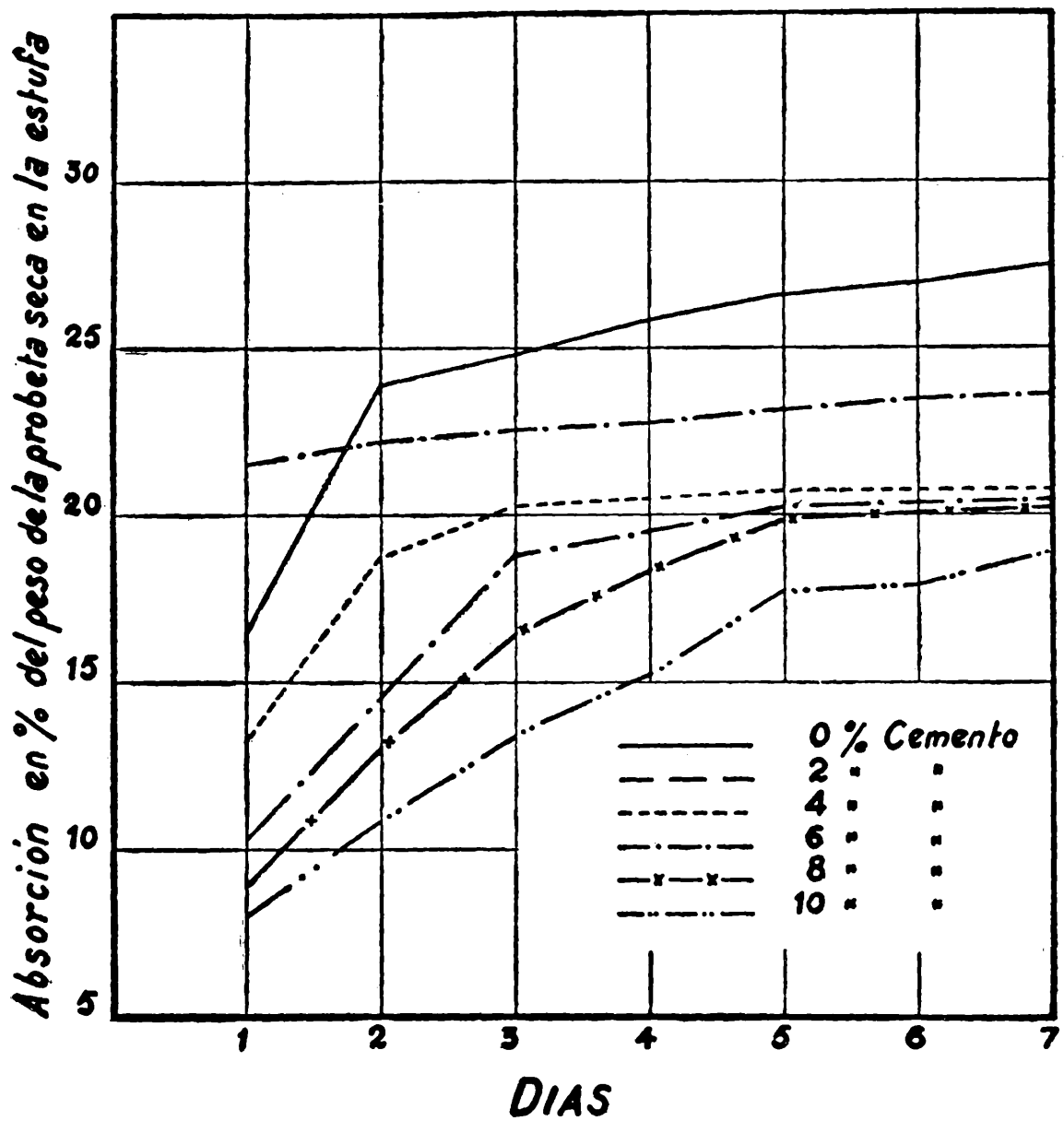


FIG. 34.

ENSAYO DE ABSORCION.

CAMINO ACCESO VILLA NUMANCIA

MUESTRA VII.

TIERRA A4

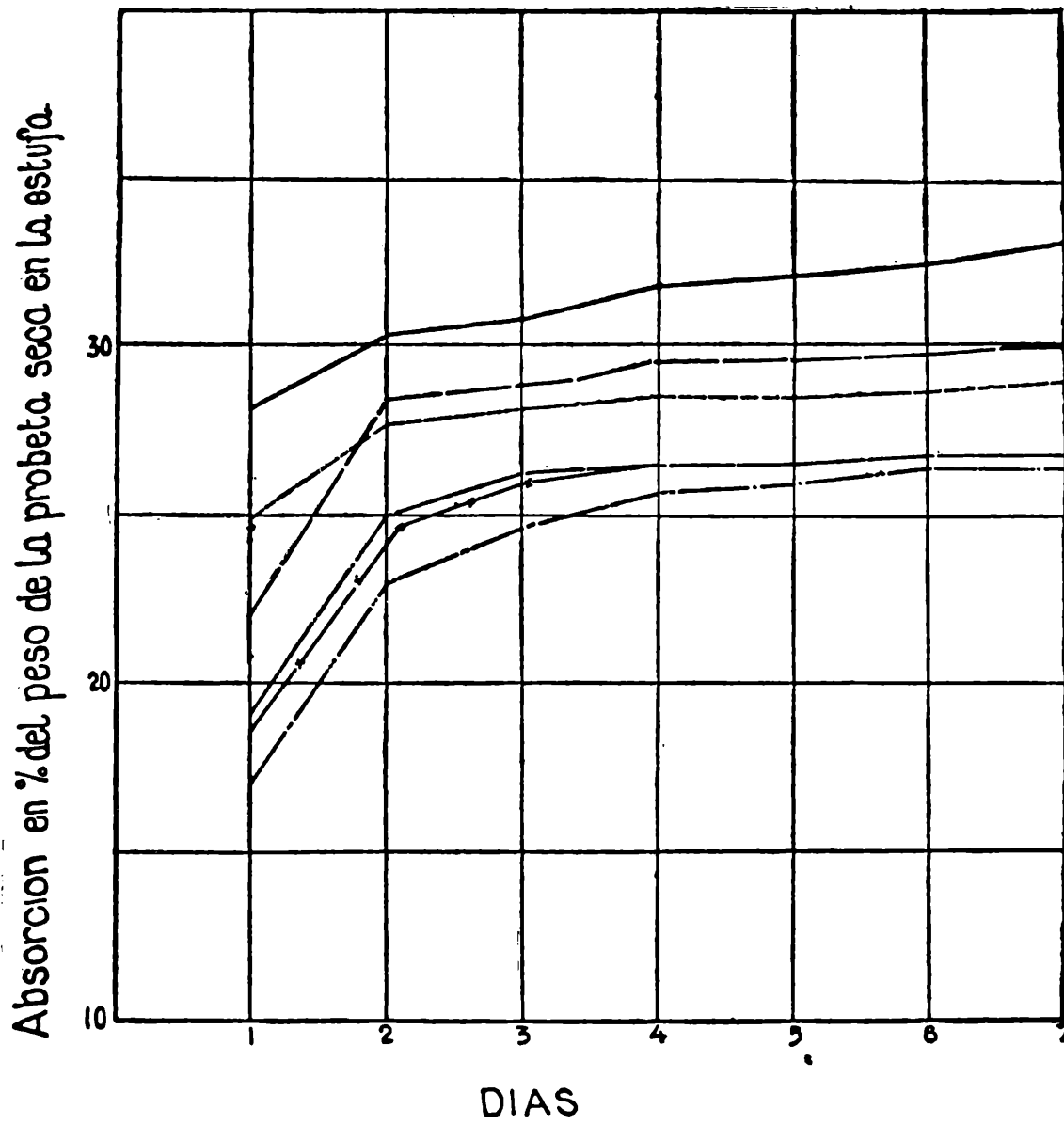


Fig 35.

ENSAYO DE ABSORCION

CAMINO ACCESO VILLA NUMANCIA MUESTRA VIII
TIERRA A₇

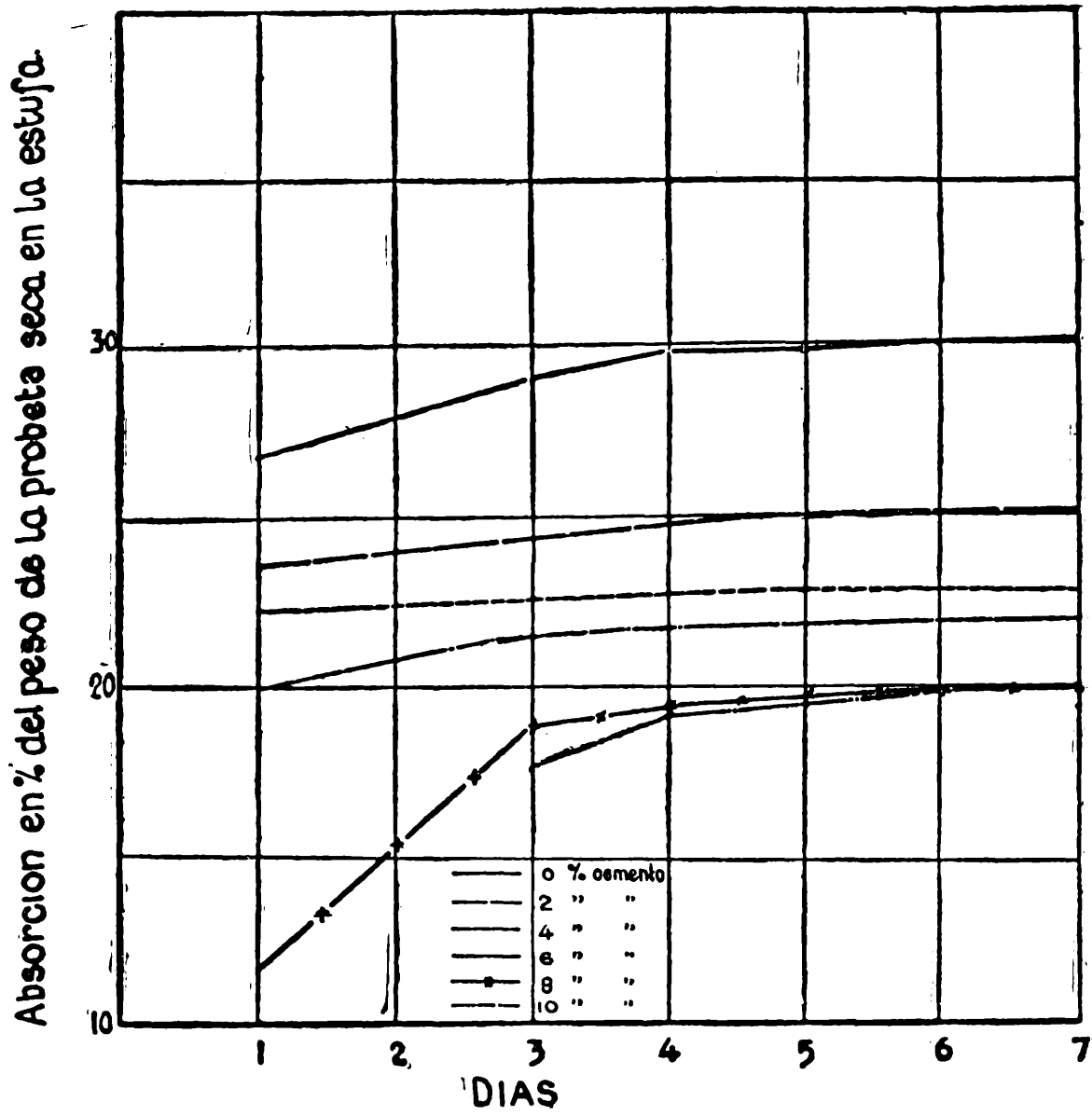


Fig. 36.

**E. — ENSAYOS REALIZADOS EN PROBETAS MOLDEADAS EN LABORATORIOS
PARA FIJAR LA CANTIDAD DE CEMENTO PORTLAND**

Estos ensayos son:

- 1) La absorción de agua por capilaridad.
- 2) Cambio de volumen por absorción de agua.
- 3) Ensayo de estabilidad con el aparato de Watt.
- 4) Ensayo de compresión.
- 5) Ensayo de durabilidad.

La descripción de estos ensayos se encuentran en la publicación de la Segunda Conferencia de la Tercera Reunión Anual de Caminos de la Facultad de Ciencias Físicomatemáticas.

Hemos efectuado estos ensayos con los suelos de los tramos experimentales, y sobre ellos haremos un breve comentario.

1. — Absorción de agua por capilaridad.

Las tablas III, IV, V, VI y VII y figs. 33, 34, 35, 36 y 37 resumen los resultados de este ensayo efectuado sobre los suelos IV, V, VI, VII y VIII.

Observando los mismos, se deduce que:

TABLA N° VIII

Suelo N°	Procedencia	Tipo	Variación volumétrica de probetas con distinto porcentaje de cemento en % del volumen de la probeta					
			% de cemento					
			0	2	4	6	8	10
IV	Río I. La Francia (provincia de Córdoba	A 4	8,7	3,1	0,7	0,7	0,7	0,7
V	Idem	A 4	12,5	4,6	1,4	1,0	1,0	0,7
VI	Idem	A 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VII	Acceso a Villa Numancia (provincia de Buenos Aires)	A 4	11,2	5,9	3,4	2,3	1,3	1,2
VIII	Idem	A 7	20,0	9,3	3,4	2,3	2,0	1,7

VARIACION DE VOLUMEN POR ABSORCION DE AGUA

CAMINO RIO I-LA FRANCIA TRAMO Exp. 2º MUESTRA N°IV
TIERRA.

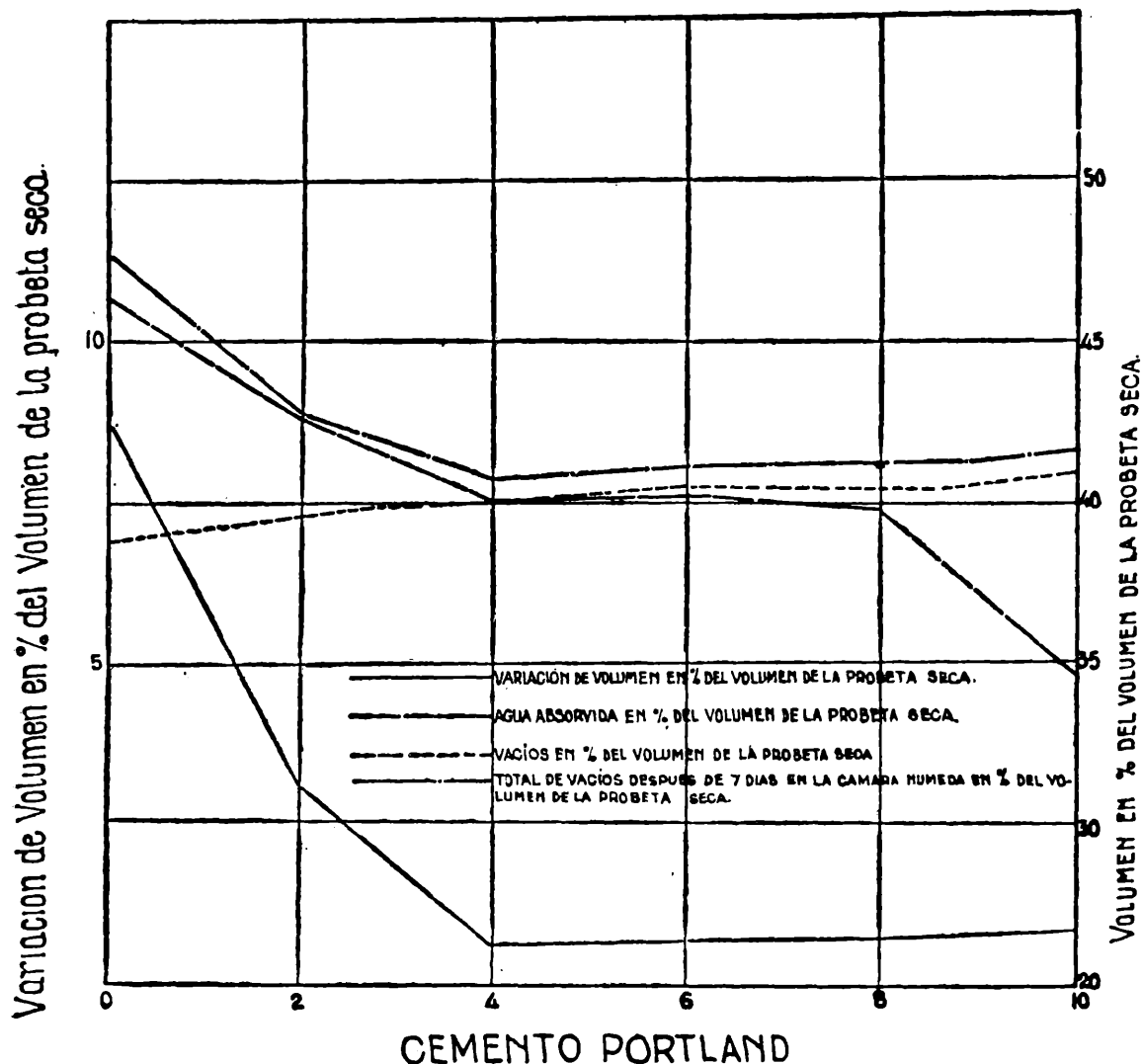


Fig. 38.

1º En todos los suelos, a medida que aumenta la cantidad de cemento, disminuye la absorción capilar.

2º Tanto en los suelos vírgenes como en las mezclas de suelos y cemento portland con 2,4 y 6 % de cemento, excepto el suelo VII, el mayor porcentaje de absorción se produce durante los dos primeros días; en los 4 días restantes la absorción disminuye notablemente, y en algunos casos no excede del 1 %.

En las probetas de suelo con 8 y 10 % de cemento se tiene que la velocidad de absorción es menor en algunos casos; el suelo VIII por ejemplo, se estabiliza al tercer día, mientras que en los IV y V con 8 % de cemento, se produce al quinto día y en los suelos IV y V con 10 % de cemento la velocidad de absorción es prácticamente constante durante los siete días.

2. — Cambio de volumen por absorción de agua.

En la tabla VIII y fig. 38, 39, 40 y 41, están resumidos los resultados.

Vemos que la adición de cemento motiva una reducción apreciable de los cambios de volumen. Como fué dicho en el trabajo an-

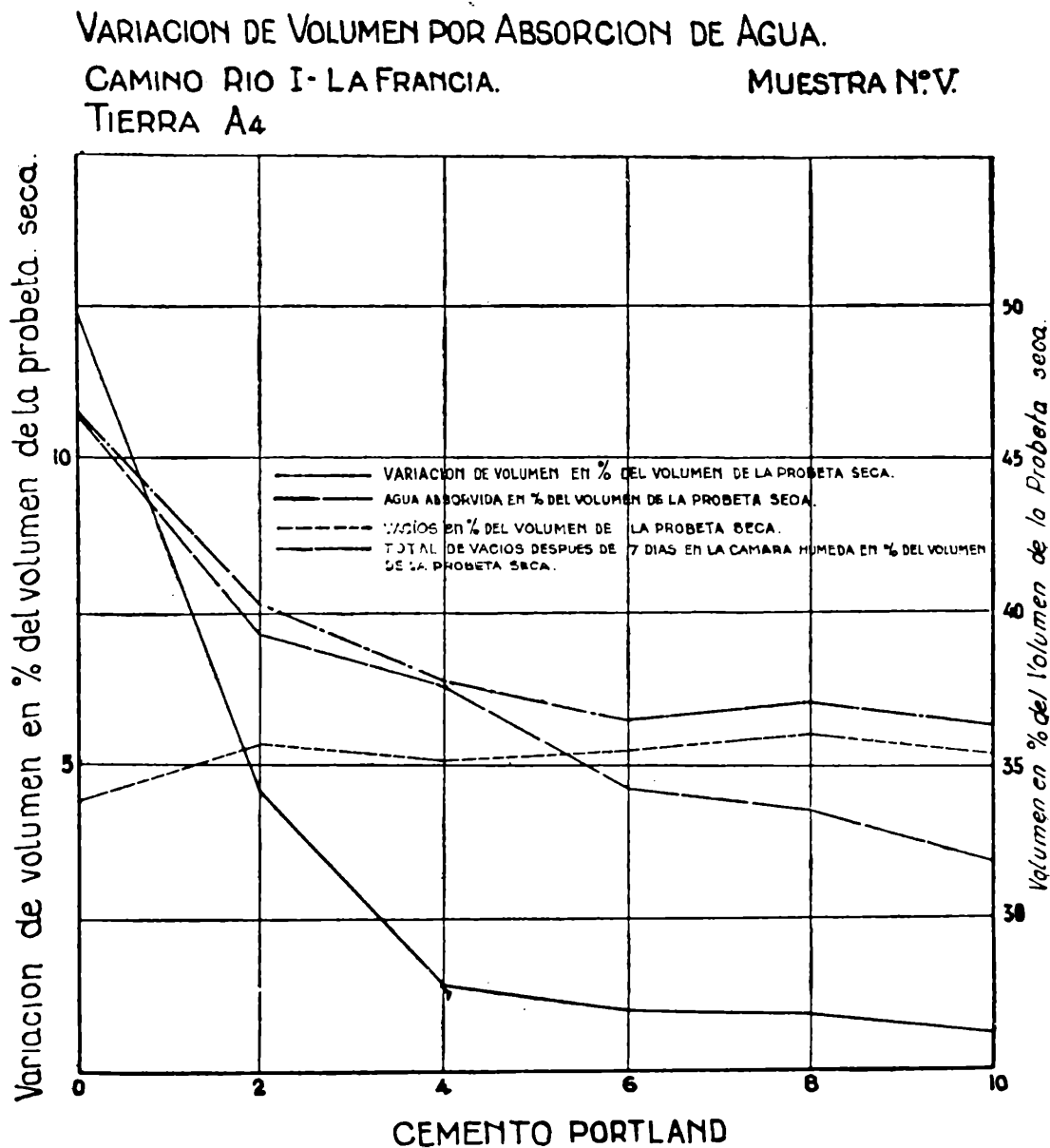


FIG. 39.

terior, con este ensayo estamos en condiciones de determinar la cantidad más conveniente de cemento a mezclar. En la tabla IX están resumidos: el agua absorbida por las probetas durante siete días de permanencia en la cámara de absorción, el cambio volumétrico producido por la absorción, y los vacíos de las probetas secas; todos estos valores están expresados en por ciento del volumen de la probeta seca.

Comparando el agua absorbida y los vacíos determinados en la probeta seca, notamos que en el suelo virgen y en las mezclas de

menores contenidos de cemento, el agua absorbida es mayor que el volumen de los vacíos. A partir de un determinado porcentaje de cemento se obtiene lo contrario, es decir, que el volumen de agua absorbida es menor que el volumen de los vacíos.

Pero determinando los vacíos en las probetas después de permanecer siete días en la cámara de absorción, y expresando a los mis-

VARIACION DE VOLUMEN POR ABSORCION DE AGUA

CAMINO: Acceso a Villa Numancia TS7 MUESTRA N° VII

TIERRA A4

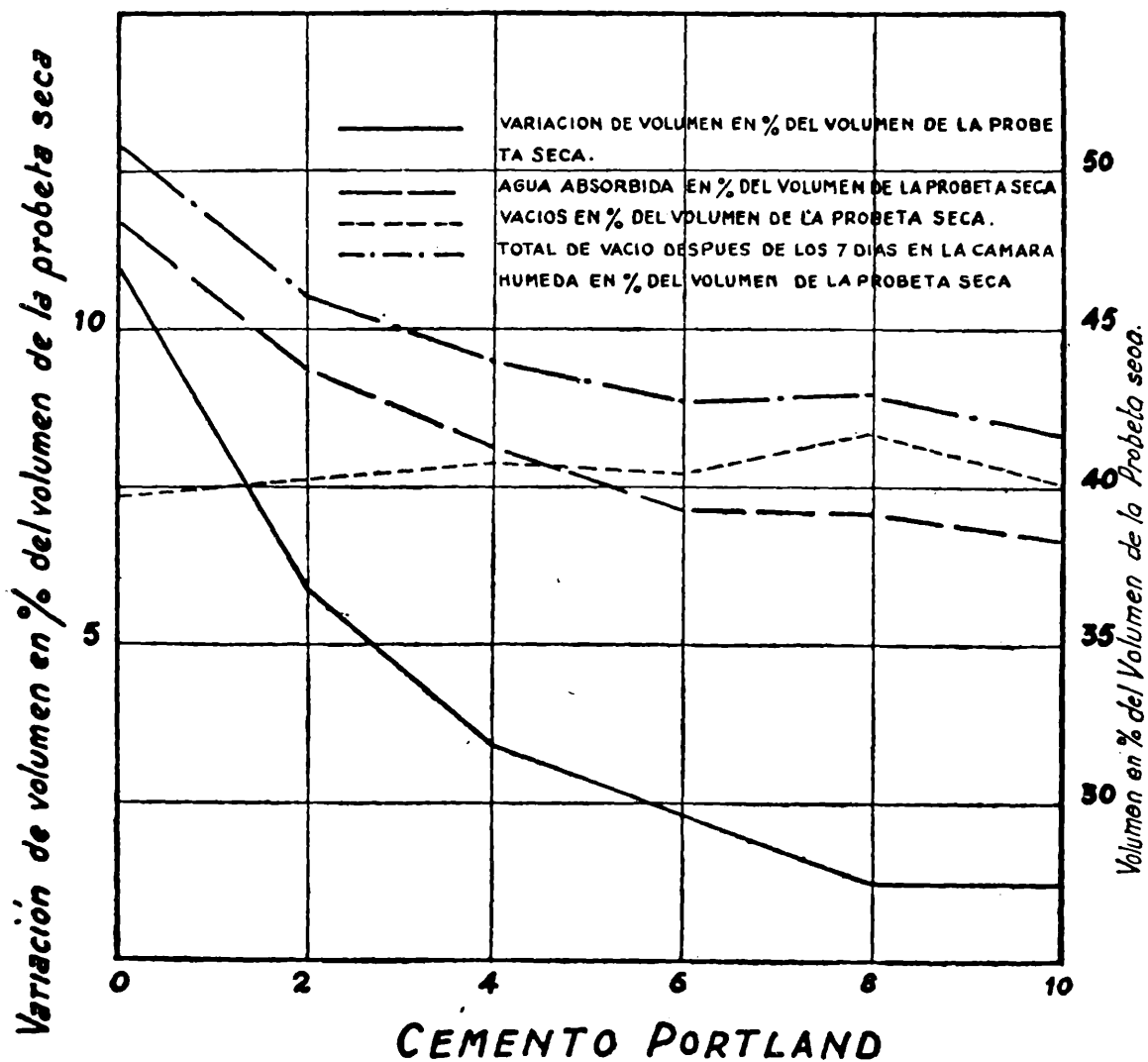


FIG. 40.

mos en por ciento de volumen de la probeta seca (Tabla IX), vemos que son mayores que el volumen de agua absorbida, es decir, al absorber agua la probeta experimenta un cambio de volumen que motiva un aumento de los vacíos. Este fenómeno, el Ing. Terzaghi lo explica en la siguiente forma: Imaginemos un tubo capilar perfectamente elástico cuyo interior está lleno de agua (a), fig. 42.

TABLE

Suelo	IV						V					
Cemento %	0	2	4	6	8	10	0	2	4	6	8	10
Agua absorbida en % del volumen de la probeta seca	46,3	42,6	40,0	40,2	39,8	34,9	46,2	39,2	37,6	34,3	33,6	31,9
Vacíos en % del volumen de la probeta seca	38,8	39,6	40,0	40,3	40,4	40,8	33,9	35,7	35,1	35,5	36,1	35,6
Cambio de volumen por absorción de agua en % del volumen de la probeta seca	8,7	3,1	0,7	0,7	0,7	0,7	12,5	4,6	1,4	1,0	1,0	0,7
Total de vacíos después de los 7 días en la cámara húmeda en % volumen en probeta seca .	47,5	42,7	40,7	41,0	41,1	41,5	46,4	40,3	36,5	36,5	37,1	36,3

VI						VII						VIII					
0	2	4	6	8	10	0	2	4	6	8	10	0	2	4	6	8	10
						48,4	43,7	41,1	39,3	39,2	38,4	52,2	42,4	35,5	36,6	33,8	33,8
						39,6	40,1	40,6	40,4	41,6	40,2	33,9	35,7	36,9	36,6	36,4	36,6
						11,2	5,9	3,4	2,3	1,3	1,2	20,0	9,3	3,4	2,3	2,0	1,7
						50,8	46,0	44,0	42,7	42,9	41,4	53,9	45,0	40,3	38,9	38,4	38,3

VARIACION DE VOLUMEN POR ABSORCION DE AGUA

CAMINO: Acceso a Villa Numancia MUESTRA N° VIII

TIERRA A₇

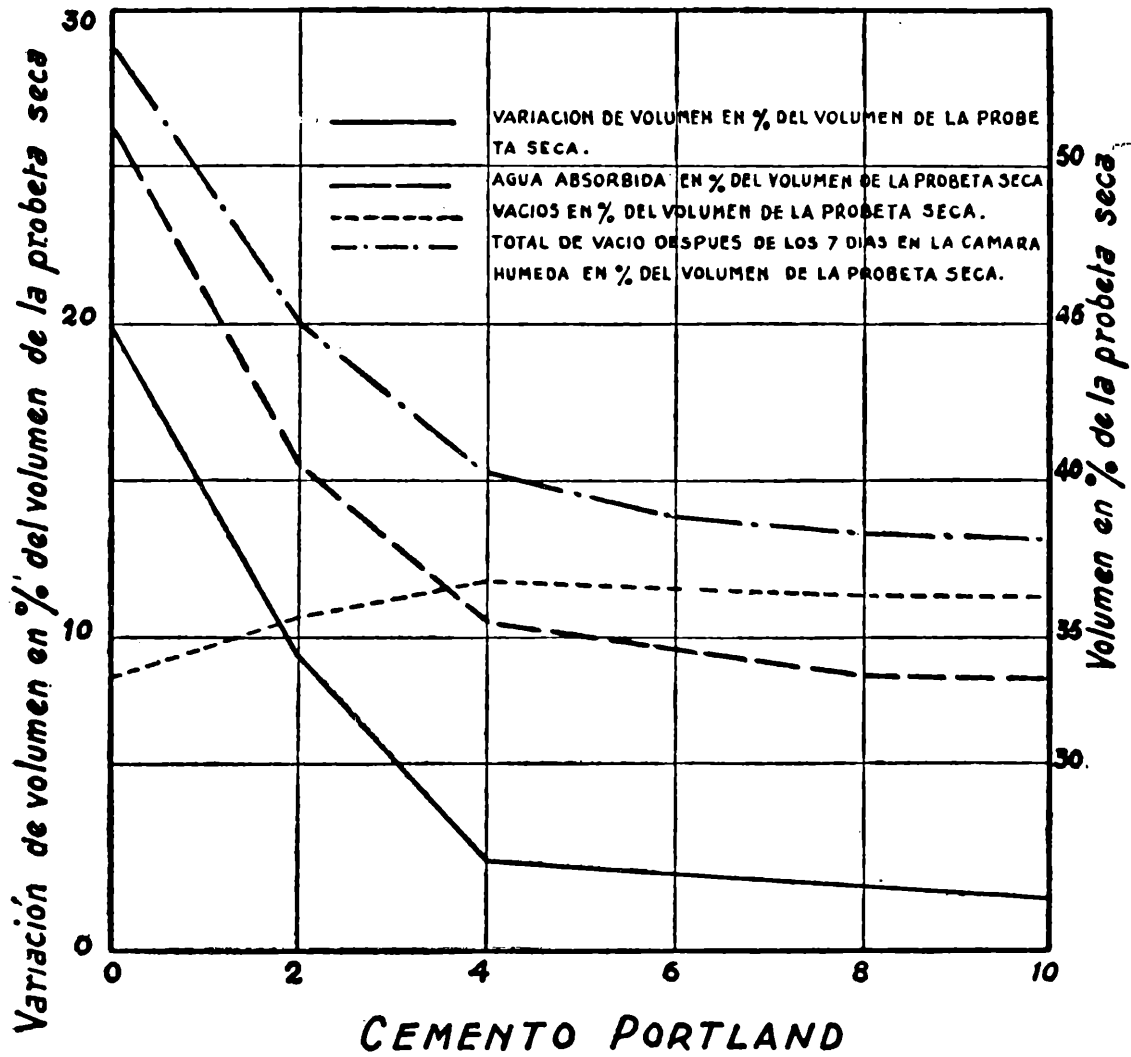


FIG. 41.

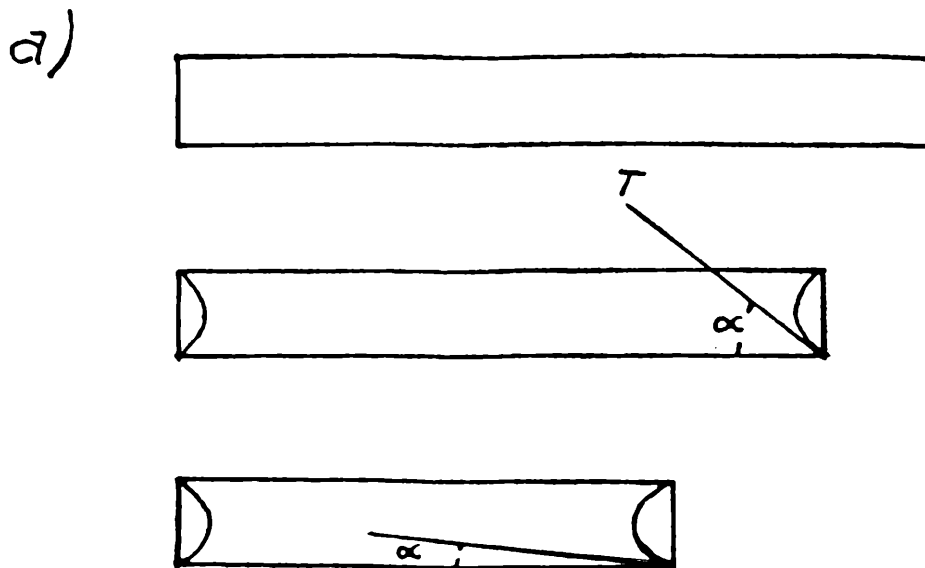


FIG. 24.

Si lentamente evaporamos el agua a través del tubo, la superficie líquida deja de ser plana y la presión capilar se pone de manifiesto y aparece el menisco.

*Ensayo de Estabilidad con el Aparato de Watts.
Cargas Absolutas Punto A.*

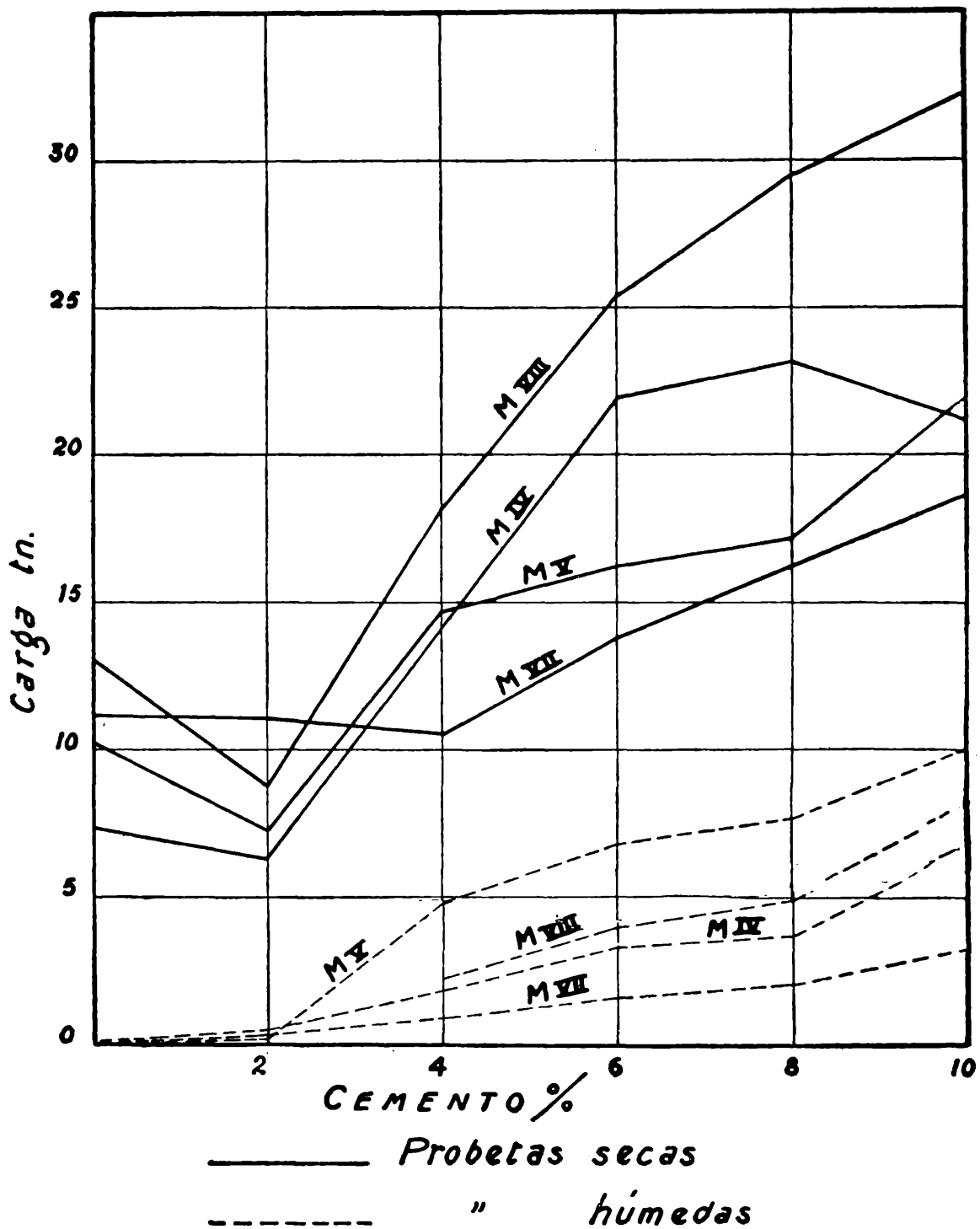


FIG. 43.

El ángulo α de la dirección de la presión capilar T con el eje del tubo, disminuye a medida que continúa la evaporación y por consiguiente aumenta el valor de la proyección de T sobre este eje originando el acortamiento del tubo.

Para α igual a O , T es máximo, y al llegar a este valor el tubo deja de acortarse. Si en estas condiciones lo sumergimos en el agua, desaparece la superficie de tensión del menisco y se nula T volviendo el tubo a su longitud primitiva.

ENSAYO DE ESTABILIDAD CON EL APARATO DE WATTS.

CARGAS MEDIAS PUNTO A

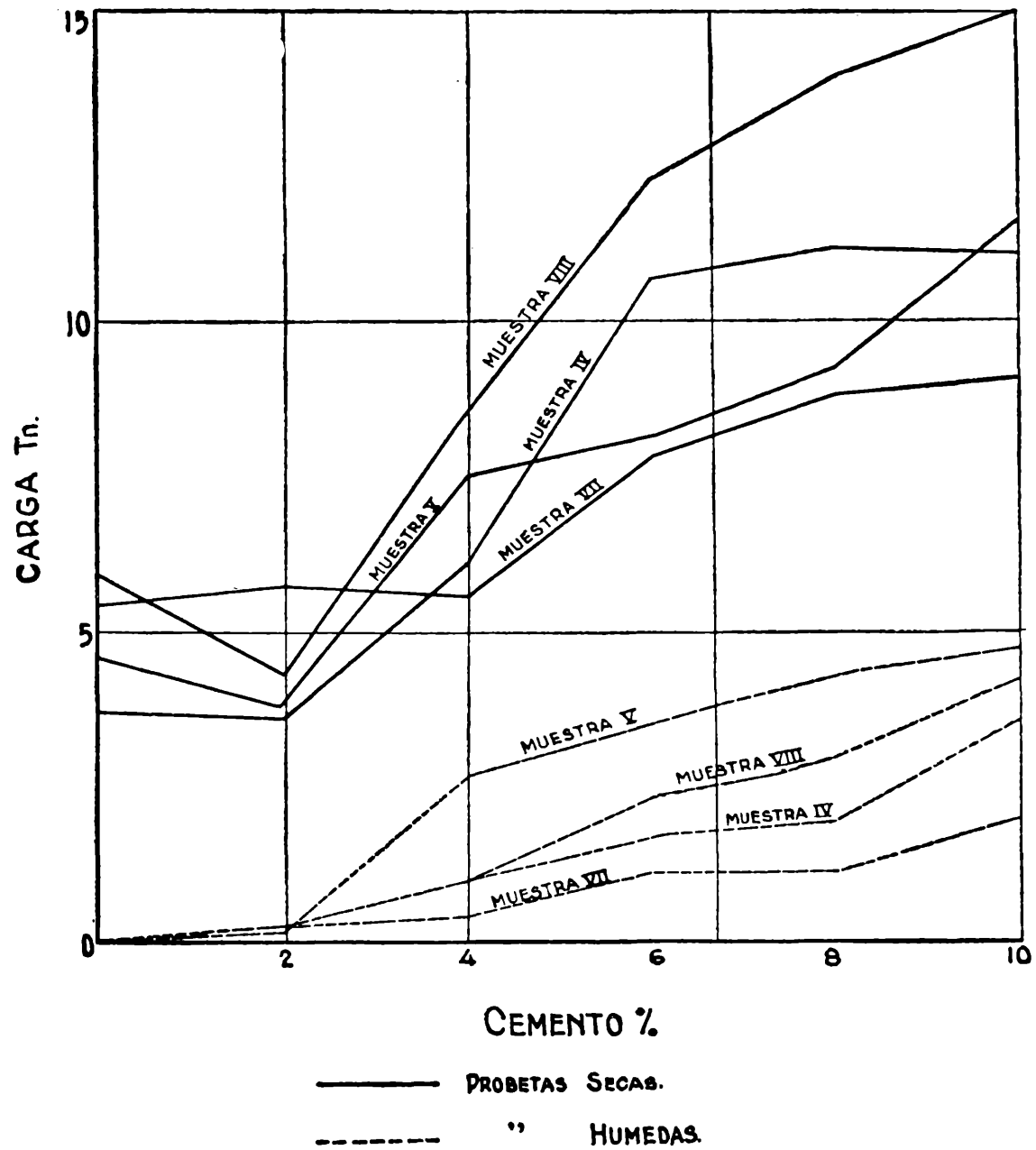


FIG. 44.

