

ESTABILIZACION CON CLORURO DE CALCIO

LA intención del presente artículo es de hacer más conocido el procedimiento por el cual se obtienen carreteras estabilizadas, usando agregados térreos y cloruro de calcio, visto que este procedimiento económico y rápido es además particularmente adaptable a las condiciones y necesidades del país.

El es aplicable, con notables resultados, bajo condiciones climáticas muy diversas y sólo en regiones casi completamente privadas de precipitaciones, los resultados no son, en general, tan buenos.

Desde luego mencionaremos que la estabilización con cloruro de calcio se aplica con igual éxito no solamente para carreteras, sino para calles, parques públicos, terrenos deportivos, pistas para bicicletas en las ciudades, caminos particulares y patios para fábricas, estaciones de ferrocarril, cuarteles militares, exposiciones, terrenos de parking, para automóviles, caminos de sirga a lo largo de ríos o canales, refección de caminos existentes construídos en macadam de agua, etc.

Sucintamente, el proceso consiste en el uso de materiales naturales, tales como existen en el propio lugar donde se realiza el trabajo, o mejorados, formando una mezcla de material pétreo y materiales arcillosos, similar al hormigón de cemento, en el cual el material ligante en vez de ser el cemento es el conjunto: arcilla-cloruro de calcio.

Las técnicas utilizadas para lograr los buenos resultados que se obtienen hoy en día, son la consecuencia de numerosas investigaciones realizadas en Estados Unidos de Norteamérica y Europa y las constataciones prácticas demostraron obviamente las siguientes ventajas de este hormigón de arcilla:

- 1º) Obtención de superficies resistentes al desgaste, con materiales naturales, muy baratos, principalmente porque los elementos de resistencia son de tamaño reducido, 2 a 20 mm.: grava o piedras de cantos angulosos. Estas superficies se comportan de modo excelente para un tráfico de 1.000 vehículos por día a una velocidad de 100 Km. por hora.
- 2º) Las superficies son completamente exentas de polvo o tierra, durante las estaciones del verano, sin ablandarse y resisten muy bien al hielo y al ser cubiertas por la nieve.

- 3º) Como consecuencia tienen una gran flexibilidad que se traduce por la aparición extremadamente reducida de grietas, huellas o pozos, de paredes verticales.
- 4º) Conservación fácil, simple y económica. Es suficiente desparramar dos veces por año sobre la superficie cloruro de calcio, a razón de 100 gr. hasta 200 gr. por m².
- 5º) Permite abrir y cerrar fácilmente las carreteras o calles así construídas, por ejemplo, para instalaciones subterráneas, superioridad grande sobre el hormigón de cemento.
- 6º) Puede utilizarse como base para carreteras con revestimiento de cemento o hidrocarburos, en excelentes condiciones.

Su aplicación es particularmente ventajosa para construir nuevos caminos o carreteras en terrenos no asentados, por encima de la tierra acareada para el terraplén, porque gracias a su flexibilidad, constituye una capa de circulación satisfactoria durante el período de asiento y después logrado esto, una buena base para el revestimiento definitivo en hormigón de cemento.

Todas estas cualidades y ventajas del hormigón de arcillas con cloruro de calcio han hecho que se haya adoptado especialmente cuando se trataba de abrir rápidamente carreteras muy largas para el tráfico automovilístico, con gastos reducidos de primera inversión, pasando por regiones con aglomeraciones humanas dispersadas, como en Estados Unidos, Canadá y en Europa, sobre todo en Noruega y Suecia, donde en 1940, existían ya 88.044 Km. de carreteras de ese tipo, Finlandia y Países Bálticos.

Otros países como Francia, Bélgica, Italia y también Alemania, como resultado de experiencias prácticas realizadas en la Technische Hochschule de Múnich, han reconocido su gran utilidad y han empezado a aplicarlo.

Trabajos de importancia se han hecho en Argelia y Túnez, y algunos trechos experimentales, de los cuales nos ocuparemos más adelante, se han realizado recién en varias regiones del Brasil.

De esta sumaria enumeración resulta con toda evidencia la gran adaptabilidad del procedimiento a condiciones climáticas muy distintas.

