

Ing. LUIS MARIA ZALAZAR

**TECNOLOGIA PARA EL  
DESARROLLO DE LOS  
CAMINOS SECUNDARIOS**



ASOCIACION ARGENTINA DE CARRETERAS

Paseo Colón 823, Piso 7° - Buenos Aires

ASOCIACION ARGENTINA DE CARRETERAS

BUENOS AIRES

ZAL  
TEC  
E-  
P-

TECNOLOGIA PARA EL DESARROLLO DE LOS CAMINOS SECUNDARIOS

## ÍNDICE

	PÁG.
Propósitos, por el Ing. Pedro Petriz, Presidente de la Asociación Argentina de Carreteras .....	7
Introducción .....	13
1. Aplicación de la ciencia o técnica de estabilización de los suelos .....	15
2. Zonas críticas de nuestro país .....	25
3. Uso de la selección de suelos .....	33
4. Uso de la estabilización granular .....	35
5. Uso de la estabilización físicoquímica .....	43
6. Estabilización química de los suelos .....	79
Palabras finales .....	99
Referencias .....	101

### ING. LUIS MARIA ZALAZAR

Asesor Técnico de la Asociación Argentina de Carreteras — Profesor de Ingeniería Vial en la Universidad Nacional de Rosario — Ex-Profesor de Ingeniería Vial en la Universidad Nacional de Buenos Aires (curso de graduados) — Ex-Profesor de Ingeniería Vial y Mecánica de Suelos y Fundaciones en la Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca) — Ingeniero Consultor (Zalazar & Arrigoni) — Consultor Técnico en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Departamento de Estabilidad, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste (Resistencia, Chaco).

## PROPOSITOS

Cuantas veces hemos sostenido —no han sido pocas por cierto ni ésta será, seguramente, la última— que los problemas nacionales deben ser resueltos a la luz de nuestra realidad nacional, estamos seguros de no habernos dejado arrastrar por corrientes muy en boga que, esgrimiendo idéntico principio incurren, con excesiva frecuencia, en falta de precisiones, reiteran lugares comunes y no aportan, en fin, base alguna de verdadero conocimiento de la tan proclamada realidad nacional. La enunciada posición de nuestra entidad —que pretendemos marginada de esas corrientes— tiene su afirmación en la temática misma que hemos venido desarrollando y se refirma, si cabe, en los objetivos que inspiraron este trabajo que desde ahora dejamos librado al servicio del país.

Por imperio de exigencias que devienen del mundo mismo en que está inserta y por reclamos que se generan en su propio seno, la Argentina se ve enfrentada al futuro con una sola alternativa: la de asumir, sin reservas, el desarrollo pleno de sus posibilidades potenciales, en gran parte contenidas, *con un racional y prudente manejo de sus recursos naturales*. Debe necesariamente producir más y mejor con acrecimiento de áreas y fuentes de producción, del mismo modo que con aumentos de eficiencia y productividad. Aparte de ofrecer de tal suerte una prueba de solidaridad con el mundo

y con el país, contribuye a la afirmación de nuestra soberanía y nuestra seguridad pues, como en algunas oportunidades lo hemos dicho, mientras la primera arraiga sólo sobre propios fortalecimientos será muy difícil preservar a la segunda a medida que las necesidades acucien a un mundo cada vez más agobiado por carencias fundamentales: no creemos en pasividades de afuera frente a riquezas contenidas o inmovilizadas.

Nuestra gran extensión territorial, la dispersión de las fuentes de recursos naturales; la baja y espacialmente mal distribuida población; los grandes desniveles de desarrollo regional; los, en general —y consecuentes— débiles flujos de tránsito; las distorsiones en el sistema de transporte confieren a la implantación de éste —instrumento básico y eje mismo de la urgida activación económica— perfiles de muy difíciles y complejas soluciones, en modo alguno eludibles, sino que, por el contrario, deberán ser satisfechas con la máxima eficiencia y cuanto antes dentro, por supuesto, de términos compatibles con nuestra propia realidad. En última instancia, habríamos ya ganado bastante si, al menos, pusiéramos orden, con metas claras y realistas, en la administración de los esfuerzos corrientes en que de modo continuo estamos incurriendo para sostener a nuestro sistema global de transportes.

Con respecto en particular a nuestra situación caminera debemos recordar que el 90 %, por lo menos, de la red total de caminos de la República Argentina —suma de la nacional, provincial y comunal o terciaria, que monta varios cientos de miles de kilómetros— es de tierra, esto es, de tránsito prácticamente condicional. Y si bien en

términos de tráfico aquel porcentaje resulta sensiblemente menor por la alta concentración del tránsito en las redes básicas pavimentadas y mejoradas, el mencionado 90 % asume por sí proyecciones que abruman y lo constituyen en uno de los rasgos esenciales, caracterizadores, de nuestro panorama vial.

Sin retacear en absoluto el papel que cabrá desempeñar al camino en orden a la explotación de los más diversos recursos naturales, vamos a centrarnos brevemente en el sector agropecuario, uno de los rubros fundamentales de nuestra economía, cuyo carácter espacial: dispersión sobre vastísimas áreas, así como las condiciones climáticas, edafológicas y topográficas predominantes en gran parte de tales áreas objetivan con particular claridad el papel del camino en la movilización de ese, reiteramos, importantísimo recurso económico.

Es un hecho cierto que si bien la Argentina debió y pudo contar hoy con caminos firmes en una red básica integrada por la troncal nacional y las primarias provinciales —los tenemos, en cambio, en sólo el 65 % del conjunto— tiene razonablemente resuelto un esquema de vinculaciones a través de su extenso territorio y, sin desmedro del objetivo de completar aquella red básica, se impone hoy con prioridad absoluta cubrir las cuadrículas que tal esquema conforma, desarrollando los caminos secundarios y terciarios que actúan como alimentadores y distribuidores de tránsito de aquéllas y dan acceso directo a las fuentes de producción. Hemos estimado que no menos de 300.000 km. de caminos —posiblemente (faltan datos) entre un medio y un tercio de la red total de tierra concentrada en su inmensa mayoría en las áreas aptas pa-

ra fines agropecuarios, están hoy requeridos y justificados de atención vial ya sea en materia de conservación, mejoramiento o construcción. Existe también un cierto compromiso de atención, aunque en mucha menor escala sobre el remanente de la red de tierra, muy superior en magnitud a la cifra que acabamos de dar.

La sola extensión de 300.000 km. de caminos secundarios y terciarios requeridos prioritariamente, de características —longitud, tránsito, zona de influencia— *que los hace insustituibles por ningún otro medio para dar transporte dentro del ámbito que sirven*, es ciertamente agobiadora pero, a modo de verdadero dilema de hierro, no tenemos otra alternativa que ordenar soluciones sobre ella no ya sólo para mejorar o aún posibilitar el transporte por razones bien que estrechamente ligadas al proceso económico de la producción, pero asimismo decisivas para generar vínculos de arraigo a la propiedad rural que de otro modo, como lo venimos repitiendo con insistencia, *a base de aislamientos hoy no podríamos ni nos sería lícito pretender* y que resultan fundamentales para intensificar y mejorar la explotación de nuestros recursos.

La tecnología debe pues desarrollarse al servicio de la conservación, mejoramiento y construcción de caminos secundarios y terciarios. Media un abismo entre recursos y necesidades, y hay que dar tránsito, en lo posible permanente, a base de soluciones óptimas. No podemos quedar librados a la alternativa entre habituales soluciones de alto costo —ni siquiera pensables en el tipo de caminos a que nos referimos— o mantener las muy comunes precarias condiciones de circulación que hoy se ofrecen, del

mismo modo que la, en general, falta de preocupación profesional por este importantísimo sector de caminos rurales. Hay que intentar soluciones, las más idóneas, las más económicas, conforme a la realidad de cada caso —clima, suelos, materiales, tránsito, etc.— y para ello debe ahondarse el estudio, la investigación y la experimentación. Es también una forma de adquirir tranquilidad de conciencia profesional.

La ingeniería argentina debe tomar convicción de la trascendental tarea que tiene por delante y asegurar que todos los esfuerzos, ya reclamados o posibles, que se vuelquen en la materia que nos ocupa rindan los más altos réditos al país. Tal el imperativo emergente de *un dato de la realidad nacional*, de esa realidad de que, como dijimos al comienzo, queremos impregnar todas nuestras decisiones en el desenvolvimiento de nuestra tarea.

La apertura a lo que hemos denominado una nueva etapa del desarrollo vial argentino, no podríamos haberla puesto en manos más calificadas. El ingeniero Luis María Zalazar, alto valor en la especialidad vial y de trayectoria profesional intensa como pocas, nos ha acompañado en el propósito de exaltar la importancia de la citada etapa que la Asociación Argentina de Carreteras está llevando a cabo, con el aporte de una conferencia que, ampliada en su texto por el autor, se publica en este libro. Al publicarla, y agradecerla vivamente, la ponemos al servicio del país y sobre todo de los jóvenes ingenieros argentinos señalándoles campo y metas para su plena realización profesional.

ING. PEDRO PETRIZ  
Presidente de la Asociación  
Argentina de Carreteras

## INTRODUCCION

Los caminos secundarios, más bien terciarios según Vialidad Nacional, o caminos vecinales, son una sentida necesidad en nuestro país. Varios Gobernantes Provinciales en el pasado lanzaron la idea de la Reforma agraria y no lo pudieron realizar por falta de caminos vecinales de tránsito permanente.

La tecnología para su desarrollo, es lo que trataremos de exponer someramente durante este relato.

Lo más difícil en ellos es que deben ser de inversiones modestas, para que los recursos puedan beneficiar en corto tiempo a toda la Red prevista por Vialidad Nacional que alcanza a 100.000 kilómetros.

Deben utilizarse principios tecnológicos que permitan cumplir aquel lema de que "un Ingeniero es aquella persona que hace con un peso lo que el profano realiza con dos".

Dividiremos la exposición en seis capítulos que pasamos a describir:

## 1. — APLICACION DE LA CIENCIA O TECNICA DE ESTABILIZACION DE SUELOS

### 1.1 — Necesidades

El material que forme la calzada en un camino secundario o vecinal debe ser tal que permita la transitabilidad permanente y segura en cualquier situación climática y que no constituya una estructura cementada; esto último para poder llevar a cabo la conservación con los medios mecánicos corrientes. No se trata de un Pavimento.

Por todo ello es indispensable primariamente conocer las aplicaciones viales de la Edafología, ciencia que estudia el suelo "in situ" en los perfiles respectivos y sus transformaciones recientes.

Dentro del País y hasta hace poco tiempo solo la Provincia de Santa Fe poseía estudios edafológicos completos de aplicación vial en todo su territorio.

En los últimos años se ha trabajado con intensidad en la Provincia de Entre Ríos y actualmente la Provincia de Buenos Aires ha comenzado a ocuparse de este importante asunto el cual permite conocer los recursos que se poseen en cada lugar para la utilización del suelo con muchos propósitos y para el Ingeniero Civil en todas las aplicaciones de la Mecánica de Suelos.

"Soils & Men" (Suelos y hombres) brillante libro del Dep. de Agricultura de los EE.UU. de N.A. aparecido en 1938, que aconsejamos leer.

Los Hombres están sin duda ligados al Suelo en su modo de ser, su idiosincrasia, sus pasiones, su modo general de vivir, al igual que las Plantas y otros vegetales.

El carácter de la gente es un producto del suelo, el que según el tipo de alimentos que produce influye decisivamente en su desarrollo.

Así explica el Prof. Hans Winterkorn, ex Director del Instituto de la Ciencia del suelo (Univ. de Princeton) que en las zonas tropicales del Caribe donde el suelo produce preferentemente excitantes, la gente sea más alegre y justifica el carácter de un Venezolano, Portorriqueño, Colombiano, etc. y su costumbres generales, sus bailes, sus fiestas, etc.

La gente de zonas templadas como la de nuestras Pampas es más tranquila, triste quizás; allí se producen en el suelo alimentos de gran valor nutritivo; buen trigo y maíz, quizás las mejores carnes del mundo, etc., etc.

Otra región del globo de gente tranquila, Ucrania, produce en gran escala tan buen trigo como el de nuestras Pampas; también Canadá.

Clima, gente y suelo ligados por relaciones permanentes. El suelo influye hasta en la cultura de la gente que lo habita y come sus productos.

Dediquemos más tiempo al estudio del Suelo; la Edafología, Ciencia que trata de su crecimiento y desarrollo no solo es de aplicación agrícola.