La diferencia entre los cambios volumétricos del suelo virgen y mezclas de suelo y cemento es fácil de explicar basándose en el razonamiento efectuado por Terzaghi. El suelo al ser tratado con cemento, sufre modificaciones aproximándose a las características de

TABLA X. — Ensayo con el aparato de Watts. Muestra IV

PROBETAS SECAS													
Probeta N°	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	
Cemento %	0	0	2	2	4	4	6	6	8	8	10	10	
Humedad de la probeta en el momento del ensayo	3,9		3,8		5,0		6,5		7,2		9,2		
Carga media punto A-T	4,2	3,2	3,75	3,50	5,75	6,50	11,40	10,00	12,00	10,50	11,6	10,6	
Término medio T	3,7		3,62		6,12		10,70		11,25		11,1		
Carga absoluta punto A-T	7,7	7,0	6,75	6,00	16,0	12,5	25,0	18,7	26,5	20,0	22,0	20,5	
Término medio T	7,35		6,37		14,25		21,85		23,25		21,25		
PROBETAS HUMEDAS													
Probeta N°	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	
Cemento %	0	0	2	2	4	4	6	6	8	8	10	10	
Humedad en el momento del ensayo en la probeta	30,6		28,3	28,6	26,7	27,0	26,8	27,0	26,5	26,6	21,0	25,6	
Carga media punto A-T	0,0	0,0	0,23	0,21	1,06	0,92	1,87	1,53	1,86	2,10	3,94	3,35	
Término medio T	0,0		0,22		0,99		1,70		1,98		3,64		
Carga absoluta punto A-T	0,0	0,0	0,55	0,50	2,10	1,70	3,45	3,30	3,20	4,20	7,25	6,25	
Término medio T	0,0		0,52		1,90		3,37		3,70		6,75		

TABLA XI. — Muestra V

PROBETAS SECAS												
Probeta N°	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313
Cemento %	0	0	2	2	4	4	6	6	8	8	10	10
Humedad de la probeta en el momento del ensayo	4,3		3,9		4,9		5,9		6,4		5,9	
Carga media punto A-T		4,6	3,50	4,10	8,00	7,00	8,60	7,80	9,10	9,40	11,00	12,3
Término medio T.	4,60		3,80		7,50		8,20		9,25		11,65	
Carga absoluta punto A-T		10,2	6,70	7,80	15,3	14,2	17,2	15,3	16,6	17,9	21,0	23,0
Término o medio T.	10,20		7,2		14,7		16,2		17,2		22,0	
PROBETAS HUMEDAS												
Probeta N°	279	280	282	281	282	283	284	285	286	287	288	289
Cemento %	0	0	2	2	4	4	6	6	8	8	10	10
Humedad de la probeta en el momento del ensayo	26,6	27,94	23,90	23,58	20,95	20,97	20,55	20,45	20,08	20,30	19,95	18,00
Carga media punto A-T	0,00	0,00	0,17	0,18	2,90	2,44	3,90	3,15	3,60	4,88	5,30	4,30
Término medio T.	0,00		0,175		2,67		3,52		4,24		4,80	
Carga absoluta punto A-T	0,00	0,00	0,3	0,3	5,10	4,50	7,50	6,00	7,00	8,30	10,75	9,50
Término medio T.	0,0		0,3		4,80		6,75		7,65		10,12	

TABLA XIII. — Ensayos con el aparato de Watis. Muestra VIII. Camino de acceso a Villa Numancia.

PROBETAS SECAS												
Probeta N°	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372
Cemento %	0	0	2	2	4	4	6	6	8	8	10	10
Humedad de la probeta en el momento del ensayo	5,89		4,04		5,28		3,60		4,85		4,75	
Carga media punto A-T.	—	5,9	4,3	4,3	8,6	8,4	12,2	12,5	14,2	13,9	17,0	13,2
Término medio T.	5,9		4,3		8,5		12,3		14,0		15,0	
Carga absoluta punto A-T.	—	12,9	8,9	8,5	18,2	18,2	26,3	24,6	30,1	29,0	36,1	28,6
Término medio T.	12,9		8,7		18,2		25,4		29,5		32,3	
PROBETAS HUMEDAS												
Probeta N°	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337
Cemento %	0	0	2	2	4	4	6	6	8	8	10	10
Humedad de las probetas en el momento del ensayo	—		—		—		—		—		—	
Carga media punto A-T.	—	—	—	—	1,0	1,1	2,3	2,3	3,5	2,5	—	4,3
Término medio T.	—		—		1,0		2,3		3,0		4,0	
Carga absoluta punto A-T.	—	—	—	—	2,5	2,2	3,5	4,6	6,2	3,6	—	8,2
Término medio T.	—		—		2,3		4,0		4,9		8,2	

los suelos arenosos, y sabemos que en estos las tensiones capilares son pequeñas. Luego al perder humedad las mezclas de suelo y cemento no se producen grandes contracciones, porque las tensiones capilares, que como vimos se ponen de manifiesto al evaporarse el agua, no son capaces de comprimir las partículas del suelo. Por lo tanto al absorber agua no se produce el fenómeno inverso, es decir, la expansión.

3). — Ensayo de estabilidad con el aparato Watt.

Este ensayo se realizó determinando las cargas absolutas y medias hasta el punto *A*, en probetas secas y húmedas.

La justificación de este procedimiento está tratada en la conferencia ya citada.

En las figs. 43 y 44 y tablas X, XI, XII y XIII están resumidos los resultados. En ellos podemos observar:

1° En las cargas absolutas y medias, las probetas secas dan resultados mayores.

2° En las probetas secas con 0 % de cemento portland casi siempre se obtienen resistencias mayores que en las que contienen 2 %.

3° En las probetas húmedas con 0 % de cemento portland la resistencia es prácticamente nula y va aumentando a medida que aumenta el cemento.

4° El suelo VIII en estado seco da resistencias mayores que en el suelo V, mientras que húmedo da resistencias menores.

5° En la fig. 43 de las cargas medias, se nota que a partir de un porcentaje de cemento, la tangente del ángulo formado por el eje de las abscisas y la curva representativa del ensayo, disminuye.

Las cuatro primeras observaciones son fáciles de interpretar, teniendo en cuenta el razonamiento transcrito en el párrafo IV-*b* del Ing. Terzaghi.

Como vimos, al perder humedad un suelo, se ponen de manifiesto las tensiones capilares que reúnen las partículas y las mantienen unidas mientras el suelo permanece con reducida humedad. Al ser tratado un suelo con cemento, como ya se dijo, se reducen las tensiones capilares, pero se originan unas tensiones del mismo signo que las capilares que tienden a mantener unidas las partículas del suelo, y éstas son las originadas por el poder cementante del cemento portland.

Luego en una probeta seca, con cemento, existen dos tensiones de igual signo que mantienen unidas las partículas que son las

TABLA N° XIV

Ensayo de compresión

Suelo	Cemento %	Humedad %	Resistencia Kg/cm ²
IV	0	5,4	16,2
	2	5,0	13,7
	4	5,5	19,6
	6	8,5	29,0
	8	9,5	38,0
	10	8,6	42,5
V	0	1,15	25,5
	2	1,8	15,5
	4	1,7	19,2
	6	2,4	33,2
	8	2,10	44,0
	10	2,30	48,0
VI	0	—	—
	2	—	—
	4	—	—
	6	—	—
	8	—	—
	10	—	—
VII	0	1,2	33,0
	2	1,2	17,5
	4	1,5	24,0
	6	2,0	28,7
	8	2,5	40,0
	10	2,3	46,0
VIII	0	8,28	18,4
	2	8,5	14,2
	4	11,2	20,8
	6	10,19	34,0
	8	6,95	47,5
	10	10,2	51,0

tensiones capilares y las originadas por el cemento. Mientras que si esta probeta es saturada, la tensión capilar desaparece y solamente persiste la originada por el cemento.

ENSAYO A LA COMPRESION

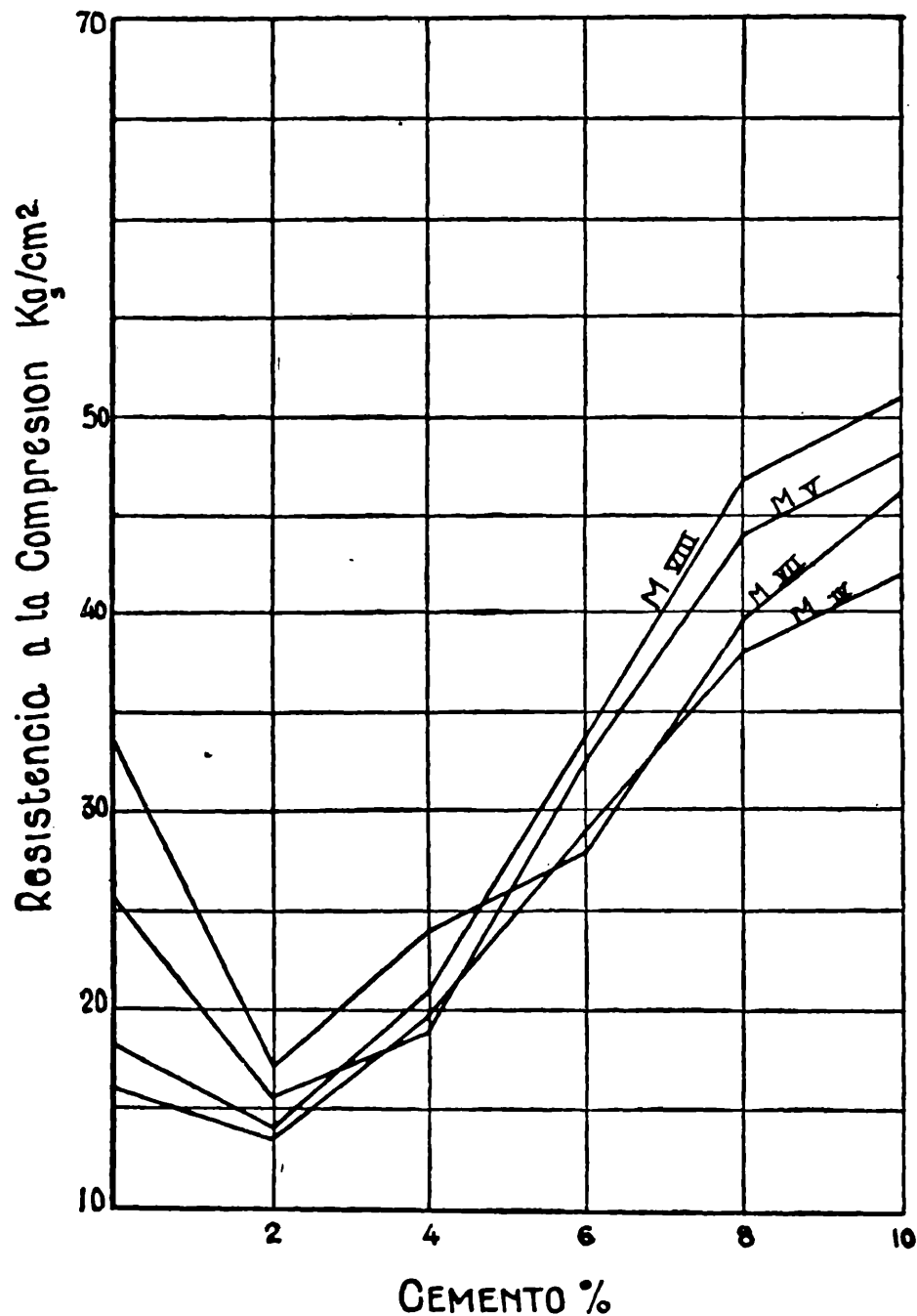


FIG. 45.

Esto explica la primera y tercera observación. La segunda queda aclarada teniendo en cuenta que al agregar 2 % de cemento se disminuye la tensión capilar en un valor mayor a la tensión provocada por el frague del cemento. Es decir que las tensiones en

las probetas secas, motivadas por las tensiones capilares son mayores que la suma de las tensiones capilares modificadas por el cemento y las tensiones provocadas por el frague del mismo.

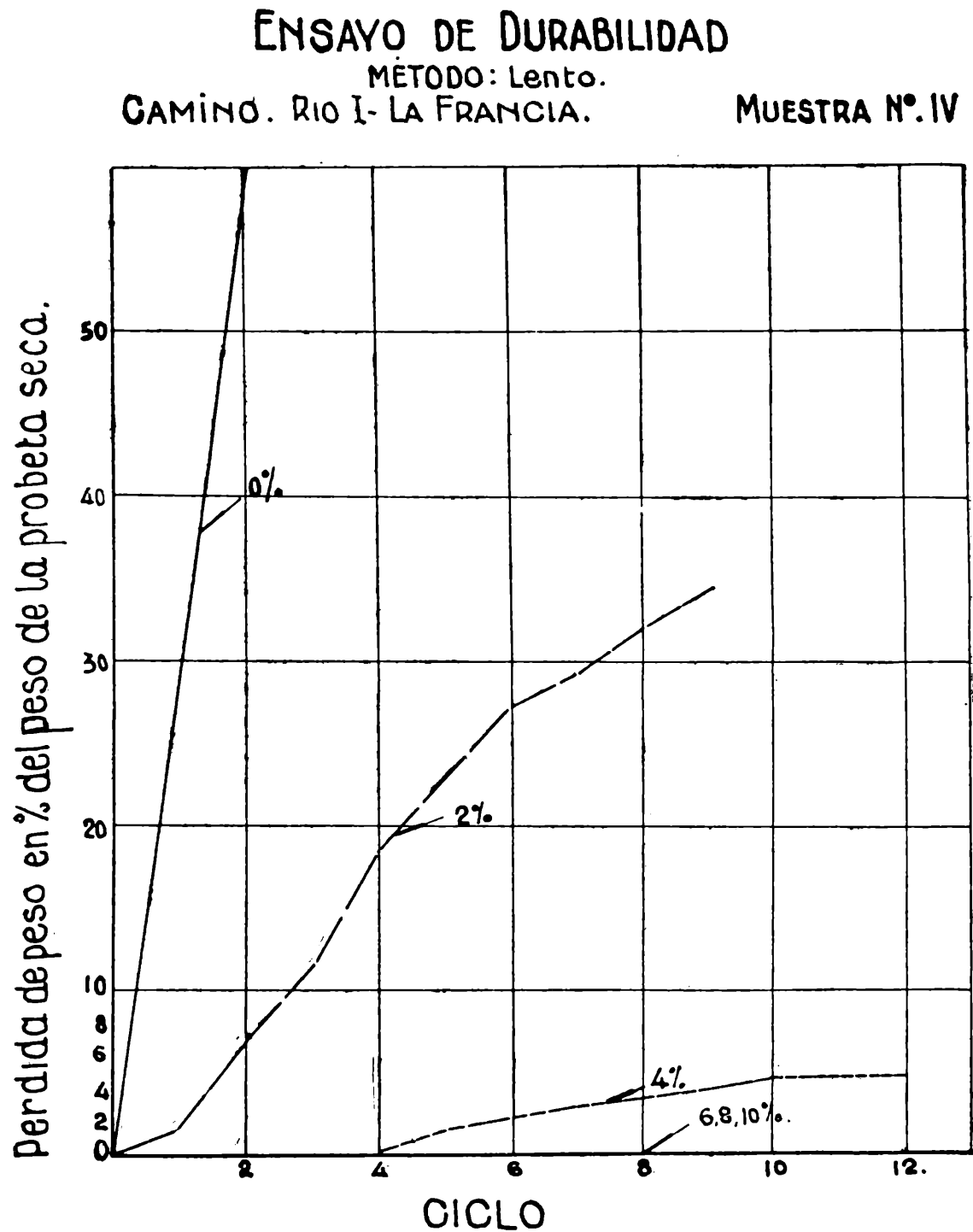


FIG. 46.

La cuarta observación queda aclarada también, teniendo en cuenta que el suelo VIII es un suelo más fino que el V y en él las tensiones capilares son mayores.

Respecto a la quinta observación ya ha sido hecha en la conferencia anterior. Esto nos indica que a partir de un cierto porcentaje de cemento el aumento de la resistencia total comienza a

ENSAYO DE DURABILIDAD.
METODO: Rápido.
CAMINO RIO I: LA FRANCIA. Tr. EXP.2. MUESTRA:
TIERRA A₄

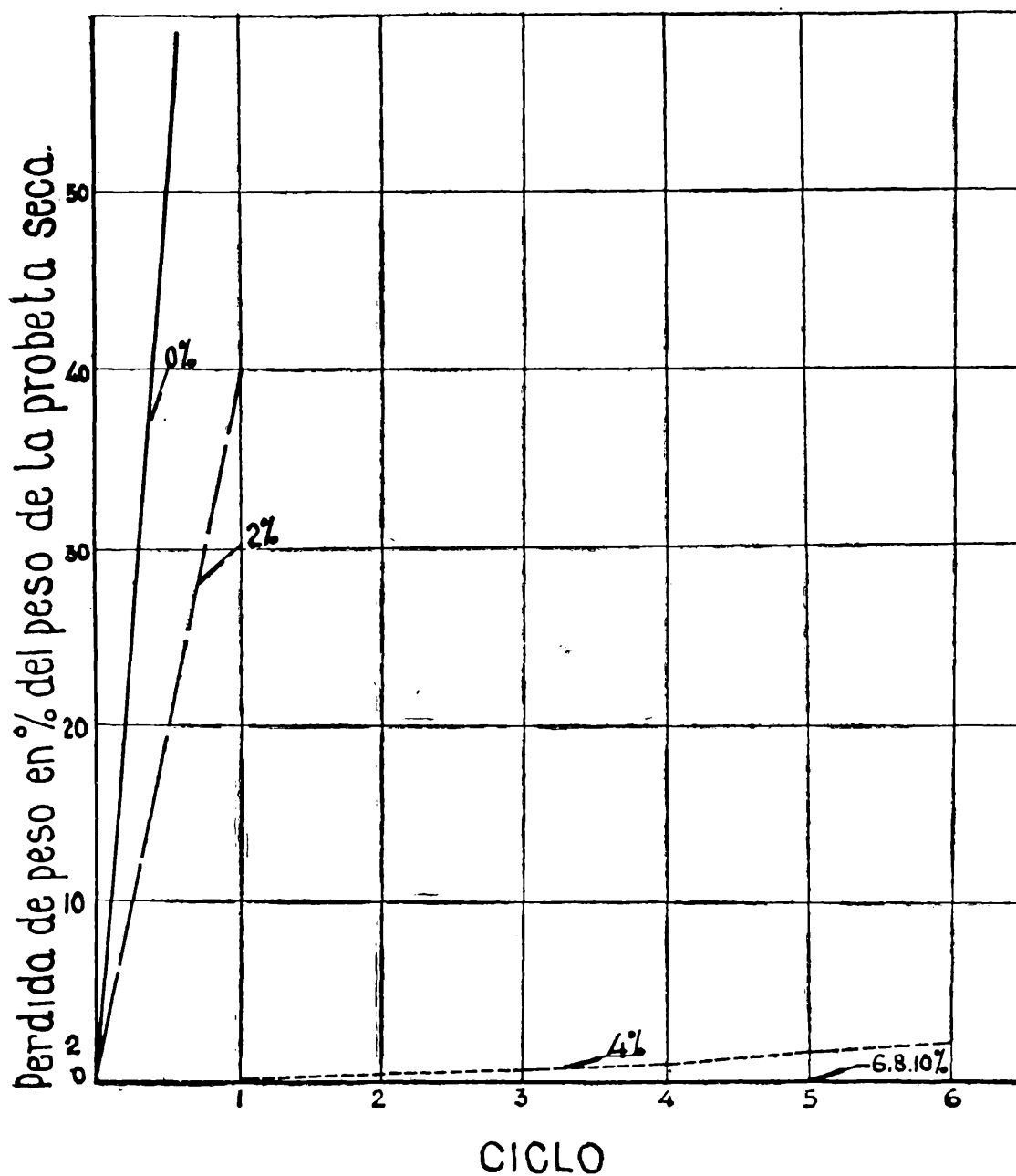


FIG. 47.

decrecer. Este fenómeno nos aportaría un método más para fijar la cantidad de cemento a mezclar con un suelo dado.

4). — *Ensayo de compresión.* Se realizó sobre probetas secadas a los 28 días de moldeadas. En la fig. 45 y Tabla XIV están

ENSAYO DE DURABILIDAD
Método: Rápido
CAMINO: RioI-La Francia Muestra N°V
TIERRA

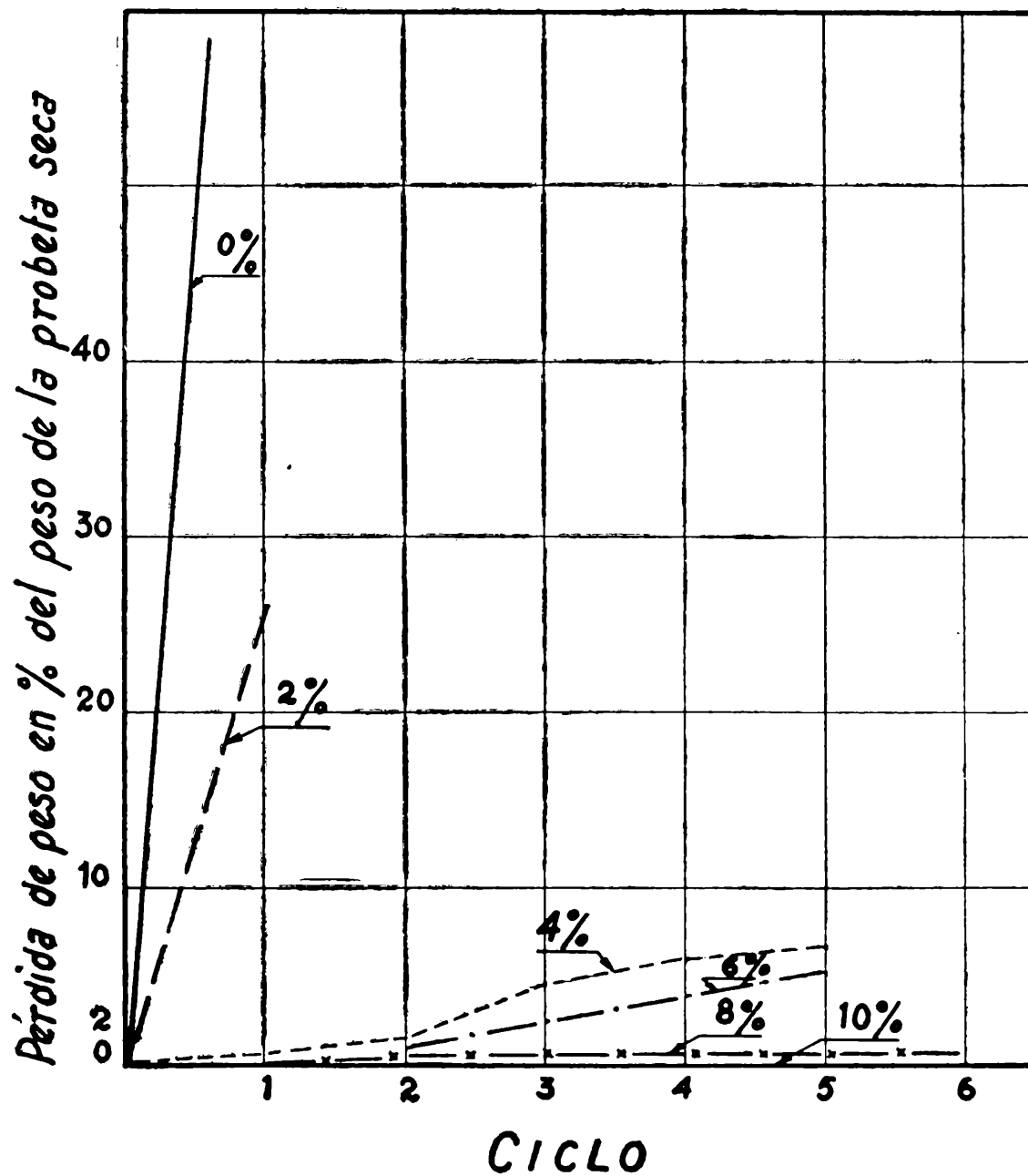


FIG. 48.

resumidos los resultados. Vemos que las resistencias de las probetas de suelo virgen son mayores que las que contienen 2% de cemento, pero a partir del 2% a cada aumento de cemento corres-

ponde un aumento de resistencia. Lo dicho en el párafo e-3 explica estas observaciones.

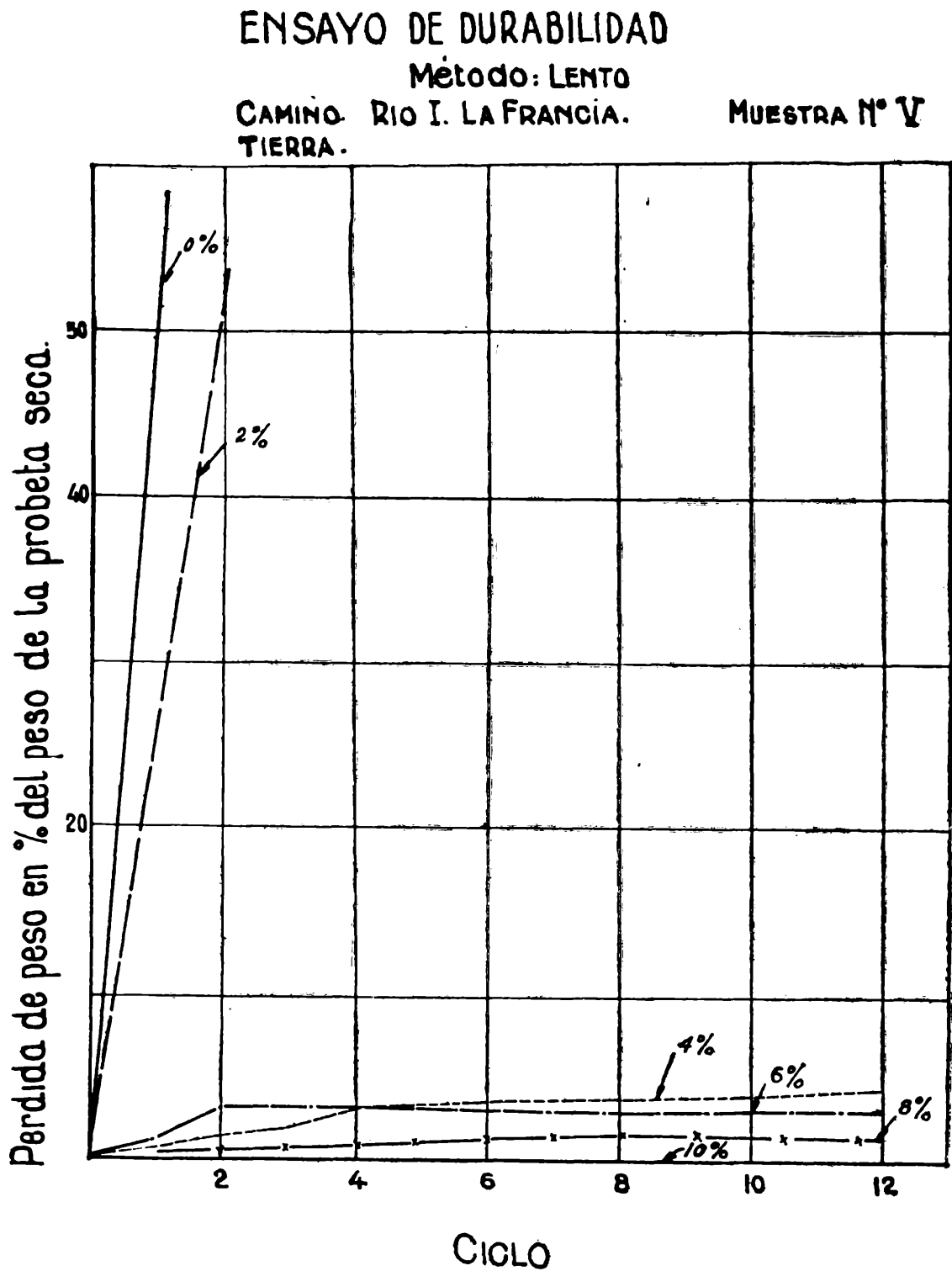


FIG. 49.

e) *Ensayo de durabilidad.* Este ensayo se efectuó por los métodos rápidos y lento. En las figuras 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52 y 53 y Tablas XV, XVI, XVII, XVIII están resumidos los resultados.

Hemos podido comprobar nuevamente las ventajas del método rápido sobre el lento. En esta nueva serie de ensayos se nos presentó

ENSAYO DE DURABILIDAD
Método : Rápido
CAMINO: Acceso Villa Numancia TS7 Muestra N°VI
TIERRA A4

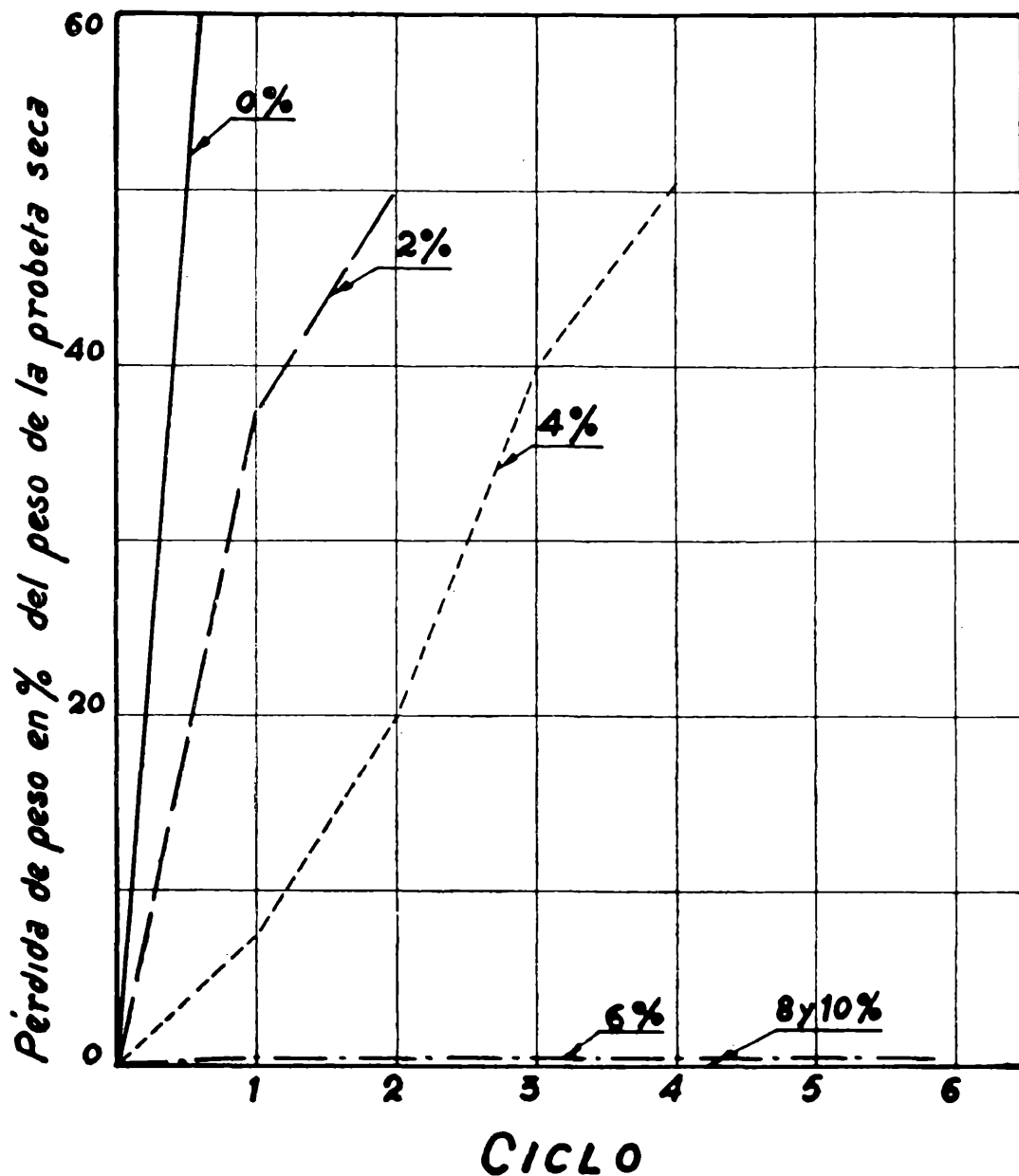


FIG. 50.

un nuevo caso donde el método lento arrojaba resultados contradictorios. En el suelo VI por el método lento, fig. 51, vemos que el suelo con 2 % de cemento da pérdidas menores que con 4 %.

Esta contradicción queda completamente aclarada, observando las probetas con 2 % de cemento, fig. 54. Vemos que se encuentran cortadas por el medio y debido a que el manipuleo de las mismas se

ENSAYO DE DURABILIDAD
Método: Lento
CAMINO: Acceso Villa Numancia MUESTRA N° VI
TIERRA A₄

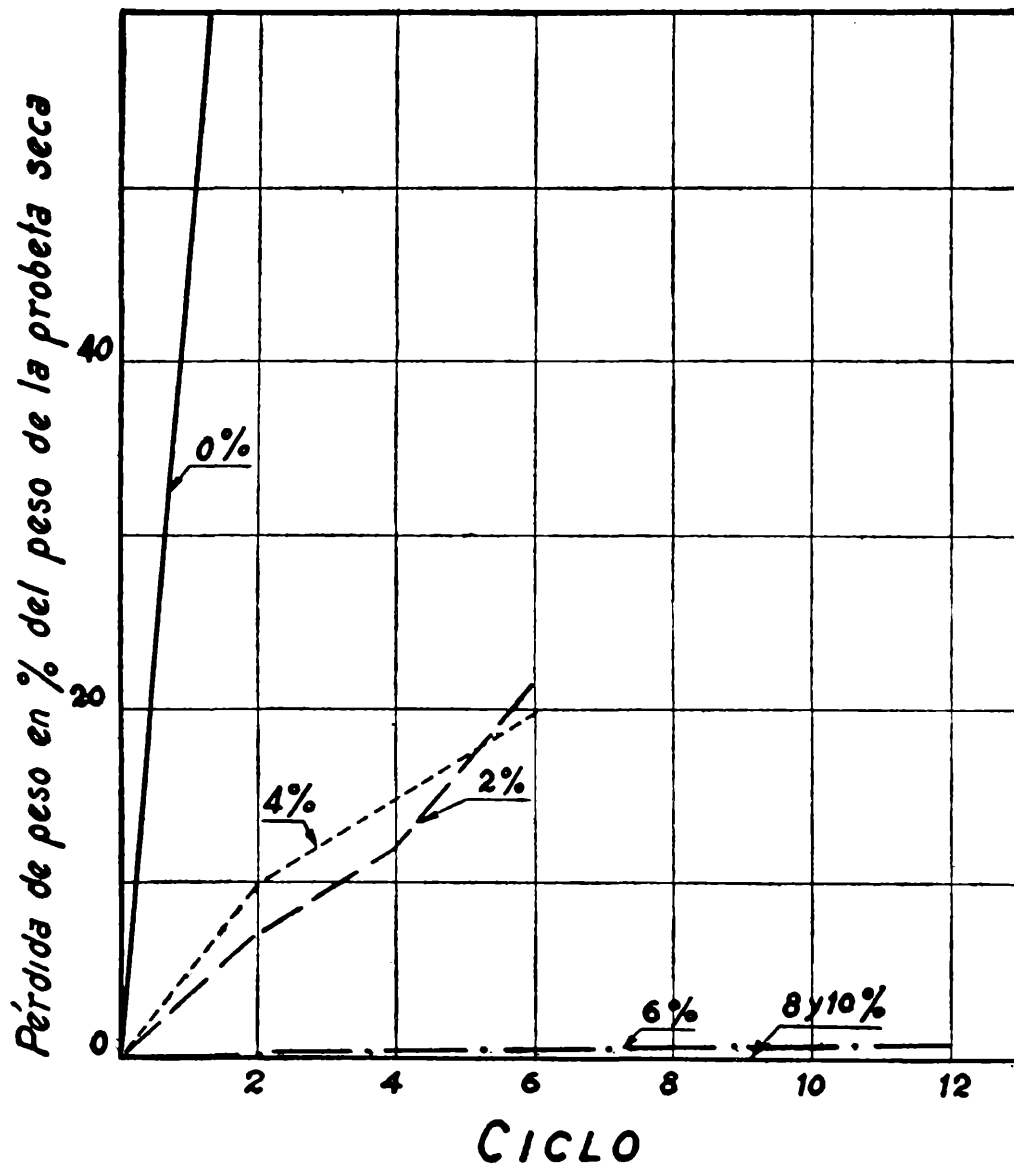


FIG. 51.

hizo con todo cuidado no se derribó el pedazo superior suelto, durante todos los ciclos. Mientras que en el método rápido no se presenta esta contradicción, porque al hervir el agua elimina todas las partículas de suelo que se separan de la probeta.

6). — *Conclusiones de los ensayos.* El ensayo de cambio volumétrico por absorción de agua nos indica el menor porcentaje

ENSAYO DE DURABILIDAD

Método: Rápido

CAMINO: Acceso a Villa Numancia Muestra N° VII

TIERRA A7

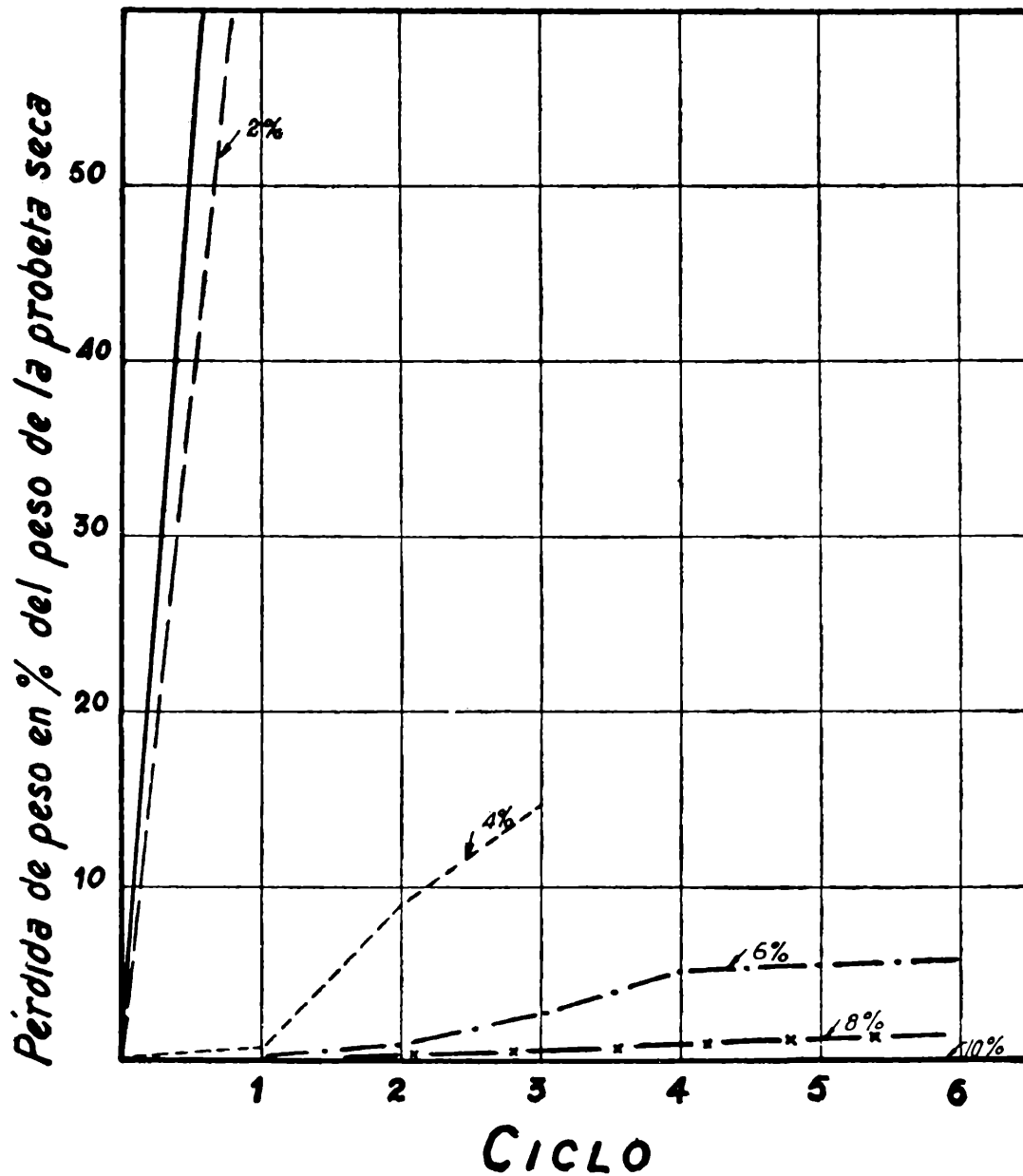


FIG. 52.

de cemento con el cual se eliminan prácticamente las variaciones volumétricas. Este menor porcentaje sería el que se debería emplear

en el caso de que se desee mejorar las características de un suelo malo donde se va a apoyar un pavimento, por ejemplo cuando se

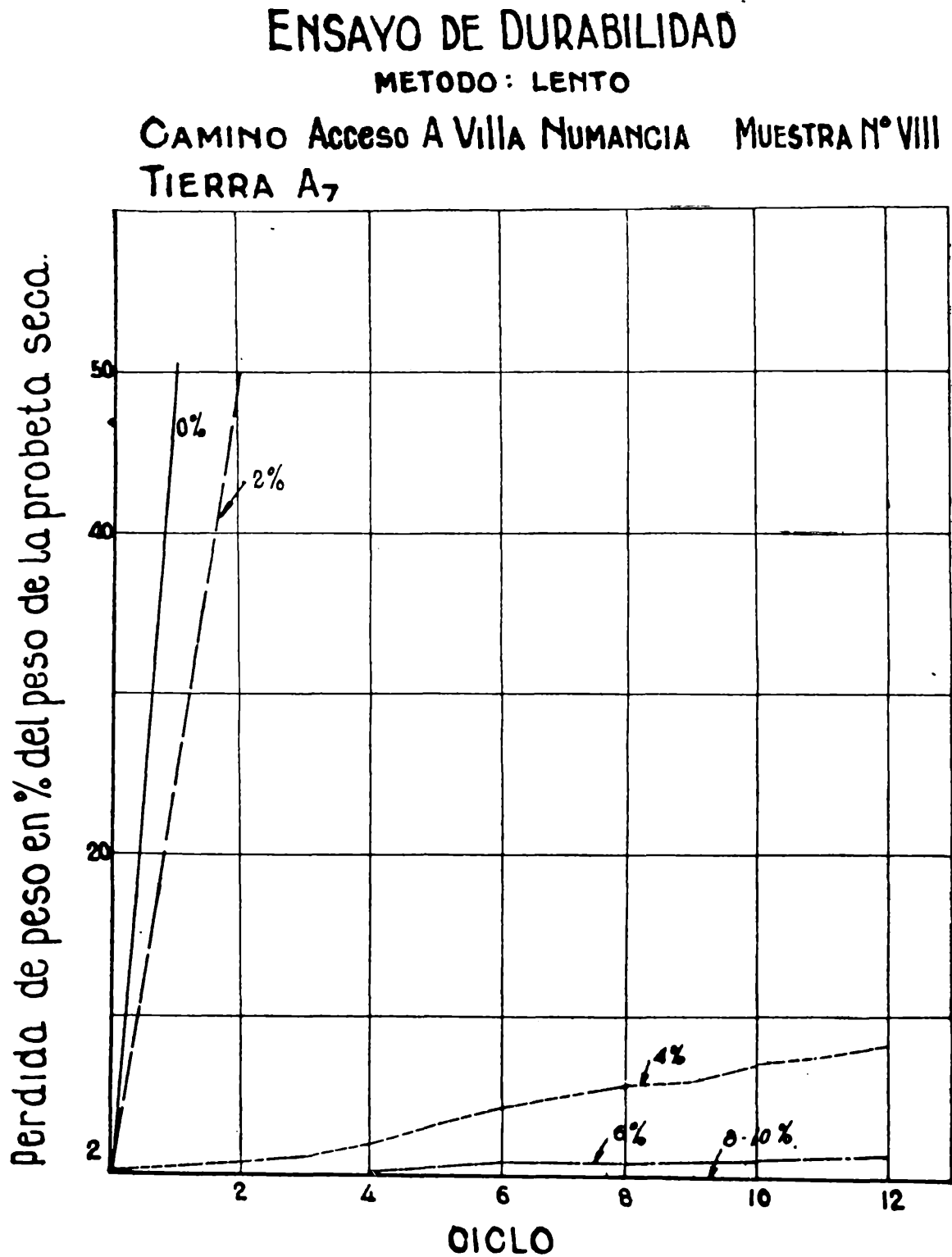


Fig. 53.

quiere construir una losa de hormigón sobre un suelo que al absorber agua puede producir movimientos perjudiciales.