PREPARACION DEL HORMIGON DE ARCILLAS

Este hormigón es una mezcla de dos componentes principales:

- El agregado grueso, formado principalmente por los elementos resistentes al desgaste, de tamaño entre 2 y 20 mm. y
- el agregado fino, constituyendo el mortero, con elementos inferiores a 2 mm.

Entre estos últimos se pueden distinguir también los elementos o ma-

teriales ligantes; limo y arcillas de granos inferiores a 0,05 mm. caracterizados por una cohesión elevada debida a la acción capilar del agua y a la atracción mutua de los granos.

A su vez los elementos ligantes son divisibles en:

—el silt (limo) con partículas entre 0,005 y ⁽¹⁾ 0,05 mm.
la arcilla, con granos menores de 0,005 mm.

—los coloides, con partículas (micelas) menores de 0,001 mm.

Como materiales naturales se pueden utilizar para los principales componentes arriba mencionados, según los recursos locales:

—para el agregado grueso:

- a) grava o cantos rodados de canteras, de río, de conos de deyección, de formaciones glaciales.
- b) piedras de cantos angulosos de varias rocas, como: granito, basalto, pórfidos, areniscas, pedernal o
- c) calizas, dolomias, y también
- d) escorias o cenizas de altos hornos, etc.

Los esquistos deben evitarse, generalmente —

—para el mortero térreo:

- a) arena arcillosa,
- b) mezcla de arena o de residuos de trituración de otras rocas (las del punto b. arriba), con una tierra arcillosa.

—como materiales ligantes: tierra de ladrillos o tierras conteniendo sustancias similares al caolín.

Para llegar a un hormigón de arcillas de buena calidad es imprescindible llevar muestras de los materiales en vista y hacer un examen cuidadoso de los mismos.

A fin de conseguir la compacidad y cohesión necesarias, como también la resistencia, lo fundamental es la proporción de arcillas, basada en la observación estricta de las reglas granulométricas.

Los ensayos que se deben hacer, como mínimo, sobre los materiales naturales, son:

1. los pesos específicos aparentes
2. la granulometría completa
3. el límite de plasticidad
4. el límite líquido
5. el índice de plasticidad

(1) Según investigaciones recientes de A.B.E.M. sería más conveniente adoptar como límite superior 0,002 mm. y, entonces para el silt: 0,002 hasta 0,020 mm.

y, para estudiar más detenidamente los materiales, principalmente cuando se tiene en vista trabajos de gran amplitud, también:

6. el equivalente de humedad centrífuga
7. el límite de disminución de volumen
8. el límite de saturación
9. eventualmente, un análisis químico aproximado de los materiales ligantes, estableciendo el contenido de calcio y sodio, el exceso de los cuales puede ser nocivo.

No nos parece oportuno detallar las técnicas usadas para realizar estos ensayos, ya bien conocidas por los especialistas y laboratorios de Mecánica de suelos, y que además son también bastante sencillas.

La bibliografía que indicaremos al final de este artículo dará la posibilidad al lector de profundizar el tema, obteniendo todas las indicaciones necesarias para poner en práctica el procedimiento.

Partiendo de las composiciones granulométricas, la composición de la mezcla que debe ser utilizada se puede determinar sea gráficamente, por medio de diagramas triangulares, sea por cálculos.

EMPLEO DEL CLORURO DE CALCIO PARA LA ESTABILIZACION

El cloruro de calcio industrial se encuentra en el comercio, sea solidificado en masa, sea en escamas. Para la estabilización del hormigón de arcillas se usa generalmente el cloruro de calcio en escamas, por ser de manipuleo más fácil, directo, sin necesidad de disolverlo como para el cloruro solidificado.

En escamillas, el cloruro de calcio es un material blanco, inodoro y estable, muy soluble en agua y con notables propiedades higroscópicas y deliquescentes.

El producto comercial contiene alrededor de 78 % de cloruro de calcio activo, siendo el resto agua de cristalización.