El Ingeniero Civil especializado en Obras Viales y fundaciones necesita conocerlas profundamente; con ello ahorrará tiempo en sus estudios y el País, invertirá menos dinero en las Obras que proyecte aquel.

Mostramos a continuación un gráfico típico con los perfiles de suelo que se encuentran más corrientemente en nuestro País. (Fig. 1)

Ese gráfico fue obtenido de una publicación Norteamericana titulada: "Development and significance of the Great soil Groups of the U.S.A.", por Charles E. Kellogg, Bureau of Chemistry que trajimos a la Biblioteca de Vialidad Nacional en nuestro primer viaje de estudios a los EE.UU. de N.A. (1940).

En Argentina tenemos los mismos tipos de suelo que en EE.UU.; somos como ellos un País de gran longitud

entre Norte y Sur, opuestos nada más que en climas y con las mismas transformaciones que el suelo ha tenido.

Luego son muy aplicables los esquemas que contiene el gráfico, en donde podemos ver los suelos más importantes de valor vial y especialmente para los caminos secundarios.

Así pues son importantes en las zonas medianamente templadas los suelos de perfiles CHERNOZEM. En las zonas subtropicales los suelos producidos por la PODZOLIZACION y más al Norte en nuestro País, los originados en la LATERIZACION.

Todos esos suelos, estudiados a fondo son la fuente que se necesita para sacar materiales de estabilidad permanente o semipermanente. Es decir, son los suelos que permitirán básicamente llevar a cabo la gran obra de los caminos secundarios o vecinales.

## 1.2 — Conceptos sobre estabilización de Suelos

Estabilizar un suelo corresponde a un proceso de transformación del mismo, que permita darle las propiedades indispensables para un propósito de Ingeniería Civil.

Es una Técnica de tanta importancia que ha convertido al suelo en material de construcción, de utilización preponderante en Calzadas primarias y Pavimentos de todo tipo, Diques de Tierra, Fundaciones de estructuras, etc.

Como premisa fundamental para estudiar la estabilización de suelos, hace falta conocer lo que enseña la Edafología en cuanto a los recursos naturales en materia de la existencia de suelo, es decir lo que contamos en cada lugar, de posible utilización.

Con dicha ciencia o técnica, quien conoce la vegetación y clima de cada lugar puede deducir lo que existe en profundidad, de acuerdo a lo que observa en superficie.

Detallaremos los procesos principales Edafológicos que tienen directa atinencia con la Estabilización de suelos:



ESQUEMA MOSTRANDO LAS RELACIONES ENTRE LOS GRUPOS IMPORTANTES DE SUELOS (U.S.A.)

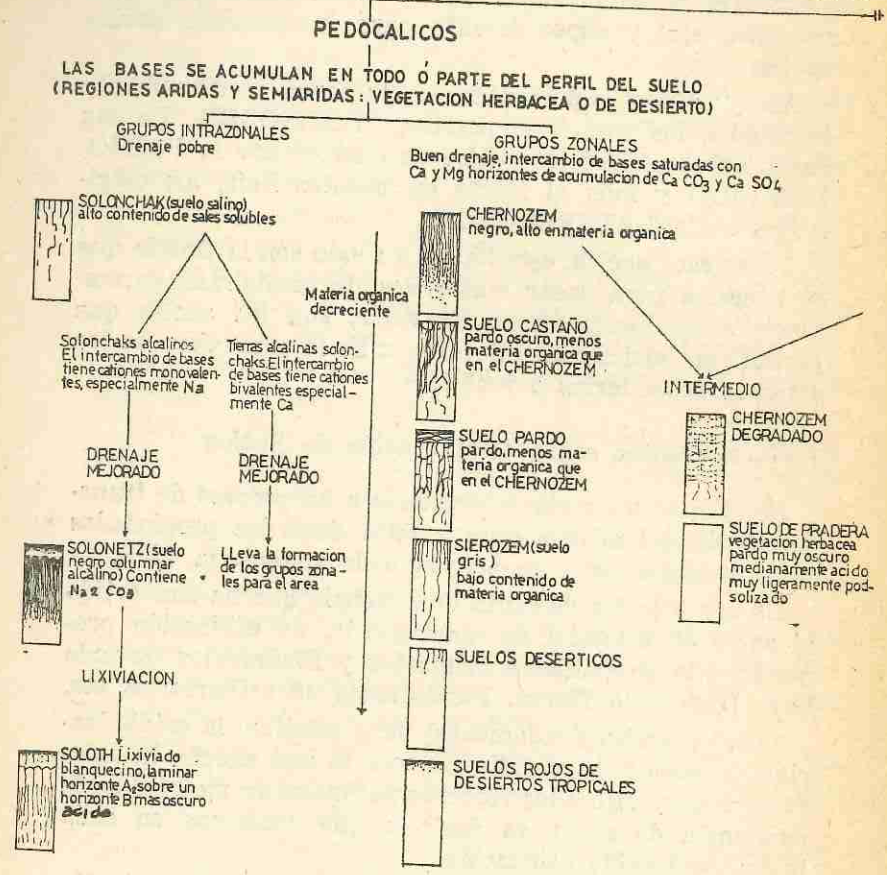


Fig. 1a

ESQUEMA MOSTRANDO LAS RELACIONES ENTRE LOS GRUPOS IMPORTANTES DE SUELOS (USA)

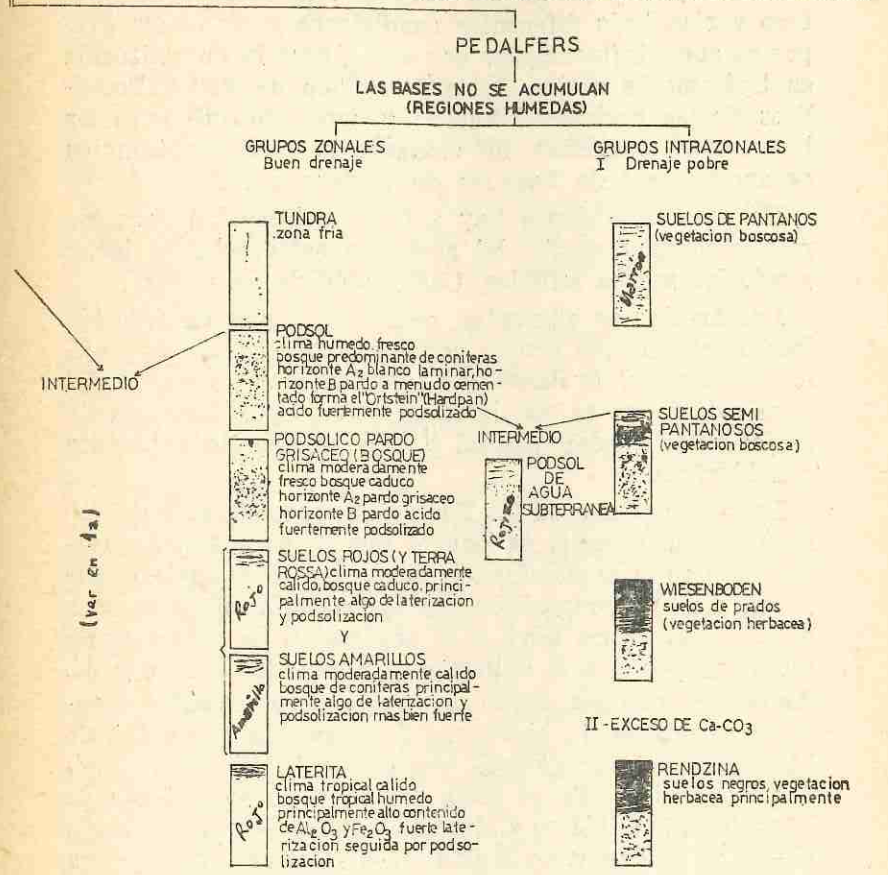


Fig. 1b

### 1.3 — Podzolización \*

El proceso de Podzolización es dominante bajo climas húmedos y vegetación de bosques. Los detalles del proceso varían bajo diferentes condiciones y en varios grupos de suelo influenciados por aquel, pero la Podzolización es típicamente activa en la formación de suelos Podzólicos de las regiones húmedas y especialmente bajo los bosques de coníferas, no obstante lo cual son también desarrollados bajo bosques de madera dura.

En esas condiciones hay suficiente humedad para remover completamente del suelo las sales solubles incluyendo los menos solubles, Carbonatos de Ca y Mg.

Los árboles se alimentan menos en suelos de reacción Básica que lo que ocurre con los pastos y no hay suficiente cantidad de Bases que retornen al suelo superficial para evitar que se convierta en ácido. Consecuentemente los coloides quedan parcial o casi totalmente saturados con hidrógeno.

La acción tóxica en las Bacterias, especialmente del tannino de los árboles, es por lo menos parcialmente responsable de la predominancia del hongo en el suelo superficial. La descomposición de la materia orgánica por dichos organismos lleva a la producción de ácidos orgánicos favorables a la reducción y solubilidad del Fe y Al. Ambos, la materia orgánica soluble y los coloides orgánicos saturados de hidrógeno favorecen la movilidad de los materiales inorgánicos especialmente Hierro y coloides inorgánicos. En el suelo normal bajo condiciones de buen drenaje el hierro y alúmina solubles se mueven hacia abajo, se oxidan y acumulan en el Horizonte "B" y una gran proporción de coloides, orgánicos e inorgánicos se precipitan en este Horizonte.

El Fe y Al oxidados como sesquióxidos pueden encontrar algún manto de arena sedimentaria existente a cierta profundidad y en ese caso formar suelos A 2-4 rojizos

\* De Podzol (en ruso significa "Ceniza").

del tipo sand-clay y de excelente calidad para capa de rodamiento de caminos secundarios.

Tenemos una riqueza potencial muy grande en suelos producida por el fenómeno de Podzolización, en las zonas boscosas norteañas.

A nosotros el fenómeno se nos ha dado varias veces y se pueden ver en el mapa de la República (Fig. 2) donde están marcados con puntos negros los sitios localizados.

Cuando estudiábamos la Ruta Nacional N° 11 en el Norte Santaferino se encontraron por el proceso de Podzolización suelos arcillo-arenosos lateríticos que se utilizaron en la pavimentación.

Yendo a otros lugares ocurrió lo mismo como en Provincia de Corrientes, Ruta Nacional N° 12, Tramo Empeadrado-Saladas.

También en dicha Provincia dentro de la misma Ruta y en el Tramo Itatí-Ita Ibaté hay suelos A 2-4, lateríticos, producto de la Podzolización.

Cuando fuimos hace dos años al Chaco Paraguayo a estudiar el pavimento de la Ruta Transchaco, tuvimos el mismo suceso. En el mapa de Fig. 2 pueden verse tres puntos negros que corresponden a algunos de los numerosos lugares con suelos A 2-4 rojizos de igual procedencia.

Llevábamos a la Transchaco un principio de solución en el bolsillo y se reprodujo el fenómeno.

En el bosque Paraguayo debía existir teóricamente lo que se confirmó, es decir la misma situación del bosque Santaferino, de lo que ocurrió en el Tramo Calchaquí-Vera y en el de Vera-Reconquista; es decir eso que hemos relatado recientemente, la reacción ácida del suelo superficial y la llegada de los ferroaluminatos hacia abajo con la suerte de encontrar un manto de arena sedimentaria producida por otro proceso y la transformación en esa Mezcla que fue la base de los pavimentos en Ruta Nacional N° 11 dentro de la Provincia de Santa Fe. El primer punto dentro del Chaco Paraguayo corresponde al Km 76, cerca del Río Aguaray y el proceso se fue

reproduciendo hacia el oeste siendo cada vez más superficial, aflorando los suelos A 2-4 ya antes de la localidad de Filadelfia, Km 429, hasta donde llegó la primera etapa de la Transchaco Paraguaya. El origen del Kilometraje está en Villa Hayes, localidad situada sobre el Río Paraguay, más o menos 50 Kms., al Norte de Asunción.

Poseemos una arma importante, el proceso bien estudiado de la Podzolización en muchas zonas y justamente en las zonas de gran precipitación pluvial, en las zonas difíciles. Mas adelante vamos a marcar las características de las zonas críticas de nuestro País.

#### 1.4 — Laterización

Es quizás más un proceso geológico que uno de formación edafológica. Este grupo de suelos lateríticos, no ha sido tan bien estudiado como los de Podzol y Chernozem y su morfología (estructura) y génesis, son menos entendidas.