TABLA N° XV

Suelo IV. Camino: Río I. — La Francia (provincia de Córdoba)

MÉTODO LENTO. — Pérdida de peso en % del peso de la probeta seca							MÉTODO RÁPIDO. — Pérdida de peso en % del peso de la probeta seca						
Ciclo	Cemento %						Ciclo	Cemento %					
	0	2	4	6	8	10		0	2	4	6	8	10
1	60,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1	100,0	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2		7,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
3		11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2			0,4	0,0	0,0	0,0
4		18,4	0,0	0,0	0,0	0,0							
5		23,0	1,5	0,0	0,0	0,0	3			0,5	0,0	0,0	0,0
6		27,2	2,4	0,0	0,0	0,0							
7		29,0	3,0	0,0	0,0	0,0	4			1,2	0,0	0,0	0,0
8		32,0	3,5	0,0	0,0	0,0							
9		34,0	4,0	0,0	0,0	0,0	5			2,0	0,0	0,0	0,0
10			4,6	0,0	0,0	0,0							
11			4,8	0,0	0,0	0,0	6			3,0	0,0	0,0	0,0
12			5,0	0,0	0,0	0,0							

Tabla N° XVI

Suelo V. Camino: Río I. — La Francia (provincia de Córdoba)

MÉTODO LENTO. — Pérdida de peso en % del peso de la probeta seca							MÉTODO RÁPIDO. — Pérdida de peso en % del peso de la probeta seca						
Ciclo	Cemento %						Ciclo	Cemento %					
	0	2	4	6	8	10		0	2	4	6	8	10
1	100	50	0,8	1,2	0,0	0,0	1	100	26	0,4	0,0	0,0	0,0
2			1,6	3,0	0,4	0,0	2			1,6	1,0	0,4	0,0
3			2,0	3,0	0,6	0,0	3			4,4	2,4	0,6	0,0
4			3,0	3,0	0,8	0,0	4			6,0	4,0	0,6	0,0
5			3,0	3,0	1,0	0,0	5			6,8	5,0	0,6	0,0
6			3,5	3,0	1,2	0,0	6					0,8	0,0
7			3,6	3,0	1,4	0,0							
8			3,6	3,0	1,6	0,0							
9			3,6	3,0	1,6	0,0							
10			3,8	3,2	1,6	0,0							
11			4,0	3,2	1,6	0,0							
12			4,4	3,4	1,6	0,0							

TABLA N° XVII

Suelo VI. Acceso a Villa Numancia (provincia de Buenos Aires)

Método LENTO. — Pérdida de peso en % del peso de la probeta seca.							Método RÁPIDO. — Pérdida del peso en % del peso de la probeta seca						
Ciclo	Cemento %						Ciclo	Cemento %					
	0	2	4	6	8	10		0	2	4	6	8	10
1	100	7,0	10,0	0,6	0,0	0,0	1	100	37	20	0,6	0,0	0,0
2		12,0	15,0	0,6	0,0	0,0	2		50	40	0,6	0,0	0,0
3		22,0	20,0	0,6	0,0	0,0	3			54	0,6	0,0	0,0
4				0,6	0,0	0,0	4				0,6	0,0	0,0
5				0,6	0,0	0,0	5				0,6	0,0	0,0
6				0,6	0,0	0,0	6				0,6	0,0	0,0
7				0,6	0,0	0,0							
8				0,6	0,0	0,0							
9				0,6	0,0	0,0							
10				0,7	0,0	0,0							
11				0,7	0,0	0,0							
12				0,8	0,0	0,0							

TABLA N° XVIII

Suelo VIII. Camino acceso a Villa Numancia (provincia de Buenos Aires)

Método LENTO. — Pérdida de peso en % del peso de la probeta seca							Método RÁPIDO. — Pérdida de peso en % del peso de la probeta seca						
Ciclo	Cemento %						Ciclo	Cemento %					
	0	2	4	6	8	10		0	2	4	6	8	10
1	100,0	50,0	0,5	0,0	0,0	0,0	1	100,0	75,0	1,0	0,0	0,0	0,0
2			1,0	0,0	0,0	0,0	2			9,0	1,0	0,4	0,0
3			1,2	0,0	0,0	0,0	3			14,8	3,0	0,6	0,0
4			2,0	0,0	0,0	0,0	4				5,0	0,8	0,0
5			3,0	0,8	0,0	0,0	5				5,6	1,0	0,0
6			4,2	0,8	0,0	0,0	6				5,8	1,4	0,0
7			5,0	0,8	0,0	0,0							
8			5,8	0,9	0,0	0,0							
9			6,0	1,0	0,0	0,0							
10			7,0	1,1	0,0	0,0							
11			7,6	1,1	0,0	0,0							
12			8,0	1,2	0,0	0,0							

La disminución de resistencia en las mezclas que han absorbido agua con respecto a aquellas que no han absorbido, junto con el ensayo de absorción, nos indica que conviene tomar todas las precauciones posibles al proyectar un camino de este tipo, para evitar que el agua llegue hasta la capa donde se apoya, porque si esto sucediera, debido a su gran capilaridad, la capa estabilizada absorbería agua y el esfuerzo portante de la misma disminuiría. Esto se puede conseguir elevando la cota del terraplén o impermeabilizando la superficie de apoyo.

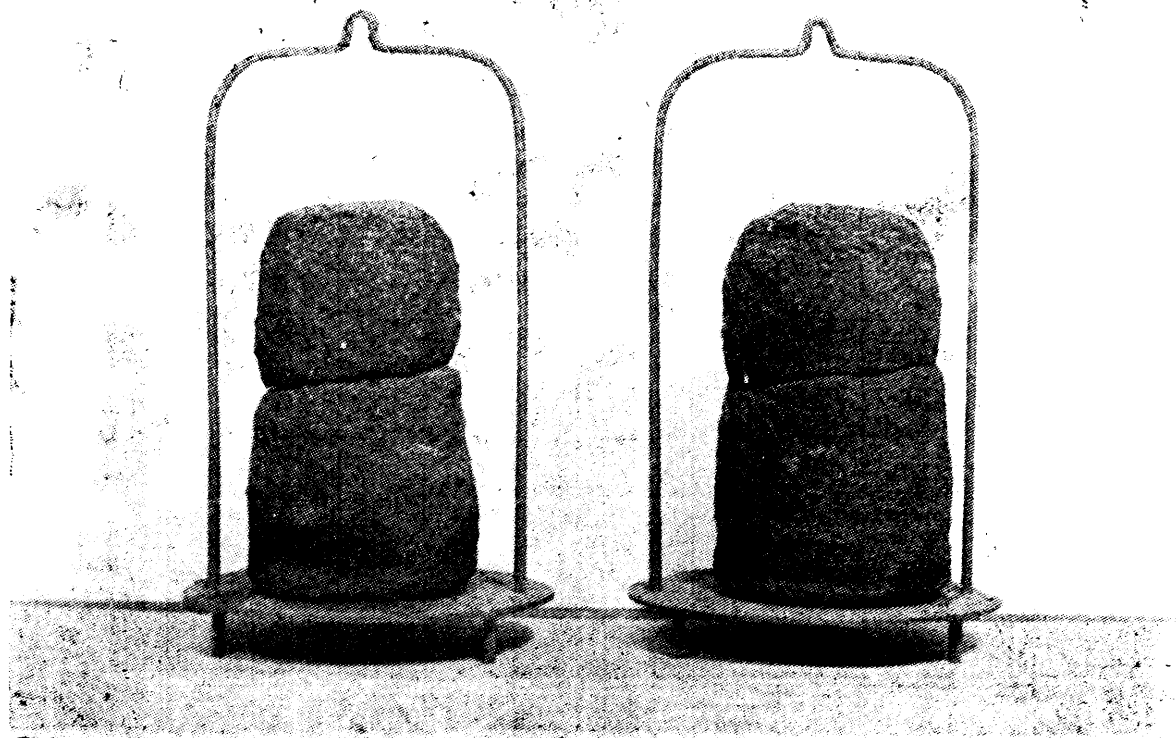


FIG. 54.

Si en el proyecto de una calzada se tiene en cuenta la resistencia de la mezcla húmeda para determinar la cantidad de cemento a agregar, el peligro de rotura en la misma quedaría eliminado. Respecto a este punto no tenemos datos precisos, pero se están realizando ensayos para poder determinar el espesor y mezcla más conveniente para los diferentes tipos de suelos en estado húmedo.

El ensayo de durabilidad es el que nos indica más claramente la cantidad de cemento a agregar a un suelo dado, para conseguir su estabilización. Cabe decir que es un ensayo muy enérgico y las mezclas que se comportan satisfactoriamente en este ensayo, tendrán un comportamiento satisfactorio en el camino, porque la acción de los agentes atmosféricos y tráfico liviano siempre serán menores que los que soportan en dicho ensayo.

II. — ENSAYOS DE VERIFICACION

Terminada la calzada es necesario constatar si la misma se ha construido de acuerdo al proyecto. Para ello se efectúan los ensayos de control, que son:

- 1°) Determinación de espesores;
- 2°) Determinación de compactación;
- 3°) Determinación de cantidad de cemento mezclado.

Las dos primeras determinaciones se efectúan dos veces, una vez en el camino en el momento de terminar un tramo, y de acuerdo a sus resultados se acepta o rechaza el mismo, volviéndose a repetir en laboratorio sobre probetas extraídas, con un aparato especial, después de siete días de terminado.

A. — *Ensayo en campaña inmediatamente de terminada la construcción de un tramo.* Las verificaciones de espesores y compactación se hacen a un mismo tiempo. Con un cuchillo o espátula se hace un agujero hasta encontrar la subrasante y con una reglilla se mide el espesor. El material de dicha perforación se recoge cuidadosamente en su totalidad y se pone dentro de un recipiente con tapa para enviarlo al laboratorio de campaña, donde se pesa en estado natural. Luego se seca en una bandeja de hierro con un calentador Primus o similar, y después de dejarlo enfriar se pesa nuevamente. La diferencia entre la primera pesada y la segunda nos da la humedad. La segunda pesada es el peso de la mezcla seca que dividido por el volumen que ocupaba en el camino, nos da el peso del litro seco.

Para determinar este volumen se pueden usar dos métodos.

a) *Usando arena de grano uniforme.* Esta arena se obtiene del siguiente tamizado:

Pasa tamiz N° 10	100 %
Retiene tamiz N° 16	100 %

o sea todo el material que pasa el tamiz N° 10 y es retenido en el N° 16.

Con un aparato como el de la Fig. 56a, se determina el peso del litro de la arena de grano uniforme en la siguiente forma. Se coloca dentro del embudo A, un kilo de arena y se la deja caer abrien-

do el obturador *C*, dentro del recipiente *B*, de volumen conocido. Con una regla metálica, se enrasa y se determina el peso del material contenido dentro del recipiente *B*; dividiendo este peso por el volumen del recipiente se tiene el peso del litro *P1* de la arena de grano uniforme.

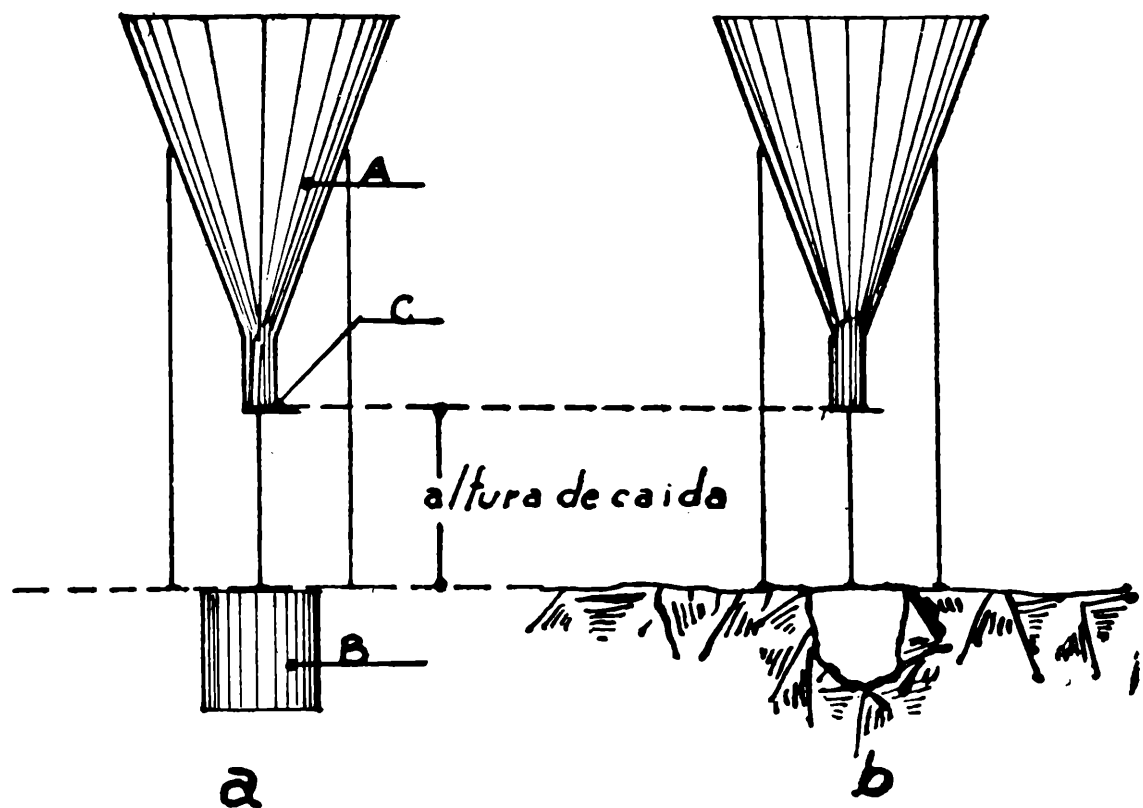


FIG. 56.

En el terreno se opera de la siguiente forma: Se coloca el embudo usado en la determinación anterior, con un kilo de la misma arena en correspondencia del agujero practicado en el terreno (Fig. 56b) y se deja caer la arena hasta rellenarlo. Determinando el peso del material sobrante dentro del embudo se tendrá el peso de la arena ocupada para ese efecto, *P2*. Dividiendo este peso *P2* por el peso del litro de la arena de grano uniforme *P1*, se obtiene el volumen buscado:

$$V = \frac{P_2}{P_1} \quad [17]$$

Al determinar el peso del litro de la arena hay que colocar las patas del embudo en correspondencia con el borde superior del recipiente *B*, para tener igual altura de caída que en la determinación de campaña. La Fig. 56 aclara lo dicho.

b) *Usando aceite pesado tipo SAE 50.* Este método consiste en usar aceite pesado para determinar el volumen del agujero practica-

do en el terreno. Para esto se llena una probeta graduada con el aceite especificado y se hace la lectura del volumen que ocupa; luego se llena el orificio practicado en el terreno rápidamente, de manera de evitar la poca absorción posible del suelo, y se vuelve a leer el volumen del aceite sobrante. Por diferencia se obtiene el volumen que llenó el agujero, que es el volumen que ocupaba el suelo extraído.

B. — *Ensayos en laboratorio sobre probetas extraídas del camino.* Estos ensayos se efectúan en probetas cilíndricas extraídas después de 7 días de terminado un tramo, con un aparato como el de la Fig. 55 y son remitidas al laboratorio convenientemente acondicionadas.

Las probetas se cortan por la mitad de su altura, y a la vez cada una de estos dos partes se fraccionan en tres trozos, aproximadamente iguales, y se practican los siguientes ensayos:

- 1°) Determinación de cemento portland;
- 2°) Determinación de peso del litro seco;
- 3°) Ensayo de durabilidad.

Para cada ensayo se toma un trozo de la parte superior y otro de la inferior. El ensayo de durabilidad se realiza al solo efecto de comparar resultados con el ensayo efectuado con probetas, ya explicado. A continuación trataremos los procedimientos para las determinaciones primera y segunda, porque la tercera se realiza en la misma forma que en el caso ya tratado, de probetas preparadas en laboratorio.

1) *Determinación de cemento portland.* Para la determinación del cemento en la mezcla suelo-cemento nos basamos en la determinación del Ca O en la mezcla. Para ello debemos previamente conocer la cantidad del Ca O en el suelo y en el cemento. Se procede así: Se funde en un crisol de platino, 2 gramos de la mezcla con $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ y $\text{CO}_3 \text{K}_2$. La operación dura más o menos 1 hora. Se toma el residuo con agua clorhídrica y se lleva a sequedad en baño de arena varias veces (por lo menos 2), humedeciendo cada vez con Cl H. Finalmente se toma con agua clorhídrica caliente y se filtra lavando bien. Se elimina así el Si O₂ en parte. El filtrado se lleva a sequedad con Cl H, se diluye en agua clorhídrica y se filtra nuevamente, quedando así retenido el total de Si O₂.

El filtrado con las últimas aguas de lavado se hierve con NO_3H , varios minutos, se deja enfriar algo, se agrega NH_3 hasta alcali-

nidad. Precipitan: $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{Al}(\text{OH})_3$. Se filtra lavando el precipitado y sólo nos resta dosar el CaO . Para ello el líquido de la última filtración se alcaliniza con NH_3 y en caliente se agrega oxalato de amonio precipitando el calcio en forma de sal insoluble. Se deja reposar y se filtra por decantación. Se lava muy bien. Se toma el precipitado con ClH y luego con SO_4H_2 se evapora a sequedad y se calcina. Así se obtiene el calcio en forma de sulfato.

Observación: Teniendo en cuenta la cantidad ínfima de cemento que existe en 1 gramo de mezcla (para mezclas con 10 % de cemento más o menos) conviene tomar por lo menos 2 gramos de muestra. Hay que advertir que el único objeto del análisis es dosar el calcio.

2) *Determinación de peso del litro seco.*

a) *Método del kerosene.* Del trozo elegido para este ensayo se sacan 30 gramos en un pesafiltro para determinar humedad. El resto se pesa en el aire y luego se sumerge en kerosene hasta su completa saturación. Una vez conseguido esto, se seca con un papel secante eliminando el líquido de la superficie de la muestra y se pesa nuevamente. En seguida se determina su peso suspendido dentro del kerosene. La diferencia entre el peso en el aire saturado y el peso sumergido, dividido por el peso específico del kerosene, nos da el volumen de la muestra. Conocido el volumen V , el peso en estado húmedo P , y el contenido de humedad H , se calcula el peso del litro seco por la siguiente fórmula:

$$PLS = \frac{P \times 100}{V(100 + H)} \quad [18]$$

PLS = Peso del litro seco.

V = Volumen de la muestra.

P = Peso de la muestra húmeda.

H = Humedad en por ciento del peso seco de la muestra.

b) *Método del mercurio.* Igual que en el caso anterior, del trozo elegido se sacan 30 gramos en un pesafiltro para determinar humedad. La porción sobrante se pesa en el aire y luego es introducida en un recipiente, Fig. 57, que se cierra herméticamente con una tapa A , perforada en un punto cerca de la periferia donde está unido un tubo B de vidrio, con una marca C .

La tapa se ajusta de tal modo que el volumen de mercurio necesario para llenar el recipiente hasta la marca *C* se mantiene constante. Se determina el volumen del recipiente llenándolo con mercurio hasta dicha marca, se trasvasa cuidadosamente, se introduce la muestra en el recipiente y se llena con el mismo mercurio nuevamente hasta la marca; se mide el sobrante del mismo en una probeta graduada y este volumen es el de la muestra. El peso del litro seco se calcula por la fórmula número (18).

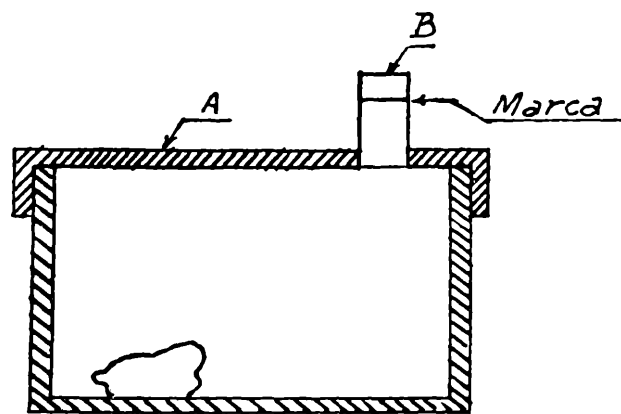


FIG. 57.

La Tabla XX contiene los resultados obtenidos por el método del kerosene en probetas extraídas de los tramos de Villa Numancia.

III. MODIFICACIONES DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS POR ADICION DE CEMENTO

Las mezclas de suelo y cemento no tienen como única aplicación la de conseguir el endurecimiento de la superficie de un camino para tráfico liviano. La adición del cemento a un suelo, también puede ser usada para cambiar las características poco satisfactorias del mismo, para subrasantes de pavimento de tipo superior, como el hormigón, o del tipo medio como el macadam y estabilizado.

Es conocido el fenómeno de las rajaduras que se presentan en las losas de hormigón armado por cambios de volumen de la subrasante. También es sabido que las subrasantes de los pavimentos estabilizados tienen que reunir una serie de características para obtenerse un camino satisfactorio y para ello se usa tierra del grupo A-4 que experimenta reducidos cambios volumétricos al absorber o al perder humedad.

Trabajos de laboratorio en mezcla de suelo y cemento nos han

CUADRO XX

Muestra	1 A	1 B	2 A	2 B	3 A	3 B	4 A	4 B	5 A	5 B	6 A	6 B	7 A	7 B
A	25,36	25,63	33,58	34,71	28,13	25,79	36,63	19,12	45,33	42,22	47,67	82,21	53,11	45,25
B	28,49	29,06	38,28	39,32	31,90	29,62	41,18	21,86	53,55	49,35	55,87	37,85	62,31	54,32
C	6,10	6,16	5,36	5,76	5,22	5,42	6,65	6,54	3,92	4,28	4,50	4,26	4,58	4,35
D	15,95	16,10	21,16	22,18	17,46	16,31	22,70	12,09	28,22	26,64	30,40	20,18	33,47	28,15
E	23,82	24,05	31,78	32,72	26,58	24,40	34,20	17,87	43,56	40,41	45,53	30,84	50,67	43,28
F	12,54	12,95	17,12	17,14	14,44	13,31	18,48	9,77	25,13	22,71	25,47	17,67	28,84	26,17
G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H	15,4	15,95	21,0	21,1	17,77	16,38	22,75	12,0	30,9	27,9	31,3	21,7	35,5	32,2
$\text{Peso del litro} = \frac{E}{H}$														
Referencias: A = Porción superior — B = porción inferior.														

indicado que las características del suelo son transformadas o alteradas por la adición de cemento; particularmente en los cambios de volúmenes provocados por cambios de humedad.

En la Tabla XXI están resumidos los resultados obtenidos con distintas mezclas del suelo VIII y cemento, ensayadas a diferentes edades. Se tomaron cinco porciones de dicho suelo y se mezclaron con 2, 4, 6, 8 y 10 por ciento de cemento y agua en una cantidad igual a la humedad óptima. Cada porción se dividió en tres partes y se guardaron dentro de un frasco para ser ensayadas a los 7,20 y 28 días.

Al cumplir la edad cada muestra fué secada, pulverizada y tamizada por el tamiz N° 40, y con el material que pasó dicho tamiz se determinaron las constantes físicas. Además de las determinaciones en los tiempos fijados, se realizaron otras, después de uno o dos días de mezclado, constatándose una influencia prematura de la hidratación del cemento en las características del suelo. También se determinaron las constantes físicas del suelo virgen.

Observando la Tabla XXI y comparando las constantes del suelo virgen y las de las mezclas de suelo y cemento, se verá que las mismas han experimentado cambios.

El límite plástico del suelo virgen es igual a 25 y con el agregado de un 10 % de cemento llega a un máximo de 39 a los 28 días.

Se sabe que la humedad contenida en un suelo, se evapora más lentamente cuando el contenido de la misma está por debajo del límite plástico que cuando está por encima de él. Por lo tanto al elevarse el límite plástico de las mezclas con la adición de cemento, se conseguirá una menor pérdida de humedad y por consiguiente menor cambio de volumen, en comparación con el suelo virgen en igualdad de condiciones. Esto será de mucha ayuda para reducir la deformación del pavimento.

El índice de plasticidad en el suelo virgen es de 16.4 y con 10 % de cemento y a 28 días se reduce a 2.6. Esto indica que la cohesión de las partículas en las mezclas es materialmente reducida y su índice de plasticidad se aproxima a los valores encontrados en las tierras limosas y arenosas.

La humedad equivalente del terreno del suelo virgen, es de 33,3 y en las mezclas de suelo con 10 % de cemento a 28 días es de 40.

Las relaciones entre los volúmenes al límite de contracción y los volúmenes a humedad equivalente del terreno, han sido calculadas (Tabla XXI) para indicar el máximo del cambio de volumen probable cuando la humedad contenida en el suelo o mezcla fuera la

humedad equivalente del terreno, y debido a un período largo de tiempo caluroso y seco, ésta se redujera al límite de contracción. Observando estas relaciones se notará que el suelo virgen puede sufrir un 20,6 % de cambio de volumen, mientras que con 4 % de cemento y a los 28 días, este cambio es de 12 % y con 10 % de cemento a los 28 días se reduce al 8 %.

El límite de contracción del suelo virgen es de 15,7 y con la adición de 10 % de cemento y a los 28 días llega a 31,3.

Este fenómeno es de mucho interés para suelos que experimentan grandes cambios de volumen, produciendo deformaciones en el pavimento, por tres razones particulares.

1°) Recordemos que el límite de contracción de un suelo es el porcentaje máximo de humedad, referido al peso de suelo seco, para el cual una muestra no se contrae cuando la humedad baja de ese límite y se dilata cuando la humedad excede ese límite.

Luego, un aumento en el límite de contracción eleva el contenido de humedad permitido, el cual no producirá cambios de volumen. En el suelo virgen cualquier aumento en el contenido de humedad arriba de 15,7 produciría aumento de volumen. En suelos modificados, conteniendo 4, 6, 8 y 10 por ciento de cemento, el contenido de humedad debe exceder de 30 % para que se produzcan cambios de volumen.

2°) Un aumento apreciable en el límite de contracción con un pequeño aumento en la humedad equivalente del terreno reduce las posibles fluctuaciones de volumen entre una condición seca (límite de contracción) y un probable contenido máximo de humedad (humedad equivalente del terreno). En el caso de la tierra virgen la diferencia entre el límite de contracción y la humedad equivalente del terreno es 17,6. Esta diferencia es progresivamente reducida en tierras modificadas con cemento a 9,7 para 4 % de cemento, y a 7 para 10 % de cemento.

3°) Un aumento en el límite de contracción, acompañado con una disminución o constancia en el límite líquido dará como resultado una disminución en la variación del volumen, que puede producirse entre el estado más seco del suelo o mezcla (límite de contracción) y el más mojado (límite líquido). La tierra virgen tiene una diferencia de 25,5 para estas condiciones y cuando el contenido de cemento aumenta, la diferencia es progresivamente reducida hasta casi 7,7 para contenido de 10 % de cemento.

La relación entre los volúmenes al límite de contracción y los volúmenes al límite líquido está dada en detalle en la Tabla XXI. Se notará que el volumen de la tierra virgen en el límite de con-

CUADRO XXI

	Suelo virgen	Mezcla suelo y cemento 7 días					Mezcla suelo y Cemento 20 días					Mezcla suelo y cemento 28 días				
		Cemento %					Cemento %					Cemento %				
		2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
Límite líquido	41,2	41,8	41,6	41,5	40,3	40,8	38,2	39,0	39,0	39,3	39,2	39,4	39,3	39,6	39,2	39,0
Límite plástico	24,8	26,9	29,5	30,8	30,9	33,0	27,7	31,7	35,2	36,5	36,3	30,1	23,7	36,3	38,0	38,0
Índice plasticidad	16,4	14,9	12,2	10,7	9,4	7,8	10,5	7,3	3,8	2,7	2,9	9,3	5,6	3,3	1,2	1,0
Humedad equivalente de T.	33,3	32,4	34,0	32,8	32,2	36,1	34,1	36,4	35,9	38,1	38,0	37,8	39,8	37,7	40,4	40,9
Vol. al límite de cont. Vol a H. E. T. $\times 100$	79,4	81,4	85,2	86,4	92,6	92,0	—	—	—	—	—	82,7	88,0	91,3	—	39,0
Límite de contracción	15,7	19,0	22,7	22,4	26,8	29,2	—	—	—	—	—	24,2	30,1	30,9	33,4	31,3
Relación de contracción	1,8	1,68	1,57	1,57	1,50	1,43	—	—	—	—	—	1,55	1,44	1,39	1,41	1,36
Vol. al límite de cont. Vol. a L.L. $\times 100$	68,8	72,4	77,2	77,2	82,0	85,7	—	—	—	—	—	81,0	88,5	89,3	89,3	91,0
Grupo	A ₇	A ₇₋₆	A ₇₋₅	A ₆₋₇	A ₅₋₇	A ₆	—	—	—	—	—	A ₆₋₄	A ₆	A ₆	A ₆	A ₆

tracción es el 68,8 % del volumen en el límite líquido; cuando el contenido de cemento aumenta este cambio de volumen es reducido sucesivamente a casi 89 % para las mezclas de 4, 6, 8 y 10 % de cemento. Estas mezclas de suelo y cemento tienen solamente una tercera parte del posible cambio máximo de volumen que posee el suelo virgen. En la última línea de la Tabla XXI, se indica al grupo de suelo a que pertenece de acuerdo a las constantes físicas según la clasificación U.S.B.P.R. Se notará que las características del suelo virgen, A7, son gradualmente cambiadas por la adición de cemento para dar una tierra A5-7 y A5.

Las propiedades asignadas al grupo A5 por la U.S.B.P.R., son:

1°) Suelo capilares y con tendencia muy marcada a absorber agua y retenerla en cantidad suficiente como para perder estabilidad.

2°) En estado seco presentan una superficie firme y las ruedas de los vehículos dejan muy poca huella.

3°) Por ser suelos capilares son afectados en forma perjudicial por las bajas temperaturas.

4°) Estos suelos son expansivos y aumentan de volumen produciendo rajaduras en los pavimentos.

5°) Tienen propiedades elásticas. Bajo la acción de las cargas, estos suelos se comprimen y recobran su volumen primitivo tan pronto deja de actuar la carga.

No todas estas propiedades se cumplen en las mezclas de suelo y cemento a pesar de pertenecer al grupo A5.

La primera se cumple y lo podemos constatar en el ensayo de absorción, que, a pesar de existir una disminución de la misma con el aumento de cemento no deja de ser despreciable. La mezcla que absorbió menor cantidad fué el suelo VIII con 10 % de cemento, del tramo experimental de Villa Numancia, que alcanzó a 20 % del volumen total de la probeta. El volumen de vacíos expresado en por ciento del volumen de la probeta seca era de 33,8 %, y como vemos el agua absorbida representa el 59 % del volumen de los vacíos.

La segunda propiedad también se cumple y creemos que no es necesario ningún comentario.

La tercera propiedad, — efecto de las heladas — en los suelos con cierto contenido de cemento, queda completamente anulada. Esto se ha comprobado con el ensayo de helado y deshelado realizado por los investigadores norteamericanos. Este ensayo consiste en lo siguiente: después de 7 días de preparadas las probetas, son

colocadas dentro de una funda de fieltro y humedecidas durante 5 ó 7 días para permitir una completa absorción por capilaridad. Diariamente se controlan sus pesos y volúmenes. Después se trasladan a un refrigerador capaz de congelar el centro de la muestra en tres horas y hacer descender la temperatura en el mismo punto a 26°C bajo cero, en 20 horas. Luego de transcurridas las 20 horas se sacan del refrigerador y se colocan, siempre dentro de su funda de fieltro, en un ambiente húmedo, mojando también el fieltro para permitir un total descongelamiento, debido a la absorción por capilaridad. Se pesan y miden y vuelven luego al refrigerador por otras 20 horas, se vuelven a mojar y derretir el hielo. El ciclo completo abarca congelar 12 veces, y 12 veces descongelar.

Este ensayo de helado y deshelado no lo realizamos por considerarlo innecesario ya que nuestro clima no registra temperaturas tan bajas.

La cuarta propiedad — pronunciados cambios volumétricos por absorción de agua — tampoco se cumple en las mezclas de suelo y cemento. Hemos visto en el estudio de las constantes de la mezcla de suelo y cemento, y en el ensayo del cambio volumétrico por absorción de agua, que los cambios volumétricos disminuían con la adición de cemento en un gran porcentaje, y si no se llegaba a eliminarlos, por lo menos eran menores o iguales que los cambios volumétricos de las mejores clases de suelo (A1 y A2).

Respecto a la quinta propiedad que se refiere a las propiedades elásticas, hemos comprobado que no se cumple. Nos inducen a afirmarlo las observaciones efectuadas en los tramos experimentales. Tanto en el tramo Río Primero — La Francia como en el acceso a Villa Numancia, éstos están adyacentes a otros tipos de estabilizado y se notó, después de cuatro meses de construído, que la carpeta bituminosa que los cubría no presentaba ninguna deformación, mientras que en los tramos adyacentes de otro tipo de estabilizado se notaban ciertas irregularidades.

Si el suelo tratado con cemento fuera elástico, al ser sometido al tráfico, de ninguna manera hubiera permitido que la carpeta de recubrimiento permaneciera intacta, sino que se habrían producido movimientos destruyéndose la carpeta.

IV. — CLASIFICACION DE LOS SUELOS EN GRUPOS SEGUN SU COMPORTAMIENTO AL SER TRATADOS CON CEMENTO

La Asociación de Cemento Portland de Chicago, relacionando los ensayos de las mezclas de suelo con cemento portland, con las constantes físicas y granulometría de los suelos, dividió a los mismos en cuatro grupos. Estos grupos de suelos se determinaron teniendo en cuenta la efectividad y resultados logrados después de ser tratados con cemento.

Grupo I. — Tierra *con muy marcado* endurecimiento por la adición de cemento.

Grupo II. — Tierra *con marcado* endurecimiento por la adición de cemento.

Grupo III. — Tierra con un endurecimiento considerable al agregársele una cantidad de cemento razonable.

Grupo IV. — Comprende algunos de los peores suelos de los Estados Unidos de Norte América.

Esta clasificación es de gran importancia, por que se ha visto que existe una manifiesta y definida relación entre las constantes físicas y granulometría, con el comportamiento de las mezclas. De esa manera con el análisis del suelo de acuerdo al método standard es posible vaticinar con precisión su comportamiento al ser tratado con cemento.

En la Tabla XXII se encuentra detallada las constantes físicas y granulometría de los suelos estudiados, y en la Tabla XXIII, están resumidos los resultados generales relacionando el comportamiento obtenido en los ensayos de durabilidad y las constantes, granulometría y curvas compactación-humedad de los suelos.

Los suelos del Grupo I, (2a, 3a, 5c), son suelos arenosos y dan buenos resultados con la adición de pequeña cantidad de cemento.

Estos ejemplares con el 6 % de cemento dan resultados muy buenos. Los cambios de volumen son insignificantes con 2 % de cemento. Con estos suelos se obtuvieron los mejores resultados.