Según las normas norteamericanas A.S.T.M. D 98-34 (readaptadas en 1939), el cloruro de calcio debe tener la siguiente composición química:

cloruro de calcio anhidro	— mínimo 77 %
cloruro de magnesio	— máximo 0,5 %
total cloruros alcalinos	— máximo 2,0 %
otras impurezas	— máximo 1,0 %

y granulométrica:

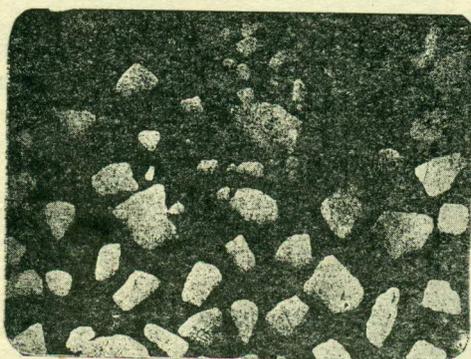
pasaje sobre tamiz de $\frac{3}{8}$ "	100 %
residuo sobre tamiz de $\frac{1}{4}$ "	máx. 20 %
pasaje sobre tamiz de 840 micrones (Nº 20) ..	máx. 10 %

Las notables propiedades del cloruro de calcio son ilustradas por las curvas de: retención del agua en función de los grados hidrométricos, las

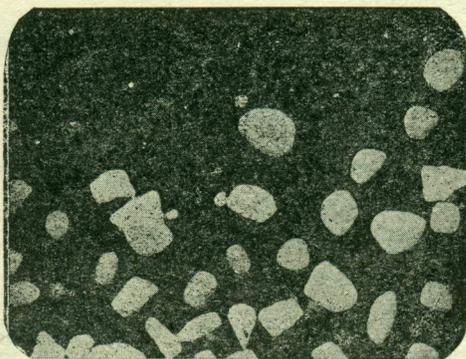
tensiones de vapor de las soluciones de cloruro de calcio, solubilidad del cloruro de calcio anhidro puro en el agua, las viscosidades dinámicas de las soluciones de cloruro de calcio puro, que se encuentran en las obras de especialidad y en algunas de las citadas en la bibliografía (véase especialmente: Solvay et Cie.; *Le Béton d'argile stabilisé au chlorure de calcium*).

Si estas propiedades del cloruro de calcio no ejercen acciones físicas notables sobre los componentes compactos, no porosos, como el granito, pórfido, arena, su influencia es ya mayor sobre los materiales más porosos, como las calizas, la dolomia, pero es muy intensa sobre los materiales arcillosos.

En efecto, el cloruro de calcio actúa como excitador y al mismo tiempo, estabilizador de las propiedades ligantes de las arcillas. Así, él evita la desecación del hormigón de arcillas y su disgregación con implícita formación de polvo o tierra, por sus propiedades higroscópicas y, la dislocación que podría ser provocada por los hielos, por su punto criohidrático, el cual corresponde a la temperatura de $-51,6^{\circ}$ C.



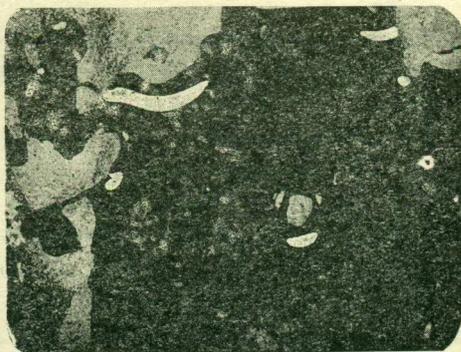
Estado inicial tamaño natural



La fusión comienza



Continuación de la fusión



Terminación de la fusión

Fig. 1. — Fusión espontánea de escamillas de cloruro de calcio en contacto con el aire atmosférico. (Gentileza de Solvay y Cie.)

Por otra parte la viscosidad y la tensión superficial de las soluciones de cloruro de calcio son más elevadas que las del agua pura y como las soluciones del cloruro son absorbidas por los granos de arcilla, se forma sobre la superficie de éstos una película viscosa que aumenta la adhesividad de la arcilla.

De este modo se logra para las mezclas un aumento de la densidad, la disminución de las variaciones de volumen, y una estabilización, lo que conduce a superficies con compacidad permanente, ausencia casi total y persistente de polvo o tierra, con suficiente elasticidad como para reducir notablemente la formación de fisuras y pozos y una eficaz protección contra la deteriorización por hielos y deshielos.