El proceso es típicamente operativo bajo las extremas condiciones de humedad y alta temperatura de los climas tropicales. El límite de la región no es brusco y existe una ancha zona transicional entre la Laterita de las zonas Ecuatoriales y los suelos Podzólicos Marrón - grises de las regiones templadas. Digamos, en nuestro País del Norte de Santa Fe hasta Misiones.

Estos grupos transicionales están representados por los Suelos Rojo y Terra - rosa y los suelos amarillos asociados.

Bajo el clima húmedo tropical, que tenemos en Misiones, Formosa y algunas zonas de Jujuy el proceso de Weathering (Meteorización) es intenso.

Como la hidrólisis de los minerales procede rápidamente, las Bases son liberadas a inmediata solución alrededor de los granos individuales, muy rápidamente.

Una vegetación exuberante crece y se descompone rápidamente trayendo Bases a la Superficie y liberándolas en grandes cantidades. En esas condiciones la reacción alrededor de muchas partículas individuales es neutra o

alcalina, favoreciendo así la solución de la sílice especialmente en los complejos sílico-aluminosos donde el Hierro y la Alúmina permanecen grandemente insolubles. Al revés del caso anterior, no hay reacción ácida en la superficie.

El material producido por Laterización tiene un contenido relativamente alto de hierro y alúmina con un correspondiente bajo contenido de sílice. Suelos lateríticos retienen menos la humedad y tienen una menor capacidad de adsorción de Bases que otras arcillas.

#### 1.5 — Calcificación

Este proceso de desarrollo del suelo es más típicamente mantenido bajo pastos en condiciones de lluvia restringida.

Puede existir considerable lavado pero no suficiente para remover los carbonatos de calcio y magnesio enteramente; ellos son acumulados en la parte inferior del suelo, justamente bajo los Horizontes A y B donde las sales más solubles son removidas con el agua de drenaje.

El proceso es típico en los suelos **Chernozem** donde el Horizonte C con abundantes Carbonatos forma un excelente suelo para calzada de tránsito permanente, y corresponde a nuestra zona Pampeana hacia el oeste.

Otros procesos como la Salinización (baja alcalinidad), Solonización (elevada alcalinidad), Solodización (acidez) y Gleización no tienen aporte alguno a la estabilización de Suelos.

En los primeros tiempos de la Estabilización de suelos (1925-1940) Científicos y Técnicos como Terzaghi, Casagrande, Winterkorn, Hogentogler, Willis, Aaron, Carpenter, etc. contribuyeron grandemente al desarrollo de dicha técnica, destacándose entre los realmente pioneros, los nombres de Winterkorn y Hogentogler, el primero Director del 1er. Simposio Internacional del tema, organizado en el Highway Research Board (Junta de Investigaciones Camineras) de los EE.UU. de N.A. durante el año 1955.

Argentina comenzó en 1935 con los trabajos camineros de estabilización de suelos y ya en 1937 inició la construcción del Tramo Río Primero - La Francia (Prov. de Córdoba) en Ruta Nacional N° 19 con Pavimento de suelo estabilizado granular y Tratamiento superficial Bituminoso.

Se trata ahora de comenzar otra etapa, aplicando toda la tecnología al propósito de ejecutar caminos secundarios, solo con transitabilidad permanente.

### 1.6 — Estabilización de suelos, según Winterkorn

Corresponde a la siguiente clasificación:

- Estabilización mecánica.
- "       física o granular.
- "       físicoquímica.
- "       química.

La estabilización mecánica que es la primera, comprende el manipuleo y compactación de suelos cohesivos a su óptimo contenido de humedad hasta alcanzar la mayor densidad posible con el equipo de que se dispone, así como la vibración de suelos no cohesivos hasta lograr su densificación.

A su vez el término compactación se refiere al arte de densificar artificialmente un suelo; esto significa presionar las partículas sólidas entre sí, en su más íntimo estado de contacto, y efectuado esto, expeler el aire de la masa del suelo.

La estabilización mecánica participa en todas las otras, pero su gravitación no es preponderante en los caminos secundarios o vecinales donde sólo una compactación de exigencias medias será suficiente al no existir superficie bituminosa de rodamiento.

Los otros tipos de estabilización son de gran importancia para los caminos secundarios, en especial los físico-químicos en las zonas críticas carentes de materiales pétreos y con abundante precipitación pluvial.

## 2. — ZONAS CRÍTICAS DE NUESTRO PAÍS

Para dar transitabilidad permanente, en Argentina son críticas las zonas correspondientes a las provincias de Formosa, Chaco, Corrientes, Misiones, Santa Fe, Entre Ríos y la existente al Este del meridiano 61 en la Provincia de Buenos Aires, afectadas por intensas precipitaciones pluviales, y con materiales pétreos ausentes o muy alejados (Fig. 2).

En todas ellas, los materiales granulares gruesos y finos se encuentran en zonas muy localizadas; para el caso particular de Formosa no se han encontrado hasta la fecha dichos materiales, salvo la arena fina del Río Paraguay, existente en un extremo de la Provincia. En Chaco aparte de la arena fina del Río Paraná que corre en un costado, sólo se han localizado formaciones rocosas en Charata cerca de su extremo oeste. Santa Fe sólo cuenta con la arena fina del Paraná.

La necesidad del conocimiento de los buenos suelos disponibles y su estabilización se hace indispensable en estas zonas.

Hemos marcado en el mapa de la República la ubicación de algunos suelos y mezclas granulares de buena calidad, en la zona crítica.

Vemos así que Formosa tiene buenos suelos A 2-4 (tercer Horizonte) en el acceso a su ciudad Capital, próximo y sobre Ruta Nacional N° 11.

En Chaco hay algunos A 2-4 (Horizonte "C") en el tramo La Eduvigés-Zapallar Ruta Nacional N° 90.

En Corrientes se encuentran A 2-4 rojos en el Tramo Itatí - Ita Ibate - Ituzaingó (Ruta Nac. 12), Empedrado

- Saladas (Ruta Nac. 12), Goya - Empalme Ruta Nac. 12 (Ruta Nac. 120), San Luis del Palmar - Gral. Paz (Ruta Provincial N° 5), Alvear - Santo Tomé (Ruta Provincial N° 40) Mercedes - Colonia Pellegrini - Caza Pava (Ruta Nacional N° 14).

Al hablar en Corrientes de las zonas próximas al Río Uruguay deseamos puntualizar que son mayores sus posibilidades así como las del centro de la Provincia, según lo marcado en el mapa de Fig. 2. Hablamos simplemente de suelos, sin considerar las formaciones rocosas que tiene Corrientes de Meláfiro y Cuarcita en su zona centro, las Areniscas sobre la costa del Paraná desde la ciudad Capital hacia el Este y hacia el Sur, etc. Igualmente sin los yacimientos de grava a lo largo del Río Uruguay.

Pero en suelos tiene la Provincia una riqueza, un poco desparramada pero existente, hay grandes posibilidades con mucho "material - suelo" muy poco utilizado.

Hay también en Corrientes una zona muy difícil, lindante con la Provincia de Entre Ríos, con un perfil de suelos exactamente igual al típico Entrerriano; corresponde desde la línea Esquina - Sauce - Curuzú Cuatiá - Paso de los Libres hacia el Sur.

En Misiones hay suelos estables tipo A 2-4 en los alrededores de Posadas y Cerca de Pto. Santa Ana suelos A - 4 friables. Un yacimiento de estabilizado granular natural en Villa Lanús (Posadas).

Lo existente cerca de Posadas lo encontramos al estudiar el Aeropuerto de dicha ciudad.

En Misiones hay que profundizar la investigación, pues lo que estamos detallando lo conocemos por necesidades de obras estudiadas; la Provincia tiene posibilidades. Existe una zona muy agresiva, que es la cuchilla central entre Oberá - Campo Grande - Dos de Mayo. San Pedro - Bernardo Irigoyen; esa zona no ha tenido transformaciones. El bosque se abre recién ahora para el nuevo trazado de la Ruta Nacional 14; no ha habido lavado intenso de los Horizontes del suelo; existe el suelo laterítico natural que es agresivo pero con posibilidades de estabilizar, por-

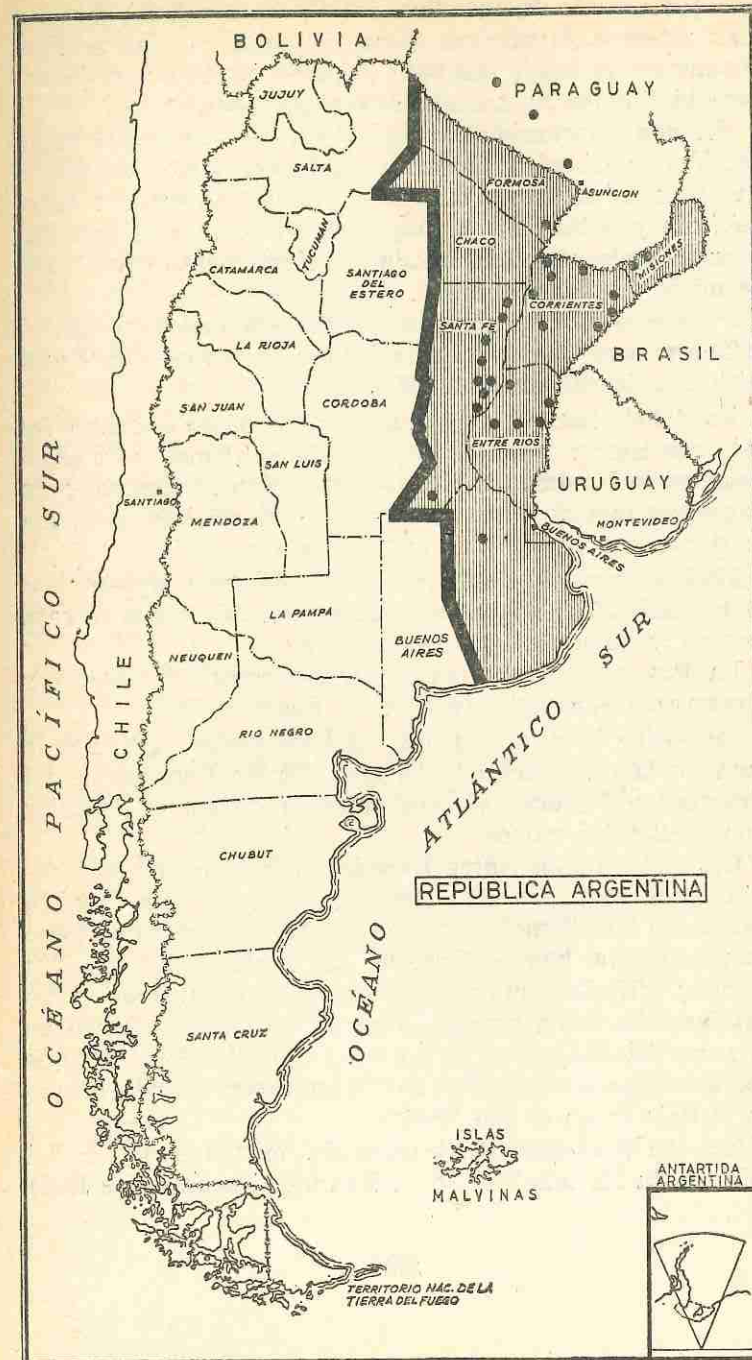


Fig. 2

que justamente las arcillas del tipo ferroaluminoso son más estables y retienen menos el agua que las arcillas puramente silíceas. Hay esa pequeña ventaja que la conoce bien quien ha transitado por Misiones.

En una oportunidad realizando los estudios del suelo del Tramo Oberá - Campo Grande estuvimos detenidos en una camioneta por una fuerte lluvia. Esperamos en el vehículo y a las dos horas pudimos reanudar la marcha, pues el suelo se había secado suficientemente como para permitir la transitabilidad.

Pero hemos visto también lugares con suelos en verdad difíciles para las estabilizaciones corrientes conocidas, suelos, difíciles para estabilizar con cal.

Es difícil hacer un intercambio de bases sacando los cationes Hierro y aluminio por Calcio; al menos la práctica nos lo ha demostrado. Requiere mucho tiempo, pero hay otros métodos aún no empleados en el País en forma corriente que pueden servir para esta cuestión.

Misiones no está desde este punto de vista, desprovista de posibilidades; no vamos a la solución de triturar roca que no es para caminos secundarios.

La Provincia tiene una riqueza enorme en Basalto y otras rocas que son parientes del Basalto.