Los suelos del Grupo II, (4a, 5a, 7a, 7f), son limosos y eran decididamente endurecidos con la adición del 6 % de cemento. Las relaciones entre el límite líquido e índice de plasticidad y límite líquido y contenido de arcilla de estos dos grupos, están representados en la Fig. 58. Se notará que las constantes para estas tie-

TABLA XXII. — Constantes físicas y tamaño de granos de los suelos

Muestra laboratorio No	Humedad óptima %	Límite líquido (L. L.)	Límite plástico (L. P.)	Índice plástico (I. P.)	Límite de contrac.	I. de C.	H. E. C.	H. E. C.	Arena arriba 0.05 mm	Limo mm 0.5-0.05	Arcilla mm 0.05-0.00	Cales 0.01- mm	P. E.
I 2 a	10	19	17	2	15	1,8	10	18	77	1	22	5	2.662
I 3 a	11	18	—	0	28	1,5	7	23	88	1	11	7	2.690
II 4 a	16	30	23	7	20	1,7	28	25	7	69	24	10	2.683
III 5 a	31	65	35	30	31	1,5	49	43	6	24	70	17	2.647
I 5 c	17	35	33	3	30	1,5	19	35	61	23	16	10	2.732
II 5 a	16	32	25	7	22	1,7	26	28	16	66	18	6	2.647
III 6 a	20	58	22	36	13	1,9	34	28	23	28	49	32	2.680
6 b	20	62	29	33	13	1,9	40	39	23	35	42	24	2.815
6 c	22	61	23	38	10	2,1	39	34	10	43	47	20	2.720
6 d	19	48	20	28	10	2,0	31	28	14	48	38	28	2.696
II 7 a	17	35	21	14	16	1,8	25	21	14	55	30	13	2.635
III 7 b	18	44	24	20	18	1,8	52 *	23	5	19	76	32	2.727
7 c	20	60	27	33	14	1,9	39	34	11	43	46	29	2.711
7 d	28	118	35	83	14	1,9	98 *	50	14	18	68	**	2.761
7 e	22	67	22	45	12	1,9	58 *	32	32	16	52	28	2.721
II 7 f	21	46	29	17	20	1,7	31	29	20	60	20	10	2.590
8 a	81	170	—	0	66	0,8	9,2	2,44	10	80	10	7	2.077

		Grupo I				Grupo II				
Características del suelo	Muy marcado endurecimiento con adición de cemento. Alta resistencia al: (1°) Secado y humedecido. (2°) Congelar y descongelar.					Acentuado endurecimiento con adición de cemento y además buena resistencia al: (1°) Secado y humedecido. (2°) Congelar y descongelar.				
	Nº lab.	U. S. B. P. R. Clase tierra	Descripción	Valor del ensayo	Nº lab.	U. S. B. P. R. Clase tierra	Descripción	Valor del ensayo		
Límite líquido	2 a	A. 2	Loam. aren. fino. - C. S.	19	4 a	A. 4	Loam. lim. Arcill. - Mo.	30		
	3 a	A. 3	Arena fina. - Calif.	18	5 d	A. 4	Loam. lim. denso. - Idaho ...	32		
	5 c	A. 5	Loam aren. micác. - Maryland	36	7 a	A. 4	Loam. lim. liv. - Kansas	35		
Índice de plasticidad	2 a	A. 2	Loam. aren. fino. - C. C.	2	4 a	A. 4	Loam. lim. arcill. - Mo.	7		
	3 a	A. 3	Arena fina. - Calif.	0	5 d	A. 4	Loam. lim. denso. - Idaho ...	7		
	5 c	A. 5	Loam. aren. micác. - Maryland	3	7 a	A. 4	Loam. lim. liv. - Kansas	14		
Contenido arcilla.	2 a	A. 2	Loam arenoso fino. - C. S.	22	4 a	A. 4	Loam. lim. arcilla. - Mo.	24		
	3 a	A. 3	Arena fina. - Calif.	11	5 d	A. 4	Loam. lim. denso. - Idaho ...	18		
	5 c	A. 5	Loam. aren. micác. - Maryland	16	7 a	A. 4	Loam. lim. liv. - Kansas	30		
Percent. sólidos a máxima densid.	2 a	A. 2	Loam arenoso fino. - C. S.	73	4 a	A. 4	Loam. lim. arcilla. - Mo.	66		
	3 a	A. 3	Arena fina. - Calif.	65	5 d	A. 4	Loam. lim. denso. - Idaho ...	65		
	5 c	A. 5	Loam. aren. micác. - Maryland	63	7 a	A. 4	Loam. lim. liv. - Kansas	66		
Naturaleza de la curva de Proctor	2 a	A. 2	Loam. aren. fino. - C. S.	Regular	4 a	A. 4	Loam. lim. arcill. - Mo.	Regular		
	3 a	A. 3	Arena fina. - Calif.	Regular	5 d	A. 4	Loam. lim. denso. - Idaho ...	Regular		
	5 c	A. 5	Loam. aren. micác. - Maryland	Regular	7 a	A. 4	Loam. lim. liv. - Kansas	Regular		
					7 f	A. 7-4	Loam. lim. liv. - Illinois	20		
					7 f	A. 7-4	Loam. lim. arcilla. - Mo.	66		
					7 f	A. 7-4	Loam. lim. denso. - Idaho ...	65		
					7 f	A. 7-4	Loam. lim. liv. - Kansas	66		
					7 f	A. 7-4	Loam. lim. - Illinois	60		
					4 a	A. 4	Loam. lim. arcill. - Mo.	Regular		
					5 d	A. 4	Loam. lim. denso. - Idaho ...	Regular		
					7 a	A. 4	Loam. lim. liv. - Kansas	Regular		
					7 f	A. 7-4	Loam. lim. liv. - Illinois	Regular		

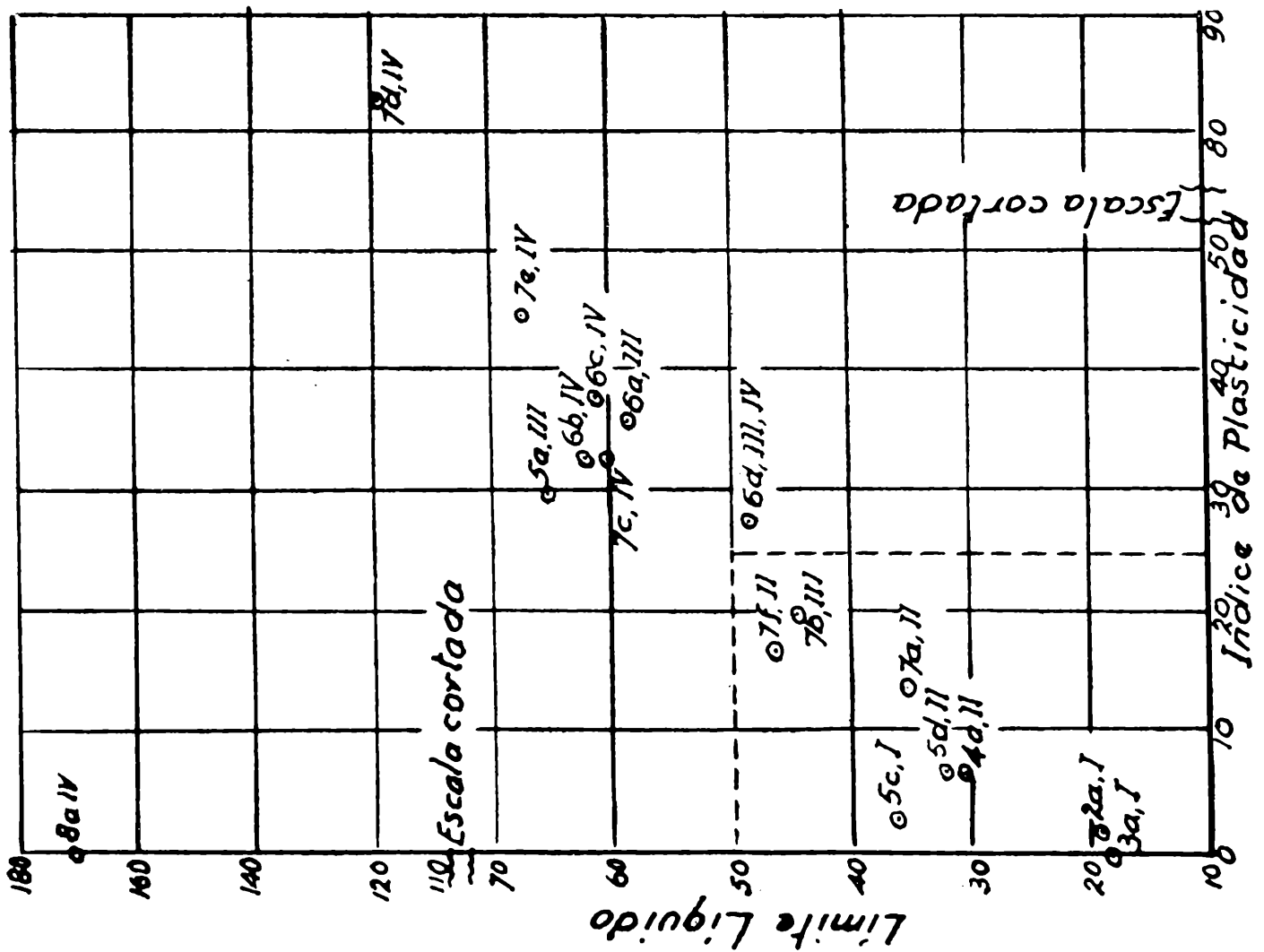
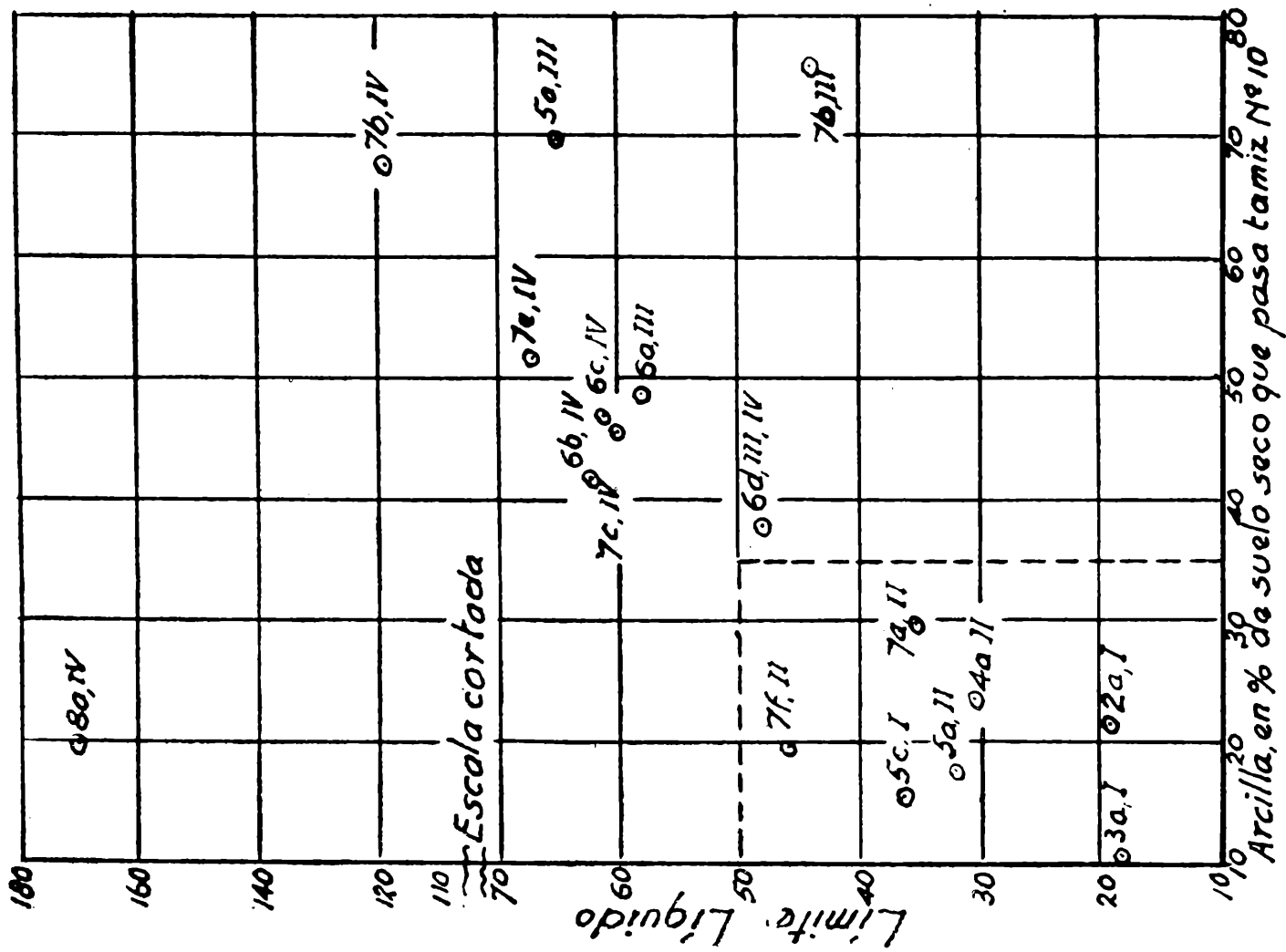


Fig. 58.

rras agrupadas en la esquina inferior izquierda de los gráficos, son:

- 1° Límite líquido inferior a 50.
- 2° Índice de plasticidad inferior a 25.
- 3° Contenido de arcilla inferior a 35.

También trataron de relacionar las constantes físicas con los ensayos de durabilidad, pero no se encontró que guardaran ninguna relación constante entre ellas.

En la Tabla XXIII están indicados los porcentajes de sólidos a máxima compactación y el tipo de curva de Proctor de cada tierra.

Se notará que todas las tierras agrupadas en I y II, poseen curva de Proctor de características regulares y el porcentaje de sólidos contenido, cuando fueron compactadas a humedad óptima, es de 60 % más.

Los suelos del Grupo III fueron endurecidos apreciablemente con la adición de cemento de 10 % el cual materialmente redujo los cambios de volumen por absorción de humedad y pérdida de peso en el ensayo de durabilidad. Relacionando límite líquido e índice de plasticidad, y límite líquido y contenido de arcilla en estos suelos, Fig. 58, se ve que no hay una simple relación entre estas constantes. También en la Tabla XXIII se verá que el porcentaje de sólidos contenido, cuando fueron compactados a una humedad óptima, varía entre 53 y 64, y las curvas de Proctor son regulares o regulares-irregulares.

Los suelos del Grupo III representan a los subsuelos más comunes encontrados en Estados Unidos de Norte América. Es aconsejable que antes de efectuar trabajo alguno de construcción, realizar los ensayos de durabilidad y cambios volumétricos por lo menos, para determinar los contenidos de cemento a adoptar.

Los suelos del Grupo IV, (6b - 6c - 7c - 7d - 7e - 8a), contienen alto porcentaje de arcilla y la mayoría tienen coloides activos, lo cual queda evidenciado por la curva de Proctor muy irregular. Los estudios de estos suelos no fueron completados.

Conclusiones generales

1) Un estudio de la Tabla XXIII indica una correlación directa entre las influencias del endurecimiento del cemento sobre las mezclas de suelo y cemento y las características del suelo.

Cuando el estudio sobre estas mezclas se intensifique, se podrá relacionar más los resultados de durabilidad con las constantes fi-

sicas y granulometría de los suelos, de manera de poder llegar a predecir la cantidad de cemento a usarse con un suelo, conociendo solamente las constantes físicas y granulometría del mismo, sin necesidad de realizar los ensayos de durabilidad, cambio volumétrico, etc.

2) Los suelos pueden ser clasificados en Grupos I, II, III y IV. Su comportamiento a la adición de cemento, indica que su buen resultado disminuye a medida que aumenta el número del grupo.

3) Para que un suelo pueda ser catalogado en el Grupo I o II, se precisa:

A. — Que su *límite líquido* sea inferior a 50.

B. — Que su *índice de plasticidad* sea inferior a 25.

C. — Que el contenido de arcilla sea inferior a 35.

D. — Que el porcentaje de sólidos de máxima densidad sea de un mínimo de 60.

E. — Es necesario que el suelo posea « una curva regular de humedad-densidad ».

Si un suelo reúne las especificaciones precitadas, es evidente que puede ser positivamente endurecido por la adición de un razonable porcentaje de cemento.

4) Si un suelo reúne o abarca aproximadamente dos o tres de dichas especificaciones, pero no cumple con las demás, con toda probabilidad ha de ser catalogado como perteneciente al Grupo III.

5) Si un suelo no reúne ninguna de las especificaciones precitadas, pertenece al Grupo IV, grupo que requiere una posterior investigación.

6) Los suelos que por su clasificación caen dentro de los Grupos I y II, muestran un muy acentuado endurecimiento con la adición de cemento y buena resistencia al « secado y humedecido » y al ensayo de « congelar y descongelar ».

Esto va acompañado de:

A. — Gran reducción de capilaridad.

B. — Muy escaso cambio de volumen.

C. — Muy escaso cambio de humedad.

D. — Muy reducida pérdida por desmenuzamiento, cuando las muestras de la mezcla tierra-cemento son sometidas a los ciclos de ensayo de durabilidad.

V. — NORMAS PARA EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO
EN EL CAMINO, PARA EFECTUAR LOS ENSAYOS DE INVESTIGACION

Previamente a la extracción del suelo para los ensayos de investigación, se realiza el estudio de los mismos a lo largo de la traza del camino. Para esto se efectúan perforaciones con un barreno siguiendo las normas *D 420-35T* de la A.S.T.M., o las descripta por el Ingeniero Adolfo Grissi en la Conferencia ya citada.

Las muestras así obtenidas se envían al laboratorio para ser ensayadas, y con los resultados se construye el perfil geológico.

En el caso de tratarse de un camino con terraplenes existentes, se extraen muestras del terraplén hasta un espesor de 60 cm., y por separado del costado del camino y afuera de los préstamos existentes, para trazar el perfil geológico del terreno natural.

Con el resultado de los ensayos se divide el camino en zonas.

Si el terraplén tiene que ser construido, se prevé en el proyecto el suelo que va a ir a formar la capa del coronamiento en un espesor de 30 cm. y de todos los tipos de suelo a usarse para ese fin se saca una muestra representativa en la cantidad que se indicará más adelante.

En el caso de tener que usarse el suelo existente en el terraplén, se divide el camino en tantos tramos como tipos de suelo, y de cada uno de ellos se saca una muestra representativa.

Puede suceder el caso de un terraplén existente que por ser su cota de coronamiento insuficiente, o por estar formado en su espesor superior por suelos muy malos y pocos definidos, sea necesario construir una nueva capa. En este caso con ayuda del perfil geológico del terreno natural, se prevé el suelo a emplear, y entonces las muestras serán extraídas de los lugares de los futuros préstamos.

Toda muestra debe ser identificada colocándose una tarjeta donde se especifique claramente: el camino al cual pertenece, ubicación, espesor, capa, sobre qué área se encuentra o su volumen utilizable. Los datos de identificación nunca son excesivos.

VI. — ESQUEMA DE LOS PASOS A SEGUIR EN LOS ENSAYOS DE INVESTIGACION. CANTIDADES NECESARIAS DE SUELO PARA CADA ENSAYO Y CANTIDAD TOTAL

a) Preparación de la muestra y análisis mecánico y físico.

La muestra una vez en el laboratorio, se pulveriza con un rollo de madera y se separa en dos porciones tamizándola con el tamiz N 4, calculando los porcentajes que corresponden a cada una. Luego de ser bien homogeneizada se separa un kilogramo de la porción que pasa el tamiz N° 4, para repetir los ensayos físicos y mecánicos.

El total de la muestra se envasa en un recipiente de lata con tapa donde permanecerá durante la duración de los ensayos; esto evitará cambios de humedad.

En el momento de ser envasada se extraen tres porciones de distintos lugares de la muestra para calcular la humedad higroscópica. El promedio de estos valores es el que se tiene que tener en cuenta cuando se calcula el agua para los ensayos.

Con la porción retenida por el tamiz N° 4 se efectúa un análisis granulométrico con los tamices de 1", $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{4}$ ". Las porciones retenidas por cada tamiz se expresan en por ciento del peso seco, y se incluyen en los cálculos de la curva granulométrica del total de la muestra.

b) Determinación de la humedad para moldear las probetas.

La humedad para moldear los probetas es la humedad óptima determinada en el ensayo de Proctor por el método de puntos inmediato del suelo virgen. Si se desea tener una idea de esta humedad, se busca un suelo ya ensayado, cuyas constantes físicas y ensayo mecánico sean similares; la humedad óptima obtenida para éste será aproximadamente la misma que para el suelo de nuestro caso. Luego se fija como límite inferior o punto de partida del ensayo el 10 % menos de la humedad así encontrada y con ella se determina el primer punto de la curva. Para el segundo punto se aumenta a la humedad en un 3 %, para el tercero y cuarto 2 % y los subsiguientes el 1,5 % hasta conseguir que el suelo pase por su punto de peso del litro máximo.

Con este criterio, con siete determinaciones se puede terminar el ensayo. Calculando dos kilogramos de suelo para cada una se necesitaría un total de catorce kilogramos.

c) *Moldear las probetas.* Una vez obtenida la humedad óptima se procede a moldear las probetas. Los porcentajes de cemento a usar son 0, 2, 4, 6, 8 y 10, y el número de probetas serán dos para porcentaje. El detalle de las mismas, es:

Ensayo de absorción, cambio volumétrico y estabilidad con el aparato de Watt	12 probetas
Ensayo de durabilidad	12 »
Ensayo de estabilidad con probetas secas	12 »
Ensayo de compresión	12 »
—	
Total de probetas	48

Para cada probeta, usando el molde de cinco centímetros de diámetro por 10 cm. de altura se necesita 380 gramos de suelo. El total para todos estos ensayos es aproximadamente de 19 kilogramos.

d) *Curva de compactación-humedad en mezclas de suelo y cemento en función del tiempo.* Determinado el porcentaje más conveniente de cemento a emplearse en la construcción, se trazan las curvas de Proctor por puntos, de la mezcla establecida, en función del tiempo. Los ensayos se efectuarán en los siguientes tiempos: 0, 2, 4 y 6 horas de estacionado.

Calculando para cada curva ocho puntos, es decir, ocho porciones de dos kilogramos, se necesitarán 64 kilogramos de suelo.

Estas curvas van a ser las que se usarán durante la construcción.

e) *Estudio de los constantes físicas de las mezclas proyectadas.* La determinación de las constantes físicas nos dará una idea de la transformación del suelo al ser tratado con cemento. Si se quiere hacer un estudio más completo conviene hacer las determinaciones con varios porcentajes de cemento a los 7, 20 y 28 días de mezclado.

Para estos ensayos se necesitan tres kilogramos de suelo.

Sumando las porciones de suelo necesarias para cada determinación, más un 20 % para desperdicios, tenemos que se necesita un total de 120 kilogramos. Si se quiere evitar transeportar tanto material al laboratorio, las curvas de Proctor de la mezcla en función del tiempo se dejan para determinarlas en campaña en el momento de la construcción; en este caso con 60 kilogramos sería suficiente.

3) TRAMOS EXPERIMENTALES

I - PRECIDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Ya hemos visto en los capítulos anteriores, la serie de ensayos indispensables para determinar la cantidad de cemento a incorporar a los suelos para mejorar sus condiciones de estabilidad y durabilidad bajo la acción de las cargas.

Determinados los porcentajes de cemento más adecuados para ese objeto en su doble faz técnica y económica, nos ocuparemos ahora de los procedimientos constructivos empleados en la ejecución de este tipo de base estabilizada por mezcla de suelo y cemento.

Nos ocuparemos de inmediato en describir los métodos seguidos en los primeros tramos experimentales construídos en nuestro país por la Dirección Nacional de Vialidad en la Ruta N° 19 en la provincia de Córdoba y por la Dirección de Vialidad en la Provincia de Buenos Aires en el acceso a Villa Numancia, F.C.C.G. Los primeros fueron construídos bajo la dirección de la sección C. I. B., por la empresa Fernando Esteban que puso todo el empeño y el interés posible para el éxito del trabajo y los segundos fueron construídos directamente por la División Materiales.

Al mismo tiempo intercalaremos algunos comentarios sobre otros procedimientos empleados en Estados Unidos de Norte América, país en donde la construcción de este tipo de base ha tomado gran impulso en estos últimos 5 años. Recordemos que en el año 1935 sólo se contaba con 1,5 millas de camino de este tipo y en un solo Estado: Carolina del Sud, y que a fin de 1938 ya se habían construído 200 millas entre 28 Estados, que abarcan los más diversos suelos y climas. Este dato, dice de la confianza que se tiene en este tipo de obra que ha hecho posible ampliar las perspectivas en la construcción de bases de costo reducido.

En nuestro país, la construcción de calzadas de bajo costo será por mucho tiempo la solución acertada para las condiciones de nuestro tránsito y es por eso que la aplicación de este nuevo tipo de base, una vez que hayamos experimentado debidamente con nuestros sue-

los, puede ser de mucho interés en la preparación de los futuros planes viales.

En las figuras 59 y 60 están representados la ubicación y características de los tramos experimentales de Córdoba y Villa Numancia, respectivamente.

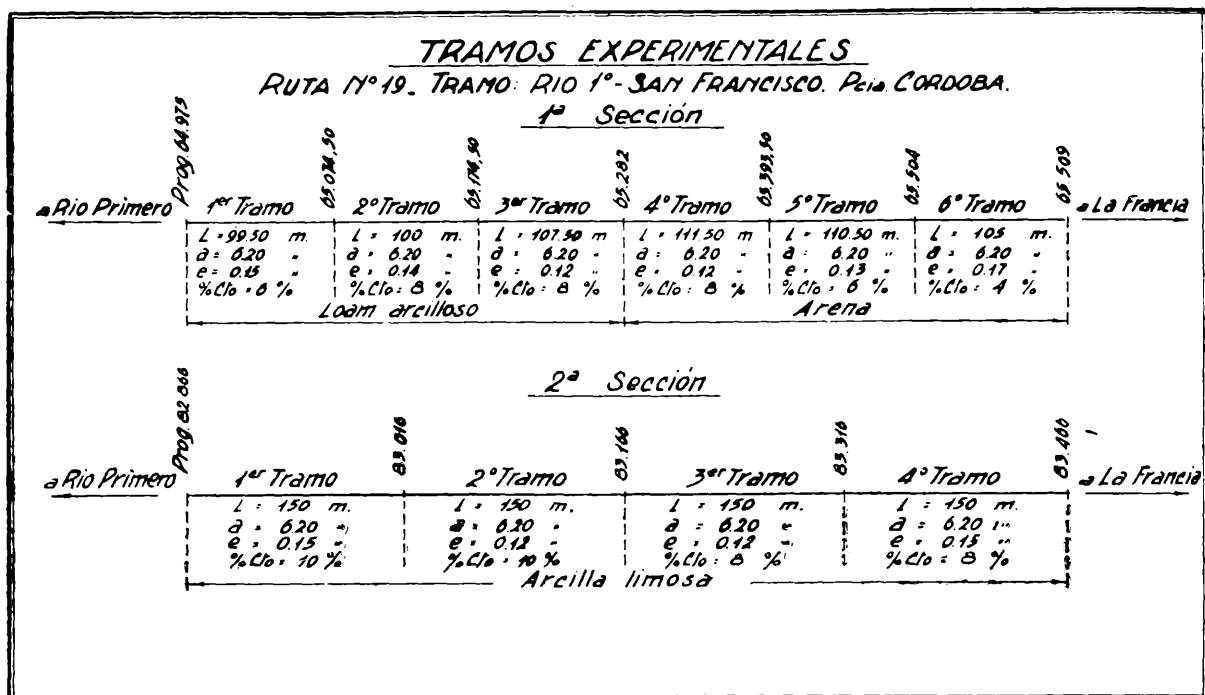


FIG. 59.

Suelos. — En el cuadro XXIV — suelos IV, V, VII y VII están resumidos los resultados de los análisis mecánicos y constantes físicas de los suelos estabilizados con cemento portland.

Lo suelos IV, V y VI pertenecen a los tramos de Córdoba y son del grupo A4 los dos primeros y A3 el tercero. Los suelos VII y VIII pertenecientes a los tramos de Villa Numancia están clasificados como A4 y A7, respectivamente. Las cantidades de cemento a usar se fijaron con los ensayos detallados en el Capítulo I, sección E.

Cemento empleado. — En los tramos de Córdoba se empleó cemento portland marca « Coinor ».

Procedencia: Frías, F.C.C.C., Santiago del Estero.

El fraguado comienza en este cemento, según ensayo oficial a las 2 h. 57' y termina a las 5 h. 14'.

En los tramos de Villa Numancia se empleó cemento portland « San Martín ».

El fraguado comienza a las 2h. 55' y termina a las 7 h.

TRAMO EXPERIMENTAL
ACCESO a VILLA NUMANCIA

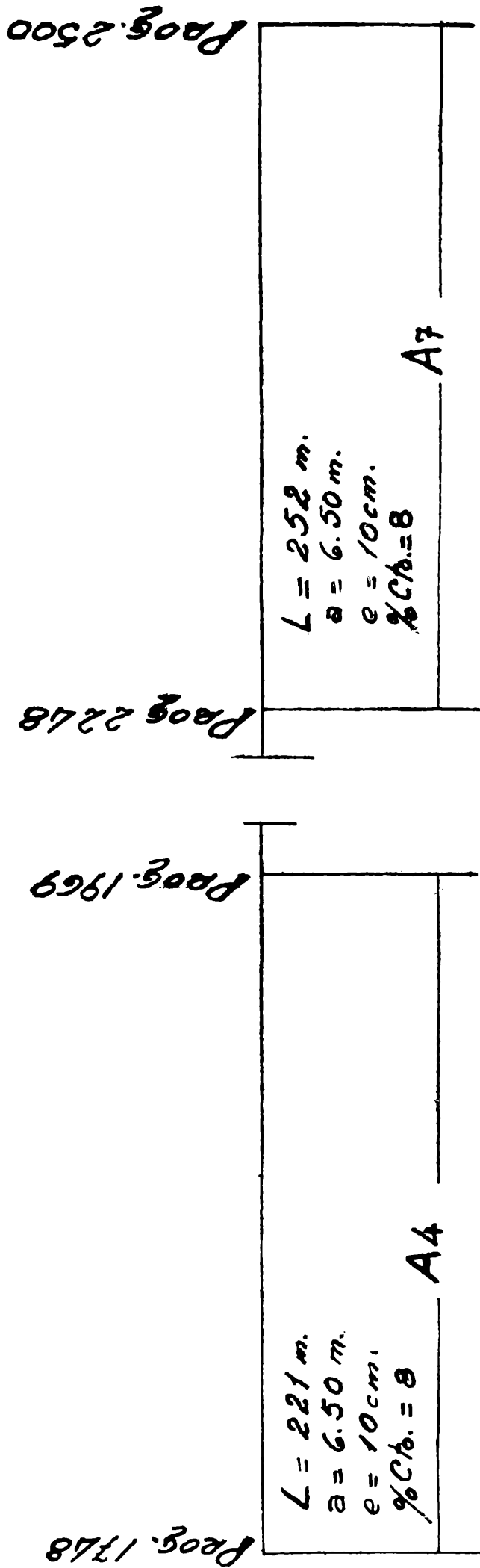


Fig. 60.

Equipos. — El equipo utilizado en la segunda sección de los tramos experimentales de Córdoba fué el siguiente:

- 2 Tractores Oruga
- 1 Motoniveladora cuchilla 10'
- 1 Niveladora Galión de 10'
- 1 Rodillo pata de cabra de 2 cuerpos de una carga unitaria de
- 1 Rodillo neumático de
- 1 Rodillo mecánico de 6 T
- 1 Tractor Deering de ruedas neumáticas para tirar del rodillo neumático
- 4 Camiones regadores
- 1 Rastra de dientes flexibles.

No se consigna el equipo de la primera sección por considerar que recién en la segunda pudo aprovecharse debidamente el rendimiento de cada elemento de trabajo.

En estos tramos experimentales se mantuvo al pie mismo de la obra (fig. 61) un laboratorio de campaña integrado con los siguientes elementos:

- 1) Balanza capacidad 10 Kgs.
- 2) Balanza Vibianca
- 3) Mesa de campaña, con dos bancos
- 4) Seis bolsas de lona
- 5) Un aparato Proctor completo
- 6) Una cuchara de albañil
- 7) Dos bandejas grandes
- 8) Una bandeja chica
- 9) Una regla para medir espesores
- 10) Una regla de cálculos
- 11) Dos calentadores a kerosene
- 12) Un cajón grande guarda-viento
- 13) Seis tarros de lata con tapa
- 14) Una lona de carpa con parantes
- 15) Juego tamices 1', N° 4, N° 10 y N° 40
- 16) Documentación de la obra, con los gráficos de las curvas humedad densidad, enviadas por el laboratorio central. Libreta de anotaciones, etc.
- 17) Un termómetro
- 18) Un higrómetro.

El personal del laboratorio estaba integrado por un Laboratorista, un ayudante y un peón.



FIG. 61. — Laboratorio de campaña.

En los tramos de Villa Numancia se empleó este equipo:

- 1 Niveladora Caterpillar N° 69
- 1 Rastra de discos de 50 cm. de dos cuerpos y doble filo cada cuerpo
- 1 Rastra de dientes flexibles
- 1 Tractor oruga de 49 H.P.
- 1 Tractor con ruedas neumáticas 39 H.P.
- 1 Rodillo neumático de 9 ruedas -5 T.

El laboratorio instalado en las proximidades de la obra constaba de los elementos necesarios para las determinaciones de campaña.

Procedimientos constructivos. — La descripción de las etapas constructivas la hacemos en el siguiente orden:

- A. — Preparación del suelo.
- B. — Distribución del cemento.
- C. — Mezcla suelo-cemento.
- D. — Riesgos y mezcla húmeda.
- E. — Distribución, compactación y terminado.
- F. — Curado.

A. — PREPARACIÓN DEL SUELO

En los tramos de Córdoba se trabajó con suelo transportado, de manera entonces que la primera etapa fué la preparación de la subrasante hasta conformar el perfil transversal y longitudinal requerido.

Para esto, se trabajó con una niveladora, dos camiones regadores y un cilindro de hormigón tirado con un tractor oruga, lográndose eliminar el material suelto que podría haber perjudicado las operaciones posteriores.

Una vez terminado el trabajo de preparación de la subrasante, se depositó en la misma el suelo transportado que debía ser tratado con cemento. Este suelo se depositó en forma de caballete de sección previamente establecida de acuerdo con el ancho y espesor a compactar y se pulverizó hasta cumplir con la siguiente granulometría:

Pasa 1"	100 %
» N° 4 no menos de	80 %
» » 10 no menos de	60 %



FIG. 62. — Caballete de suelo pulverizado.

Para este trabajo, se pasaba el caballete de un lado a otro de la calzada en capas de poco espesor, aproximadamente de 5 cm.,

sobre las que se pasaba el rodillo accionado por el tractor tipo oruga. La acción de este equipo fué muy eficiente, cumpliéndose en todos los casos las exigencias arriba indicadas.

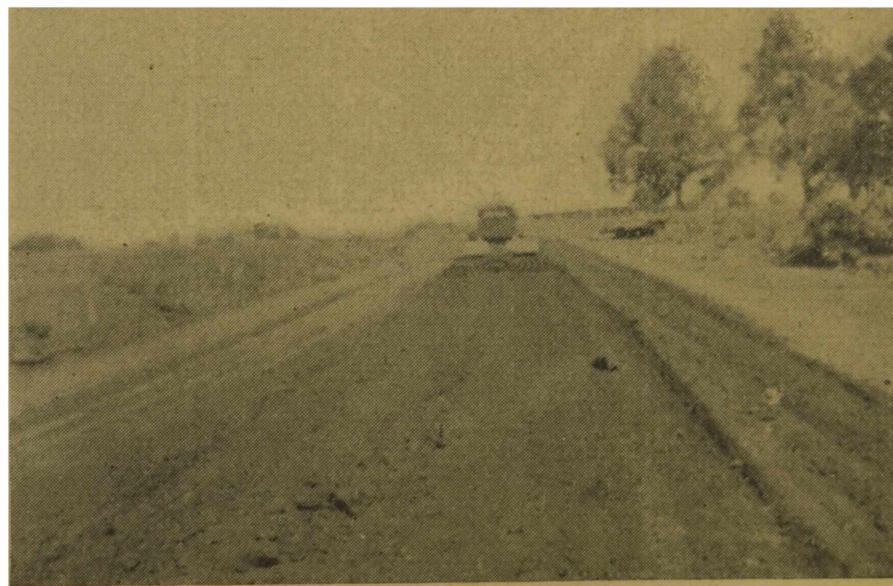
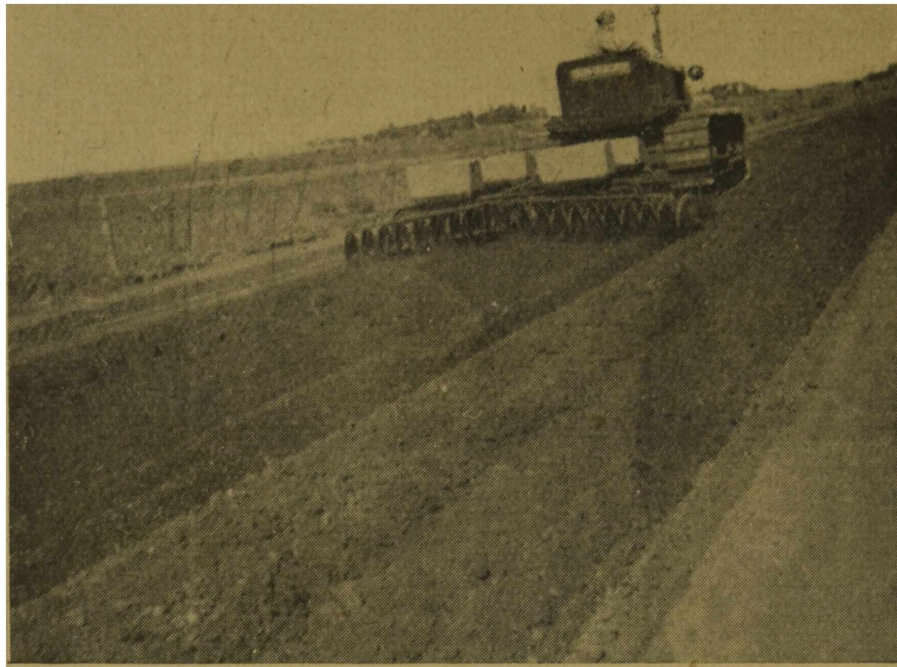


Fig. 63 y 64.— La rastra de discos cargada, trabajando en la pulverización del suelo de la subasante.

Comprobado el grado de pulverización, se formaba con el suelo un caballete central, constatándose otra vez si el volumen del

mismo correspondía al calculado para el ancho y espesor compactado, fijado para el tramo que se construía. (Fig. 62).

Verificada la granulometría, se distribuía el caballete central, en un ancho de 6 m. aproximadamente y quedaba lista la primera etapa y en condiciones de comenzar con la segunda: «Distribución del cemento», cosa ésta que se efectuaba siempre al día siguiente, por así convenir a las condiciones de trabajo que obliga a terminarlo en el día, una vez que se haya distribuido el cemento.

En Villa Numancia se utilizó suelo de la sub-rasante misma, y por lo tanto fué necesario escarificarla.



FIG. 65. — Escarificador trabajando en un tramo en construcción en Lancaster (EE. UU. de N. A.).

El procedimiento empleado fué el siguiente:

Una vez perfilado el terraplén de acuerdo al perfil tipo adoptado, a partir del eje se tomó 3,25 mts. a ambos lados y se marcó el ancho a estabilizar.

Con el escarificador de la niveladora se procedió a escarificar hasta la profundidad de 11 cm. en todo el ancho marcado.

Una vez conseguido esto, se comenzó a pulverizar el suelo removido, usándose una rastra de discos tirada por un tractor oruga de 49 H.P. Cada tanto se hacía salir la rastra y con la niveladora se efectuaba el movimiento de todo el suelo a los efectos de que la porción de abajo, donde la rastra no había podido desmenuzarse saliera a la parte superior. (Figs. 63 y 64).

En este tramo no se utilizó rodillo para la trituración pero creemos que su uso es conveniente utilizándole en forma alternada con la rastra de discos. El tiempo empleado fué para cada tramo de 17 horas.

En la figura 65, podemos ver un escarificador « Killejer » trabajando en la preparación del suelo de la subrasante, en la construc-

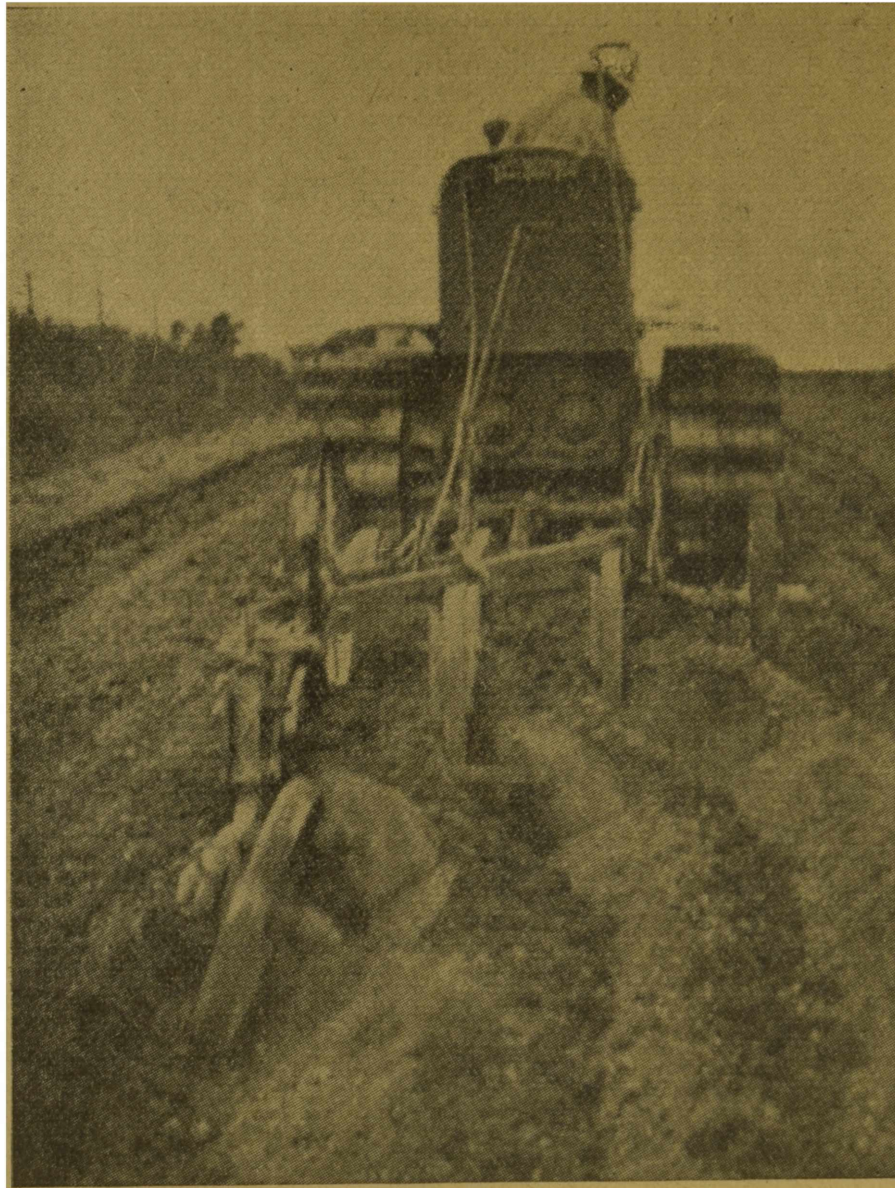


FIG. 66. — Equipo empleado en Missouri, en la operación de pulverización.

ción de una base de este tipo en Lancaster — Carolina del Sud — (E. U. de N. A.).

Cuando hablemos de este trabajo nos referimos a un tramo de 400 m. x 6,30 m. x 0,15 m. de espesor compactado. Ahora bien, para escarificar ese tramo, este equipo demoró 1 ½ hora y para la pulverización se empleó una rastra de discos de doble cuerpo de

50 cm. de diámetro durante 1 h. 45' y una niveladora de 12' con tractor oruga de 75 HP. durante 3 horas.