El cloruro de calcio puede ser agregado a las mezclas, sea simplemente desparramándolo sobre las superficies ya terminadas, en dos veces, a razón de 0,4 Kg./m², sea incorporándolo en la masa de la mezcla en el momento de la mistura de los materiales, en proporción de 10 Kg./metro cúbico, en promedio.

Al respecto de las herramientas o maquinarias al ser empleadas en la aplicación de este procedimiento mencionaremos que él no implica ninguna herramienta o aparato especial, y puede ser realizado con los medios más reducidos y rudimentarios (mezcla o desparramo del cloruro de calcio con palas), como también evidentemente, los más altamente mecanizados, incluyendo la preparación del hormigón de arcilla y su mezcla con el cloruro en un lugar central, de donde sería distribuido en varios puntos únicamente para ser aplicado sobre el terreno.

Es claro que el precio de costo y la rapidez de la ejecución depende de todos estos factores; organización, maquinaria, mano de obra, etc., siendo, como siempre, más ventajosas las grandes concentraciones de trabajo, con maquinaria completa y moderna.

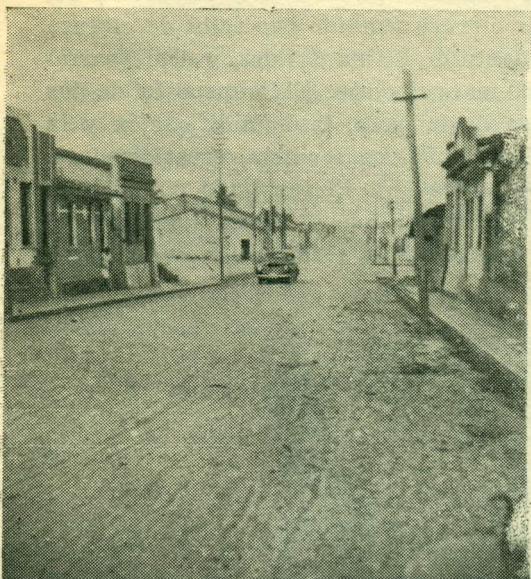
ALGUNAS REALIZACIONES Y LOS PRECIOS DE COSTO CORRESPONDIENTES

Daremos a continuación indicaciones de los trabajos de aplicación del procedimiento, formando parte de una serie de trabajos experimentales hechos en Brasil, en 1950, iniciados por nosotros y ejecutados por la Compañía Ibasa, con la colaboración del Instituto de Investigaciones y Tecnología de Aracajú.

Los trabajos de referencia se han hecho en Aracajú, nord-este de Brasil, capital del estado de Sergipe.

a) Estabilización de un trecho de calle.

El trecho se presentaba antes del tratamiento así como se puede observar en las fotografías adjuntas.



La capa superficial de la calle antes de la estabilización



El efecto del tráfico, antes de la estabilización

La estabilización proseguía como principal resultado la eliminación del polvo, pero con suficiente resistencia como para responder a un tráfico de 800 vehículos por día, siendo esa calle una de las principales vías de entrada a la ciudad.

La experiencia se debía hacer sobre una longitud de 125 m., y con 8 m. de ancho, es decir una superficie de 1000 metros cuadrados.

Los materiales previstos eran: grava común, arcilla de granos menores de 2 mm. y grava tamizada, de tamaño superior a 2 mm.

El material de préstamo necesario, incluyendo las tres categorías arriba mencionadas, visto que la base de la calle estaba formada de arena suelta que ha debido ser eliminada, ha sido transportado desde una distancia de 5 kilómetros.

Las operaciones hechas han sido sucesivamente:

- Consolidación de la base.
- Rectificación del trazado de la calle y su adaptación al gálibo standard.
- Estabilización, con dos capas sucesivas de hormigón de arcilla con cloruro de calcio.

Después de haber hecho los ensayos prescritos sobre los materiales a ser utilizados, se adoptó las proporciones siguientes: 53 % grava común, 26 % arcilla, 21 % grava tamaño mayor que 2 mm., obtenida por tamizado de la grava común, y 0,800 Kg. del cloruro de calcio por m². para cada una de las dos capas.