En Entre Ríos que es una zona de suelos agresivos la zona de la costa del Río Uruguay entre Concepción del Uruguay y Federación está cubierta de suelos estables tipo A 2-4 lateríticos.

Los que conocen Entre Ríos saben lo bien que se transita en la costa del Río Uruguay, pero es una franjita de apenas 30 kilómetros y después hacia el oeste se tiene el perfil que hemos llamado Entrerriano. Con suelos pesados, difíciles, muy plásticos, muy expansivos. Pero allí también se ha producido en algunos casos dentro de la zona del bosque el proceso de Podzolización, ese que nos enseñó a encontrar el Dr. Winterkorn cuando estuvo en el País en el año 1946.

Existen yacimientos aislados del mismo suelo A 2-4 sobre Ruta Nacional N° 18 a 25 Km. de Paraná y en Ruta

Prov. N° 6 cerca del Arroyo Feliciano próximo a La Paz. También en Villaguay próximo a Ruta Nacional N° 12.

Yacimientos de calcáreo blando, llamado localmente Brosa hay en Concepción del Uruguay, próximo a Ruta Nacional 131 y Ruta Provincial N° 11 entre Diamante y Gualaguay.

En Santa Fe dentro del Departamento General López hay excelentes suelos en el Horizonte "C" del tipo A-4 friables; allí el perfil del suelo cambia hacia el Sud-Oeste; desaparecido el Horizonte B plástico más o menos en Km. 340 de la Ruta Nacional N° 8 y mejorando el "C" que al llegar a a Provincia de Córdoba es ya un A 2-4 aún cuando no rojo, pero de buena calidad.

Encontramos esa situación favorable cuando se hacía el Replanteo de la Ruta Nacional N° 8 muchos años ha. Con el Horizonte "C" hicimos una excelente sub-base al construirse en dicha Ruta el Tramo Chapuy - Límite c/Córdoba.

Este hecho originó nuestra reacción en la Reunión de Paraná (Julio ppdo.) cuando Técnicos Santafecinos afirmaron que en su Provincia no había más que el 5% de Caminos de tránsito permanente. Dentro del Departamento General López invirtiendo los Horizontes y poniendo el "C" como cubierta superficial se pueden hacer excelentes caminos secundarios de tránsito permanente y pasaríamos sólo con eso el 5% mencionado, a costo sumamente modesto.

Luego falta allí investigar cómo se hacía en Santa Fe en el pasado.

Sobre Ruta Nacional N° 11 son bien conocidos los A 2-4 laterísticos utilizados en su Pavimentación entre San Justo y Las Mercedes.

También los hay en la zona de la costa a lo largo de la Ruta Provincial N° 1 entre Santa Fe y San Javier y en algunas transversales entre la Ruta Nacional N° 11 y la Provincial N° 1.

Esto fue hallado buscando materiales para la Ruta Nacional N° 11, en 1943-44.

Transitando por esa zona nos propusimos caminar hasta encontrar algún material cerca de la Ruta 11 y encontramos infinidad de lugares con esos suelos que no eran aprovechables para dicha Ruta por la distancia de transporte, hasta que se localizaron los convenientes; el primer yacimiento aceptable fue el "La Clotilde" cerca de la localidad de Crespo.

Los materiales de este tipo son abundantes en la zona costera Santafecina sobre el camino que antes era Nacional y ahora constituye la Ruta Provincial N° 1, entre Santa Fe y San Javier. En esta investigación se continuó el recorrido de dicha Ruta donde en los alrededores de Santa Fe (la localidad de La Guardia) con el Ingeniero Verga en 1938 tuvimos la fortuna de llegar a localizar los primeros suelos lateríticos que existían en el País fuera de la zona subtropical; aquí con las ventajas de ser A 2-4 por formación edafológica.

En este hallazgo que para su época pareció revolucionario, un Técnico que había hecho el estudio de suelos del proyecto se perdió la oportunidad de adjudicarse el encuentro por no haber inspeccionado el terreno. Un ayudante del mismo ejecutó las perforaciones y un laboratorista realizó los ensayos del suelo A 2-4 que en el diagrama por textura se clasificó correctamente como "Arena". Pensó que era arena vulgar por no haberlo visto ni observar su color rojizo. Ir al campo es indispensable; el Ingeniero Vial no es Ingeniero de Escritorio.

Este hecho confirma lo afirmado por Casagrande quien sostiene que el Ingeniero que estudia y trabaja con suelos es una persona que debe tener las tres condiciones: campo, laboratorio y gabinete para la teoría. De las tres, la mejor es el campo, porque un experto en campo soluciona el problema; un teórico no soluciona el problema si no conoce el campo y un hombre de puro laboratorio tampoco.

El suelo de La Guardia, se utilizó en el Tramo Santa Fe - San José del Rincón como Base del pavimento flexible.

Al este del Meridiano 61 en la Provincia de Buenos Aires se han encontrado suelos calcáreos estables entre 9 de Julio y Chivilcoy sobre Ruta Nacional N° 5 dentro del Horizonte C, lo cual ocurre también en las zonas aledañas a las serranías de Olavarría y Tandil. Podemos acotar en lo mencionado, que viendo la posición de Chivilcoy a 150 km. de Buenos Aires, es un poco de leyenda "lo malo que son los suelos de la Pcia. de Buenos Aires".

El Horizonte "C" ya es bueno en Chivilcoy, lo cual fue detectado al hacerse el estudio de suelos de la pavimentación en Ruta Nacional N° 5; en Chivilcoy cambia el perfil de suelos y lo que nosotros aprovechamos entonces para Sub-base de pavimento, sería espléndido utilizarlo para caminos secundarios.

Sobre la costa Atlántica hay abundante Conchilla arenosa desde Punta Indio hasta Mar de Ajó, utilizados en el pasado en pavimentos provinciales y nacionales; es un excelente material para caminos secundarios.

### 3. — USO DE LA SELECCION DE SUELOS

A fin de poder ejecutar calzadas económicas de suelo para tránsito permanente hay que agotar todas las instancias de la Selección de Suelos.

En las zonas críticas aparte de lo que puede obtenerse en lugares aislados cercanos a yacimientos pétreos hay que aplicar los principios edafológicos buscando los suelos Calcáreos del Horizonte "C" para sitios con proceso de Calcificación y los suelos A 2-4 rojizos en lugares de Podzolización.

En Formosa falta mucha investigación, existiendo posibilidad de poder obtenerse los suelos últimamente mencionados, por lo acontecido al estudiar la Ruta Paraguaya N° 9 (Transchaco) (en que nos tocó trabajar) y donde apareció el suelo A 2-4 laterítico en el Km. 76 a partir de Villa Hayes hacia el Oeste.

Se trata de una zona muy próxima a Formosa con similar Condición de bosque, suelo y clima.

El Norte Santafecino que comprende los Departamentos Vera, 9 de Julio y General Obligado no tiene prácticamente Caminos de tránsito permanente, salvo la Ruta Nacional N° 11 (Pavimentada) en un costado. En dicha zona, resulta indicado investigar sobre los efectos de la Podzolización en lo referente a la posibilidad de obtener la presencia de suelos lateríticos, que serían de incalculable valor para al futura red vecinal de caminos secundarios. La situación parece favorable considerando lo que se obtuvo para Ruta Nacional N° 11. Si se han conseguido para ésta, los puede haber también para los caminos secundarios.



En Entre Ríos conviene la exploración en el mismo sentido, pues el suelo estable localizado en Ruta Provincial N° 6 fue el producto obtenido hace poco tiempo con un trabajo efectuado por el Ingeniero Páramo, joven y distinguido profesional Rosarino, siguiendo los lineamientos que estamos comentando.

La selección de suelos es siempre conveniente pues si no se obtiene lo deseado, es decir un suelo estable en cualquier época, generalmente se llega a lograr algo que con un proceso económico de estabilización permite obtener la solución conveniente.

#### 4. — USO DE LA ESTABILIZACION GRANULAR

El estabilizado granular es el Padre de todas las estabilizaciones y el punto inicial obligado de los estudios de suelo estabilizado. Agotado el mismo recién se sigue con los otros tipos, salvo la estabilización Mecánica que participa de todas.

Como definición diremos que la "Estabilización física o granular incluye la obtención de una adecuada granulometría con la incorporación de materiales inertes si el suelo es cohesivo o cohesivos si el suelo es inerte, para obtener las mezclas denominadas grava-arena-arcilla o arena-arcilla, estas últimas denominadas vulgarmente Sand-Clay en los EE. UU. de N.A."

"Los Argentinos conocen perfectamente la estabilización granular", dijo el Dr. Hans Winterkorn al visitarnos en 1946, frase que nos llenó de orgullo. Dando fe a ello sólo nos ocuparemos de algunos hechos salientes necesarios, producto de experiencias de los últimos años y referente a la aplicación de este tipo de suelo estabilizado en caminos secundarios o vecinales.

Proyectamos en Fig. 3 el gráfico de F. Olmstead que da conceptualmente los contornos granulométricos para las diferentes utilizaciones, es decir pavimento y capa de rodamiento; esto último para el caso de caminos secundarios sin cubierta asfáltica. En ellos debemos buscar soluciones como las que muestra el gráfico, sin pérdida de tiempo.

Marcan las zonas para tránsito liviano, con granulometría fina y para tránsito pesado con granulometría gruesa. En ambos casos la plasticidad es más elevada

que en el caso de Base para pavimento, con límites de 4 a 12 en el primer caso y de 4 a 9 en el segundo.

También se señala la zona de suelos inestables en tiempo húmedo (arriba a la izquierda) donde el material debe ser sometido a una posterior estabilización fisicoquímica para poder ser empleado.

Igualmente las zonas de mezclas áridas difíciles de compactar, a la derecha y abajo.

Todos los contornos utilizables en Base de pavimento y en capa superficial para caminos secundarios están desarrollados dentro de los contornos de líneas punteadas.

El uso de materiales locales en la estabilización granular debe llegar a cumplir las mayores posibilidades de aprovechamiento.

#### 4.1 —

Un aspecto de sumo interés corresponde a la selección de componentes ligantes (Cohesivos) e Inertes.

En el primer caso las propiedades más importantes deben ser:

##### 4.1.1 — Calidad

- Preferir arcillas con cationes pesados: cálcicas o Ferroaluminosas en lugar de Sódicas.

##### 4.1.2 — Cohesión

- Escoger los ligantes puros mediante el Índice de Tenacidad, cociente del Índice Plástico con el Índice de Fluidez o Deformación, concepción de Casagrande quien aconsejó valores deseables de 3 o mayores.

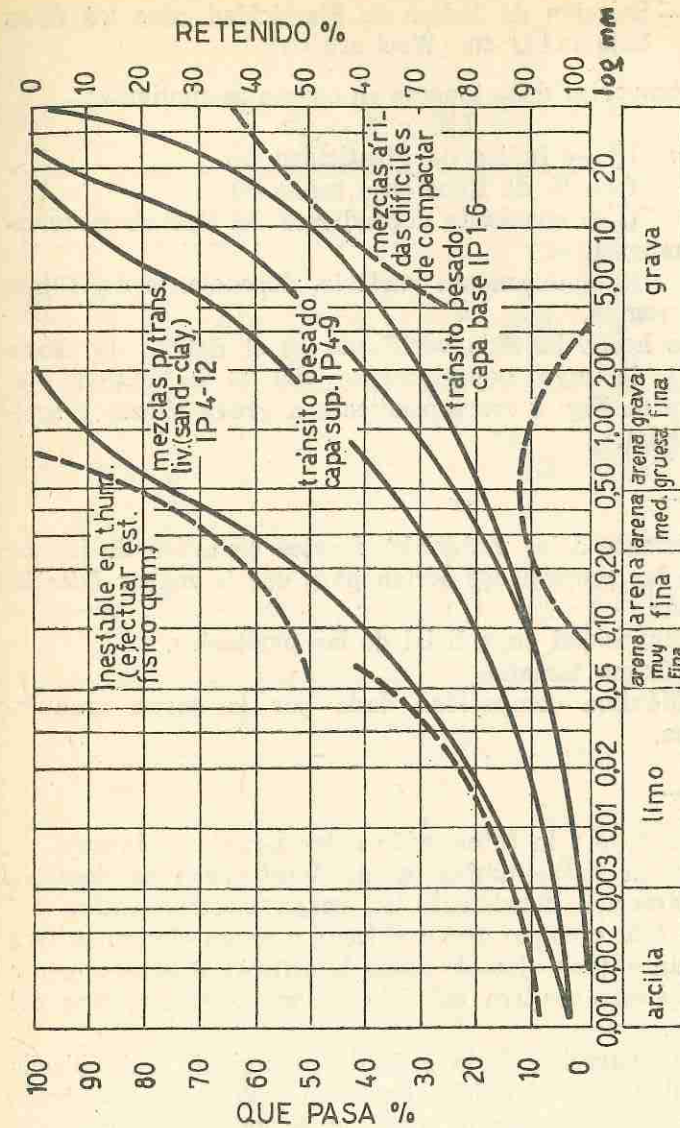


FIG. 3

FACTORES RELACIONADOS AL DISEÑO DE MEZCLAS ESTABILIZADAS (F.R. OLMSTEAD) 1943

4.1.3 — Relación de Índice de Plasticidad con los finos bajo tamiz 40 (Wooltornton)

Al proyectar debe tenerse en cuenta la siguiente:

$$I.P. \times f. = C^n$$

donde: IP = Índice de Plasticidad

f = % de finos bajo tamiz 40

C = constante dependiente del tipo de materiales componentes.

n = exponente variable, dependiente del Clima de la región.