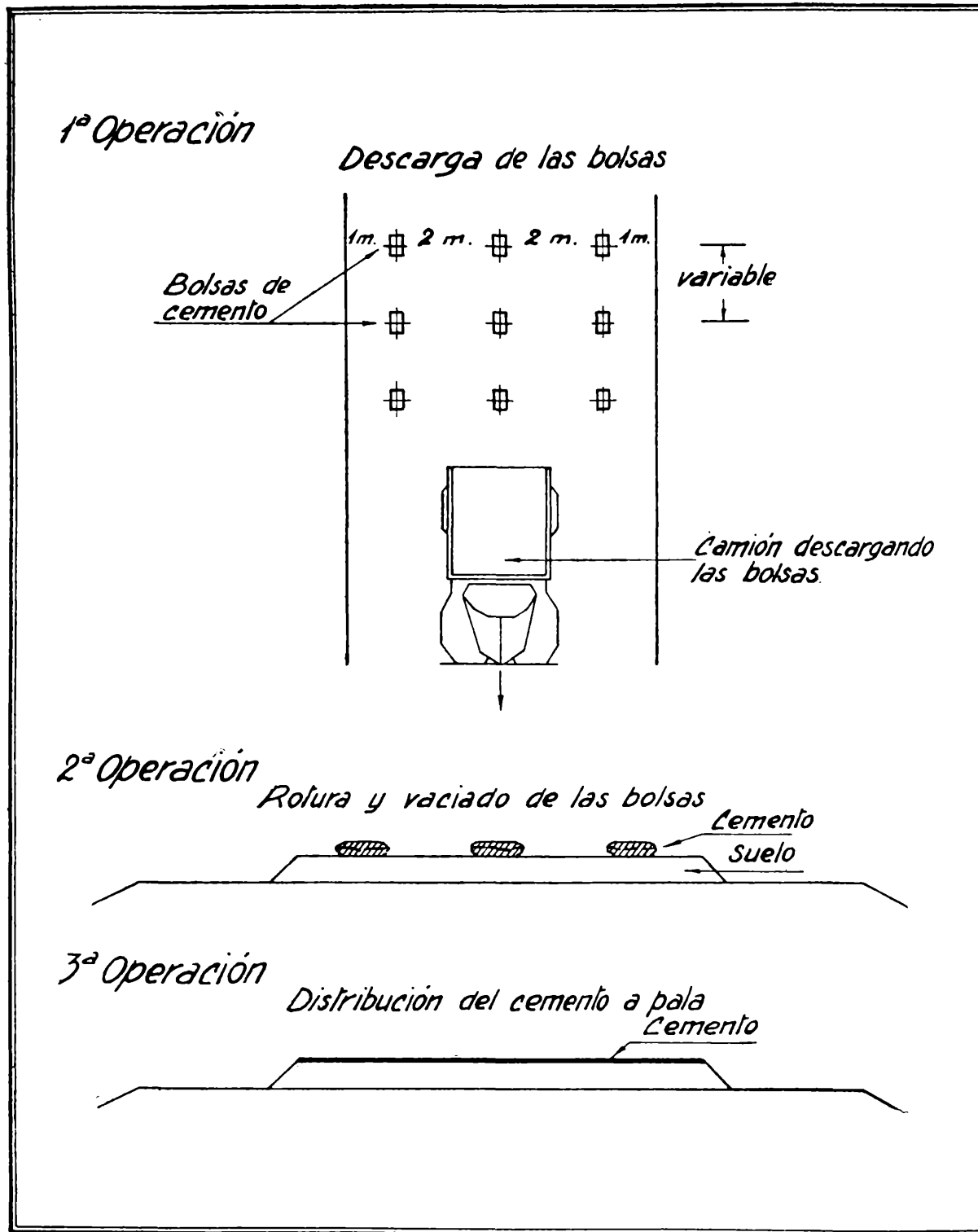


FIG. 67.

También se emplean otros equipos tipo « arados » combinados con la rastra de discos lográndose buenos rendimientos. En la figura 66 podemos ver uno de estos equipos trabajando en aflojar el suelo durante la operación de pulverización en un tramo en construcción en Missouri (E. U. de N. A.).

Este mismo equipo se emplea con éxito en la mezcla de suelo y cemento.

B. — DISTRIBUCIÓN DEL CEMENTO

La distribución del cemento en los tramos experimentales de Córdoba se efectuó de la siguiente manera:

Determinada la cantidad de cemento a emplear en cada tramo de acuerdo con el peso del suelo y al porcentaje de cemento a incorporar se redujeron los kilogramos de cemento a número de bolsas y se calculaba la distancia a que debían colocarse. Por razones de comodidad para el trabajo de distribución se ubicaban tres bolsas en el ancho de la calzada en la forma indicada en las figuras 67, 68 y 69 y a distancia previamente establecida.



FIG. 68. — Camión descargando directamente las bolsas sobre la calzada

Ejemplo.

Longitud de un tramo	=	150 mts.
Kilogramos de cemento	=	18750 Kg.
Número de bolsas	=	375 bolsas.
Distancia entre filas de bolsas ..	=	$\frac{3 \times 150}{375} = 1.20$ m.

Con este método de distribución se logró distribuir hasta 375 bolsas en 30 minutos.

El vaciado de las bolsas y la distribución a palas de las 375 bolsas se efectuó con 15 hombres en la forma indicada en la figura 70,

en solo 40 minutos, es decir, que en 1 hora 10 minutos se distribuyeron 18.750 Kgs. de cemento sobre 900 m.²

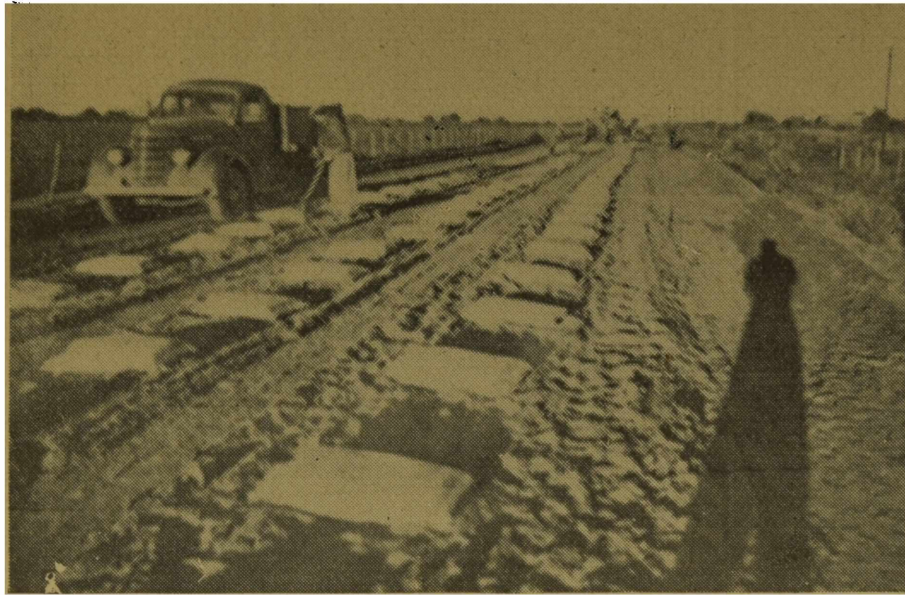


Fig. 69. — Bolsas alineadas en el momento de iniciarse el vaciado de las mismas.

En Villa Numancia se empleó idéntico sistema de distribución, tardándose en un tramo 1 hora para distribuir 19.140 Kg. con 15 hombres.

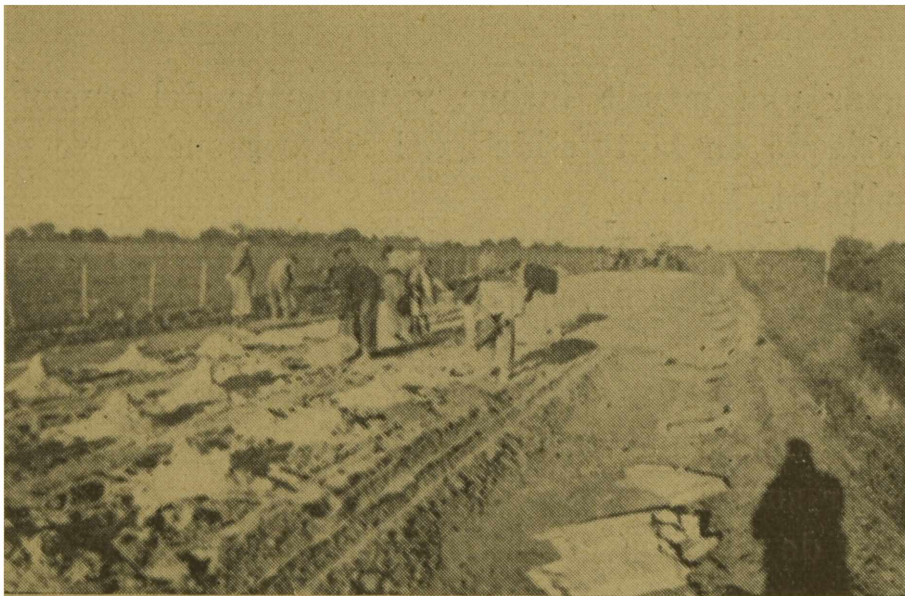


Fig. 70. — Distribución a pala del cemento.

En Lascaster, la distribución del cemento se hacía con un distribuidor mecánico idéntico al utilizado para desparramar arena. Evidentemente, con este método se logra una más uniforme dis-

tribución que a mano, lo que es muy importante cuando la mezcla se efectúa solamente con rastras.

En la figura 71, la distribución se hace con una motoniveladora que trabaja manteniendo derecha su cuchilla. Este trabajo efectuado en Missouri fué necesario completarlo con palas de mano.



FIG. 71. — Distribuyendo el cemento con motoniveladora.

C. — MEZCLA, SUELO Y CEMENTO

Para lograr una mezcla íntima y uniforme del cemento con el suelo pulverizado en la totalidad del espesor suelto, se emplearon diversos métodos.

En los tramos de la primera sección en Córdoba, se emplearon la rastra de discos y las niveladoras de la manera esquematizada en la fig. 72.

La rastra de la fig. 73 se pasaba de 4 a 6 veces en todo el ancho, cargada con 4 bolsas de 70 kilogramos cada una, para poder mezclar el espesor suelto.

Esta rastra de dimensiones reducidas y de solo 2 cuerpos, resultó insuficiente para mezclar más de 15 cms. suelto. Por ello fué necesario emplear las niveladoras para completar el mezclado. Terminada la pasada de rastra, se formaban 2 caballetes laterales (figs. 74 y 75), lo que uniformaba bastante el mezclado.

De ahí se llevaba el material a un solo caballete central, de donde se le distribuía en el ancho especificado (fig. 76).

Con este procedimiento de mezcla, y con el equipo que mencio-

namos, se empleaba 3 ½ horas para mezclar 100 m. de largo por 6 m. de ancho y 0,18 m. de espesor suelto.

En la segunda sección experimental, se trabajó en tramos de 150 m. de largo y para el mezclado se utilizó el procedimiento de la fig. 77.

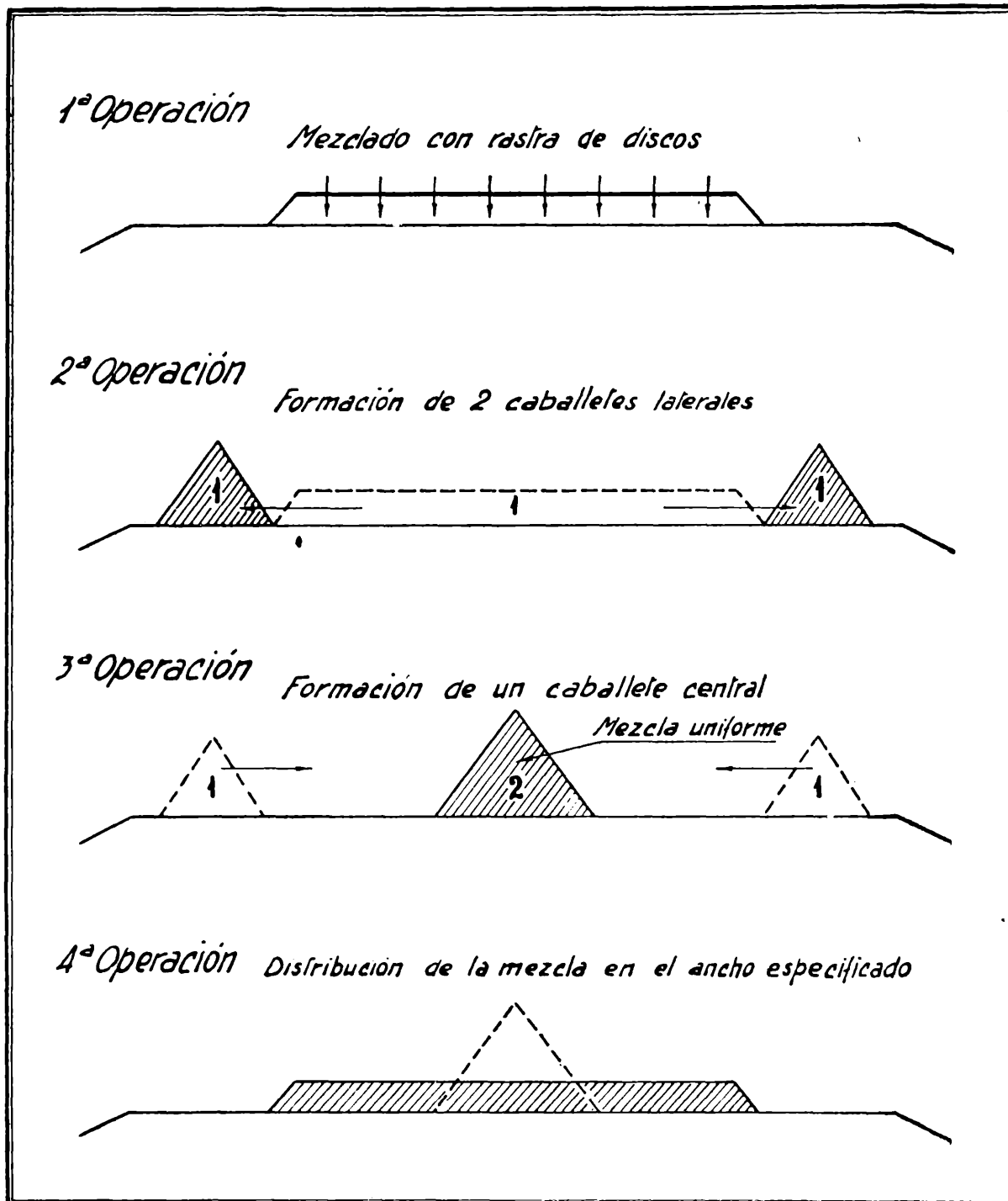


FIG. 72.

En estos tramos se acentuó el número de pasadas de rastra, utilizando una de dientes flexibles(fig. 78) ya usada con éxito en Villa Numancia, y se redujo las horas de trabajo de las niveladoras.

Mientras se mezclaba con la rastra, la motoniveladora recogía el

material que se desplazaba fuera del área de trabajo y lo volvía a la calzada.

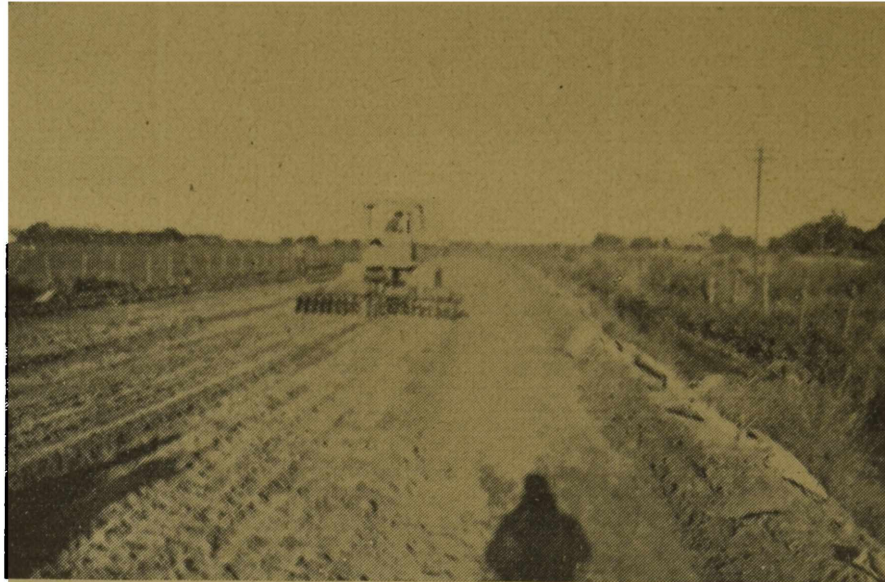


FIG. 73. — Rastra de discos iniciando la mezcla.

Terminado el trabajo de rastra, que uniformaba más y mejor que la de discos, se formaba un caballete central que se distribuía luego en el ancho dado.

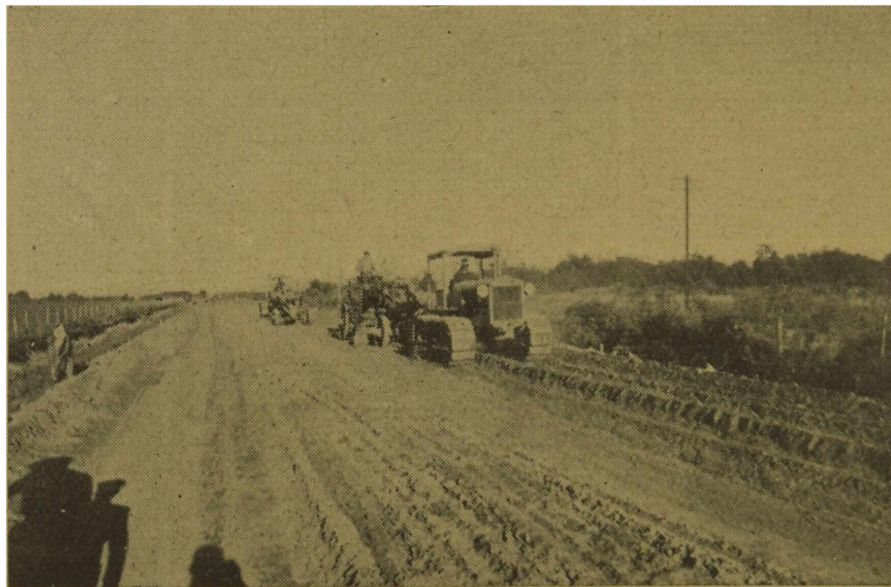


FIG. 74. — Formando caballetes laterales.

De esta manera y con el equipo indicado, más la niveladora de 10' se mezclaba un tramo 50 m. más largo que los de la primera sección, en una hora menos de trabajo.

En los últimos tres tramos de esta sección, se suprimió la distribución del material mezclado en el ancho dado, dejándose en dos tramos el caballete al centro y en el otro el caballete al costado.

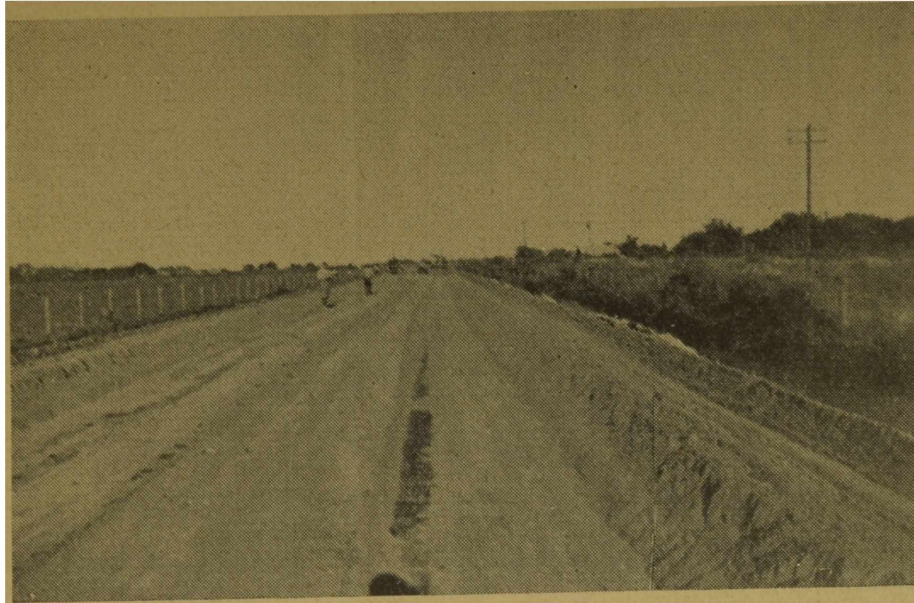


FIG. 75. — Caballetes laterales formados.

Con este método se efectuaba el mezclado en dos horas de trabajo, con el equipo indicado y 10 obreros en total.

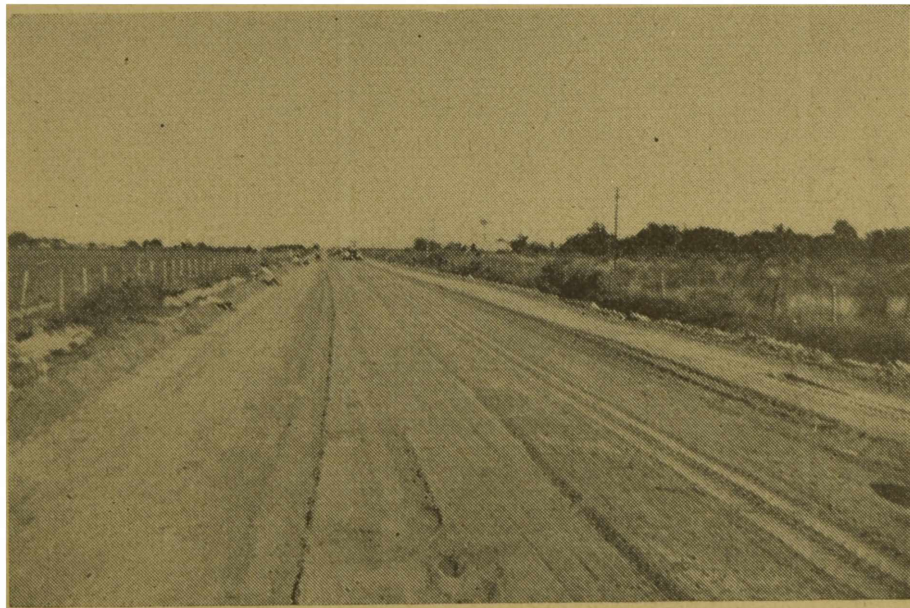


FIG. 76. — Mezcla terminada y distribuída en 6 m. de ancho.

En Villa Numancia, se utilizó exclusivamente la rastra de dientes flexibles de la fig. 78. A los efectos de que la rastra penetrara hasta la base, se cargaba con un hombre que era a su vez el encargado de guiarla en las vueltas.

La niveladora trabajaba mientras tanto por la parte exterior de

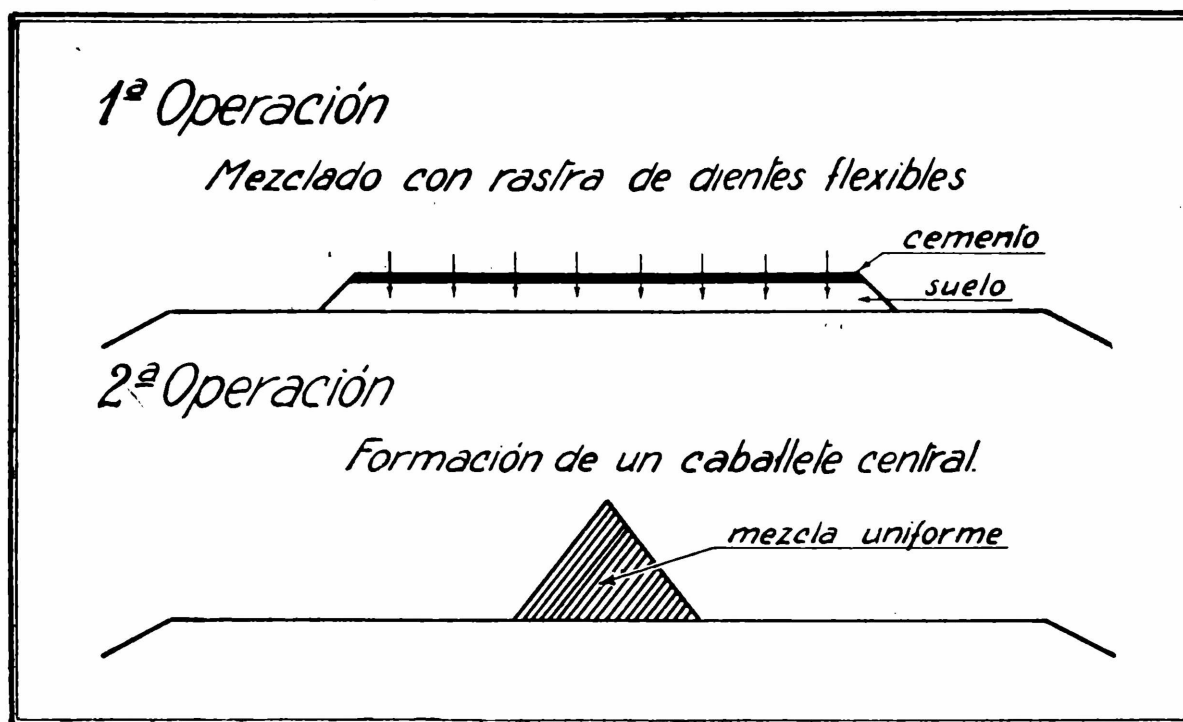


FIG. 77.

la caja, volviendo dentro de la misma al material que la rastra tiraba afuera.

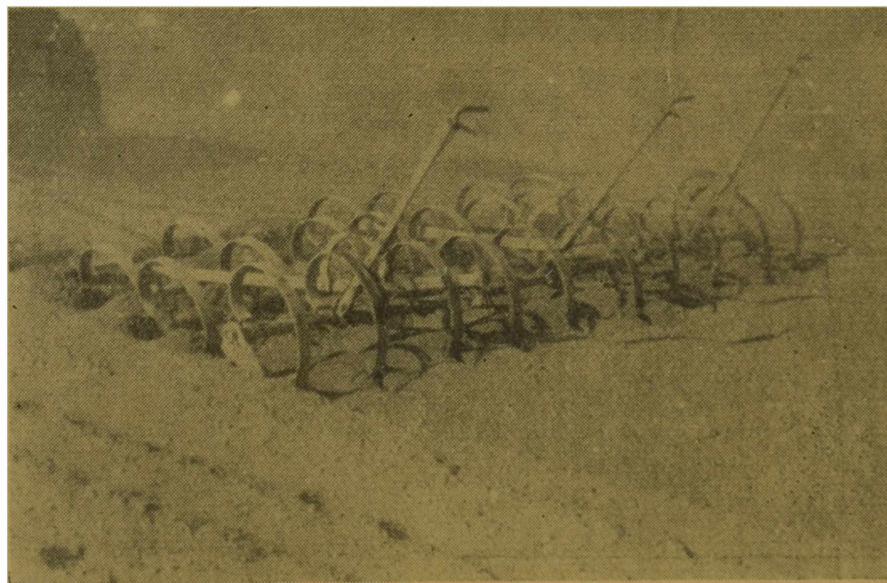


FIG. 78. — Rastra de dientes flexibles.

En este trabajo se emplearon durante tres horas, además del equipo mencionado, 9 obreros.

En el tramo de Lancaster, se empleó el método combinado de

rastra de discos de diámetro 50 cms. y de dos niveladoras de 12' durante 3 ½ horas.

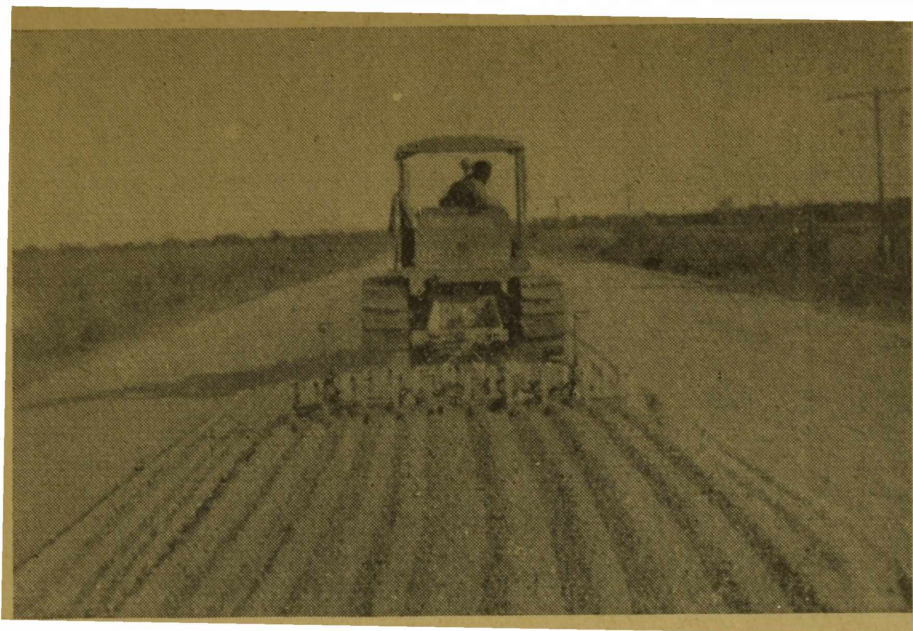


FIG. 79. — Rastra de dientes flexibles mezclando.

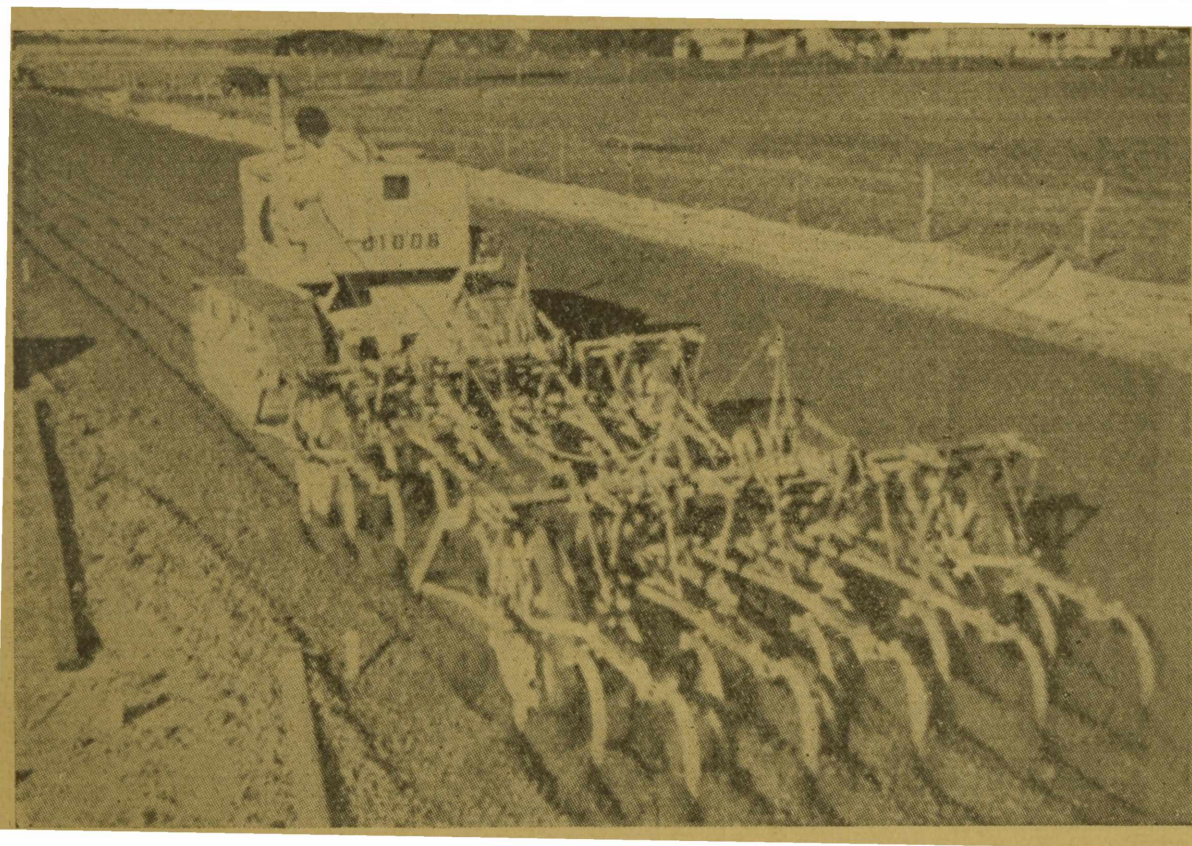


FIG. 80.

En la figura 80, podemos ver un elemento muy usado en E. U. de N. A. para la mezcla suelo-cemento.

D. — MEZCLA HÚMEDA

Una vez finalizada la mezcla en seco, y comprobado el grado de uniformidad de la misma, se tomaban muestras representativas y se

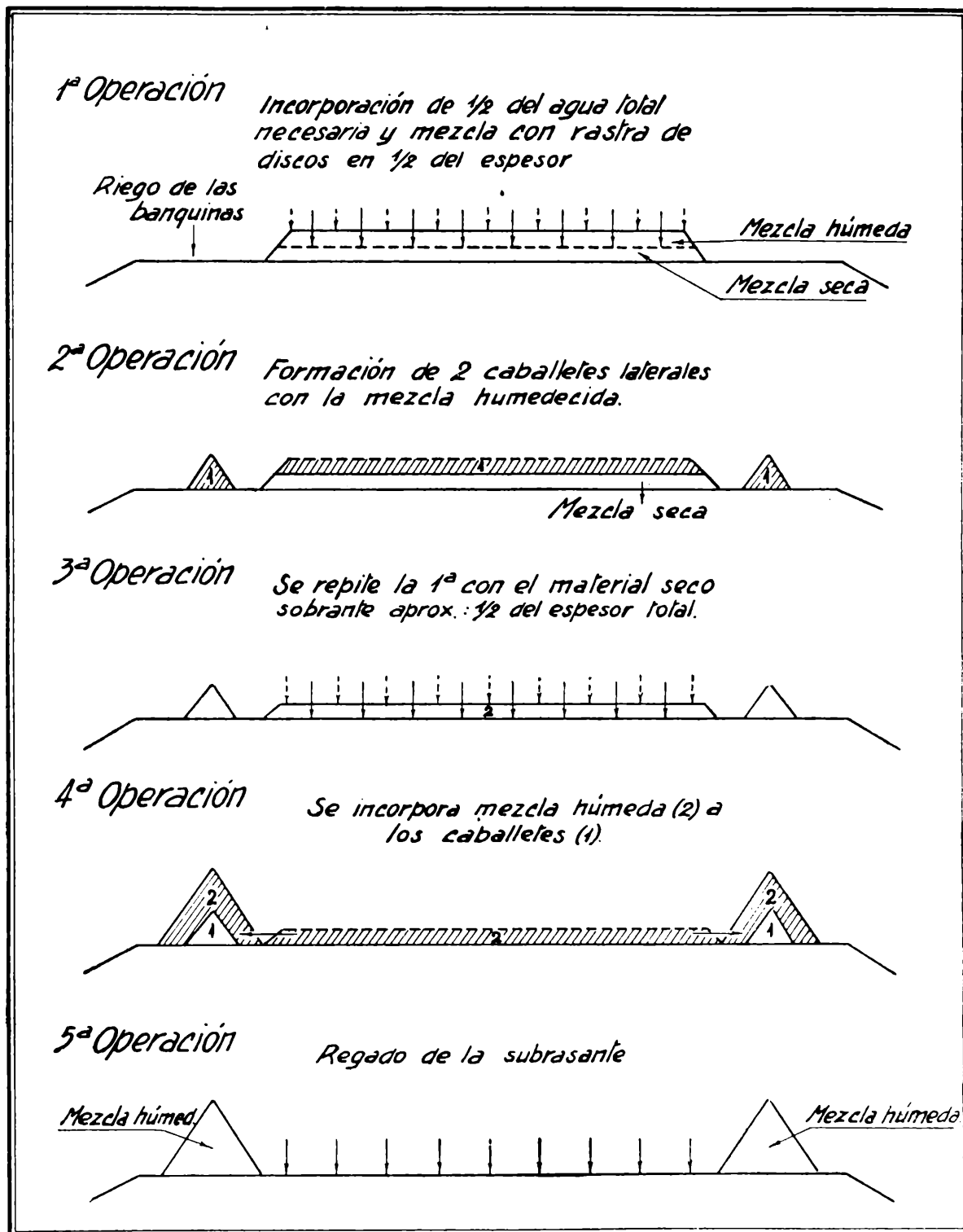


FIG. 81.

determinaba en el laboratorio de campaña el grado de humedad de la mezcla. De esta manera se fijaba la cantidad de agua que era

necesario agregar por m.² para llevar la mezcla a la humedad óptima indicada por los ensayos previos a la iniciación del tramo.

Ejemplo.

Humedad promedio en la mezcla = 9 %.

» óptima 24 %.

» adoptada 25 % (1 % más para evaporación).

» existente 9 %.

» a agregar 16 %.

Peso del suelo 1.250 Kgs/m.²

Por ciento de cemento 10 %.

Longitud del tramo = 150 m.

$$\text{Agua a agregar} = \frac{1.250 \times 1,1 \times 150 \times 16}{100} = 33.000 \text{ lts.}$$

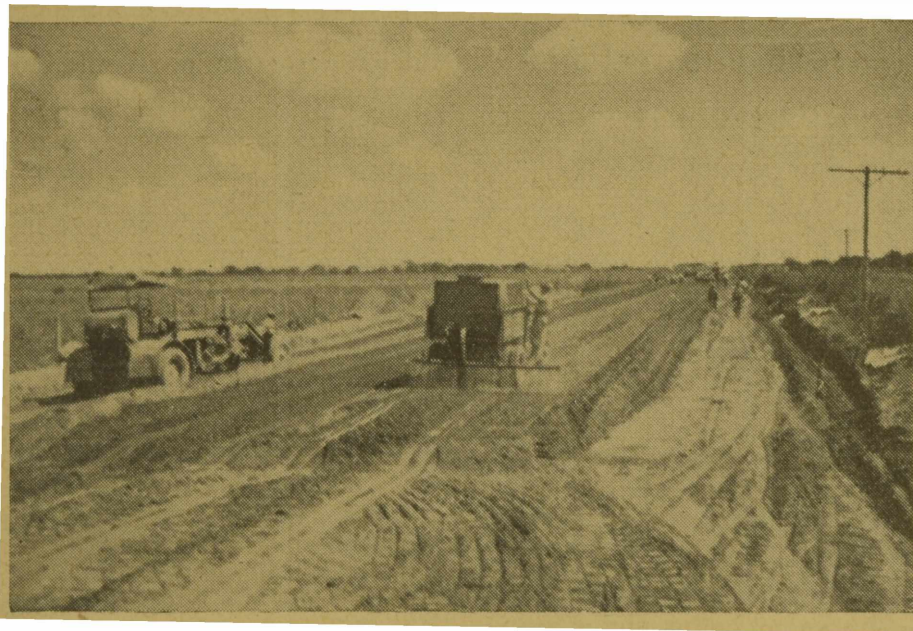


FIG. 82. — Comienza el riego con agua.

Ya con este valor se calcula la cantidad de camiones tanques necesarios para asegurar una distribución continua del agua.

En los tramos experimentales de Córdoba, se emplearon diversos métodos para lograr un rápido y buen humedecimiento de la mezcla. En la primera sección se regaba con riegos de unos 3 l/m.² alternados con pasadas de rastras de disco. En la fig. 81 están representadas las diversas operaciones de esta etapa, y que detallamos de inmediato.

Para efectuar una mejor y más uniforme distribución se regaba y mezclaba aproximadamente la mitad del espesor con algo más

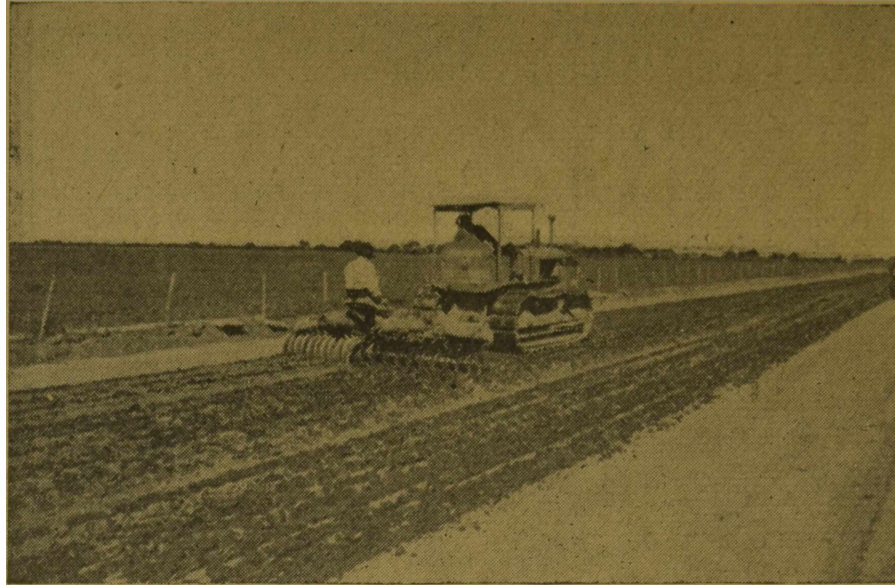


FIG. 83. — Comienza el mezclado con rastra de disco.

de la mitad del agua calculada, debido a que este material humedecido debía permanecer más tiempo expuesto a la acción del vien-



FIG. 84. — Motoniveladora formando los caballetes laterales.

to y del sol, lo que produciría evidentemente una apreciable pérdida de humedad fig. 82 y 83.

Levantada esta capa húmeda se formaban dos caballetes laterales y se repetía la operación de regado y mezclado de la capa res-

tante, levantándola e incorporándola a los caballetes húmedos formados con la primer capa, figura 84.