La extracción de los materiales, el tamizado, la división y disolución del cloruro de calcio (se ha debido utilizar cloruro fundido por falta de cloruro en escamas), la mezcla y desparramamiento de los materiales, y el desparramamiento del cloruro han sido hecho, manualmente. El transporte de los materiales, la escarificación de la base de la calle, la humidificación y la compresión se han realizado con medios mecánicos (camión, escarificadora, autocisterna, compresor cilíndrico de 5 toneladas). El resultado obtenido se puede apreciar en la fotografía Fig. N° 3, mostrando el comportamiento del trecho durante la circulación, 15 días después de la terminación del trabajo.



Fig. N° 3. — La calle después de la estabilización

El precio de costo ha sido de m\$.n. 10/m², aproximadamente, transformando los cruzeiros en pesos al curso actual, los gastos fueron distribuidos en la siguiente manera:

a) materias primas y ensayos sobre los mismos	5,4	%
b) transporte	7,1	%
c) cloruro de calcio	32,4	%
d) mano de obra	55,1	%
TOTAL	100,00	%

Se debe observar todavía que el precio de costo mencionado se puede reducir sensiblemente utilizando mano de obra especializada, medios de trabajo menos rudimentarios y cloruro de calcio en escamillas, a precio de compra más conveniente que en el caso tratado (4.000 Cruzeiros por tonelada). Agregamos también que los materiales de préstamo han sido pagados.

b) Estabilización de un terreno de Volley-ball.

El terreno, de 255 m² de superficie, estaba anteriormente cubierto de una capa de 2-3 cm. de arena incoherente y se pensaba hacerlo utilizable durante todo el año, eliminando la tierra en los períodos secos y el lodo en períodos de lluvias, con una superficie coherente, compacta y bien lisa.

Para este trabajo se utilizaron los mismos materiales que en el anterior, en las mismas condiciones.

Las proporciones en la mezcla han sido también idénticas y además 1.200 Kg. por m² de cloruro de calcio para las dos capas.

La estabilización comportó dos capas:

a) la primera de 10 cm. de espesor, antes de la compresión.

b) la segunda de 2 cm. de espesor, antes de la compresión.

Las operaciones han sido similares a las del primer trabajo y todas ejecutadas manualmente, salvo, parcialmente, el transporte. Para la compresión se utilizó un cilindro compresor de 75 Kg.

Los resultados obtenidos están a la vista en las fotografías, Fig. 4 y han cumplido totalmente con las condiciones requeridas.

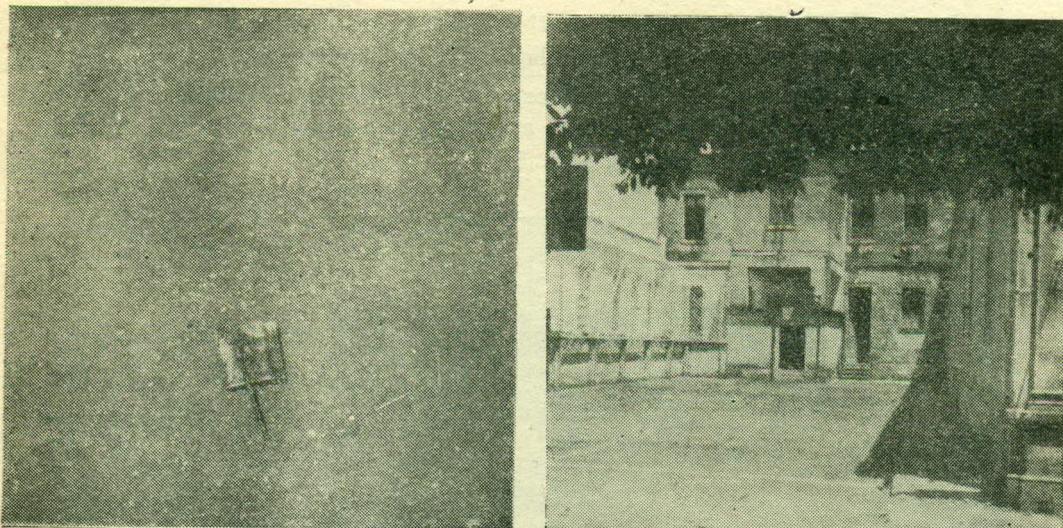


Fig. Nº 4. — A la izquierda vista general del terreno de volley-ball; a la derecha vista de detalle del revestimiento estabilizado.