Este hecho ha sido verificado en el Estado de Texas (USA) de cuyo Departamento vial se ha obtenido el gráfico de Fig. 4 correspondiente a grava silícea y arcilla cálcica.

4.1.4 —

Referente a los materiales inertes en orden de importancia las propiedades serían para dar la mayor fricción interna:

- a) Rugosidad superficial de las partículas.
- a) Máximo tamaño.
- c) Máxima compacidad dada por la curva granulométrica.

4.1.5 —

En cuanto a la Interacción entre ligantes e inertes como acción fisicoquímica, según Winterkorn es deseable una atracción consistente en carga electronegativa del inerte (por ejemplo grava silícea) y carga electropositiva de ligante (por ejemplo suelo laterítico) o inversamente carga electropositiva del inerte con electronegativa del ligante.

La preparación de la capa de rodamiento, estabilizado natural o artificial debe tener en cuenta su utilización futura. A este respecto conviene llevar a cabo su diseño para que la corrección de la cubierta actual puede ser de fácil conversión a Base de pavimento flexible.

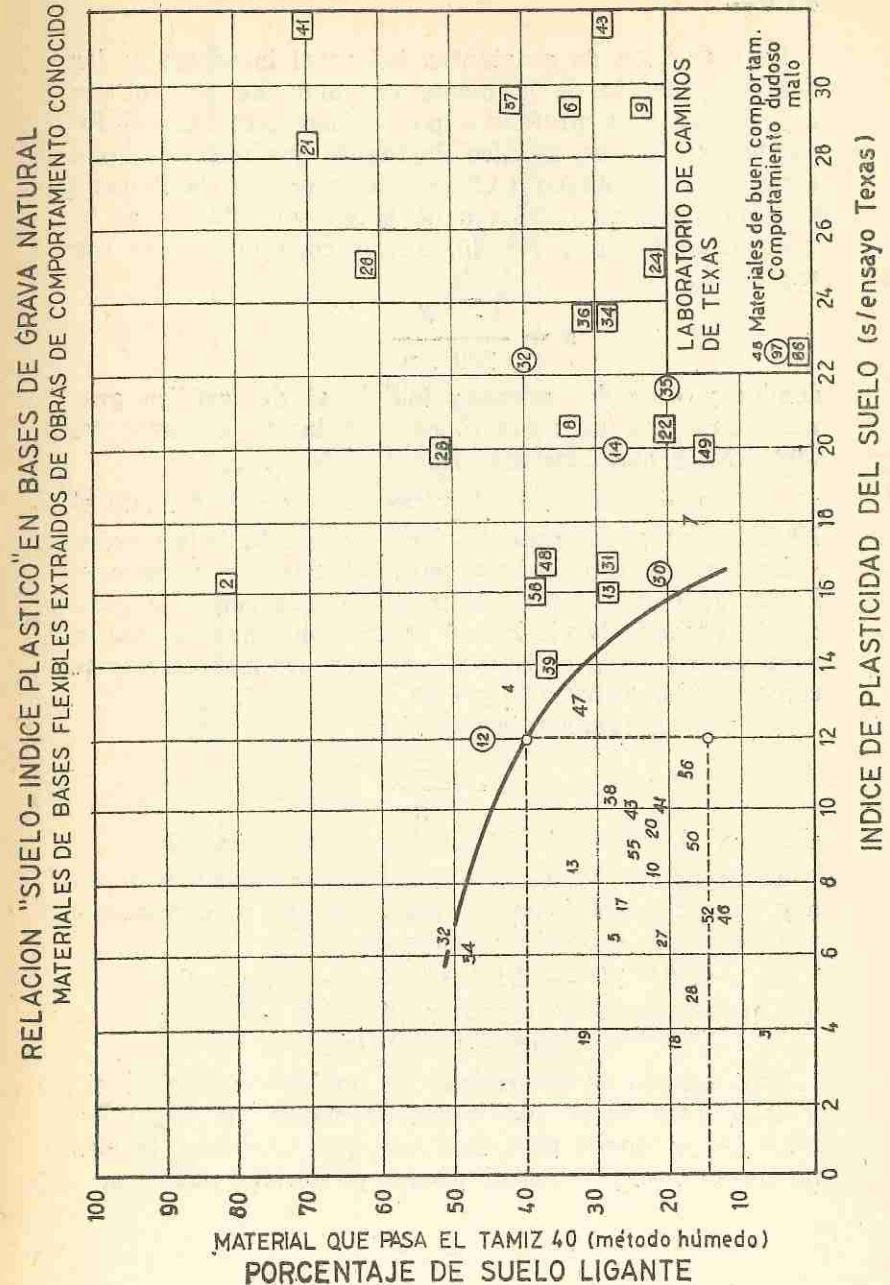


FIG. 4

4.1.6 —

La predicción de constantes físicas al incorporarse los dos componentes de la mezcla granular, ha sido objeto de estudios muy profundos por el Ingeniero Manoel Pimentel dos Santos, Técnico Portugués que realizó amplia tarea en Mozambique (Africa) desarrollando la llamada constante granulométrica  $a$  de mayor gravitación al % que pasa el tamiz N° 40. Dicha constante tiene por expresión:

$$a = \frac{\sum y}{100 \cdot n}$$

donde:  $y$  = cada ordenada individual del gráfico granulométrico de un suelo o material inerte a partir del tamiz N° 8 hacia los más finos.

$n$  = número de tamices desde el N° 8 hasta el N° 200 para los componentes inerte y ligante de la mezcla.

La fórmula convencional para calcular por ejemplo el Índice de Plasticidad de la mezcla queda con el cambio del % pasando tamiz N° 40 de los componentes, por  $a$ , cuyo valor fluctúa entre 0 y 1 estando los más corrientes comprendidos entre 0,30 y 0,20.

Se establece también la relación:

$$t = \frac{x}{a}$$

siendo  $x$  el porcentaje del suelo que pasa tamiz 200.

En Figura N° 5 pueden observarse las relaciones  $x$  con  $a$  y  $t$  con  $x$ ; esta última es muy estrecha y corresponde a la siguiente expresión estadística:

$t = 0,9 \times^3 - 2,1 \times^2 + 2,0 + \dots$   
que puede escribirse con aproximación:

$$t = \times^3 - 2 \times^2 + 2$$

Este método de determinar los límites de consistencia y constantes físicas de mezcla de suelos, ha llegado a tener proyecciones para mostrar, que los suelos inertes no tienen 0 de plasticidad ;tienen plasticidad negativa.

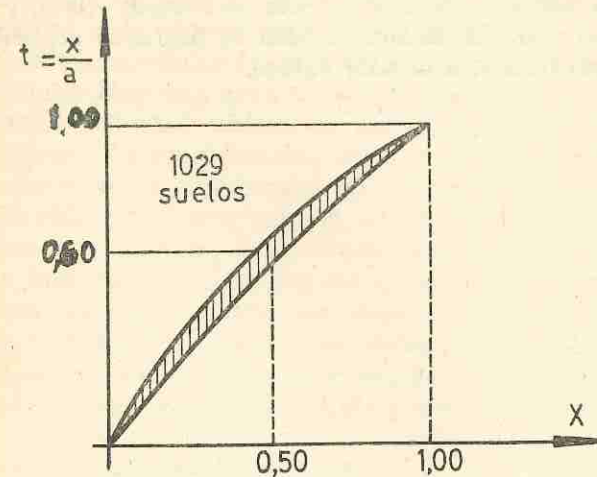
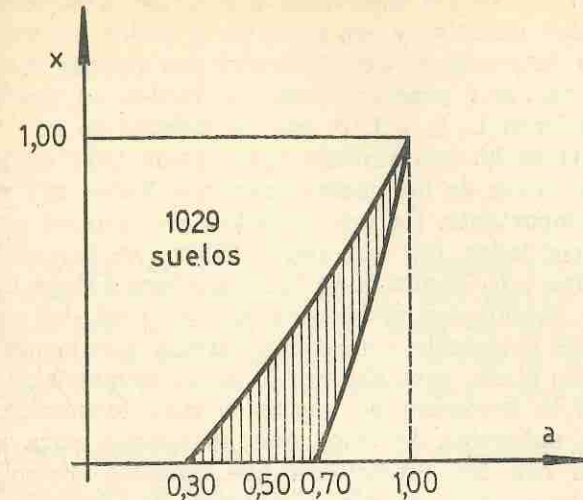


FIG. 5

Todos los suelos con valor a inferior a 0,19 son de plasticidad negativa y son la mayoría suelos inertes. Esto ha sido determinado por Pimentel dos Santos mediante determinaciones prácticas con las cuales se graficaron las relaciones L. L. e I. P. con los valores de a.

Hemos hecho una síntesis muy rápida para ocuparnos de otras cosas de las cuales queremos hacer una remarcación importante. La estabilización granular es muy conocida por todos. Por otra parte, dentro del país y dentro de la zona a la izquierda de la línea negra (Mapa de Fig. 2), hay abundantes materiales. En esa zona del país corresponde solamente aplicar las normas que hemos dado y algunas otras, para obtener lo más recomendable siempre con la tendencia de buscar lo más económico. Hay mezclas naturales, tenemos que analizarlas para ver si cumplen con las condiciones que estamos diciendo; el país tiene muchas mezclas naturales. Esa leyenda de la escasez de materiales que existía hace 20 años ya va desapareciendo; el asunto es buscar. Los problemas más grandes han sido de la Provincia de Buenos Aires, y aún en esta Provincia, la zona crítica es bastante pequeña si la comparamos con el país entero.

## 5.— USO DE LA ESTABILIZACION FISICOQUIMICA

En el terreno de las definiciones podemos decir según Winterkorn que la "Estabilización fisicoquímica" es el cambio de las propiedades de un suelo por efectos fisicoquímicos de superficie debidos a la adición de cementos orgánicos o inorgánicos y/o materiales impermeabilizantes.

Podemos distinguir tres clases en este sistema, a saber:

- A) Estabilización bituminosa
- B) Suelo - Cemento
- C) Suelo - Cal

La definición parece difícil. Nosotros la estabilización fisicoquímica la entendemos prácticamente con las realizaciones ya mencionadas de suelo-asfalto, suelo-cal y suelo-cemento. Hay una gran disputa: ¿qué utilizamos?, por lo pronto, debemos utilizar en caminos secundarios algo que permita la conservación. Dijimos que no debe haber una cementación terminante. El proceso de cementación da una estabilidad muy grande, una cohesión permanente. Volvemos a insistir, debe construirse algo para poder hacer una conservación. Por otra parte, el camino debe dar tránsito permanente, no debe ser perjudicado por las lluvias. Es muy largo citar todos estos procesos que son bien conocidos. Solamente vamos a dar algunas nociones que nos parece importante tener en cuenta.

### 5.1 — Estabilización bituminosa

Hay dos tipos de suelos que pueden utilizarse con éxito en la estabilización bituminosa. Son los suelos medianamente plásticos y los arenosos. En los medianamente

plásticos el betún taponan los capilares y evita que el agua pueda producir la pérdida de estabilidad. En los arenosos, el betún da la necesaria cohesión para que la fricción interna pueda ser desarrollada. Entonces, vemos que es un proceso que evidentemente tiene sus grandes ventajas en los suelos arenosos. Hemos hecho experiencias con estabilización bituminosa en varios países de América; no lo pudimos hacer en Venezuela por razones que me reservo, pero las hemos hecho en Brasil con mucho éxito, en la ruta internacional que pasa desde el Chuy hasta cerca de la ciudad de Pelotas en 1958.