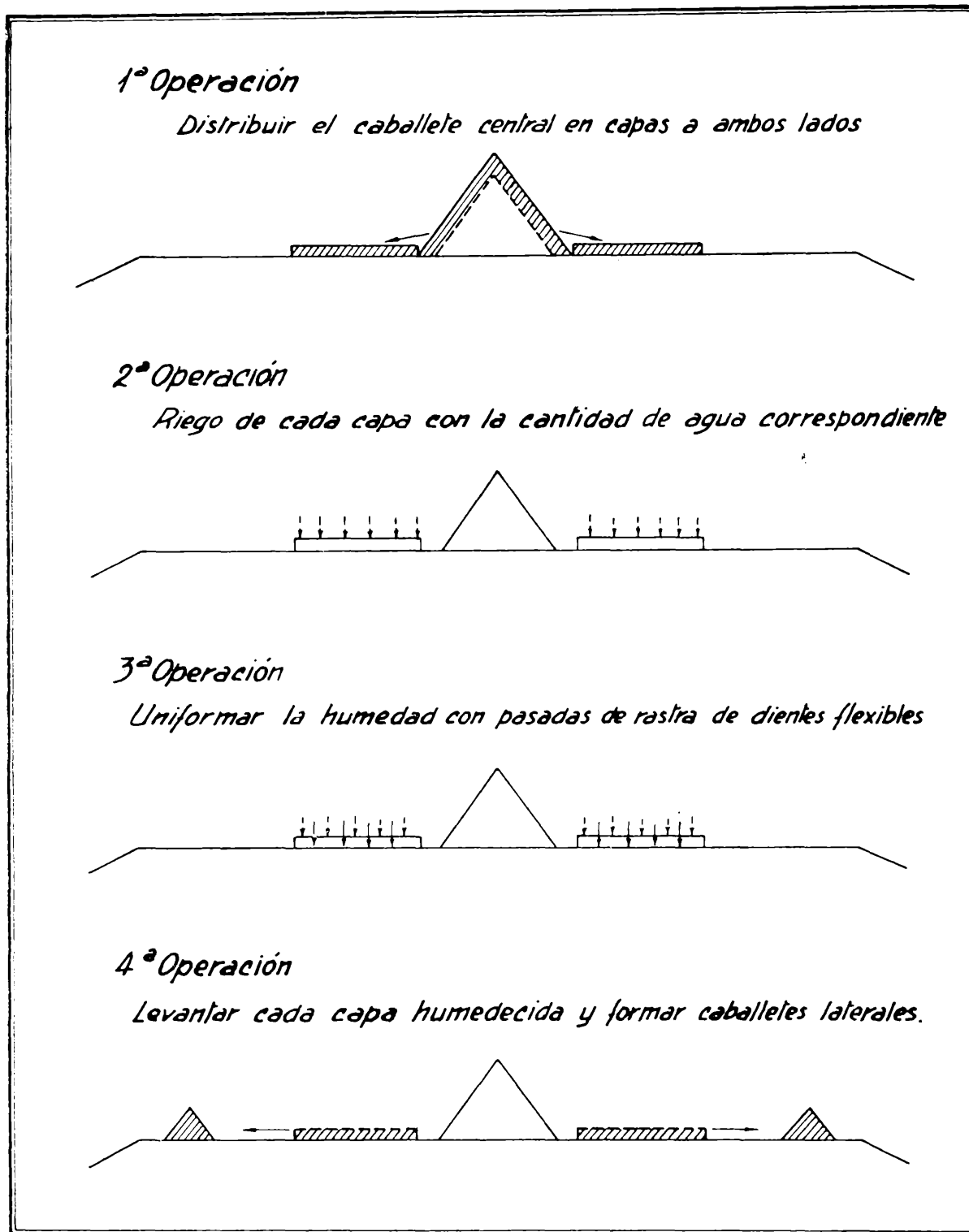


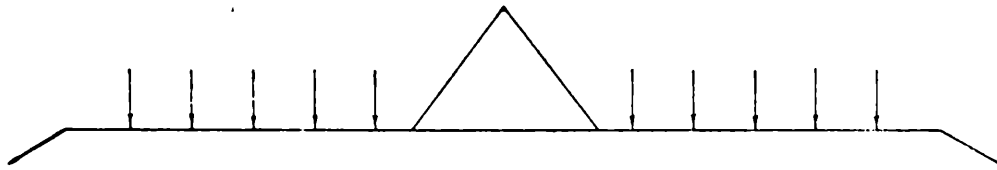
FIG. 85.

Terminada esta operación, se volvía el material de los caballetes a la calzada, empleándose el mismo equipo: 1 motoniveladora y 1 niveladora.

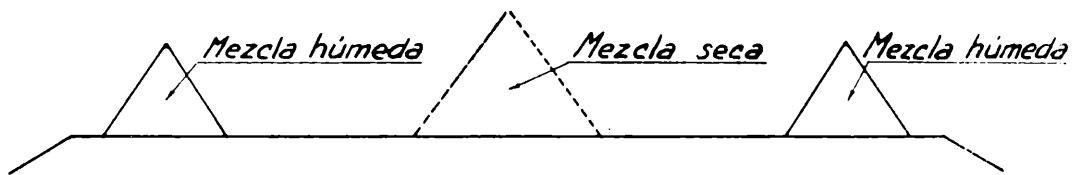
Esta etapa constructiva demandó 5 horas de trabajo, tiempo excesivo que fué reducido considerablemente con el método adoptado en los tramos de la segunda sección.

1ª Operación

Riego de la base con 1,5 l/m² aprox.



Las Operaciones 2-3-4-5 se repiten hasta el humedecimiento completo del caballete central, que queda dividido en dos caballetes laterales humedecidos



Orden de los equipos para las operaciones 2-3-4-5

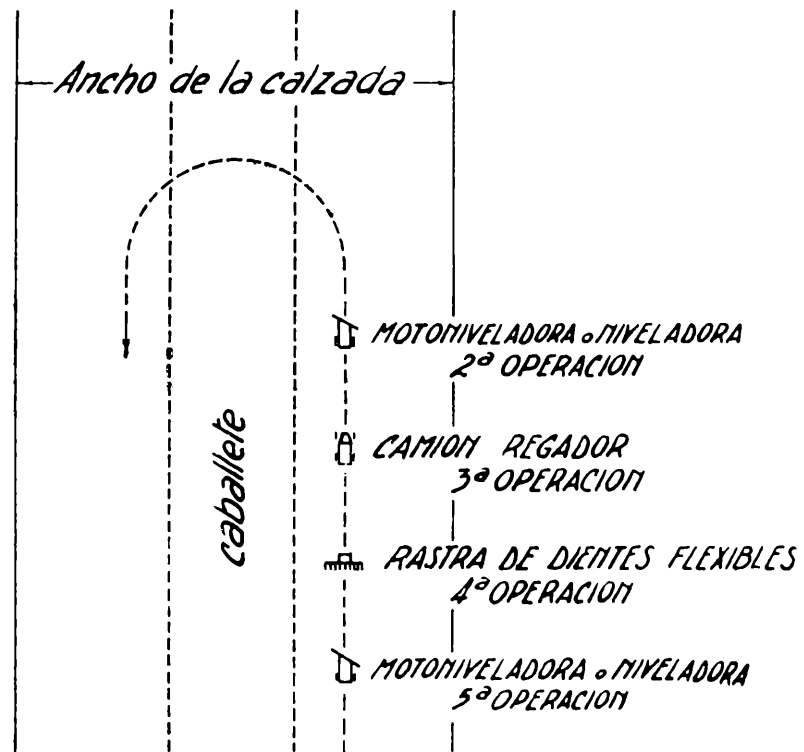


Fig. 85 bis.

En la segunda sección el método de humedecimiento y mezcla empleado permitió obtener un rendimiento mucho más alto, lo que favorecía las condiciones de trabajo, ya que hacía posible la etapa si-

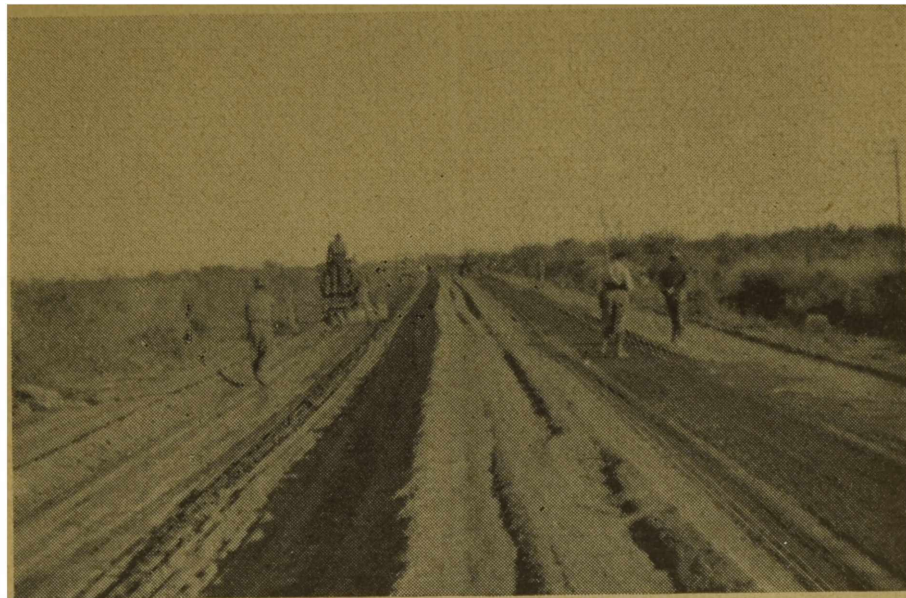


FIG. 86. — A la derecha capa humedecida, a la izquierda la capa húmeda recogida en un caballete lateral.

guiente: « compactación de la mezcla húmeda », antes de que comenzara el fraguado del cemento imposible de evitar con el procedimiento de la primera sección.

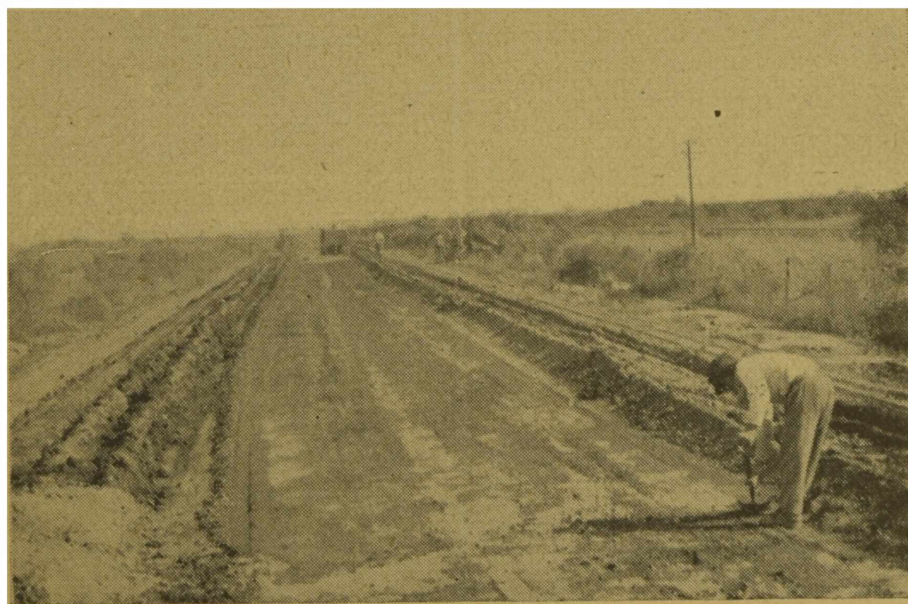


FIG. 87. — El caballete central seco dividido en dos caballetes laterales húmedos.

Este procedimiento está graficado en la fig. 85 y es el recomendable cuando el espesor a mezclar es tal, que no asegure una eficiente labor de las rastras de discos o de dientes flexibles. Se

comenzó con el riego estando el caballete ubicado en el centro en dos tramos y al costado en el otro ramo.

Ubicado el caballete en el centro (fig. 86) se regó la base con

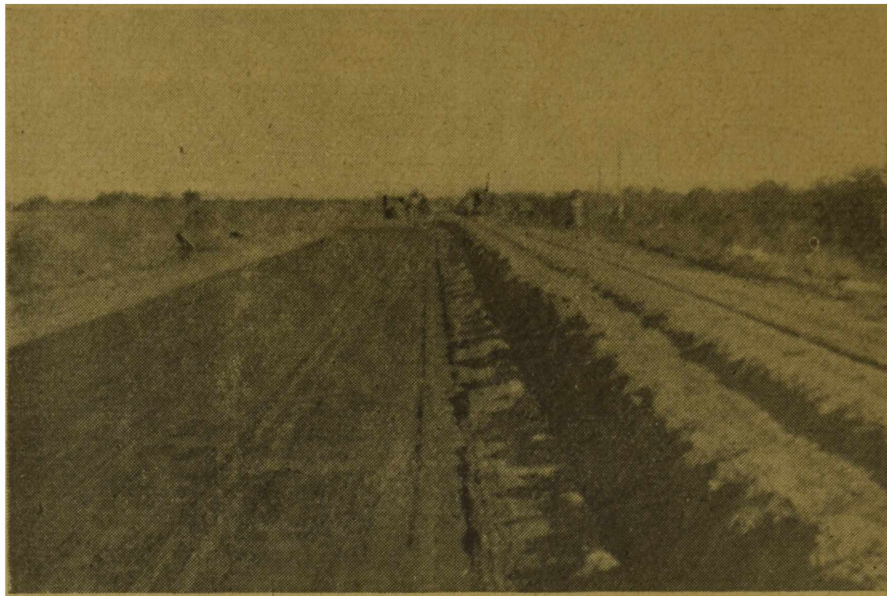


FIG. 88. — Caballete seco y base regada.

un riego de $1\frac{1}{2}$ litro/m.² distribuyéndose la mezcla del caballete a ambos lados, en capas de unos 5 cms. de espesor y de un ancho de 2 m. aproximadamente. Se regó cada capa con la cantidad de



FIG. 89. — Capa seca distribuída.

agua calculada previamente y se uniformó la humedad con la ras- tra de dientes flexibles, recogíendose el material humedecido en ca- balletes laterales. Esta operación se repetía hasta tener el caballe-

te central seco, transformado en dos caballetes laterales húmedos, (fig. 87).

Con este procedimiento se permitía un aprovechamiento total y

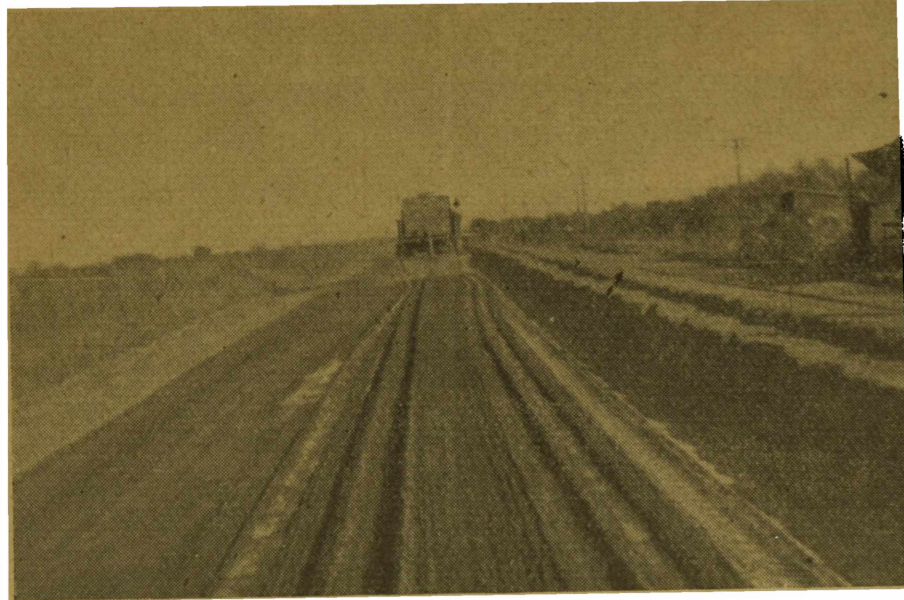


FIG. 90. — Capa regada.

continuado del equipo, que se movía en el orden indicado en la fig. 85 bis.

Cuando el caballete seco estaba ubicado al costado, se empleaba



FIG. 91. — Capa regada y relogida.

el mismo procedimiento de humedecimiento y se le pasaba al otro borde completamente humedecido.

En estos tramos el tiempo empleado en esta etapa se redujo a

2 h. 30 m., es decir que con la mitad del tiempo se efectuó idéntico trabajo en tramos 50 m. más largos que los de la primera sección. sección.

Para la adopción del método más conveniente en lo que respecta a la ubicación del caballete seco, en el centro o en el borde de la calzada, es un factor decisivo el ancho de calzada disponible y el estado de las banquetas, que en el caso de formarse dos caballetes húmedos laterales tienen mucha importancia porque es muy fácil que se le ocupe con el material de los caballetes húmedos.



FIG. 92. — Caballete húmedo.

Terminada esta operación, se tomaban muestras representativas de la mezcla húmeda y se determinaba el grado de humedad de la misma. Comparando este resultado con el contenido de humedad elegido se estaba en condiciones de apreciar si se podía dar comienzo a la otra etapa: « Distribución y compactación ».

En general en todos los tramos hubo necesidad de efectuar ligeros riegos durante esta etapa, variando la intensidad de los mismos con la acción del viento, la temperatura y la humedad del ambiente, que determinaban las pérdidas por evaporación.

Este porcentaje de pérdidas que llegó hasta ser de un 3 %, disminuyó sensiblemente cuando se varió el método de humedecimiento de la mezcla, empleándose el procedimiento acelerado últimamente detallado.

En los tramos de Villa Numancia se procedió al siguiente método:

Antes de comenzar el riego se determinó el contenido de humedad, y con este valor se calculaba la cantidad de agua a regar.

Como en estos tramos se trabajó en caja y el equipo no era suficiente para formar caballetes, por tener solamente una niveladora, se efectuó la mezcla húmeda usando la rastra de dientes flexibles.

Los carros regadores se los distribuían de manera de ir regando en forma uniforme todo el ancho. La rastra de dientes flexibles iba detrás mezclando. Este método tiene sus inconvenientes:

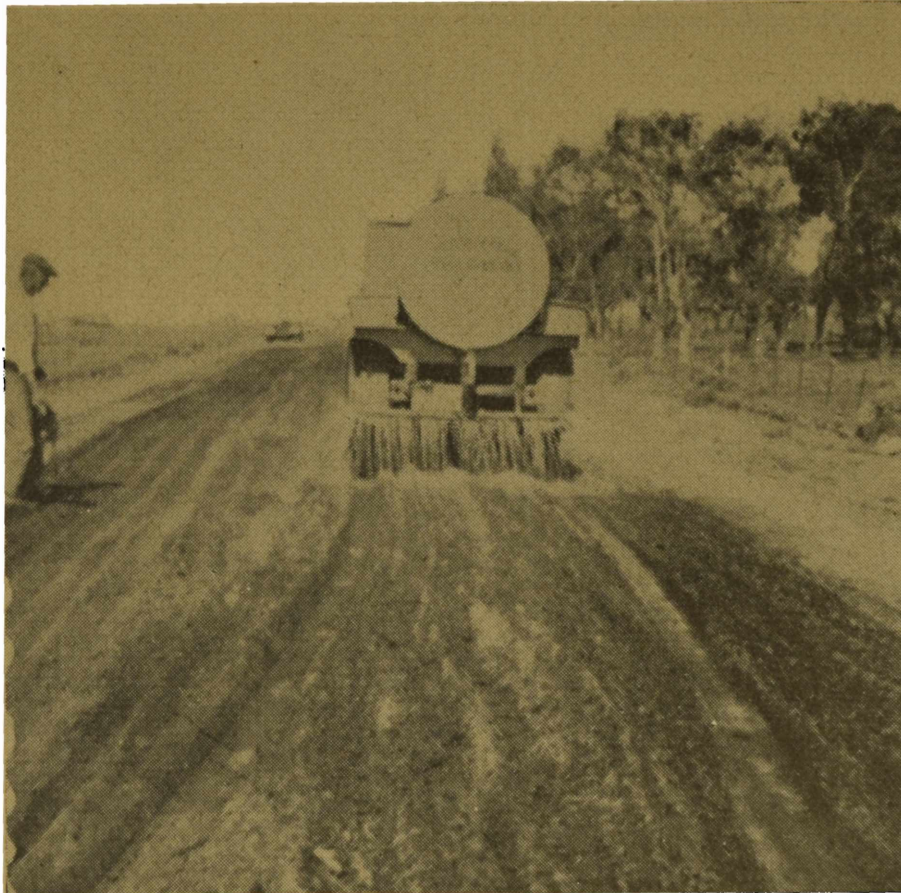


FIG. 93. — Camión regador iniciando los riegos de agua.

a) Si la capa a humedecer es grande, la parte inferior no recibe la cantidad de agua necesaria, la humedad no es posible repartirla uniformemente, siempre quedan zonas con menor cantidad, y entonces es necesario corregirlas con riegos parciales.

b) Los controles de espesores es más difícil de efectuar.

A pesar de los defectos encontrados a este método, no deja de ser probable su aplicación, y es conveniente volver a ensayarlo con rastra de dientes de mayor tamaño y sobre ruedas. Con este método es posible reducir apreciablemente esta etapa constructiva, que es la más importante.

Cuando se apreciaba que la cantidad de humedad estaba cerca de la óptima, lo cual se puede notar al tacto y también de acuerdo al

volumen regado, se determinó la cantidad de humedad usando la curva del peso del litro húmedo-humedad antes de comenzar la compactación.

El tiempo empleado fué de tres horas. El personal fué el mismo de la etapa anterior más los encargados de conducir los camiones regadores.



FIG. 94. — Rastra de dientes flexibles efectuando la mezcla.

En las figuras 93 y 94 podemos ver dos aspectos de esta operación en los tramos de Villa Numancia.

La figura 95 muestra un aspecto de mezcla húmeda efectuada en el tramo de Lancaster.

Para la mezcla húmeda emplearon solamente la rastra de discos durante 3 horas. Claro está que la calidad del equipo, superior al empleado en los tramos de Córdoba, suponía éxito en el mezclado con rastra de discos en el total del espesor. Pero es importante destacar que en los tramos sucesivos, se empleó para lograr una mezcla húmeda más uniforme un procedimiento similar al indicado para la I sección de Córdoba, por cuanto era fácil constatar que la rastra de discos de diámetro de 50 cms., no alcanzaba

ni aún cargándola en la forma que puede verse en la fig. 96, a llevar la humedad en la totalidad del espesor.

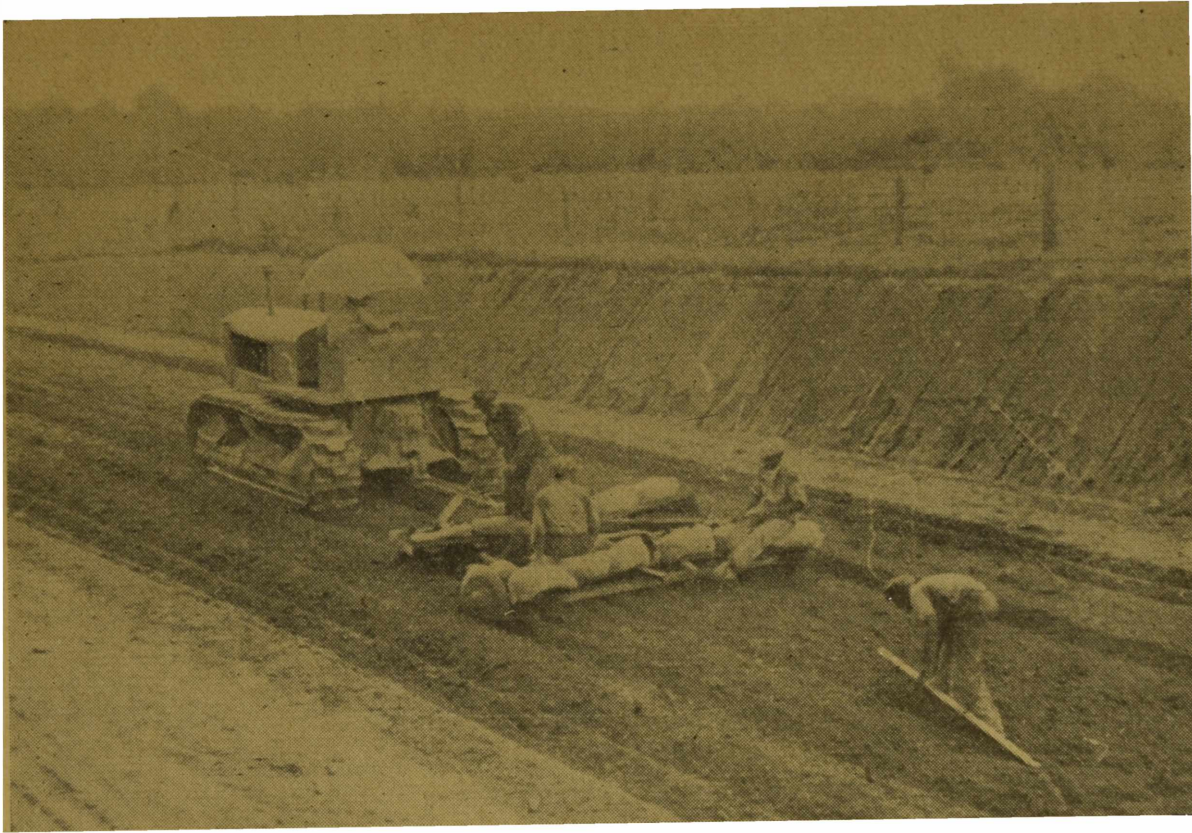


FIG. 96. — Rastra de discos cargada para la mezcla húmeda (Lancaster C. del Sud).

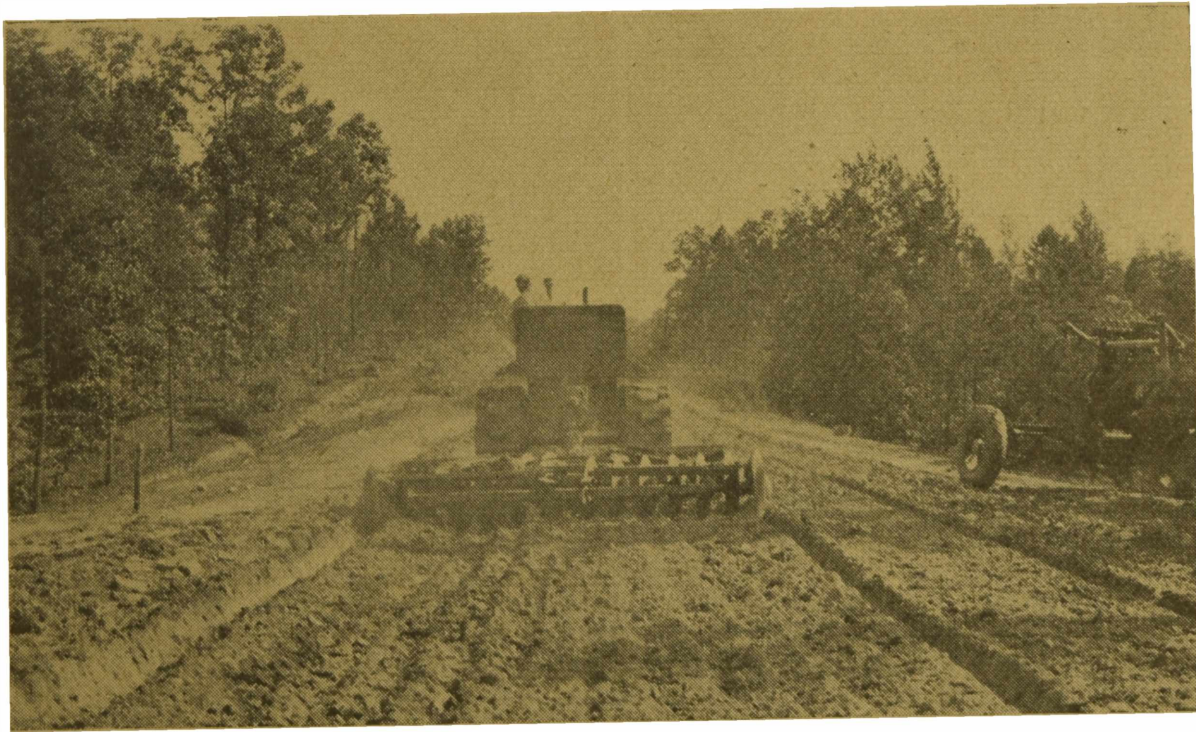


FIG. 95. — Mezcla húmeda efectuada con rastra de discos en Lancaster C. del Sud.)

E. — COMPACTACIÓN Y PERFILADO

Una vez comprobado si el grado de humedad de la mezcla es el que se calculó, vale decir el óptimo, se comienza con la distribución del material húmedo de los caballetes. Para estos ensayos se utiliza el laboratorio de campaña, determinándose la humedad, con

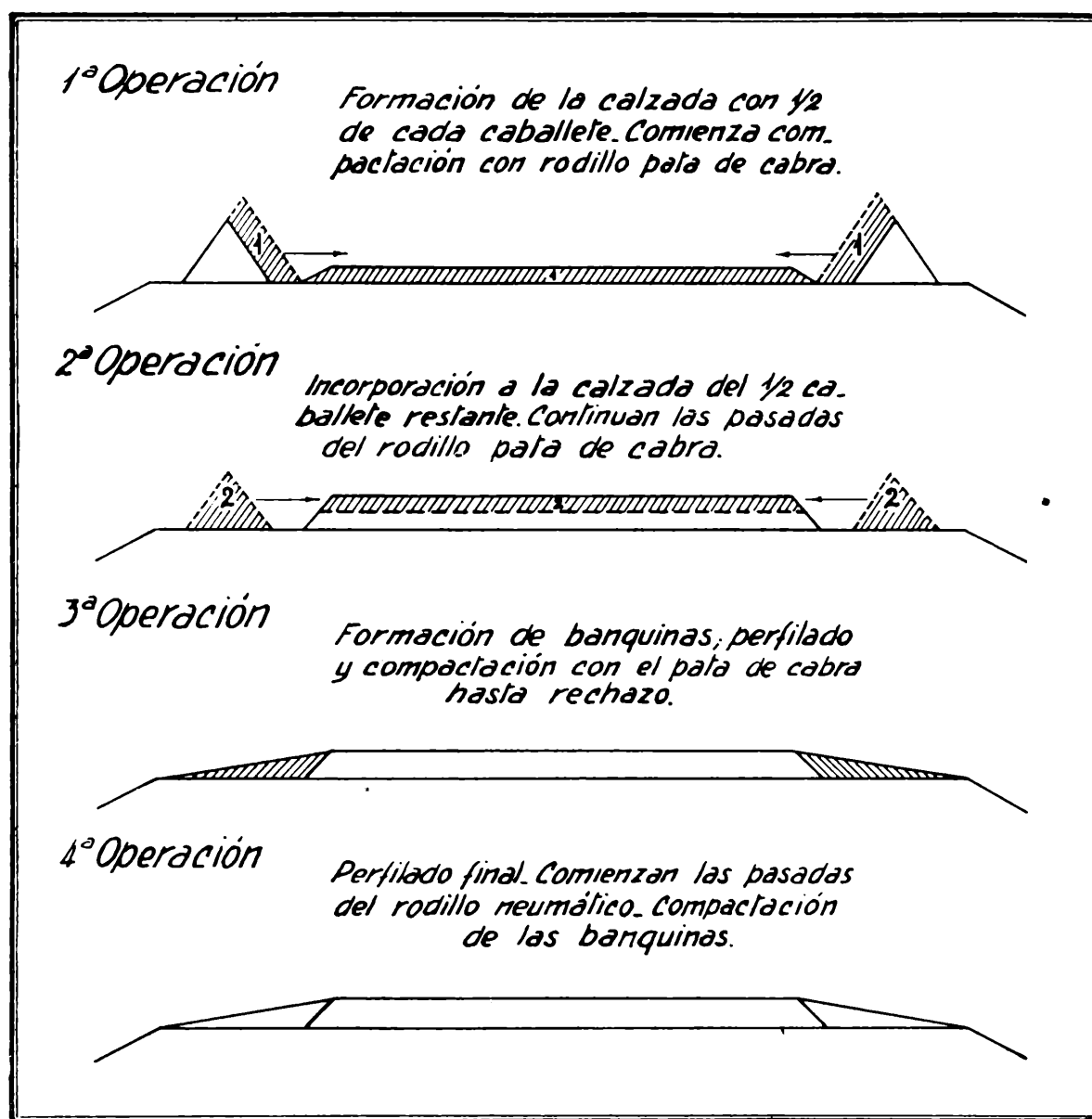


FIG. 97. — Compactación y perfilado.

muestras representativas de los caballetes secadas en estufa abierta.

En la figura 97 están representadas todas las operaciones efectuadas en esta etapa constructiva, en los tramos de Córdoba.

La distribución del material de los caballetes se efectuaba por mitades, comenzando con las pasadas del rodillo « pata de cabra »

una vez depositada la mitad del material húmedo en la calzada.
Figuras 98, 99 y 100.

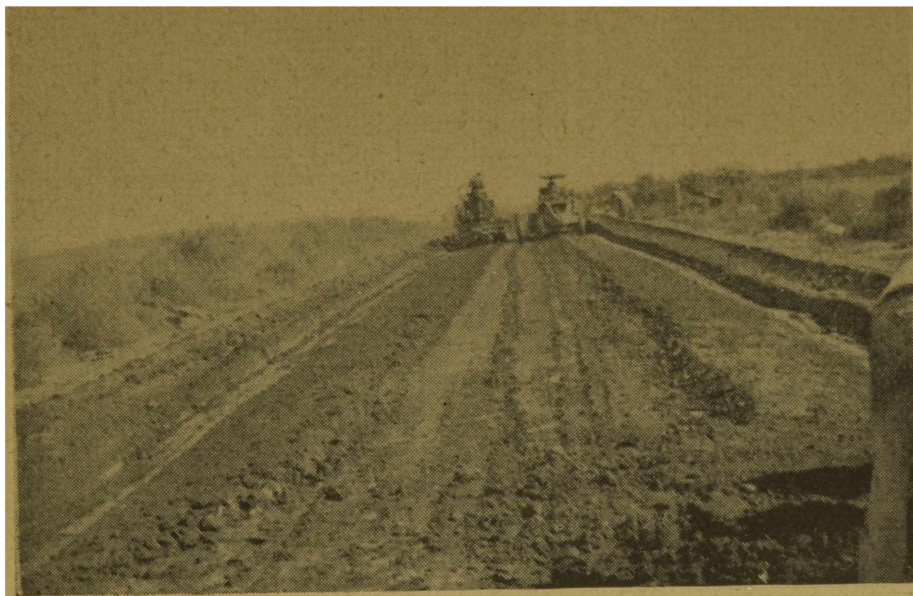


FIG. 98. — Comienzan las pasadas del rodillo «pata de cabra».

Mientras las niveladoras llevaban material a la calzada el rodillo continuaba su trabajo, aplicándose mientras tanto ligeros riegos de agua para contrarrestar el efecto de la evaporación.

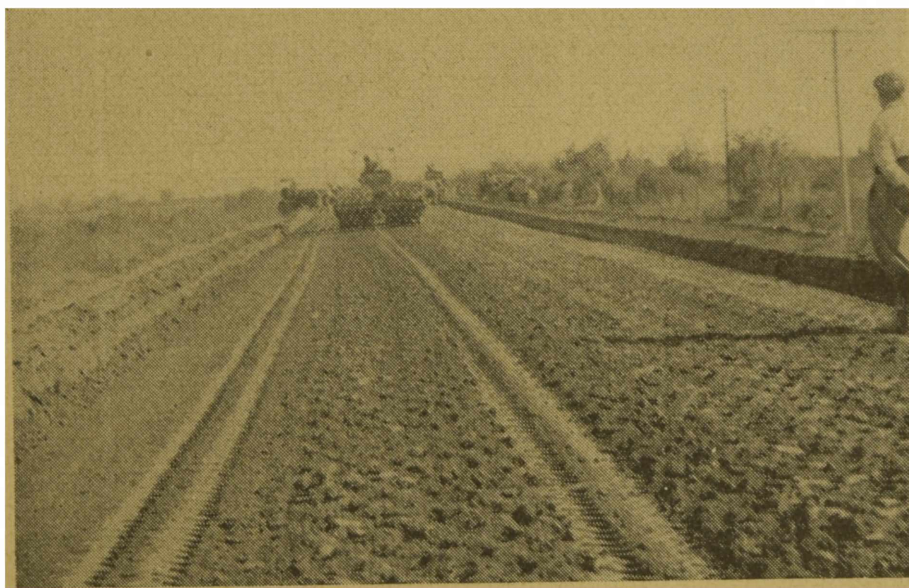


FIG. 99. — Llevando el material de los caballetes a la calzada.

Completada la distribución del material de los caballetes y mientras se continuaba con las pasadas del rodillo «pata de cabra» la niveladora comenzaba con la formación de banquetas y la motoniveladora procedía al perfilado de la calzada (figs. 101 y 102).

Cuando el rodillo « pata de cabra » penetraba solamente 1 ó 2 cms. se le retiraba y se completaba el perfilado que era controlado con galibo (figs. 103, 104 y 105).

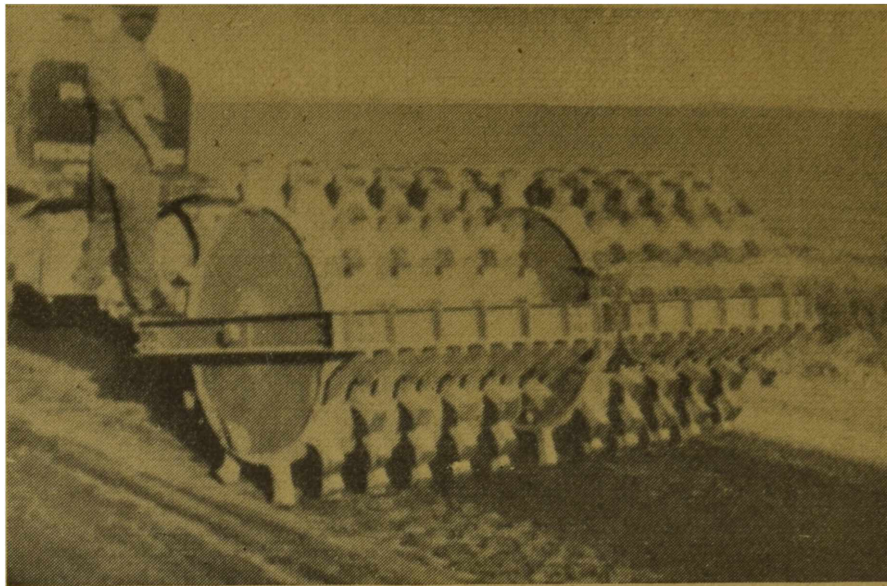


FIG. 100. — Rodillo « pata de cabra » empleado en la compactación.

El material suelto originado por el perfilado que no excedía de los 2 cm., se regaba ligeramente y se le compactaba con un rodillo



FIG. 101. — Equipo empleado en la formación de banquetas.

neumático múltiple, de una carga unitaria de 40 Kg/cm.² de llanta. Figuras 106 y 107.

Terminada la compactación de la calzada y el perfilado de la misma, se recubría el extremo avanzado del tramo terminado en una

longitud de unos 20 m. con un espesor de 0,15 m. de tierra, para evitar la acción destructora del equipo a utilizar en la construc-

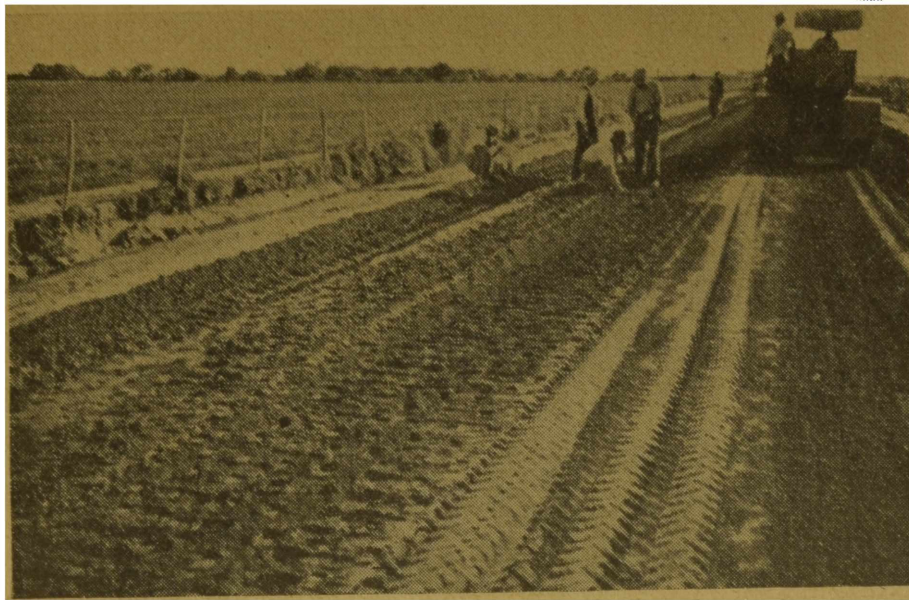


FIG. 102. — 1º perfilado de la calzada.

ción del tramo siguiente y que necesariamente debía transitar y accionar sobre esa zona (fig. 108).

El aspecto de la calzada terminada es el que se aprecia en las figuras 109 y 110.

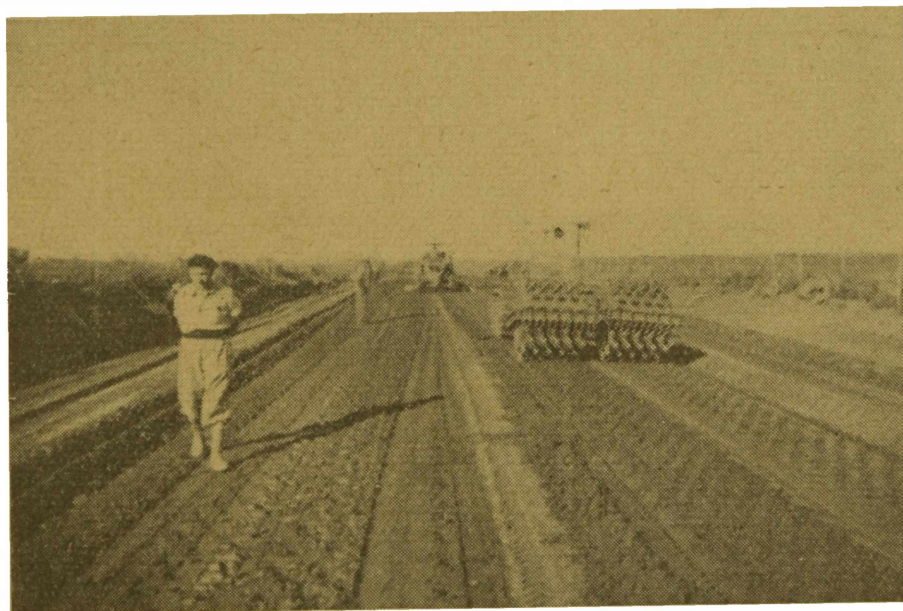


FIG. 103. — Perfilado y últimas pasadas del rodillo.

En esta etapa se empleó el equipo indicado durante 4 horas de labor.

Al terminarse el trabajo se extraían muestra de la calzada com-

compactada, determinándose el grado de humedad de la misma, a los efectos de compararlo con el contenido óptimo.