El precio de costo ha sido, aproximadamente, de m\$. 10.— m² sobre el cual es menester hacer las mismas observaciones que para el anterior.

BIBLIOGRAFIA

- Solvay y Cía. 1936. Les chussées en Gravier Stabilisé: T. I. Les Essais del Sols: T. II. Technique de Construction et d' Entretien.
- Annales de l' Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. II Nº 5. 1937. A. Mayer: Les routes stabilisées en Afrique du Nord.
- Public Roads. XIX Nº 9. Carpenter and Willis: A. study of sand-clay materials for base-Course construction. 1938.
- Public Roads. XX. Nº 1. 1939. Carpenter and Willis: A study of sand-clay gravel materials for Base-Course construction.
- Public Roads. XX. Nº 9. 1939. Willis and Carpenter: Studies of Water Retentive Chemicals as Admixtures with non plastic road-buildings materials.
- Svenska Vägforeningens Tids krift XXVIII Nº 1. 1940. Dr. Gunner Beskow: Lerbunsna grävvägbanor (carreteras en hormigón de arcilla) en sueco.
- Statens Väginstiut-Stockholm-"Meddelande" 64-1942. Descripción de los trabajos de construcción y conservación de los revestimientos en hormigón de arcilla (en sueco). —"Die Strasse" 1942. p. 223-237. Otto Huber: Mitteilungen der Forschungs-gessellschaft für das Strassen-Wesen E. V. Arbeits-Kreis Strassenbau im N. S. - Bund Deutscher Technik-Erdstrassen: Versuche in Laboratorium und auf der Baustelle.
- The Solvay Process Company. 40 Rector Street. New York, U.S. 1942. Road Stabilization.
- Solvay y Cía. 33. Rue Prince Albert-Bruxelles-Bélgica-Betón d'Argile et Mortiers Terreux-Determination des principales constantes physiques des agrégats terreux. La Compañía Solvay es también uno de los principales productores y exportadores mundiales de cloruro de calcio.

c) Estabilización de un trecho de carretera.

En mayo y junio 1951, se ha hecho la estabilización sobre un trecho de carretera San Pablo-Santos, la Avda. Varsovia, en Utinga-Santo André, estado de San Pablo.

Estos trabajos de carácter experimental, han sido ejecutados, sobre un largo de 1.200 m., el ancho de la carretera, siendo de 7 m., es decir sobre 84,00 m².

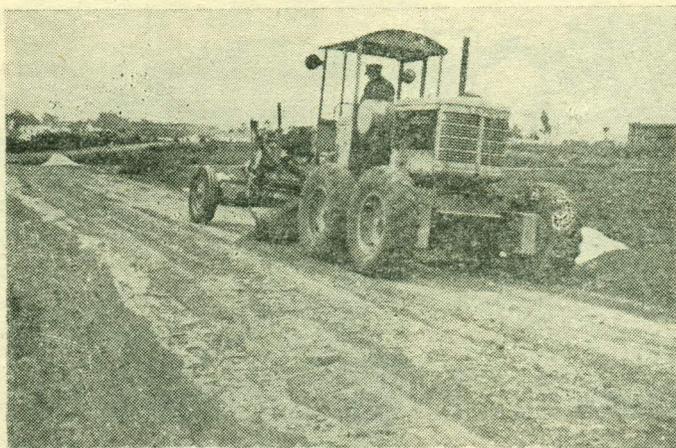
La carretera, era un camino de tierra, así como resulta de la Fig. 5 y las sucesivas operaciones realizadas han sido las siguientes:

- a) nivelación, y adaptación de la carretera al gáliles adecuado, con una pendiente de 5 cm. por metro de ancho, ejecutada en 5 obras por medio de una máquina niveladora (fig. 6).