Era pavimento, pero vimos la posibilidad de que pudiera ser también para transitabilidad permanente en suelos arenosos, netamente arenosos. Esa fue la experiencia de los ingenieros de Florida, Estados Unidos, Estado que tiene pocos materiales pétreos gruesos; fue de mucho éxito. En los primeros tiempos eran todas realizaciones para caminos secundarios. En una oportunidad nos pusimos a ver la vida de los caminos secundarios en el estado de Florida con cubierta bituminosa fácilmente conservable. En consecuencia, es una utilización importante para caminos secundarios; digamos que el betún es exitoso también para suelos medianamente plásticos, pero especialmente cuando se trata de pavimento. Porque hay otros sucedáneos para los suelos medianamente plásticos; para estos parece más adecuado la utilización suelo-cemento. Pero no para hacer algo estable como pavimento, sino lo que nosotros hemos llamado "suelos mejorados en cemento", es decir una pequeña cantidad que permita directamente eliminar las propiedades de inestabilidad por fracción plástica y que permita la buena conservación. Ese tipo de trabajo se ha utilizado también en sub-base de pavimento.

Y después venimos al otro proceso: ¿Qué pasa con los suelos muy plásticos?; tenemos por ejemplo el de Entre Ríos. Así como hemos visto que en Entre Ríos hay que estudiar los procesos de Podzolización, existe enorme cantidad de kilómetros de suelos enormemente plásticos. El

perfil entrerriano, agresivo con horizonte A, plasticidad 40;; horizonte B, plasticidad 60; horizonte C, plasticidad 80. Entonces ahí evidentemente, de los tres materiales parece ser la cal lo más recomendable. Pero no ciñéndose a querer hacer una sub-base de suelo-cal, simplemente haciendo lo que los norteamericanos llaman un "working-table", una "mesa de trabajo". Para hacer un pavimento en una zona agresiva así, proyectamos en la Ruta Trans-Chaco, cómo poder trabajar. ¿Cómo se puede trabajar en una zona agresiva? Crear algo donde puedan andar los equipos, donde se pueda iniciar la etapa de pavimentación en forma estable.

Esa "mesa de trabajo" requiere apenas un 2% de cal en los suelos muy pesados. Entonces eso puede ser solución para las zonas de suelo agresivo muy plástico.

Todo debe tener el punto de vista económico, porque la cal puede también superponer la solución en los suelos medianamente plásticos. Así como el cemento también puede, con algunas limitaciones, superponer la solución en los suelos muy plásticos. Claro, con algunas limitaciones, porque en ese caso hay que hacer dos procesos, uno quitar la agresividad al suelo muy plástico y después ir recién al tratamiento con cemento.

El asfalto puede ir en los medianamente plásticos, y en los arenosos donde sí parece exclusivo. Así como la cal parece exclusiva en los muy plásticos, el asfalto parece exclusivo en los muy arenosos. Y hablamos siempre de caminos secundarios y todo regido por el costo. Puede ocurrir que no tengamos ningún suelo con proceso barato para estos estabilizadores de los procesos fisicoquímicos, y entonces tenemos que ir a la Estabilización química, de lo que queremos dar algunos detalles sobre lo que se ha hecho ya en el país; establecer algunos principios, que nos fueron dados con mucha gentileza por el Dr. Winterkorn, que estuvo acá en el año 1946. El Dr. Celestino Ruiz aquí presente debe recordar al Dr. Winterkorn y la desgracia que hubo de no poder aprovechar sus enseñanzas para poder llevar a cabo la estabilización química

con resinas sintéticas. Ese proceso lo seguimos nosotros después; Winterkorn fue trabajando, mandó trabajos a las Reuniones del Asfalto, y esos trabajos fueron leídos en profundidad, y el Dr. Ruiz fue el intérprete para tomar en cuenta los trabajos. Después pasaron los años y en 1962 asistiendo a una reunión del Highway Research Board escuché un trabajo de Winterkorn y tomamos otra vez contacto. Desgraciadamente Winterkorn está desmejorado de salud; teníamos la idea de traerlo el año próximo, en que tenemos aquí una conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos. Hemos sido designados por el Comité para presidir la sesión especial de Estabilización de Suelos. Queríamos traer al Dr. Winterkorn como una gran figura pero creo que no va a ser posible. El ideó la utilización del complejo llamado anilina furfural (A-F).

#### 5.1.1 — La estabilización bituminosa como sistema aplicado, general y a suelos medianamente plásticos

Como sistema práctico de trabajo el nombre de esta estabilización es el que se da a ciertos métodos de construcción en los cuales determinados materiales bituminosos son incorporados en un suelo o en una mezcla granular para formar bases flexibles (ú ocasionalmente recubrimientos de calzada), los cuales pueden soportar las cargas de tránsito bajo condiciones normales de humedad y de circulación.

Los Suelos medianamente plásticos tienen valores portantes satisfactorios a bajos contenidos de humedad.

El bitumen es incorporado a los mismos como agente repulsivo para el agua a fin de mantener un bajo contenido de humedad y un adecuado Valor Soporte en dichos Suelos. Los materiales bituminosos son adicionados en los suelos friables granulares, para actuar como un medio ligante o cementante y entonces además de conferir cohesión, permitir desarrollar en forma completa, la fricción interna.

De acuerdo a la composición física del material "suelo" disponible en cada caso y la función del bitumen incorporado, existen cuatro tipos de "estabilización bituminosa" en uso común, que son generalmente designadas en la forma siguiente, según el "Highway Research Board" de los EE. UU. de N.A.: \*

1) "Suelo - asfalto", un sistema de suelo medianamente plástico a prueba de agua o impermeabilizado.

2) "Arena - asfalto", un sistema en el cual las arenas de playas, dunas, yacimientos de ríos que cumplan determinadas condiciones mínimas de estabilidad, son cementadas con material bituminoso.

3) "Estabilización granular impermeabilizada", un sistema en el cual un suelo natural o mezcla granular, que posee buena gradación de partículas de grueso o fino y tiene potencialmente buena densidad, es impermeabilizado por la distribución uniforme de pequeñas cantidades de bitumen.

4) "Suelo aceitado o emulsionado", una superficie de caminos de tierra hecha resistente al agua y a la abrasión del tránsito con la aplicación de "road oils", asfaltos diluidos de curado lento y medio o emulsiones asfálticas superestables diluidas.

Los tipos más corrientemente utilizados son los 1) y 2) mencionados anteriormente.

La estabilización bituminosa del suelo era relativamente nueva en la práctica de la Ingeniería de Caminos, hasta hace aproximadamente 30 años; a la fecha ha efectuado enormes progresos.

Los condados de California (EE.UU. de N.A.) estuvieron entre las primeras entidades que llevaron a cabo prácticas en esta materia y Mister Chris P. Jensen, Ingeniero Municipal de Fresno informó de las aplicaciones en un trabajo presentado a la octava Conferencia anual de Pavimentación ("Asphalt Institute"), en 1929.

\* Actual "Transportation Research Board".

Para ese tiempo ya se habían llevado a cabo en el condado de Fresno cerca de 5.000 Km. de caminos con estabilización bituminosa y desarrollado al respecto una definida técnica mezclando el suelo y el asfalto a intervalos periódicos, hasta asegurar un espesor mínimo. Conviene puntualizar que esos caminos llevaban en 1929 un tráfico mixto de 1.500 vehículos diarios con camiones de 10 toneladas de carga, transmitidas por 4 ruedas, y de 15 toneladas en 6 ruedas.

Después de estos experimentos californianos y en pocos años, se llevó a cabo con éxito un considerable trabajo en los suelos negros del medio oeste de los EE. UU. Con los suelos arenosos existentes en los Estados de la Costa Atlántica ocurrió otro tanto, obteniéndose exitosos resultados que implicaron un marcado progreso en sus condiciones camineras.

Sin embargo no existía aún un exacto control sobre tipos y cantidades de materiales bituminosos más convenientes, así como sobre los suelos más aptos y los métodos constructivos más adecuados. El progreso de la "Mecánica de los suelos" permitió a los Ingenieros viales ir conociendo mejor los materiales naturales disponibles, sus mejores aplicaciones y la posibilidad de empleo en este tipo de estabilización. El desenvolvimiento grande hasta la época actual se ha debido a la circunstancia mencionada, al progreso de los equipos y a otra, puesta de manifiesto por los técnicos del Norte, cual es la enorme disminución en la disponibilidad de materiales granulares gruesos que viénesse vislumbrando después de tantos años de actividad vial continuada.

En Argentina, aparte de tramos experimentales, los trabajos en la estabilización bituminosa se vieron confinados a experimentos de laboratorio, mientras las obras se desarrollaron en zonas con materiales pétreos gruesos cercanos o cuando el transporte ferroviario podía abastecer los lugares apartados de las fuentes de producción, es decir mientras fue posible ejecutar económica y rápidamente la estabilización granular para pavimentos flexibles.

Con la necesidad de construir obras en lugares carentes de aquellos materiales, la demanda por realizaciones prácticas de este tipo de estabilización fue en aumento llevándose a cabo previamente un vasto plan de ensayos.

Otro factor se vino a sumar para exigir soluciones del tipo que tratamos: el incremento del tránsito en carga y frecuencia eliminó en muchos casos la posibilidad de empleo de mezclas granulares finas y semi-finas en muchas rutas, y entonces el remedio consistió en una ulterior estabilización bituminosa de dichas mezclas. Esto es el caso del Litoral Argentino en la Provincia de Sta. Fe sobre la ruta Nacional Nº 11 desde San Justo al Norte y cuya construcción a partir de 1950 se fue progresivamente incrementando, hasta la localidad de Florencia a lo largo de 360 Km.

El tipo de estabilización bituminosa utilizada con nuestra intervención en su primer desarrollo entra dentro del sistema 1) anteriormente mencionado es decir "Suelo-asfalto" empleando mezclas de suelos rojos arcillo-arenosos naturales de yacimientos locales con arenas finas también locales. El conjunto representa una reproducción de los "Sand-clay" finos naturales de baja plasticidad y sus características se especifican en detalle más adelante. Se trata de suelos especialmente aptos para estabilizar con reducidos porcentajes de asfalto, por su bajo valor de "afinidad al agua" que poseen.

Esta afinidad al agua depende del tamaño, rugosidad y carácter químico de las partículas de arcilla. En general y con las debidas reservas pueden fijarse las siguientes normas:

1) A medida que aumenta el porcentaje de sílice en los minerales arcillosos es mayor el porcentaje de bitumen para una estabilización satisfactoria.

2) Aumentando las cantidades de componentes con hierro y aluminio en los minerales arcillosos, disminuye el bitumen necesario para una adecuada estabilización.

3) A medida que aumenta la valencia de los cationes en la arcilla, es decir pasando sucesivamente por Na,



K, Ca, Al, etc., más fácil resulta cada vez llevar a cabo la estabilización.

4) El efecto de los componentes orgánicos del suelo depende de la forma bajo las cuales la materia orgánica se ha formado y acumulado. Materia ácida orgánica de bosques destruidos, y suelos provenientes del fondo de los ríos se presentan como desfavorables, mientras que materias orgánicas básicas o neutras de regiones áridas o semiáridas no parecen causar efectos perniciosos, salvo los que ocurren por la presencia de iones monovalentes. De estos el sodio es siempre de efectos desfavorables, mientras que el potasio puede serlo o no.

Las condiciones indicadas en 1), 2) y 3) son ampliamente cumplidas por los suelos "Sand-Clay" encontrados, que cuentan con ligantes ferro-aluminosos; son materiales lateríticos que en consecuencia tienen relación sesquióxidos inferior a 2\*. En cuanto a lo estipulado en el punto 4, resulta también condición favorable pues estos suelos tienen sus dos componentes exentos prácticamente de materia orgánica.

El valor Soporte California (Ensayo C.B.R.) de los suelos arcillo-arenosos mejorados con arena que estamos tratando, en promedio llegó a 30 en nuestra embebida;; excepcionalmente y dentro del tramo Vera-Reconquista de la Ruta Nacional Argentina N° 11 se han obtenido valores superiores a 45.