El ensayo se efectuaba por dos caminos distintos:

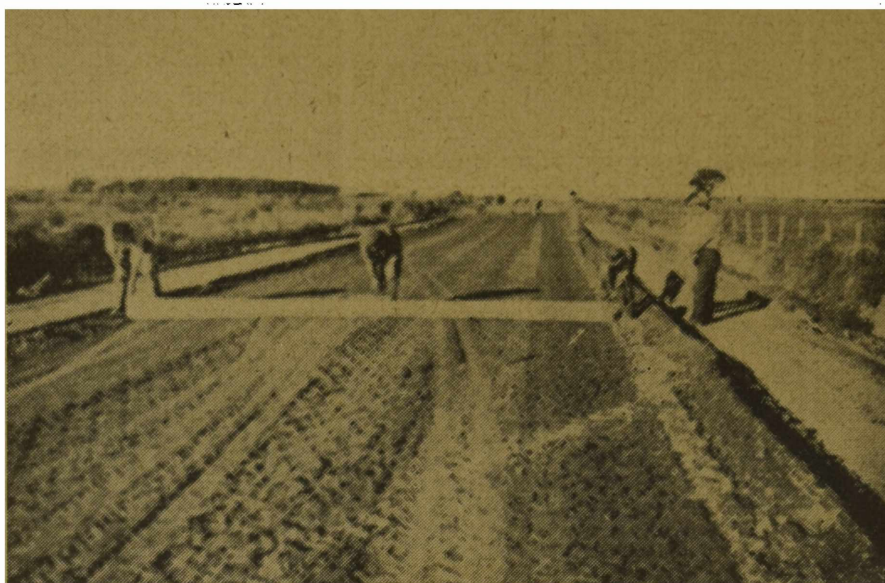


FIG. 104. — Control del perfil.

Ensayo 1. — Compactando la muestra según el procedimiento de Proctor. Determinado el peso del litro húmedo del material, se



FIG. 105. — Aspecto de la calzada al retirar el rodillo « pata de cabra ».

entraba con este valor en las ordenadas de la curva compactación-humedad proporcionadas por el laboratorio buscándose en las abscisas el contenido de humedad correspondiente.

Ensayo 2. — Secando 100 gramos de la mezcla húmeda.

Los dobles resultados obtenidos evidenciaron que entre la humedad dada por los ensayos 1 y 2, existía una diferencia tanto

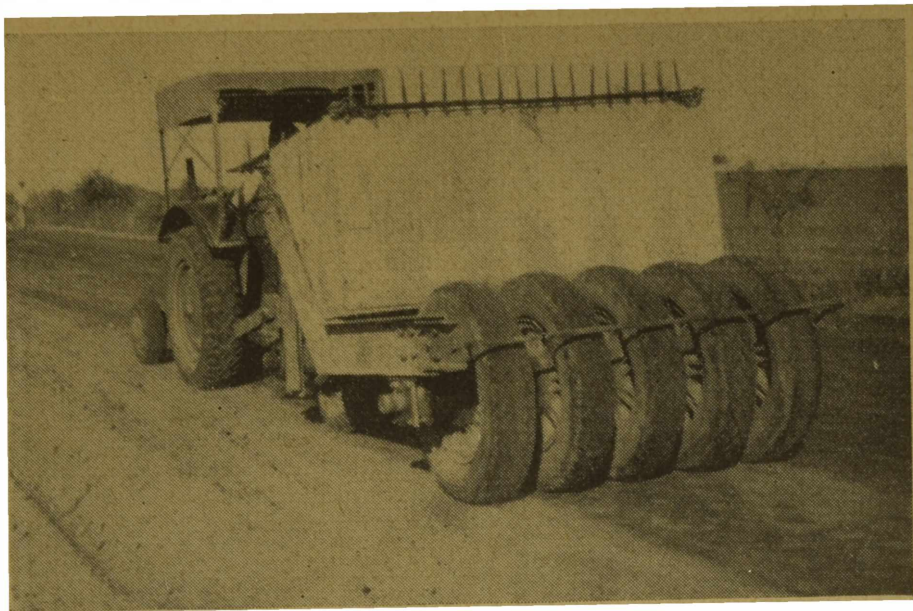


FIG. 106. — Rodillo neumático múltiple empleado en Córdoba.

más grande cuanto mayor había sido el tiempo transcurrido desde el

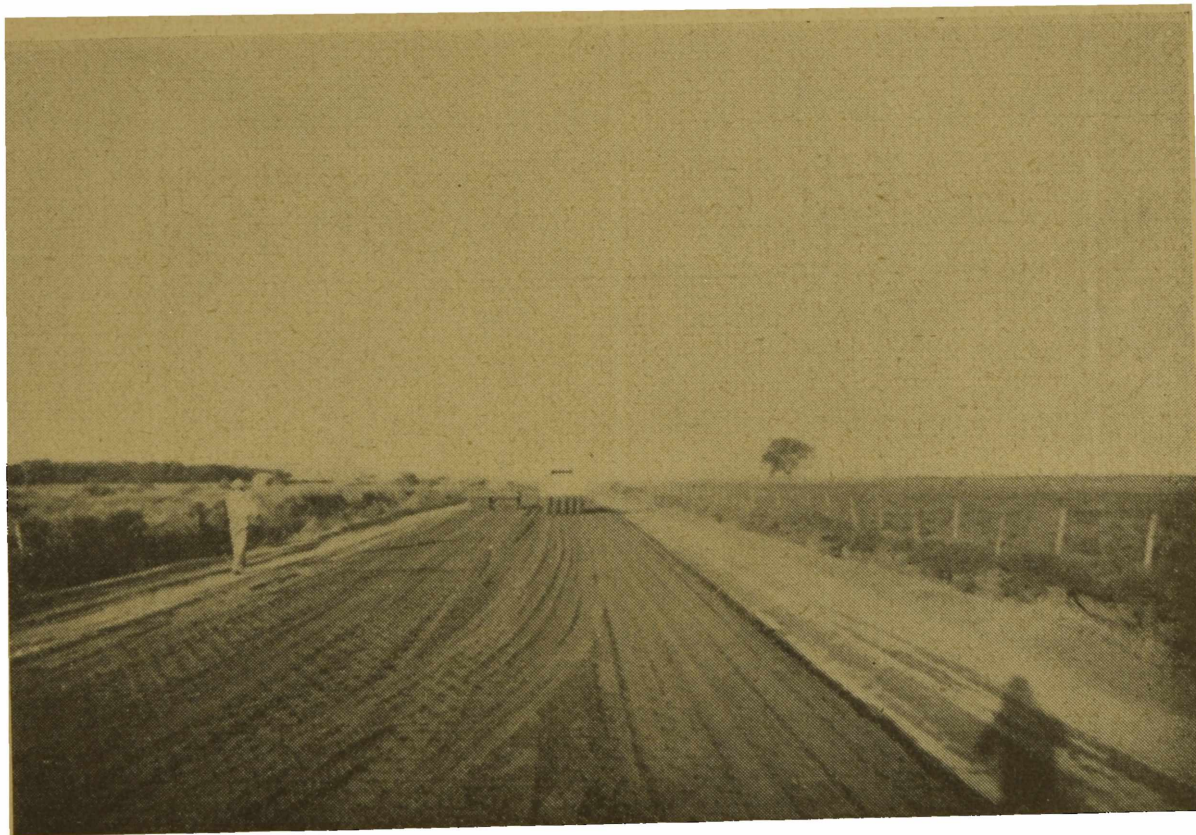


FIG. 107. — Compactando la capa superficial con el rodillo neumático.

momento de comenzar con el humedecimiento de la mezcla hasta el momento de efectuarse el ensayo. Ensayos posteriores, explicados

en el Capítulo 2-I demostraron que esta circunstancia es digna de tenerse en cuenta.

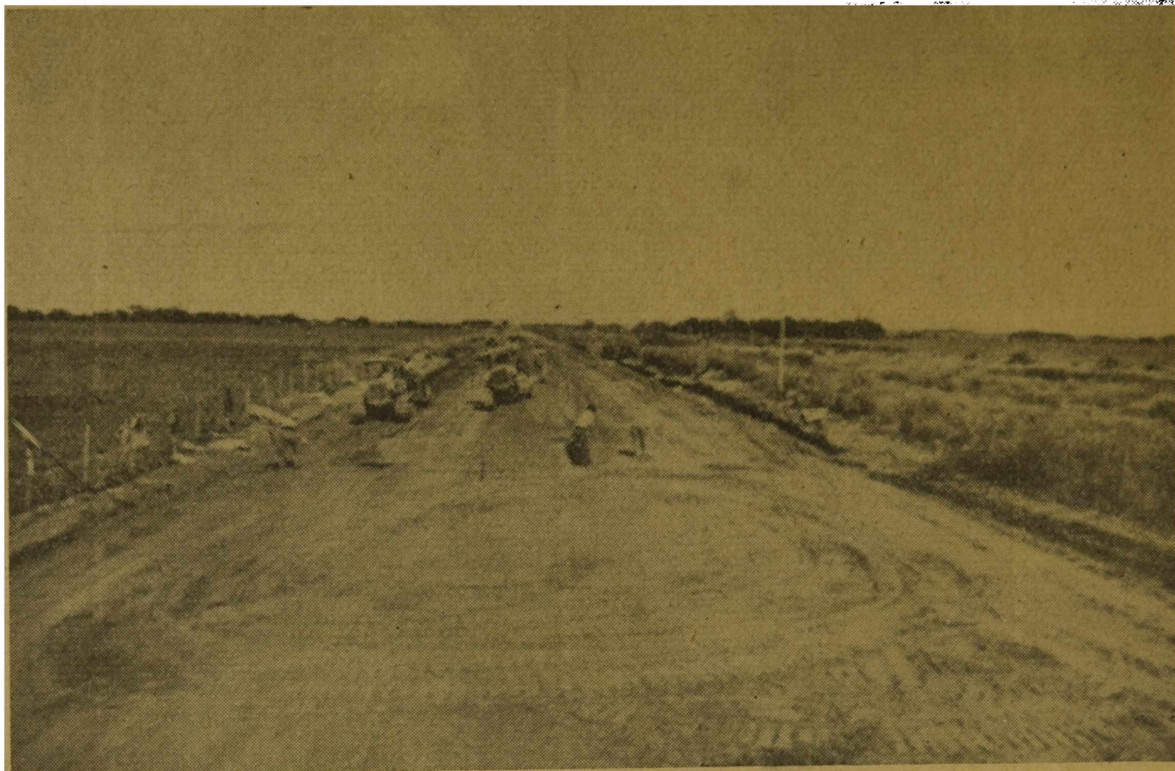


FIG. 108. — En primer plano la zona protegida por una capa de tierra.

En los tramos de Villa Numancia la compactación se efectuó con



FIG. 109. — Calzada terminada.

un rodillo « pata de cabra », de las características ya detalladas. Esta operación se continuó hasta el rechazo.

Al mismo tiempo que trabajaba el rodillo, la niveladora efectuaba recorridos corrigiendo las partes altas y bajas, de manera de ir formando el perfil transversal tipo, al mismo tiempo que la compactación.



FIG. 110. — Detalle de la calzada terminada; pueden apreciarse pequeñas fisuras superficiales

Una vez que se alcanzó el rechazo, el « pata de cabra » fué retirado, se terminó la compactación y perfilado con el rodillo de llantas neumáticas y la niveladora.

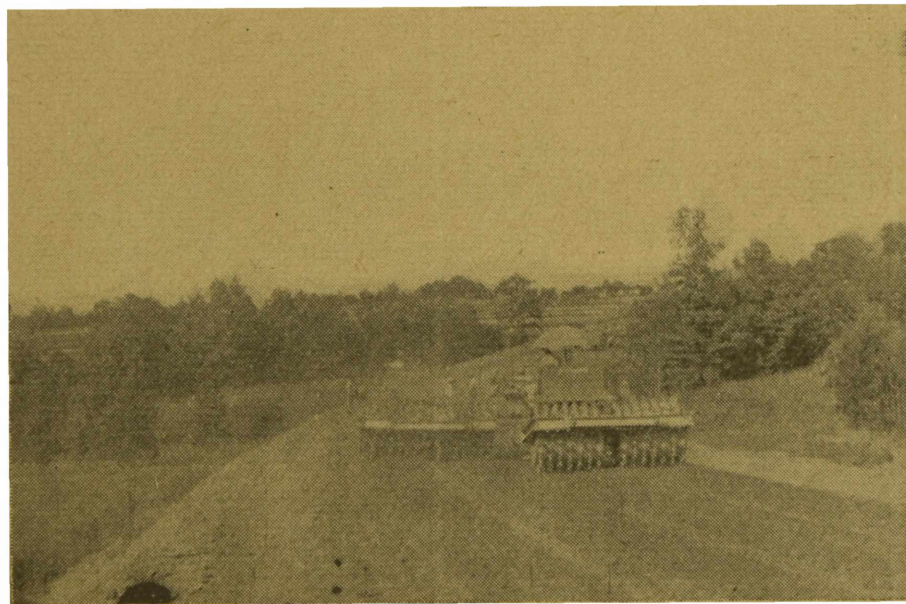


FIG. 111. — Equipo utilizado para la compactación en el tramo de Lancaster (C. del Sud).

El tiempo empleado fué de 3 horas.

En la figura 111, podemos ver el equipo utilizado en la compactación del tramo en Carolina del Sud. Se trata de dos rodillos

«pata de cabra» de doble sección accionados por tractores tipo oruga de 75 HP. lo que asegura gran rapidez en el terminado de esta etapa.

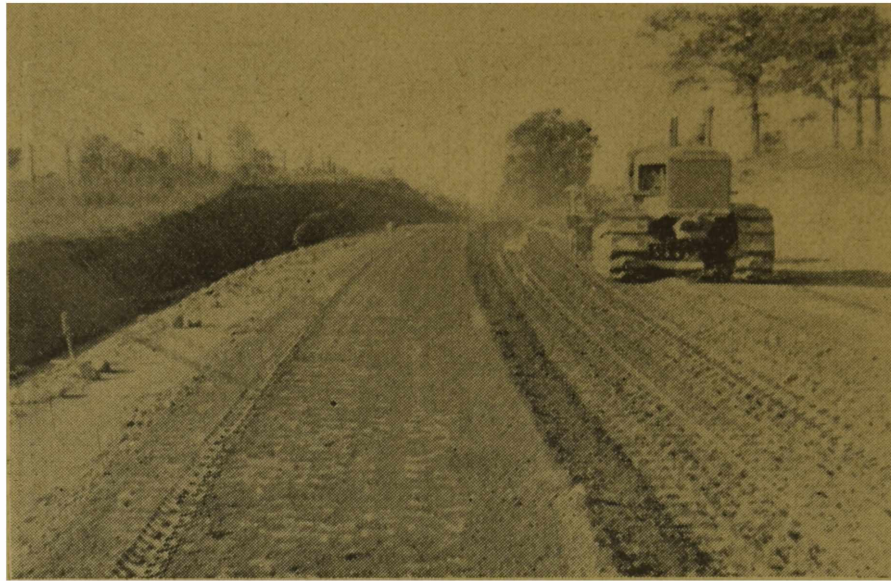


FIG. 112. — Últimas pasadas del rodillo y comienzo del perfilado.

Para compactar el tramo, se empleó ese equipo durante 3 horas de trabajo.

La figura 112 nos muestra al rodillo trabajando mientras la motoniveladora comienza con el perfilado de la calzada.

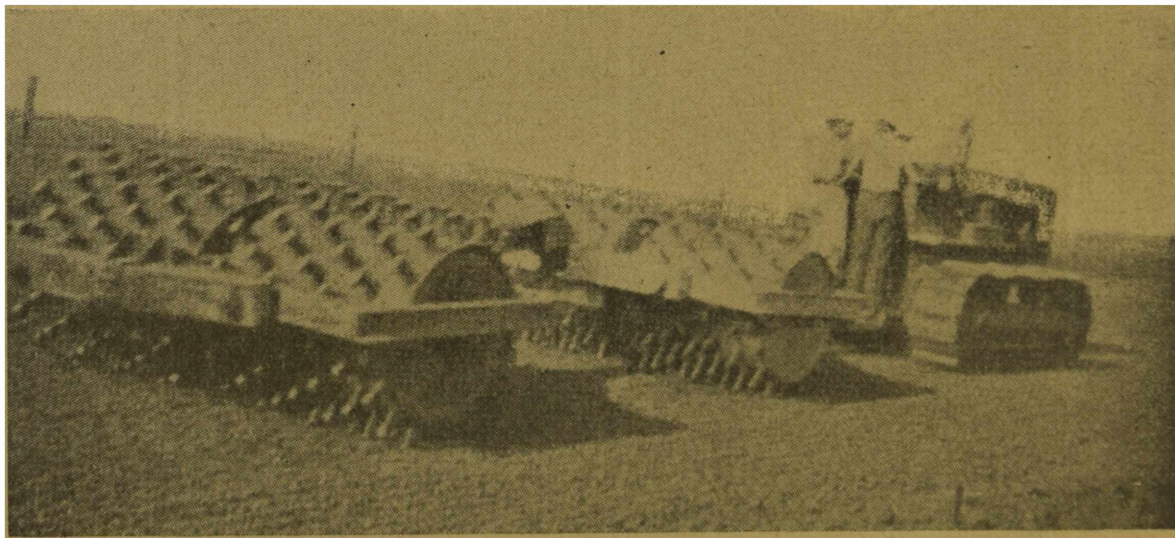


FIG. 113. — Equipo de compactación empleado en Missouri.

Esta operación demandó 1 ½ hora de trabajo de la motoniveladora.

En la figura 113, podemos ver el equipo empleado para la com-

compactación del tramo en Missouri. Se trata de dos rodillos de doble sección acoplados y que son de un gran rendimiento.

En este tramo en las últimas pasadas del rodillo, se acoplaba una

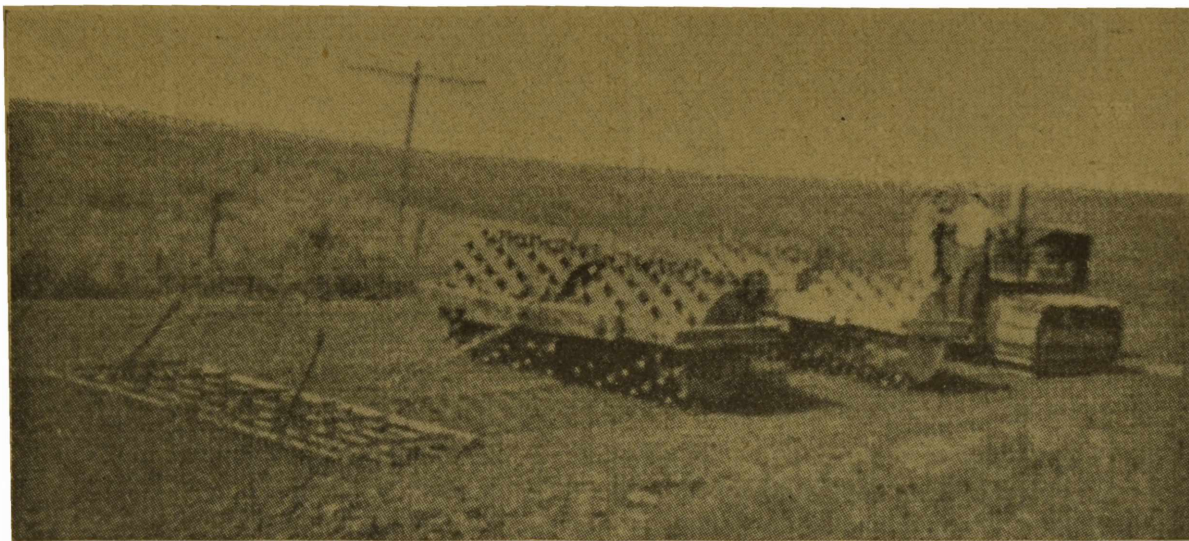


FIG. 114. — Rastra de dientes acoplada al equipo de compactación.

rastra de dientes, encargada de aflojar las marcas del «pata de cabra». Fig. 114.

El material suelto se compactaba con pasadas del equipo de ca-

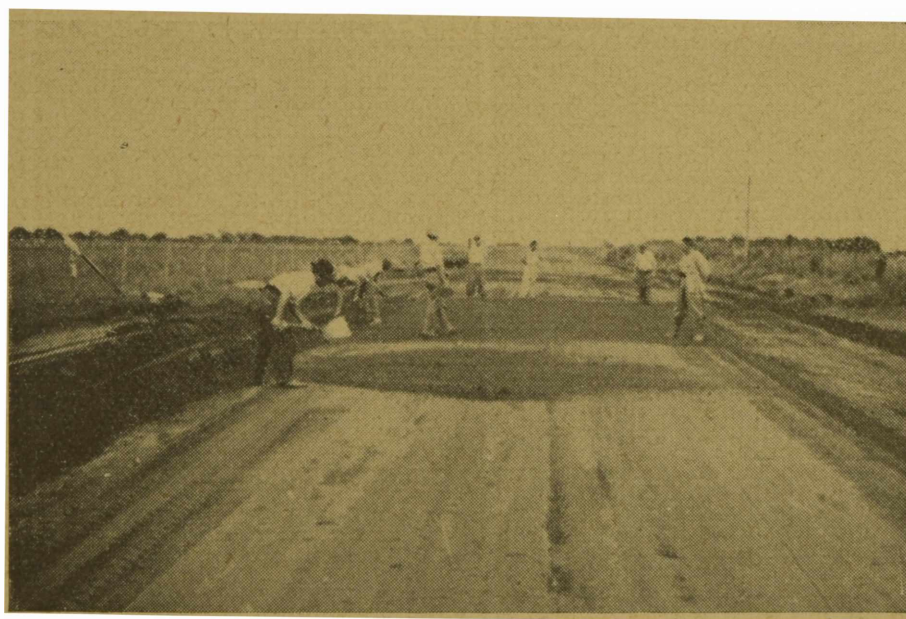


FIG. 115. — Curado con tierra.

miones que suplían al rodillo neumático y la terminación del trabajo se efectuaba con un rodillo mecánico.

En algunos de nuestros tramos en Córdoba se utilizó el rodillo mecánico de 6T, de peso para el terminado de la calzada.

F. — CURADO

Se emplearon dos tipos de curado: 1º, con recubrimiento de una

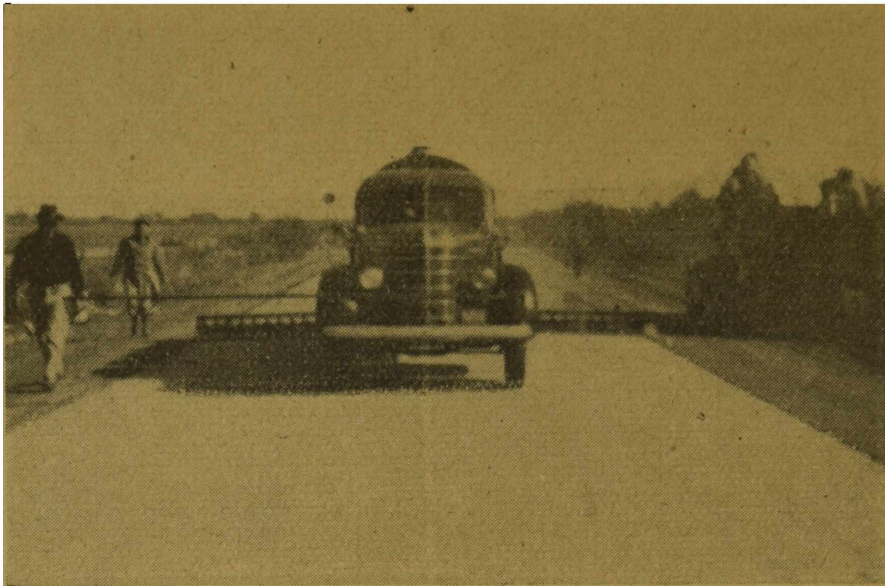


FIG. 116. — Curado con Road-Oil.J

capa de tierra húmeda de 0.07 m. de espesor y 2º, con un riego de material bituminoso. (Figuras 115, 116 y 117).

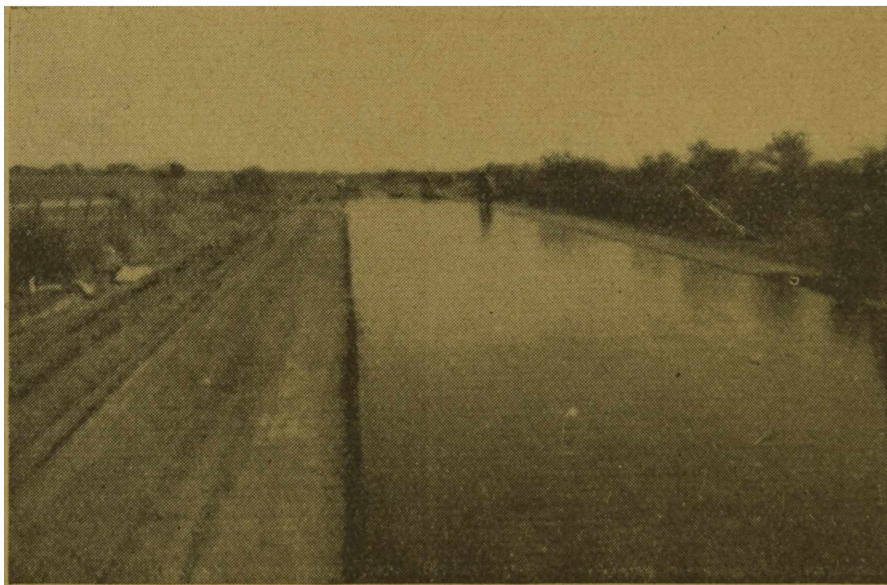


FIG. 117. — Superficie regada con material asfáltico

En los tramos 2 a 6 de la primera sección, se recubrió la calzada con tierra y diariamente durante 7 días se le efectuaron dos riegos

con agua. En el primer tramo se regó con $0,8 \text{ l/m}^2$ de emulsión asfáltica de rotura media. Aparentemente este curado ha sido más eficaz.

En la segunda sección todos los tramos fueron curados con riegos de material alféatico de imprimación, (Road-Oil) a razón de $1,3 \text{ l/m}^2$; que se efectuaron a las 24 horas de terminados los tramos, manteniéndolos húmedos entre tanto, con ligeros riegos de agua.



FIG. 118. — Fardos de pasto a utilizar en el curado.

Sobre la eficacia de uno y otro procedimiento, podemos decir que con los dos tipos de curado se obtienen buenos resultados, con alguna ventaja desde el punto de vista económico, de parte del riego bituminoso ya que con él se evita el trabajo de recubrimiento, los riegos de agua diarios y la limpieza de la calzada una vez terminado el período de curado. Además, efectuado el riego de imprimación y una vez que el mismo penetraba, la calzada quedaba de inmediato en buenas condiciones para librarla al tránsito, adelantándose la primera etapa: riego de imprimación del tratamiento bituminoso superficial a construir como carpeta de rodamiento.

En los tramos de Villa Numancia no recibieron ninguna clase de curado, solamente se efectuaron ligeros riegos con agua en una cantidad de 1 l/m^2 en los primeros 4 días, y luego permanecieron sin recibir ningún tratamiento 15 días.

Se notó el cuarteo provocado por la evaporación en la capa superficial, hasta 1 cm. de profundidad.

Al extraer las probetas para los ensayos de verificación, esta capa superficial de 1 cm. se desprendía con facilidad del resto. La causa de este debilitamiento de la capa superficial, fué que al faltar el curado el centímetro superior sufrió una gran pérdida de humedad en el período de la hidratación del cemento, provocando por lo tanto una disminución en el poder estabilizador del cemento.

El efecto perjudicial de la pérdida de humedad durante los primeros 7 días de efectuada la mezcla, fué comprobada en ensayos sobre probetas, mencionadas en la Tercera Reunión Anual de Caminos.

Por lo tanto se vuelve a insistir sobre la importancia del curado durante los 7 primeros días.

Es común en Estados Unidos, recubrir la calzada con pasto, que se mantiene húmedo durante una semana. En la figura 118 se pueden ver los fardos preparados en un tramo en construcción, mientras la aplanadora termina el repaso de la calzada.

II CONCLUSIONES

1. — *Rendimiento.* En base a la experiencia acumulada en estos tramos se estima que con el equipo que se detalla a continuación es posible terminar en el día 300 m.³ de mezcla suelo-cemento.

Equipo:

- 2 motoniveladoras.
- 2 tractores oruga.
- 1 niveladora.
- 1 tractor con llanta neumática.
- 2 rodillos « pata de cabra » de doble sección.
- 1 rastra de discos o de dientes flexibles.
- 2 distribuidores mecánicos de cemento.
- 1 rodillo neumático.

Camiones regadores en número suficiente como para asegurar una distribución continúa del agua a regar.

Camiones para la distribución del cemento en número suficiente.

1ª Sección Experimental.

Suelo	% Cemento	Tramo nº	Muestra nº	PLS obtenida	Promedio
Loam arcilloso	8%	1	1	1,450	1,464
			2	1,520	
			3	1,425	
	8%	2	4	1,480	1,474
			5	1,460	
			6	1,483	
	6%	3	7	1,455	1,437
			8	1,435	
			9	1,420	
Arena	6%	4	10	1,905	1,868
			11	1,870	
			12	1,830	
	6%	5	13	1,760	1,768
			14	1,730	
			15	1,815	
	4%	6	16	1,745	1,778
			17	1,790	
			18	1,800	

2ª Sección Experimental.

Arcilla limosa	10%	1	1	1,370	1,390
			2	1,400	
			3	1,410	
	10%	2	4	1,455	1,465
			5	1,475	
			6	1,465	
	8%	3	7	1,450	1,450
			8	1,455	
			9	1,445	
	8%	4	10	1,420	1,426
			11	1,460	
			12	1,400	

Personal:

1 encargado general, 1 capataz y 20 obreros, encargados de terminar el mezclado en los extremos y de preparar la sección para el trabajo del día siguiente.

1 laborista, 1 ayudante y un peón, para el laboratorio de campaña, que debe ser como mínimo igual al indicado.

Ensayos de verificación. — En los tramos de Córdoba se efectuaron determinaciones del peso del litro seco por el método del kerosene, en probetas extraídas de la calzada, cada 33 m. en la primera sección y a cada 50 m. en la segunda.

Los resultados que van en las Tablas adjuntas evidencian valores comprendidos entre el 90 y el 98 % en promedio de los establecidos por los ensayos del laboratorio previos a la construcción.

Como hemos visto, esta diferencia de valores debe adjudicarse a la acción del fraguado del cemento. Si observamos estos valores comprobaremos que se aproximan a los correspondientes a las curvas de Proctor de las mezclas humedecidas estacionadas durante 4 horas, que eran en el mejor de los casos el tiempo empleado en el terreno para humedecer y comenzar a compactar la mezcla.

En los tramos de Villa Numancia sobre probetas extraídas de la calzada se efectuaron determinaciones del peso del litro seco por el método del kerosene y cantidad de cemento.

a) *Peso del litro seco.* — En la tabla XXVI están reunidos los valores encontrados.

TABLA N° XXVI

Peso del litro seco determinado en probetas

SUELO VII			SUELO VIII		
Muestra	Capas	P. L. S. Kg/l.	Muestra	Capas	P. L. S.
5	S	1.408	1	S	1.545
5	I	1.447	1	I	1.506
6	S	1.454	2	S	1.512
6	I	1.420	2	I	1.550
7	S	1.426	3	S	1.495
7	I	1.36	3	I	1.488
			4	S	1.502
			4	I	1.488
Promedio		1.419	Promedio		1.510

En la columna de capas la *S* significa parte superior de la probeta y la *I* parte inferior de la misma.

En la figura 28, tenemos trazadas las curvas de compactación-humedad de las mezclas a diferente tiempo de humedecido del suelo

VIII. El gráfico del suelo VII no ha sido posible trazarlo por falta de material.

En el tramo de Villa Numancia entre el principio del humedecido y la terminación se empleó 3 horas y además hay que hacer notar que debido al sistema de trabajo la mezcla era continuamente movida por la rastra de dientes flexibles, lo que retrasa el principio del fraguado del cemento. El principio de fraguado con la aguja de Vicat, dió 2 h. 55', luego la compactación de la mezcla se realizó prácticamente antes del comienzo del fraguado del cemento. Esto se vé claramente comparando los resultados de los pesos del litro encontrados en las probetas extraídas del camino con la máxima compactación encontrada en el laboratorio. El promedio de los resultados del P.L.S. para el suelo VIII, es de 1,510; el P.L.S. encontrado en laboratorio para dos horas de estacionado y 25 % de humedad, que fué con la que se trabajó en el terreno (fig. 28), es prácticamente de 1,49 Kg/l.

Vemos entonces que en este caso no se manifestó la influencia del fraguado del cemento en la compactación, lo cual se dijo se debe al método constructivo y a que el tiempo empleado en la construcción fué inferior al tiempo del principio del fraguado. Esto no quiere decir que dicho método es el aconsejado, por que como veremos a continuación al determinar la cantidad de cemento en la mezcla, éste no se distribuye uniformemente y además la uniformidad de la humedad no puede ser controlado con la exactitud requerida.

b) *Cantidad de cemento.* — En la tabla XXVII están reunidas las determinaciones del cemento en las mismas probetas con las que se efectuaron la determinación del P.L.S.

Vemos que las variaciones de la cantidad de cemento entre las distintas muestras es apreciable y difiere del adoptado en el proyecto, que fué de 8 %.

Las causas de esto tiene que ser el método constructivo. Recordemos que en estos tramos se trabajó en caja, con ancho útil de trabajo reducido y por eso se prefería efectuar la mezcla con ras-tras de dientes flexibles únicamente y con el material extendido, y de esta manera no se podía controlar en forma rigurosa el espesor mezclado. La cantidad de cemento encontradas en las probetas, mayor a lo proyectado, nos indica que el espesor fué inferior al fijado. Eso mismo se encontró por medición directa al sacar las probetas; el espesor medio fué de 8,5 cm. En base a este espesor y

TABLA N° XXVII

SUELO VII			SUELO VIII		
M.	C.	Cemento %	M.	C.	Cemento %
5	S	11,1	1	S	6,4
5	I	10,3	1	I	6,1
6	S	9,5	2	S	10,7
6	I	9,8	2	I	9,8
7	S	15,7	3	S	11,1
7	I	15,4	3	I	9,7
			4	S	12,2
			4	I	15,9
T. M.		11,9	T. M.		10,2

los datos conocidos calculemos el peso de cemento en por ciento de suelo seco que le correspondería para el espesor encontrado.

La cantidad de cemento por metro cuadrado fué de:

$$\text{Cem. x m.}^2 = 0,1 \times 1 \times 1 \times 1500 \times 0,08 = 13,20 \text{ Kg/m.}^2.$$

Pero como el espesor fué de 8,5 cm. tenemos que el cemento calculado en por ciento del peso correspondiente a dicho espesor, es de:

$$\frac{13,20 \times 100}{0,085 \times 1 \times 1,500} = \frac{13,2 \times 100}{1,275} = 10,3$$

El término medio de las cantidades de cemento encontrados para el suelo VIII, cuadro XXVII, es de 10,2.

La distribución del cemento en el espesor de la probeta vemos que es uniforme.

Conclusiones. — Creemos interesante para los próximos trabajos, acercar los ensayos previos del laboratorio a las indicaciones de trabajo en el terreno, ya que las investigaciones efectuadas y que se han reseñado en el Capítulo 2, evidencian que la acción del fraguado del cemento antes de compactar la mezcla tiene mucha importancia en los valores del peso del litro seco logrado, especialmente para ciertos suelos.

Para ello los ensayos Proctor del laboratorio deberán efectuarse con mezclas humedecidas y estacionadas un número de horas compatible con el equipo de mezcla y compactación a utilizar en la construcción del tramo.

Por ahora dos soluciones se presentan para evitar la acción del fraguado:

1º) Emplear equipos que aseguren la terminación del trabajo antes de comenzar el frague del cemento.

2º) Emplear un cemento de frague más lento, lo que supone contar con un tipo de cemento especial para estos trabajos.

A nuestro juicio podría encararse en nuestro país, si la construcción de este tipo de base se generalizara, esta última solución.

BIBLIOGRAFÍA

- ING. VÍCTOR CARRI. — *La estabilización de suelos con cemento portland*. (Tercera Reunión Anual de Caminos. La Plata, 1938).
- MILES D. CATTON. — *Construction Practices and Specifications for soil-cement Roads*. (Convention Proceedings, 1938. American Road Builders Ass.).
- PORTLAND CEMENT ASS. — *Publicaciones*.
- PROCEEDINGS SEVENTEENTH ANUAL MEETING (HIGHWAY RESEARCH BOARD, 1937. — *Soil-cement Mixture for roads*.
- W. H. MILLS, jr. — *Highway Research Board* (Proceedings 1936).
- IN. H. FERNÁNDEZ GARCÍA. — *Informes sobre mezclas suelo-cemento*. (Segunda jira de estudios)
- ING. C. COLL BENEGAS. — *Informes*. (Volumen N° 21 de las publicaciones de la D. N. de Vialidad.
- ING. J. L. CARATTINO. — *Informes sobre mezclas suelo-cemento*. (Tercera jira de estudios. D. N. V.).

4) ESPECIFICACIONES

Las especificaciones que se transcriben a continuación han sido preparadas en la sección C.I.B. de la Dirección Nacional de Vialidad, y son las que se encuentran en vigencia actualmente. La numeración corresponde al orden correlativo de las especificaciones en uso.

SECCIÓN 53.

REVESTIMIENTO DE SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND

53-1. — *Descripción.*

Estos trabajos comprenden las operaciones necesarias para construir un revestimiento, consistente en la mezcla íntima y uniforme de suelo y cemento portland, compactada con un determinado contenido de humedad conforme con lo establecido en las presentes especificaciones. El revestimiento se ejecutará de acuerdo con el perfil longitudinal, espesores y sección transversal indicados en los planos. Para la construcción se seguirá el siguiente proceso constructivo:

- a) Preparación de la sub-rasante, la que deberá ser compactada y perfilada convenientemente si se utilizara para el revestimiento suelo seleccionado transportado y solamente perfilada si se empleara el suelo de la sub-rasante, para la mezcla con cemento portland.
- b) Distribución de la cantidad necesaria de suelo transportado, pulverización del mismo y distribución en el ancho y espesor conveniente.

Si se utilizara el suelo de la sub-rasante, se escarificará la misma en el ancho y espesor necesario y se pulverizará el material escarificado, se formará con él un caballete, se

- alisará y compactará la superficie de la caja, y se distribuirá el material pulverizado en el ancho fijado.
- c) Distribución y mezcla del cemento portland, con el suelo pulverizado.
 - d) Incorporación del agua en forma uniforme y en cantidades que fijará la Inspección, de manera de lograr el contenido óptimo especificado.
 - e) Conformación y perfilado de la mezcla conforme a los planos y compactación de la misma en todo su espesor, mediante la utilización de rodillos tipo « pata de cabra » con el contenido óptimo de humedad fijado a ese efecto.
 - f) Conformación y alisado final del revestimiento, utilizando niveladoras, rodillos neumáticos múltiples o aplanadoras.
 - g) Protección y curado del revestimiento mediante la utilización de paja o pasto humedecidos, tierra o materiales bituminosos durante 7 días como mínimo, antes de librarse la sección al tránsito.

53-2. — *Materiales.*

1. *Cemento portland.* — El cemento será de marca aprobada por la Dirección de Obras Sanitarias de la Nación y cumplirá con las exigencias del decreto del P. E. de la Nación con las modificaciones del 16 de octubre de 1934 (Exp. 18.792 - O - 1934). Mientras deba estar depositado en obra, se le tendrá apilado sobre tablones y cubierto con techo o lonas en forma de que no pueda recibir humedad. Se rechazará parte o toda partida de cemento que esté agrumado aunque sea en pequeña cantidad. De cada partida se extraerán muestras representativas que serán enviadas al Laboratorio de la Dirección Nacional de Vialidad para su ensayo y aprobación.
2. *Agua.* — El agua a utilizar en la construcción responderá a las siguientes condiciones:
 - 1.º No será excesivamente ácida ni alcalina y su grado de salinidad será tal que el residuo de 100° a 110° no sea mayor de 50 gramos por litro.
 - 2.º Estará exenta de materias nocivas para el cemento, como ser: azúcares, sustancias húmicas y cualquier otra reconocida como tal.
 - 3.º No contendrá sulfatos, expresados en anhídrido sulfúrico, en cantidad perjudicial.

Cuando la Inspección lo considere necesario podrá disponer el análisis del agua.

Las muestras para análisis serán enviadas por el Contratista con la intervención de la Inspección, a la División de Investigaciones Carreteras. Se remitirán por lo menos dos (2) muestras de un litro cada una, en recipientes de vidrio perfectamente limpios.

Los gastos consiguientes se dan por previstos en los precios estipulados y serán a cuenta exclusiva del Contratista.

3. *Suelo.*

- a) El suelo a estabilizar puede consistir en suelo de la subrasante o en suelo seleccionado transportado. Deberá estar libre de pastos, raíces, materias putrescibles, sales y cualquier otra substancia perjudicial para el cemento portland.
- b) Cuando se utilice el suelo seleccionado éste será obtenido de las progresivas y espesores indicados en los planos u ordenados por la Inspección.

Debe evitarse el empleo de suelos de textura muy fina cuando exista posibilidad de obtener materiales más gruesos con apreciable proporción de arena. Se podrán emplear varias clases de suelos en una misma sección, para conseguir una mezcla conveniente de ellos.

53-3. — *Equipo.*

- 1.º El equipo cumplirá las exigencias de esta especificación y será sometido a la aprobación de la Inspección, la que posteriormente podrá disponer el reemplazo de aquellos elementos que, por requerir continuas reparaciones o no ser eficientes, perjudiquen el normal desarrollo de las operaciones.
- 2.º La nómina del equipo necesario se especificará por separado en el ítem «Equipo mínimo necesario». Los equipos empleados deberán reunir las siguientes condiciones:
 - a) *Niveladora o motoniveladora.* Estarán equipadas con cuchilla de 3,00 m. de largo como mínimo y con potencia suficiente como para poder accionar con espesores de material suelto y contenidos de humedad elevados.
 - b) *Rastra de discos.* Serán de 3,00 m. de ancho con discos de 0,50 m. de diámetro.
 - c) *Rastra de dientes curvos.* Los dientes serán flexibles y la rastra tendrá un ancho de 2,00 m. como mínimo y será de dos cuerpos.

d) *Escarificador*. Ajustable a la niveladora o motoniveladora.

e) *Rodillos « pata de cabra »*. Serán de dos tambores como mínimo, de aproximadamente 1,00 m. de ancho cada uno.