Fig. 5. — La carretera antes de la estabilización

Fig. 6. — Nivelación mecánica.



b) transporte del material necesario, preparación manual de la mezcla, según las proporciones establecidas como consecuencia de los análisis de los materiales componentes, y colocación de la mezcla sobre la superficie de la carretera, en una capa uniforme de 8 cm. de espesor la superficie era humedecida antes de la colocación de la mezcla, para obtener una adhesión mejor. Se utilizaron para estas operaciones 6 obreros. La mezcla contenía aproximadamente 4 Kg. de cloruro de calcio por m^3 .

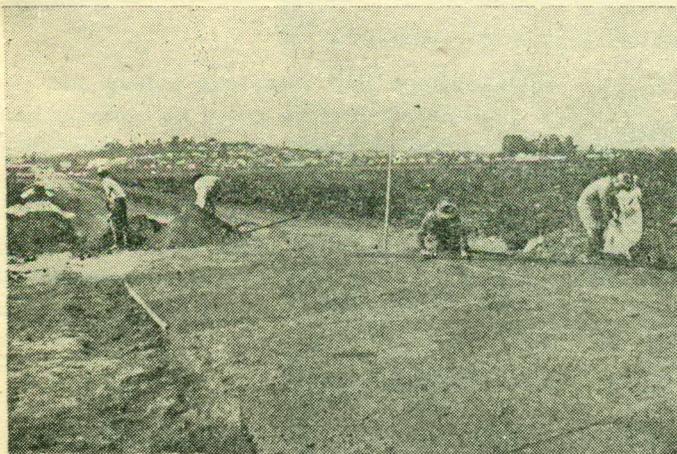


Fig. 7. — Colocación de la mezcla sobre la carretera

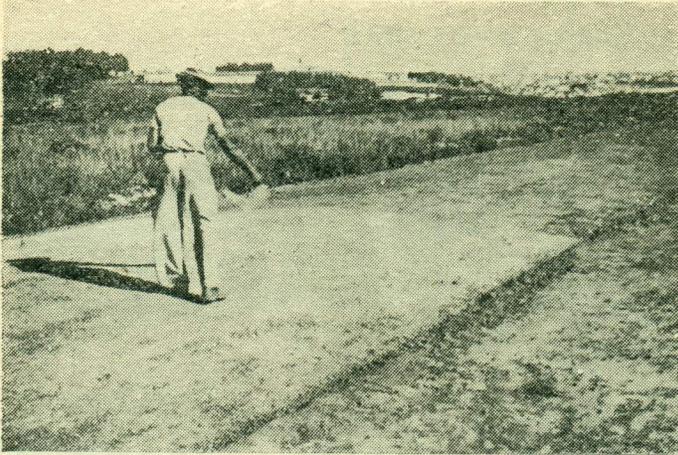


Fig. 8. — Desparra-
mo del cloruro de
calcio

c) Desparramo de cloruro de calcio sobre la capa de revestimiento, a razón de 200 gms. por m².

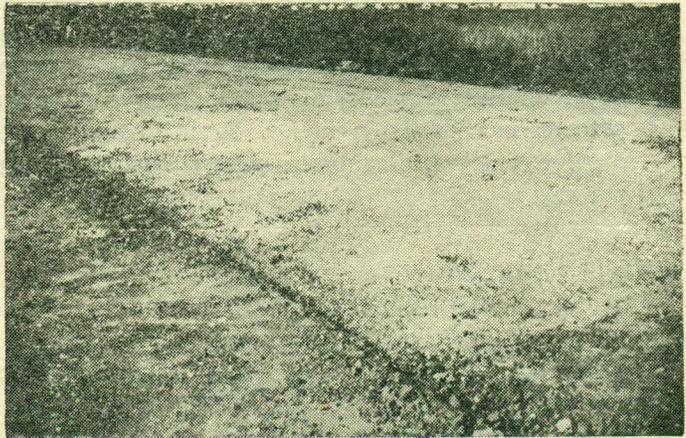


Fig. 9. — Cloruro de
calcio desparramado
sobre la capa de
mezcla.