Es un buen material para emplear en forma natural como sub-base o capa de rodamiento en caminos secundarios. La estabilización bituminosa debe aquí solamente elevar el C.B.R. hasta el mínimo necesario para hacerlo apto en la formación de Bases que deben soportar tránsito mediano o pesado, lo cual se obtuvo con bajos porcentajes de material bituminoso. En el caso de Caminos secundarios la elevación del valor soporte será sólo la

$$* \text{ Relación de Sesquióxidos (Rs)} = \frac{\text{Si O}_2}{\text{Fe}_2 \text{ O}_3 + \text{Al}_2 \text{ O}_3}$$

necesaria para incrementarlo si el mismo no llega a 30, hasta dicho valor.

La gran experiencia lograda ha demostrado que la estabilización bituminosa debe emplearse preferentemente en suelos friables o poco plásticos correspondientes a los grupos A<sub>1</sub>; A<sub>2</sub>; A<sub>3</sub> de la clasificación del Highway Research Board (USA) y en algunos del tipo Loam pertenecientes al grupo A<sub>4</sub> (A<sub>1</sub> friable) de la misma clasificación. Su efecto en los suelos sin cohesión consiste en conferir esta propiedad a fin de que las partículas puedan desarrollarse por mutuo contacto, un valor de fricción interna de máxima importancia en toda Base flexible para resistir la acción de desplazamiento lateral provocada por las cargas del tránsito.

En los suelos con reducida plasticidad, el efecto del betún consiste en convertir al suelo en repelente al agua, y en esta forma mantener inalterable la estabilidad en seco de la Base o Sub-Base que se encuentra formando; no se especula en este caso en aumentar la estabilidad por cohesión propiedad de menor importancia en toda Base o Sub-Base flexible.

La repulsión al agua provocada por el betún, parece ser debida, según las teorías más avanzadas, a la oclusión de los tubos capilares; los suelos grandemente plásticos no son aptos para ser estabilizados con materiales bituminosos, por cuanto en primer lugar no pueden constituir una buena Sub-base o Base flexible desde que poco aumentarán su escaso valor friccional y además porque para convertirlos en repelentes al agua se necesitaría una elevada proporción de asfalto.

Todas las zonas de los países en desarrollo provistas de Suelos finos estables y desprovistas de materiales granulares gruesos, constituyen campo propicio para llevar a cabo trabajos de estabilización bituminosa.

En los EE.UU. de N.A. en esta orientación, no se ha construido en mayor escala, porque aún hay disponibilidad de materiales granulares (aún cuando se vislumbra una escasez), salvo en el Estado de Florida donde recibió

en el pasado un impulso extraordinario por la carencia de materiales gruesos; y ha sido bastante empleada en algunas regiones de los Estados de Texas, Carolina del Norte y Sur, Georgia, Nebraska, Missouri, New México, etc., por razones idénticas.

Dentro del campo de los suelos medianamente plásticos no lateríticos se ha experimentado en Argentina en suelos que incluyen fracciones de naturaleza calcárea, con buenos resultados, como en el caso de la Ruta Nacional 34 en la Provincia de Santa Fe, tramo Rafaela-Sunchales. El ión calcio favorece el proceso de estabilización, si bien los resultados no son tan favorables como en el caso de los Suelos lateríticos.

Después de consultar con el Investigador Francis Hveem que actuó durante muy largo tiempo en el Departamento Vial de California (USA) y visitó Argentina en 1961, para el caso de los suelos medianamente plásticos las condiciones óptimas se darían al no exceder un Índice plástico de 5. Los otros factores según la experiencia Argentina corresponderían a contar en el suelo con cationes pesados Ca, Fe y Al, a no sobrepasar el 30% como porcentaje del suelo o mezcla de suelos librado por tamiz 200 y en el material asfáltico estabilizante no exceder el 6% de emulsión asfáltica superestable, que según la Especificación Argentina corresponde a un 3,6 % de Asfalto Base (cemento asfáltico).

En la orientación Argentina se menciona el empleo del Ensayo de Estabilidad y expansión C.B.R. de muy extenso uso en las obras Provinciales de Sta. Fe y en los tramos de la Ruta Nacional N° 11 mencionados\*.

#### 5.1.2 — Los Suelos arenosos y el ensayo de Florida

Los "pionners" de la estabilización suelo-betún han sido sin lugar a dudas los ingenieros de Florida (U.S.A.) que establecieron su técnica especial aplicada al trata-

\* Del ensayo original Porter de Compactación estática solo se modificó el período de inmersión en agua llevándolo de 4 a 8 días.

miento en forma preponderante de suelos arenosos sin plasticidad\*\*.

De ellos debemos destacar a Mr. H. C. Weathers, ex Director de Ensayos en el Departamento de Caminos de dicho Estado. Por la experiencia que los funcionarios de Florida poseían, recogida en gran cantidad de obras realizadas durante cerca de quince años, es aún de gran valor al llamado ensayo previo, de los suelos arenosos. Con el mismo se conoce "a priori" y mediante una sencilla determinación, si los suelos son aptos o no aptos para ser estabilizados con betún, su nombre es: "Ensayo de Valor Soporte de Florida".

Este ensayo previo, es muy lógico, pues robustece la teoría ya enunciada de que el estabilizante betún, tratándose de suelos arenosos sólo da la cohesión necesaria para permitir el desarrollo de la fricción interna, fundamental para la estabilidad de la base. Luego, si la naturaleza del material es tal que dicha fricción interna no es suficiente, el suelo en cuestión no es susceptible de ser tratado exitosamente con el solo agregado de la sustancia bituminosa, y necesitará ser previamente mejorado con materiales granulares. Se pensó en eliminar el ensayo previo, sustituyéndolo por uno granulométrico, pero los resultados han demostrado que aquél no es susceptible de tal reemplazo, pues la forma y rugosidad de las partículas de suelo tienen mayor importancia en el desarrollo de la fricción interna que el simple análisis de tamaños. La exigencia de la última especificación de Mr. Weathers, obliga la obtención para el suelo natural de un valor de estabilidad en el ensayo previo, de 35 libras por pulgada cuadrada (2,4 kg./cm<sup>2</sup>) a fin de que un suelo arenoso pueda considerarse apto para constituir una base estabilizada "arena-betún" de adecuado soporte.

\*\* Se trata generalmente de suelos con porcentajes librados por el tamiz N° 200, inferiores al 12% en cuya fracción no debe existir más de un 40% de partículas inferiores en tamaños a 0,005 mm. (arcilla).

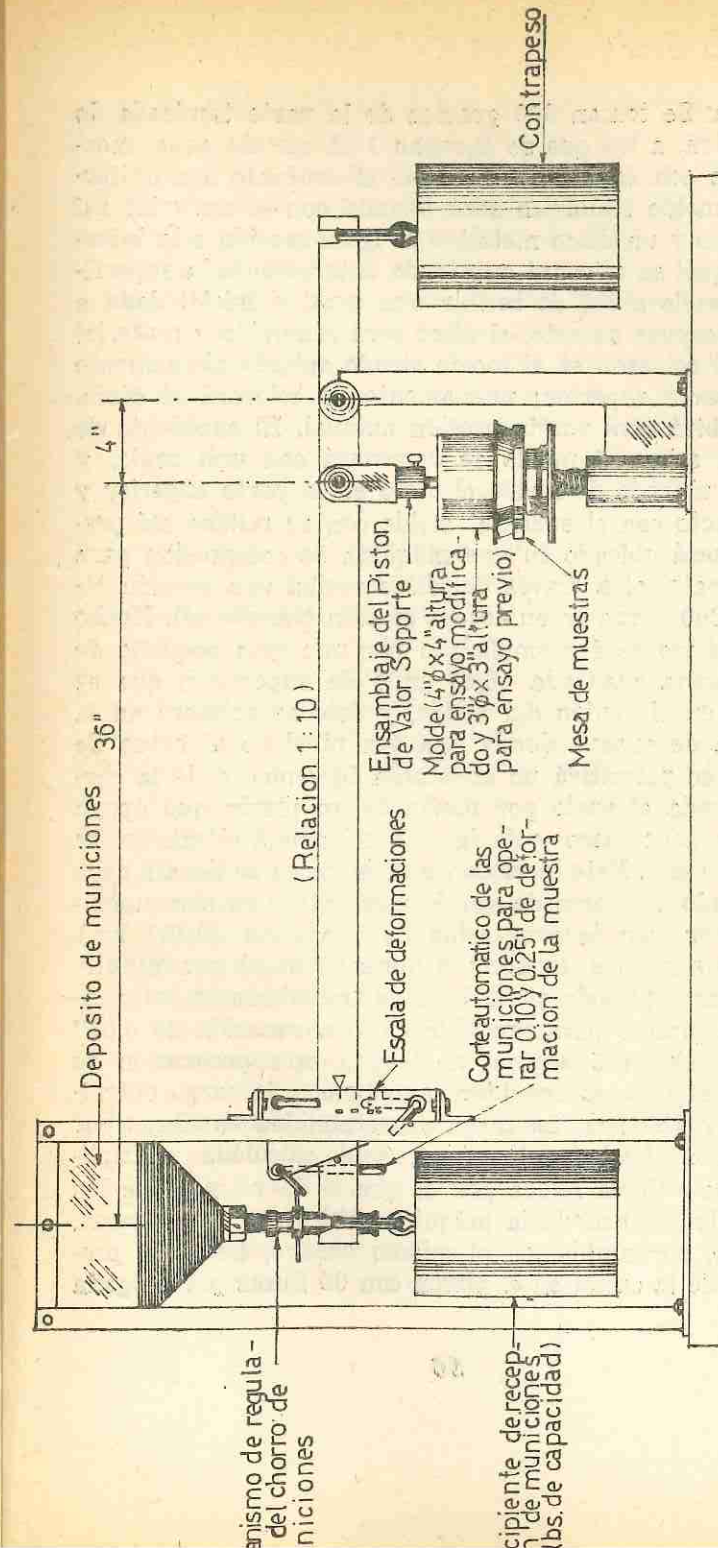
El mismo ensayo se emplea para calificar la estabilidad de los suelos que constituirán la subrasante, estableciéndose que si los que componen la obra básica poseyeran valores inferiores a 20 lb/p.c. (1,4 kg./cm<sup>2</sup>), al menos los 30 cm. superiores bajo la subrasante, deberán tener una estabilidad no inferior a 2,4 kg./cm<sup>2</sup>; si, en cambio, dichos valores estuvieran comprendidos entre 1,4 y 2,4 kg./cm<sup>2</sup>, los 15 cm superiores, bajo la subrasante, deberán acusar una estabilidad no inferior a 2,4 kg./cm<sup>2</sup>.

Aun cuando el ensayo es bastante conocido, lo describiremos rápidamente a continuación, en la forma de su última normalización.

La máquina empleada es muy sencilla; un croquis de ella es el que se reproduce en la figura N<sup>o</sup> 6; la misma se emplea con las pequeñas modificaciones indicadas, para otro ensayo que se describirá más adelante, sobre mezclas suelo - betún.

El aparato esencialmente consiste en un sistema de aplicar carga al suelo contenido en un molde cilíndrico de bronce, por medio de un brazo de palanca; el molde tiene 3 3/16" de altura, y diámetros 3 1/4" (externo) y 3 1/16" (interno). Un dial micrométrico es montado sobre el pistón que transmitirá la carga durante el ensayo, para medir las deformaciones durante el mismo. Un chorro de municiones, calibre 10-12, será admitido desde el depósito superior montado en el bastidor de la izquierda, dentro de un recipiente suspendido por una balanza de resortes en el extremo del brazo de palanca. El molde cilíndrico descansa en un plato que se encuentra atornillado en un apoyo especial. Antes de empezar el ensayo, el sistema entero será nivelado, ajustando el tornillo existente bajo el molde cilíndrico, y el brazo de palanca será balanceado por un contrapeso existente en su extremo derecho.