Sus características serán las que se indican a continuación y en las Especificaciones Complementarias.

Longitud de cada pata: 15 cm., como mínimo.

Area de cada pata: 25 a 60 cm².

Los rodillos estarán provistos de dispositivos para la limpieza de los espacios comprendidos entre las patas.

Cuando el volumen diario de mezcla a compactar exceda los 300 m.³, deberá disponerse de otro equipo de rodillos « pata de cabra ».

f) *Rodillo mecánico*. Serán preferentemente tipo Tandem y de los pesos siguientes:

Para suelos arenosos de 3 a 5 toneladas

Suelos arcillosos livianos » 7 a 10 »

Suelos arcillosos pesados » 10 a 12 »

g) *Rodillo neumático múltiple*.

Estará compuesto de 9 ruedas, dispuestas en dos ejes. Tendrá un peso como para que resulte una presión comprendida entre 35 y 50 kgs/cm. de ancho de llanta (banda de rodamiento). La presión interior de aire en los neumáticos no será inferior a 3,15 kgs/cm.² (45 libras por pulgada cuadrada) y las ruedas deberán estar colocadas de tal manera, que abarquen el ancho total cubierto por el rodillo.

h) *Camiones - tanques para riego de agua*.

Estarán provistos de dispositivos apropiados para distribuir el agua de riego en forma constante y uniforme. El número de unidades del equipo de riego, será tal que permita transportar y aplicar el agua necesaria en 4 horas como máximo, para dar término a cada sección diaria de trabajo. La distribución uniforme del agua es de fundamental importancia y la Inspección controlará esta exigencia rechazando todos los implementos que no la satisfagan.

i) *Equipo de camiones, para el transporte de los materiales necesarios para la ejecución de la base, en el plazo contractual fijado.*

- j) Distribuidor apropiado para la distribución del cemento portland para acoplar a los camiones.
- k) Tractores en número suficiente, para el accionamiento de las rastras de discos, dientes flexibles, rodillo « pata de cabra » y niveladoras.

53-4. — *Procedimiento constructivo.*

1. *Preparación de la sub-rasante.*

- a) En caso de utilizar suelo seleccionado para la mezcla con cemento, la preparación previa de la sub-rasante, será ejecutada de acuerdo con la sección 9 de las especificaciones para « Movimiento de suelos » excepto el párrafo 5 del título 9-2 « Método constructivo ».
- b) En caso de utilizarse suelo de la sub-rasante misma, la calzada será escarificada en el ancho indicado en los planos o por la Inspección, y en un espesor tal que resulte un volumen suficiente para que una vez efectuada la mezcla con el cemento y terminada la construcción, el espesor resultante sea el requerido. El suelo escarificado será preparado como se indica en el párrafo 2. La superficie que queda expuesta será perfilada y preparada de acuerdo con la sección 9 de la especificación « Movimiento de suelos » excepto en lo referente al período de 10 días, indicado en el título 9-2, párrafo 5, que no será tenido en cuenta.

2. *Preparación del suelo para la mezcla.*

- a) En todos los casos se eliminará del suelo a utilizar, todas las materias extrañas y materias orgánicas putrescibles.
- b) Se distribuirá el suelo sobre la subrasante en un espesor uniforme y se le pulverizará por el método más conveniente: rastras, rodillos o cualquier otro implemento, hasta que cumpla la siguiente granulometría:

Pasa por criba 1''	100 %
» » tamiz N° 4, no menos de ..	80 %
» » tamiz N° 10, no menos de ..	60 %

una vez retiradas de la muestra la piedra o grava que pueda contener. Las muestras serán tomadas de manera que cada una represente a lo sumo 100 m.³ de calzada.

- c) Con el suelo pulverizado se formará un caballete, dejándolo formado hasta que prosigan las operaciones constructivas en esa sección. La longitud del caballete preparado en las condiciones explicadas no excederá, salvo orden escrita del Inspector de la longitud equivalente de calzada que pueda ser terminada en dos días de trabajo.

3. *Distribución del cemento.*

- a) Antes de distribuir el suelo pulverizado y de aplicar el cemento, la Inspección indicará si el suelo tiene el contenido de humedad adecuado para proceder a la distribución del cemento. En ningún caso se autorizará la iniciación de este trabajo, cuando el contenido de humedad del suelo exceda al contenido óptimo.
- b) Se distribuirá el suelo pulverizado en todo el ancho de la calzada y en espesor uniforme y se procederá de inmediato a distribuir la cantidad de cemento portland indicada en las Especificaciones Complementarias u ordenadas por la Inspección. El cemento será distribuído, utilizando distribuidores mecánicos aprobados por la Inspección.
- c) En los días de mucho viento, que haga volar apreciable cantidad de cemento, se formarán dos caballetes con el suelo pulverizado, dejando en el centro de ellos un espacio de 2 a 2,5 m. para permitir la circulación de los camiones que transportan el cemento.

Sobre este espacio libre se distribuirá la cantidad de cemento que corresponda al ancho total de la calzada recubriéndolo de inmediato con el material de los caballetes. La Inspección podrá suspender la distribución de cemento cuando el viento fuese muy fuerte.

- d) No se permitirá que el paso de ningún equipo sobre el cemento ya distribuído hasta que no esté mezclado con el suelo, a excepción de los implementos que se utilicen para efectuar su distribución y mezcla.

4. *Mezcla.*

Inmediatamente después de aplicar el cemento, deberá procederse a su mezcla con el suelo pulverizado, cuidando que ésta se efectúe en el espesor total, y evitando que el cemento se mezcle por debajo de ese espesor.

Esta operación podrá efectuarse utilizando rastras de dientes flexibles, de discos, cultivadores a dientes o palas, nive-

ladoras o cualquier otro implemento aprobado por la Inspección.

El mezclado continuará todo el tiempo necesario para obtener una mezcla completa, íntima y uniforme de todos los materiales y de apariencia perfectamente homogénea. La Inspección indicará cuando debe terminar esta operación.

5. *Aplicación del agua a la mezcla.*

- a) Terminada la mezcla de suelo y cemento se determinará el contenido de humedad de la misma, tomando el número de muestras que, en cada caso determinará la Inspección calculándose de inmediato la cantidad de agua a agregar para llevar la mezcla al contenido óptimo fijando en base a los ensayos previos de densidad — contenido óptimo de humedad. Este contenido está indicado en las especificaciones complementarias.
- b) Se comenzará la aplicación de agua con riegos parciales y en cantidades fijadas por la Inspección. Cada aplicación de agua, será incorporada a la mezcla con rastras de discos, de dientes flexibles, cultivadores o niveladoras, evitándose la concentración de agua en la superficie de la capa a mezclar. Al finalizar la aplicación de agua, operación que no debe emplear más de 4 horas de tiempo, se continuará con el mezclado hasta obtener una distribución homogénea de la humedad en todo el ancho y espesor mezclado.
- c) El contenido de humedad al terminar el mezclado con agua e inmediatamente antes de comenzar la compactación, no deberá variar en un porcentaje superior o inferior al 2 % del óptimo especificado.

6. *Compactación.*

- a) Verificado el grado de humedad de la mezcla, se procederá a aflojar el espesor total y recién entonces se comenzará la compactación con rodillos « pata de cabra ». El peso y las dimensiones del rodillo se indican en las Especificaciones Complementarias. Esta operación continuará hasta que todo el espesor esté uniformemente compactado con la densidad especificada.
- b) Cuando la compactación de la mezcla haya llegado a un grado tal que el rodillo « pata de cabra » penetre un espesor de 6 a 8 cm. se efectuará un perfilado de la cal-

zada utilizando niveladoras o preferentemente motoniveladoras, sin suspender las pasadas de rodillo.

Con esta operación se procurará corregir las deformaciones que se hayan producido a consecuencia del mezclado.

Se evitará durante el perfilado, la incorporación de suelo de las banquetas. Si durante la compactación y perfilado, se reseca la superficie, se le regará ligeramente con el fin de facilitar las operaciones finales.

- c) Se continuará pasando el rodillo « pata de cabra » hasta que deje en la superficie una capa uniforme sin compactar de no más de 2 cm. de espesor. Se suspenderá entonces las pasadas de rodillo y se procederá a reperfilear y alisar la superficie de acuerdo con el perfil del plano.

Este reperfileado no dejará una capa de más de 2 cm. de espesor suelto, si fuera mayor se volverá a pasar el rodillo « pata de cabra » hasta reducir el espesor suelto a ese espesor.

- d) Terminado el trabajo se pasará una rastra de dientes sobre la superficie de la calzada, para aflojar un espesor igual al de las marcas dejadas por los rodillos « pata de cabra » y por el equipo de perfilado.
- e) Para consolidar los materiales removidos en esta operación se pasará la aplanadora o el rodillo neumático múltiple, hasta obtener una superficie lisa de textura cerrada, libre de grietas o fisuras, ondulaciones, materiales sueltos y con el perfil requerido en los planos respectivos.

Si fuera necesario se regará ligeramente la superficie antes del cilindrado.

- f) La densidad que se obtenga en el revestimiento deberá ser la especificada.

7. Curado.

- a) Tan pronto como se termine la compactación definitiva de los materiales removidos en el último perfilado, se protegerá la superficie con pasto o tierra, formando un recubrimiento de unos 7 cm. de espesor, capaz de evitar la evaporación de humedad durante el período de endurecimiento de 7 días. El material de recubrimiento será humedecido cada vez que la Inspección lo juzgue necesario, para evitar su resecamiento.

Podrá utilizarse también, en lugar de tierra o pasto, un riego bituminoso, en la cantidad que fijará la Inspección, dentro de los límites fijados en las especificaciones. Este riego será aplicado cuando la Inspección lo juzgue conveniente.

- b) El extremo avanzado de cada sección terminada se cubrirá en una longitud de 20,00 m. con 15 cm. de tierra para evitar que los equipos, al construir el tramo siguiente destruyan las superficies terminadas.

8. *Alternativas para el método constructivo.*

Las operaciones de distribución y mezcla de materiales las podrá efectuar el Contratista por cualquier otro procedimiento que proponga y sea aprobado por la Inspección, previa intervención y conformidad de la Oficina que proyectó el revestimiento, pero en todos los casos, la compactación y el curado se harán de acuerdo con la forma indicada en esta especificación.

9. *Banquinas.*

La construcción de las banquetas se efectuará de acuerdo con la sección 10 de la especificación sobre « Movimiento de suelos ».

53-5. — *Control.*

1. *Limitaciones en la construcción.*

- a) Las operaciones indicadas en los capítulos 3 a 7 inclusive de la Sección 53-4 de estas Especificaciones, se harán en forma continua y deberán quedar terminadas en el día.

Una vez distribuido el cemento, con autorización de la Inspección, aquéllas no podrán interrumpirse por ninguna razón, por más de 2 horas; y cuando la mezcla sin compactar aún es humedecida por lluvias, en forma tal que exceda el contenido de humedad fijado, la sección será reconstruida de acuerdo con estas Especificaciones, abonándosele al Contratista solamente el cemento necesario para la reconstrucción.

- b) No se iniciará la distribución del cemento hasta que la temperatura del aire a la sombra sea como mínimo 4° C y en ascenso.

2. *Espesores.*

Inmediatamente de terminadas las operaciones de compactación y conformación final de la base, se procederá a verificar el espesor obtenido, para lo cual se hará una perforación cada 30,00 m. de longitud alternando en la siguiente forma: centro, derecho, centro, izquierdo.

Los espesores de la base compactada podrán diferir como máximo en un 10 % en exceso o en defecto, con respecto a los indicados en los planos y Especificaciones. En las partes donde se verifiquen variaciones del espesor que sobrepasen las tolerancias admitidas, se efectuarán nuevas perforaciones con el fin de localizar con la mayor exactitud posible la zona defectuosa. En estas zonas el Contratista procederá a completar el espesor con material premezclado de acuerdo con la Especificación « Imprimación con materiales bituminosos » por su exclusiva cuenta.

3. *Densidades.*

La densidad del revestimiento será determinado por la Inspección después de terminada la construcción. Los valores obtenidos deben estar comprendidos dentro de los límites especificados en las « Especificaciones Complementarias ».

53-6. — *Conservación.*

a) Después de siete (7) días como mínimo de curado el revestimiento de acuerdo con lo exigido en las presentes especificaciones, se sacará el pasto o la tierra, utilizada para ese fin, y se librárá la sección al tránsito.

El Contratista deberá conservar las superficies a partir de tal fecha, durante un mes como mínimo, hasta que se proceda a ejecutar el tratamiento bituminoso superficial.

Durante el período de conservación y en la oportunidad que la Inspección considere necesario y conveniente, se aplicará a la base riegos de agua, en las cantidades que la Inspección fijará.

b) Cuando para el curado se haya empleado materiales bituminosos, la sección se librárá al tránsito, cuando todo el material haya penetrado y la superficie tenga apariencia seca y sin brillo.

c) Las zonas que se deterioren durante el plazo de conservación ya fijado, serán reparadas utilizando materiales

premezclados, empleando igual proporción de suelo, cemento y agua que en la construcción.

El procedimiento constructivo para efectuar la reparación, se ajustará a las normas generales explicadas en estas Especificaciones.

53-7. — *Medición.*

1. *Preparación de la sub-rasante.*

La preparación de la sub-rasante cuando se paga con ítem especial, será medida en la forma especificada en la Sección 9 de la Especificación « Movimiento de suelos ».

2. *Preparación del suelo de la sub-rasante, para la mezcla.*

La preparación del suelo escarificado y pulverizado, cuando es obtenido de la subrasante, será medida en m.² de calzada terminada, con las dimensiones indicadas en el plano.

3. *Suelo seleccionado.*

El suelo seleccionado para utilizar en la mezcla, o para reemplazar suelos de la sub-rasante de mala calidad, se medirán por m.³ de material en su posición original por medio de secciones transversales y se computará por el método de la media de las distancias.

4. *Transporte de suelo seleccionado.*

El transporte de suelo seleccionado será medido en hm.m³ y determinado de acuerdo con el procedimiento indicado en la sección 8 « Transporte de suelo » de las especificaciones para « Movimiento de suelos ».

5. *Cemento portland.*

El cemento portland, será medido en toneladas. El peso total empleado se computará por el número de envases de cemento utilizado, de acuerdo con lo indicado en estas Especificaciones o por orden de la Inspección.

6. *Agua.*

Toda el agua usada en la construcción, curado y conservación del revestimiento de acuerdo con estas Especificaciones y las órdenes de la Inspección, será medida en m.³, en los tanques distribuidores empleados.

No se computará el agua aplicada sin autorización u orden de la Inspección.

7. *Construcción del revestimiento.*

Será medida en m.² de calzada terminada y aceptada por la Inspección con el ancho y espesor indicado en los planos y especificaciones, no se computará ningún trabajo ejecutado fuera del ancho indicado en los planos o por la Inspección.

8. *Material bituminoso para el curado.*

Cuando se use un material bituminoso para el curado, éste será medido en litros regados de acuerdo a lo indicado en las Especificaciones para Tratamiento Bituminoso.

53-8. — *Bases de pago.*

1. *Preparación de la sub-rasante.*

Si el pago no está incluido en el precio unitario de otro ítem del contrato, se efectuará de acuerdo con la sección 9 « Preparación de la sub-rasante » de la Especificación para « Movimiento de suelos ».

2. *Preparación de suelo de la sub-rasante para mezclar con cemento.*

Cuando se use suelo de la sub-rasante para mezclar con el cemento, el pago para su preparación será hecho al precio unitario por m.²

Este precio incluye el costo de escarificación de la sub-rasante existente, pulverización del suelo escarificado y formación del caballete, de acuerdo con el capítulo 53-4 título « Preparación del suelo para la mezcla ».

3. *Suelo seleccionado.* Se pagará al precio unitario por m.³

El precio incluye el costo de excavación, carga, descarga y transporte hasta 50,00 m. de distancia, y todas las operaciones necesarias para la preparación del suelo, de acuerdo con lo requerido en el capítulo 53-4 - título: « Preparación del suelo para la mezcla ».

4. *Transporte de suelo seleccionado.*

El pago se efectuará por hm.m³ de acuerdo con lo indicado en la sección 8 « Transporte de suelo » de la especificación para « Movimiento de suelos ».

5. *Cemento portland.*

Se pagará al precio unitario del contrato por tonelada de cemento incorporado en la calzada. Este precio incluye la provisión y el almacenaje del cemento, transporte y todas

las operaciones necesarias para la distribución del cemento en la calzada. No se pagará por los materiales distribuidos sin orden de la Inspección. Se abonará el cemento adicional necesario para la reconstrucción del tramo, de acuerdo con el título 53-5 - capítulo I - párrafo (a).

6. *Agua.*

El agua aplicada y medida de acuerdo con las especificaciones será pagada al precio unitario del contrato para el ítem « Agua regada incluido transporte ».

7. *Construcción del revestimiento.*

Se pagará al precio unitario del contrato por m.² de calzada terminada y aceptada por la Inspección. Este precio incluye la compensación por la preparación de la sub-rasante cuando no se paga por ítem aparte; distribución, mezclado, humedecimiento y compactación de la mezcla y toda otra operación necesaria para la construcción, curado y conservación del revestimiento y todos los materiales necesarios que no estén previstos en ítems separados.

8. *Materiales bituminosos para curado.*

El material bituminoso aplicado para el curado, será pagado al precio unitario por tn. aplicada en la calzada de acuerdo con la especificación de tratamiento bituminoso.

9. *Construcción de banquetas.*

Este trabajo será medido en m.³ y pagado al precio unitario por m.³ de excavación, de acuerdo con el procedimiento indicado en la Sección 10: « Construcción de banquetas » de la especificación para « Movimiento de suelo ». El transporte de suelo para las banquetas se medirá y pagará como está indicado en la mencionada especificación.

SECCIONES DE LA ESPECIFICACION « MOVIMIENTOS DE SUELOS »
MENCIONADAS EN LA ESPECIFICACION ANTERIOR

SECCIÓN 8. - TRANSPORTE DE SUELO

8-1. — *Descripción.*

1. Este trabajo consistirá en el transporte, carga y descarga de los materiales necesarios para la formación de terraplenes, recubrimientos de suelo, subrasantes, banquetas, accesos, rellenos y demás partes de la obra de suelo. Incluirá también

el transporte de los productos de excavaciones y destapo de yacimientos hasta los sitios de depósito, cuando los mismos no se utilicen en parte alguna de la construcción.

2. Llámase « distancia *total* de transporte » a la longitud existente entre centro de gravedad e una excavación y centro de gravedad del depósito del producto de la misma, medida a lo largo de la más corta de las vías de transporte practicable.
3. Llámase « distancia *común* de transporte » a la distancia, medida en la forma indicada, sobre la cual el transporte, carga y descarga de suelo, no recibe pago directo, sino que su precio se halla incluido dentro del precio de contrato para los diversos ítems de « Excavación ». Dicha « distancia *común* de transporte » será de 50 m. excepto en los casos en que los Pliegos Complementarios de Especificaciones establecieran otro valor para la misma.
4. Si la « distancia *total* de transporte » es mayor que la « distancia *común* de transporte » fijada de acuerdo al párrafo anterior, la diferencia entre ambas se llamará « distancia excedente de transporte ».

8-2. — *Medición.*

1. La « distancia *excedente* de transporte » medida en Hm. y multiplicada por el volumen en m³ de suelo transportado, medido en su posición original, dará el número de unidades del ítem « Transporte de suelo » en Hm³.
2. El volumen en m³ de suelo transportado, medido en su posición original dará el número de unidades del ítem « Carga y descarga de suelo ».

8-3. — *Forma de pago.*

1. Todo transporte de suelo, efectuado a lo largo de la « distancia *excedente* de transporte » será pagado por Hm.m³ al precio unitario de contrato para el ítem « Transporte de suelo ».
2. Si el respectivo ítem figura en el Presupuesto las operaciones de carga y descarga del suelo a transportar a lo largo

de la « distancia *excedente* de transporte », se pagarán por separado al precio unitario de contrato para el ítem: « Carga y descarga de suelo ».

3. Si dicho ítem no figura en el Presupuesto las operaciones de carga y descarga del suelo no recibirán pago directo, pues su costo estará incluido dentro del precio unitario de contrato para los diversos ítems de « Excavación ».
4. Todo transporte de suelo, incluido carga y descarga, efectuada sobre una « distancia *total* de transporte » igual o menor que la « distancia *común* de transporte », no recibirá pago directo alguno pues éste se hará incluido dentro del precio unitario de contrato para los diversos ítems de « Excavación ».

SECCIÓN 9. — PREPARACIÓN DE SUBRASANTE

9-1. — *Descripción.*

1. Este ítem consistirá en la preparación de la subrasante de un camino, en el cual se han realizado con anterioridad todos los trabajos de Movimiento de Suelo, para la construcción inmediata de un firme.
2. Se considerará como subrasante, aquella porción de superficie que servirá de asiento o fundación para el firme a construir.

9-2. — *Método constructivo.*

1. La subrasante será conformada y perfilada de acuerdo a los perfiles indicados en los planos u ordenados por la Inspección. Este trabajo deberá hacerse en forma de eliminar las irregularidades tanto en sentido transversal como longitudinal, con el fin de asegurar que el firme a construir sobre la subrasante, preparada, una vez perfilado a su sección final, tenga un espesor uniforme.
2. Donde sea necesario para obtener un perfilado correcto de la subrasante, la Inspección podrá exigir el escarificado del material de la misma. Todas las partes de la subrasante que hayan sido escarificadas y toda porción de la misma cuya compactación sea insuficiente, deberá compactarse en forma satisfactoria antes de colocar sobre ella material alguno para

la construcción del firme. Si con el tránsito normal del camino y el contenido natural de humedad del suelo, dicha compactación no pudiera obtenerse, el Contratista, a requerimiento de la Inspección deberá cilindrar la subrasante y ajustar su contenido de humedad dentro de límites correctos, de acuerdo a lo indicado por la Inspección. En todos los casos en que la subrasante sea cilindrada, esta operación se hará extensiva a las banquetas en un ancho de 0,30 como mínimo para cada lado.

3. Todo material que, en alguna parte de la subrasante, demuestra que no puede ser compactado satisfactoriamente con el uso del tránsito y equipos, deberá ser totalmente excavado y reemplazado por material apto extraído de los sitios que señalará la Inspección.
4. La Inspección podrá, si lo considera conveniente, hacer las determinaciones necesarias a fin de verificar el grado de compactación de los suelos de la subrasante y podrá exigir, en todos los casos, el peso específico aparente especificado bajo el título 6-2, párrafo 2-a) de estas especificaciones, en los 0,20 m. superiores de la subrasante.
5. La preparación de cada sección de subrasante deberá efectuarse con una anterioridad de 10 días como mínimo, con respecto a la fecha en que se comience a depositar los materiales para la construcción del firme en dicha sección. Una vez terminada la preparación de la subrasante en una sección de camino, aquélla deberá conservarse con su lisura y perfil correctos, hasta la terminación de la *construcción del firme*.
6. Si antes de finalizada la *construcción del firme*, se observaran ablandamientos o formación de irregularidades en la subrasante deberán retirarse los materiales ya colocados y corregirse la subrasante, en su forma y compactación, luego de lo cual se recolocará el material removido.

9-3. — *Medición.*

El trabajo en ésta descripto, recibido a satisfacción, se medirá en Hectómetro de camino.

9-4. — *Forma de pago.*

1. Cuando el respectivo ítem figure en el Presupuesto, los trabajos aquí especificados se pagarán al precio unitario de contrato para el ítem: « Preparación de subrasante ». Cuando dicho ítem, no figure en el Presupuesto el pago de los trabajos realizados en la forma especificada, se efectuará dentro del precio unitario de contrato para él, o los ítems que incluyan la construcción del firme proyectado.
2. Toda reposición del material inápto o adición del necesario para elevación de la cota de subrasante se medirá y pagará como « Excavación ».
3. Toda el agua agregada al suelo de la subrasante, siguiendo indicaciones de la Inspección, se pagará al precio unitario de contrato para el ítem « Agua regada, incluido transporte ».

SECCIÓN 10. — CONSTRUCCIÓN DE BANQUINAS

10-1. — *Descripción.*

Este ítem consistirá en la construcción de banquetas con material aprobado incluyendo el perfilado de las mismas, inmediatamente después o durante la construcción de un firme, todo ello de acuerdo con lo indicado en los planos, lo requerido en estas especificaciones y las órdenes de la Inspección.

10-2. — *Método constructivo.*

1. Antes de que la subrasante haya sido aprobada las banquetas adyacentes serán conformadas y perfiladas en todo su ancho y hasta la elevación de la subrasante terminada, como mínimo.
2. En todo momento, los trabajos se llevarán a cabo en forma que la subrasante, banquetas y taludes adyacentes tengan un desagüe correcto.
3. Inmediatamente después de la construcción del firme o durante la misma, se formarán las banquetas con material aprobado y se conformarán y perfilarán a la elevación, en el an-

cho y con la sección transversal indicada en planos u ordenada por la Inspección.

4. Las banquinas serán compactadas con el uso de cilindros lisos, rodillo neumático múltiple u otro tipo aprobado. Durante el cilindrado deberá cuidarse que los bordes del firme no sean deteriorados ni dañados.
5. Durante la construcción del firme y una vez terminada la misma, las banquinas serán conservadas a su lisura y perfil original hasta el momento de la recepción provisional de las obras. Se extremarán las precauciones para asegurar que la superficie del firme tenga un desagüe fácil y efectivo por sobre las banquinas y que el desagüe de éstos sea correcto en todos sus puntos. Dicho desagüe deberá lograrse conservando la elevación e inclinación correcta de las banquinas y no por excavación de zanjas transversales a través de las mismas. Se evitará especialmente la acumulación de agua en los bordes del firme y en la superficie de las banquinas. Si existieran drenes que atraviesen las banquinas, aquellos deberán ser revisados periódicamente y puestos en condiciones de realizar un drenaje real y efectivo.

10-3. — *Medición y pago.*

La formación de banquinas se medirá y pagará como « Excavación ». Dicho pago incluirá el perfilado y cilindrado de banquinas, la conservación de las mismas hasta la recepción provisional y el suministro de equipo y mano de obra para la terminación del trabajo especificado. Todo transporte de suelo a que dé lugar la formación de banquinas, se medirá y pagará en la forma especificada en la sección 8^a. « Transporte de suelo ».

INDICE

HILARIO MAGLIANO. — <i>Discurso inaugural</i>	Pág. 7
A. LODEIRO BLANCO y A. J. L. BOLOGNESI. — <i>Técnica actual en la ejecución de mezclas graduadas para bases de tratamientos bituminosos en la República Argentina</i>	,, 13
ALBERTO M. PODESTÁ y EGBERTO F. TAGLE. — <i>Tratamientos superficiales bituminosos</i>	,, 77
VÍCTOR CARRI y JUAN L. CARATTINO. — <i>Estabilización de suelos con cemento portland</i>	,, 177

Publicaciones de la Facultad de Ciencias Físicomatemáticas
a partir de enero de 1939

SERIE PRIMERA. — Informaciones generales.

1. Anuario 1938-39, mayo 1939	(N° 120)	\$ 1.50
2. Inauguración de la ampliación del laboratorio de Ensayos de materiales, agosto 1939.	(N° 124)	—
3. Laboratorio de ensayo de materiales, agosto de 1940	(N° 131)	—
4. Escuela del Motor	(N° 132)	—
5. Elección de autoridades y acto de transmisión del decanato	(N° 135)	—

SERIE SEGUNDA. — Revista.

1. Trabajos de los ingenieros M. Simonoff y E. A. Arnaboldi. Mayo de 1939	(N° 121)	\$ 2.40
2. Trabajos de los doctores Ramón G. Loyarte, J. Pláceres, F. Charola, R. F. Recoder, R. P. Cesco y A. E. Sagastume Berra, enero de 1940	(N° 127)	\$ 2.40
3. Trabajos del doctor P. Montel y de los ingenieros J. Gandolfo y M. Simonoff, abril de 1940	(N° 128)	\$ 2.40
4. Trabajos de los doctores A. Durañona y Vedia y G. Knie y de los ingenieros J. S. Gandolfo y A. Dorfman	(N° 136)	\$ 2.00

SERIE TERCERA. — Publicaciones Especiales.

• Saneamiento urbano en la República Argentina. Primera parte. Provisión de agua. Cuaderno N° 4, por el Ing. E. Artaza, junio de 1939	(N° 122)	\$ 3.80
1. Conmemoración de la Independencia Nacional. (Julio 1938), julio 1939	(N° 123)	—
• Tercera Reunión Anual de Caminos. Conferencias de los ingenieros T. Sánchez de Bustamante, V. Carri, J. Zuker, A. P. Grisi, A. Kashirski, C. K. Preus, N. Alurralde, M. Fornari, E. Arenas, J. J. Boiso y Dr. A. Zanetta, septiembre de 1939 ...	(N° 125)	\$ 10.00
2. Estudio de la evolución fluvial que determina el endicamiento del r'ío San Juan, por el Ing. José S. Gandolfo, enero 1940	(N° 126)	\$ 4.00
3. Conmemoración de la Independencia Nacional (Julio 1939), abril 1940	(N° 129)	—
• Física General. Tomo IV, segunda edición	(N° 130)	\$ 20.00
4. Lista de Publicaciones, agosto 1940	(N° 130)	\$ 20.00
• Saneamiento urbano en la República Argentina. Primera parte. Provisión de agua, por el Ing. E. Artaza. Cuaderno 5, septiembre 1940	(N° 134)	\$ 5.00
5. Cuarta Reunión Anual de Caminos (I). Discurso inaugural del Dr. H. Magliano. Conferencias de los ingenieros A. Lodeiro Blanco, A. J. L. Bolognesi, A. M. Podestá, E. F. Tagle, V. Carri y J. L. Caratino.	(N° 137)	—
6. Cuarta Reunión Anual de Caminos (II). Conferencias de los ingenieros P. Palazzo, E. Arenas y A. Kashirsky	(N° 138)	—

Se enviará sin cargo, a quien la solicite, la publicación n° 133 titulada « Lista de Publicaciones », y que contiene la nómina completa de las ediciones de la Facultad.

PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMATEMATICAS

Las publicaciones oficiales de la Facultad se dividen en las tres series siguientes:

SERIE PRIMERA. — *Informaciones generales.* — Esta serie comprende:

- a) el *Anuario*, que se publicará cada dos años, con informaciones relativas a las leyes, decretos, ordenanzas del Consejo superior que afecten a la Facultad y las del Consejo académico de la misma y resoluciones del decano de interés general, organización general de la Facultad, carreras que se cursan en ella, planes de estudio, programas de las materias, autoridades y personal docente, etc.
- b) Informaciones sobre la organización y evolución de sus institutos, departamentos, laboratorios, gabinetes, etc.
- c) Ampliaciones de sus edificios, publicando planos, fotografías, presupuestos, partidas acordadas en el presupuesto nacional, donaciones, etc.
- d) Movimiento del personal docente y datos sobre el mismo, visitas realizadas por personas destacadas, etc.
- e) Informes sobre elecciones de autoridades y asambleas de profesores. Discursos académicos.
- f) Noticias sintéticas de carácter general sobre actos de facultades similares nacionales y extranjeras.

SERIE SEGUNDA. — *Revista*

Esta serie, que es continuación de las series matemática, física y técnica, publicadas hasta el 31 de diciembre de 1938, con el título principal *Contribución al estudio de las Ciencias físicas y matemáticas*, contiene:

- a) Trabajos y conferencias de índole técnico-científica de los miembros del personal docente de la Facultad y de personas extrañas al mismo que el Consejo académico o la comisión de publicaciones resuelva publicar agrupados en concordancia con la organización general de la Facultad.
- b) Noticias de igual índole y bibliográficas de interés para la Facultad.

SERIE TERCERA. — *Publicaciones especiales.* — Esta serie comprende:

- a) Publicaciones especiales.
- b) Textos generales.
- c) Publicaciones didácticas.

Las publicaciones llevarán una numeración general siguiendo la de las anteriores de la Facultad por orden cronológico, de acuerdo con la fecha en que se termine la impresión.

Además cada serie llevará en el mismo orden la numeración especial que le corresponda. Esta numeración se inicia en el año 1939.

En todos los originales y publicaciones respectivas correspondientes a la segunda serie se hará constar la fecha de entrega a la comisión para ser impresos.

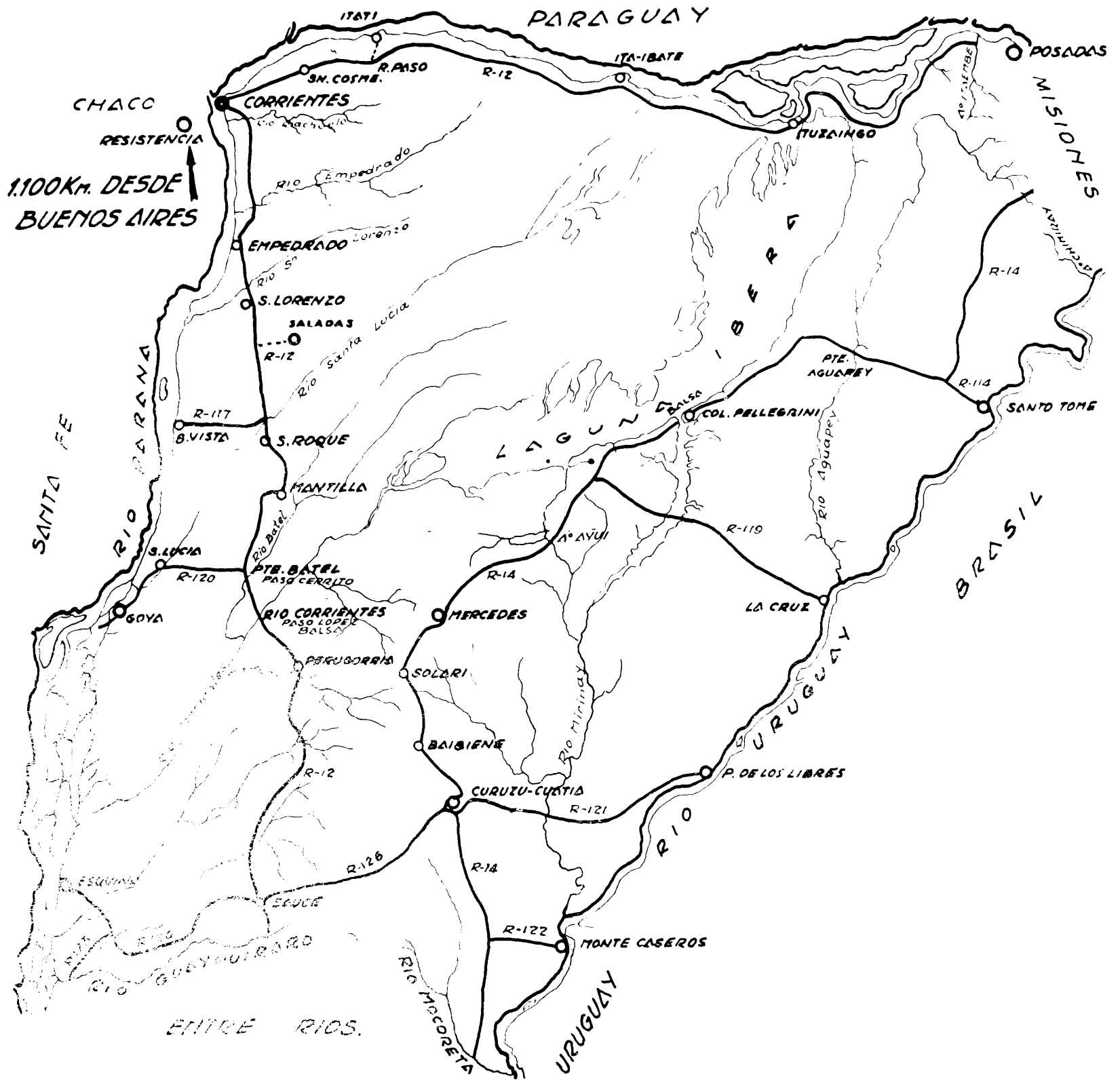
ADVERTENCIA

Con el fin de evitar extravíos en la correspondencia, rogamos que se nos hagan los envíos a la siguiente dirección:

Facultad de Ciencias Físicomatemáticas

Comisión de Publicaciones

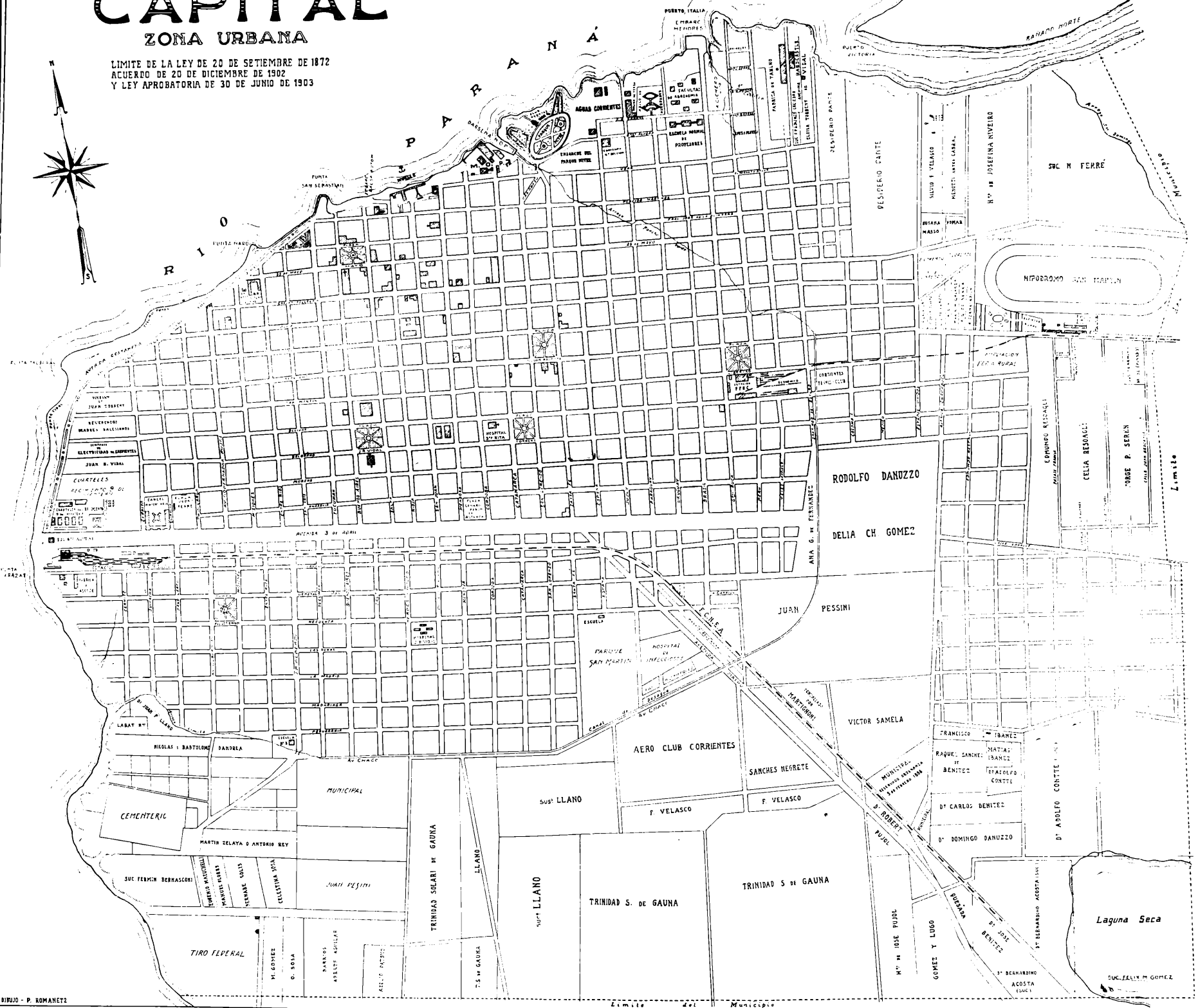
**Av. 1 esq. 47. — LA PLATA
República Argentina**



MUNICIPIO DE LA CAPITAL

ZONA URBANA

LÍMITE DE LA LEY DE 20 DE SEPTIEMBRE DE 1872
 ACUERDO DE 20 DE DICIEMBRE DE 1902
 Y LEY APROBATORIA DE 30 DE JUNIO DE 1903



CIUDAD DE CORRIENTES
PLANTA URBANA

DEPARTAMENTO DE LA CAPITAL

PROVINCIA DE CORRIENTES

ESCALA 1:50.000

LÍNEAS JURISDICCIONALES

MUNICIPALES

Todo el Departamento de la Capital

JUSTICIA DE PAZ

I^o Sección: Planta Urbana Oeste

II^o Sección: Planta Urbana Este

III^o Sección: Comprende las Secciones Pedaneas

JUSTICIA PEDANEA

I^o Sección

II^o " "

III^o " "

IV^o " "

V^o " "

VI^o " "

VII^o " "

POLICIALES

Comisaria de la 1^o Sección Urbana

" " " 2^o " " "

" " " 3^o " " "

" " " 4^o " " "

" " " 5^o " " "

Subcomisaria de la 1^o Sección Rural

" " " 2^o " " "

" " " 3^o " " "

" " " 4^o " " "

" " " 5^o " " "

" " " 6^o " " "

" " " 7^o " " "

" " " Nueva Valencia

" " " Matadera

DE REGISTRO CIVIL

Oficina de la Capital: todo el Departamento

REFERENCIAS

Ferrocarriles

Puertos

Pisón

Canal Principal

Límite de Departamento

Carreteras y Zanjales

Division Judicial

Balios

Escuelas

Lozanos

Baldíos

Esteros

Basuras

Palmeras

Comisarías

Divisiones Policiales

Comisarias Civiles

Comisarias Penales