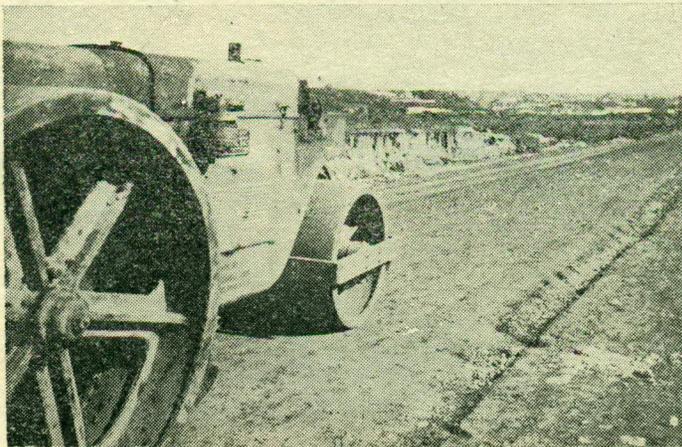


Fig. 10. — Compresión

- d) Compresión, con un compresor cilíndrico de 25 toneladas.
- e) Humidificación después de la compresión.

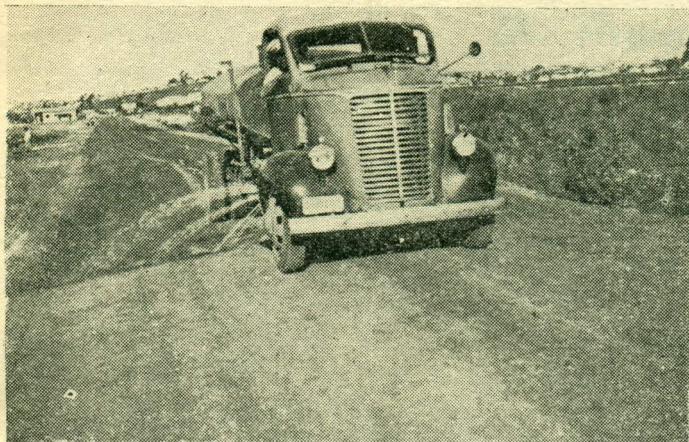


Fig. 11. — Humidificación de la carretera estabilizada.

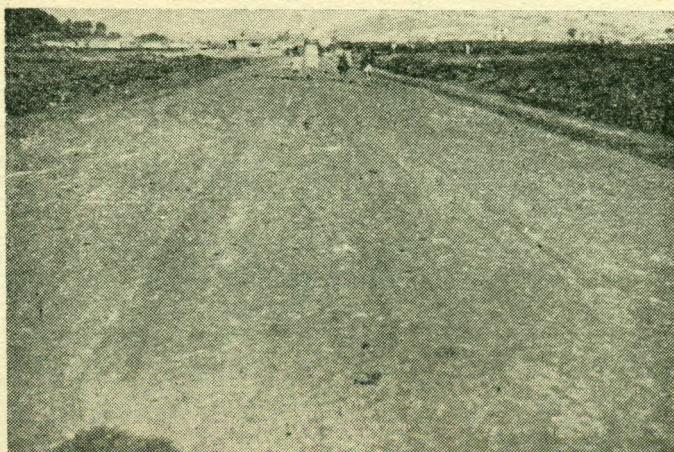


Fig. 12. — Aspecto de la carretera, después de tres meses, (setiembre 1951)

Los gastos aparentes han comprendido:

—nivelación, 40 horas a Cr. \$ 600/hora	Cr. \$ 24.000.—
—materiales para el hormigón de arcillas, incluso el transporte, 800 m ³ a Cr. 25/m ³	Cr. ,, 20.000.—
—mano de obra, 6 obreros, 2.000 horas a Cr. \$ 5 por hora	Cr. ,, 10.000.—
—compresión, 30 horas a Cr. \$ 600/hora	Cr. ,, 18.000.—
—cloruro de calcio, 5.000 Kg. a Cr. \$ 2,60/Kg.	Cr. ,, 13.000.—
—auto-cisterna, 6 horas a Cr. \$ 500/hora	Cr. ,, 3.000.—
TOTAL	Cr. \$ 88.000.—

Resulta así, un precio de costo de \$ 73.334 cruzeiros por Km. de carretera o 10,47 cruzeiros por m².