Para operar, la muestra de suelo deberá ser previamente secada a estufa, hasta peso constante, y tamizada por el N<sup>o</sup> 4; si algunos terrones son retenidos, los mismos serán pasados por un mortero con manga recubierta



MAQUINA DE ENSAYO DEL VALOR SOPORTE DE FLORIDA

Fig. 6

de goma. Se toman 600 gramos de la parte tamizada de la muestra, a los que se agregan 10,5 cm<sup>3</sup> de agua, mezclándolos con espátula hasta que el conjunto sea uniforme; el molde cilíndrico será llenado con el material así preparado y un disco metálico de igual sección a la interna de aquél se colocará cubriendo enteramente la superficie del suelo a fin de recibir una presión inicial dada a mano. Después de esto, el disco será removido y material adicional colocado en el molde siendo apilado cónicamente en su parte superior; nuevamente se colocará el disco, que recibirá otra vez la presión manual. El excedente de material sobre el molde se removerá con una regla, y una vez ubicado de nuevo el disco en la parte superior y en contacto con el suelo, el molde con su relleno así preparado será ubicado en una máquina de compresión para que el material a través del disco reciba una presión total de 1200 libras en su entera sección transversal. Hecho esto el disco será reemplazado por uno más pequeño de una pulgada cuadrada (6,45 cm<sup>2</sup>) de superficie, que se ubicará en el centro del molde, y éste se colocará en la máquina de ensayo donde una vez nivelado el brazo de palanca se permitirá un constante incremento de la carga, aplicada al suelo por medio de un pistón que apoya en el pequeño disco y de igual sección que el mismo, es decir 6,45 cm<sup>2</sup>. Este incremento de la carga se lleva a cabo admitiendo al chorro de municiones entrar en el recipiente inferior, con la progresión de una libra (0,454 kg.) cada 7,5 segundos, es decir, 8 libras (3,6kg.) por minuto, hasta que la presión en el disco de transmisión es suficientemente grande para producir una deformación de 0,01" (0,25 mm.) en 5 segundos. Cuando esta progresión se alcanza, el suelo se considerará fallado, y la carga obtenida será registrada. La carga de estabilidad en libras por pulgada cuadrada, o kgs./cm<sup>2</sup>, será calculada multiplicando los valores leídos por 4, que es la relación de los brazos de palanca de la máquina. Mr. C. L. Mc Kesson, aconsejó, en cambio, en el mismo ensayo, llevar la progresión de la carga en el pistón con 60 libras por pulgada

cuadrada (4,2 kg./cm<sup>2</sup>) y por minuto, en lugar de 32 lb./p.c. (2,2 kg./cm<sup>2</sup>) ya mencionados, que fueron establecidos por Mr. Weathers, Aquel investigador, para simplificar el ensayo, igualmente aconsejó registrar la carga correspondiente a una deformación de 0,1" (2,5 mm.) y considerarla como carga de falla.

Hemos hablado nuevamente de Mc. Kesson, y antes de detallar sus trabajos, en suelos arenosos de los que se tratará a continuación, diremos que fue una de las personas que más gravitación han tenido en el desarrollo de las estabilizaciones suelo-betún; en el particular caso tratado por el mismo, es decir, en el empleo de emulsiones como agentes estabilizantes, podemos afirmar que da sido un verdadero "leader".

Se dijo ya de la importancia que reviste el ensayo previo de Florida, en la determinación de la posibilidad de estabilizar un suelo arenoso. Por idea de Mr. Mc Kesson, se desarrolló otro ensayo que utiliza el mismo aparato con ligeras modificaciones, bautizado con el nombre de "Ensayo del Valor Soporte Modificado de Florida", y que se realiza sobre mezclas suelo-betún para seleccionar porcentajes del material estabilizante, siempre sobre suelos arenosos. Los cambios efectuados, en aparato y procedimiento son los siguientes:

- a) El diámetro de la probeta de ensayo (3") fue llevado a 4", para reducir el efecto de las paredes laterales sobre los valores de la resistencia al corte.
- b) El suelo se mezcla con emulsión en proporciones establecidas por una fórmula de área superficial experimentada en el terreno y que da cantidades necesarias para recubrir las partículas y producir adecuadas propiedades ligantes.
- c) La máquina utilizada ha sido incrementada en su capacidad de carga, si bien es similar a la original de Florida. Durante el ensayo, la probeta es mantenida a 60°C de temperatura, para lo cual existe un recipiente suplementario dentro del cual se coloca el cilindro con la probeta; el valor soporte se deter-

mina, lo mismo que en el ensayo original, sobre un pistón de una pulgada cuadrada de sección, pero la falla es considerada como la carga a la cual visibles grietas en la probeta de aproximadamente 3/4" (1,9 cm.) de largo tienen lugar en su superficie, o bien a la que produce una deformación de un cuarto de pulgada (0,64 cm.) cualquiera de las dos situaciones se produzca primero.

Cuando se comenzó a ejecutar este ensayo, las mezclas eran secadas a 60°C durante 48 horas, antes de ejecutarse la compactación de las mismas. Como esta situación nunca existe en el terreno, se cambiaron las condiciones y las mezclas fueron compactadas en el molde a contenidos de humedad entre 4 y 5% que son aproximadamente iguales a los que se emplean en las obras a fin de conferir la suficiente estabilidad a la base para poder llevar a cabo la construcción del recubrimiento o capa de rodamiento.

Haremos a continuación una somera descripción del ensayo: La determinación de este especial valor soporte se efectúa sobre la fracción del suelo librada por el tamiz N° 4, necesitándose cerca de 4 kilogramos de cada clase para preparar las tres probetas que se moldean. El material a emplear se deja secar al aire, a temperatura inferior a 43°C, hasta que se encuentre libre de la humedad superficial. Con 100 gramos del mismo se lleva a cabo su granulometría por los tamices N° 10 y 200. Las cantidades de emulsión estabilizantes a emplear se calculan por la siguiente fórmula:

$$P = 0,75 (0,05 A + 0,10 B + 0,5 C)$$

donde: A = porcentaje del suelo retenido en el tamiz N° 10

B = porcentaje del suelo que pasa el tamiz N° 10 y es retenido por el N° 200.

C = porcentaje del suelo que pasa el tamiz N° 200, determinado por vía húmeda.

P = porcentaje de emulsión asfáltica, basado en el peso del suelo.

Al efectuarse las mezclas, el suelo secado al aire será humedecido hasta un contenido de agua igual a la mitad del porcentaje de emulsión, calculado por la fórmula anterior.

Dicha emulsión será agregada al suelo así mojado, y el conjunto, íntimamente mezclado; si la emulsión no puede dispersarse eficientemente, se agregará más agua al conjunto, cuya cantidad debe registrarse, pues la misma deberá ser posteriormente evaporada, antes de procederse al moldeo de las probetas. Si hubiera sido necesario este especial agregado de agua, la mezcla será secada a estufa a 60°C, moviéndosela de continuo, hasta que su contenido de humedad sea igual aproximadamente a la mitad del porcentaje de emulsión más el agua contenida por ésta.

La mezcla, será posteriormente compactada en un molde cilíndrico de 4" de diámetro y 4" de altura, en tres capas, cada una de las cuales recibirá diez ligeros golpes de un pequeño pisón de extremo achatado y sección cilíndrica (1" de diámetro y 20 cm. de largo). Con 100 gramos de la mezcla, tal cual se utiliza para moldear las probetas, se determinará por secado a 60°C el contenido de humedad de moldeo. La cantidad de suelo secado al aire necesario para formar cada probeta es aproximadamente de 1200 gramos.

Una vez que las probetas se encuentran moldeadas, se calcula el peso de los sólidos, y el contenido de humedad se expresa en porciento de estos sólidos secos. El molde con la mezcla es posteriormente colocado en una máquina de compresión; aquélla será comprimida con un pistón de diámetro ligeramente más pequeño al del molde (3,97") y 15 cm. de longitud hasta alcanzar una carga total de 25.000 libras (11.350 kg.), es decir, aproximadamente 2.000 lb./p.c. (140 kg./cm<sup>2</sup>); dicha carga final debe ser mantenida durante 2 minutos. Si una vez efectuada la compresión la altura de la probeta fuera distinta a 3" ± 0,25", deberá acondicionarse removiendo la mezcla del molde, y repitiendo el proceso explicado hasta llevar la

condición mencionada de altura. No reviste importancia la probable salida de agua en pequeñas cantidades alrededor del pistón durante la compresión.

Las probetas comprimidas (se hacen tres para cada tipo de suelo) deben curarse dentro de sus moldes en estufa a temperatura constante ( $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) hasta que el contenido de humedad de cada una se encuentre comprendido entre 4 y 5%.

Terminado el curado, las probetas en sus moldes serán colocados para su ensayo en la máquina de Florida, y mantenidas a la misma temperatura en que se efectuó aquella operación. La determinación de la estabilidad se efectúa aplicando la carga en el pistón de penetración de una pulgada cuadrada de sección ( $6,45\text{ cm}^2$ ) con la progresión de  $60\text{ lb/p.c.} \pm 2,5$  ( $4,2 \pm 0,17\text{ kg/cm}^2$ ) por minuto, hasta que ocurra la falla. El valor soporte se calcula en la forma ya descrita precedentemente.

Del examen de una gran cantidad de obras construídas, surge la evidencia de que suelos arenosos que tengan valores soportes superiores a  $2,4\text{ kg/cm}^2$ , en el ensayo previo y a  $150\text{ lb/p.c.}$  ( $10,5\text{ kg/cm}^2$ ) en el ensayo modificado para mezclas, son susceptibles de formar bases de pavimento de alta estabilidad en el tipo suelo-betún (variante suelo-emulsión). Si el ensayo previo diera valores comprendidos, entre  $1,4$  y  $2,4\text{ kg/cm}^2$ , el material sería aceptable siempre que el valor acusado en el ensayo modificado para mezclas, fuera superior a  $200\text{ lb/p.c.}$  ( $14\text{ kg/cm}^2$ ). Las cifras obtenidas en el ensayo previo, analizadas aisladamente, valen según la experiencia de Florida para calificar un suelo arenoso a fin de que pueda ser utilizado también con agentes bituminosos estabilizantes del tipo asfalto diluido. En caminos secundarios debe mantenerse la misma exigencia señalada para el ensayo previo, en subrasante y mezclas estabilizadas para capa de rodamiento; la estabilidad de estas últimas para el ensayo modificado debe llegar solo a  $50\text{ lb/p.c.}$  ( $3,5\text{ kg/cm}^2$ ).

### 5.1.2.1 — Mejorantes del suelo

Se ha dicho anteriormente, que si el suelo arenoso natural no responde a la estabilidad establecida en el ensayo previo, para poder emplearlo es indispensable mezclarlo con otros materiales que lo mejoren.

En este orden de ideas diremos que los más adecuados mejorantes a utilizar son inertes como el polvo de piedra, loess, arena gruesa o materiales similares de naturaleza mineral, no cohesivos. El uso de mejorantes con índice plástico superior a 6, está proscripto.

## 5.2 — Estabilización de suelos con cemento Portland

### 5.2.1 — Introducción e historia

La estabilización de suelos con cemento Portland, es decir lo que vulgarmente llamamos "suelo-cemento" es un tipo de estructura muy bien conocida en todo el mundo técnicamente organizado y que ya está cumpliendo sus cuarenta años de edad.

En efecto, a pesar de las experiencias efectuadas en California con anterioridad (1920) puede en realidad considerarse como principio de real desarrollo a los trabajos de M. D. Catton, en Carolina del Sud publicados en 1937, efectuados con algunos años de anterioridad, utilizando en especial suelos lateríticos (1933-34-35).

Los resultados más interesantes desde el punto de vista de la Ingeniería son los obtenidos con suelos librados casi íntegramente por tamiz N° 4 es decir sin material grueso de importancia. A ellos nos referiremos exclusivamente, es decir al suelo fino estabilizado con cemento. Los otros con fracción gruesa generalmente pueden designarse como "Estabilizados-Cemento" (Cement treated Bases). Y son sólo para pavimentos.

El endurecimiento del cemento asociado con el suelo, cambia las propiedades de este último especialmente en el aspecto granulométrico formando una estructura, que

bien dosificada es dura, estable, impermeable y de buena resistencia a compresión, flexión y tracción.

En 1936, una comisión de Estudios de la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina formada por los Ingenieros J. Allende Posse, E. Humet y E. Coll Benegas recorrió los EE.UU. de N. A. y entre otros el Estado de South Carolina quedando muy bien impresionada de los trabajos que allí se ejecutaban en "suelo-cemento"; por ello, se llevaron a cabo en 1939 tramos experimentales en las Provincias de Córdoba y Buenos Aires, cuyo buen resultado alentó a la ejecución de otras experiencias de campo y de Laboratorio. En 1940, siendo entonces funcionario de Vialidad Nacional viajamos através de los EE.UU. de N. A., incluyendo en los informes las construcciones de "suelo-cemento".

Ya en 1942, Argentina llevó a cabo un tramo de Camino con Base suelo-cemento y Tratamiento superficial bituminoso doble sobre 15 km. de la Ruta Nacional N° 188 (Pcia. de Bs. Aires), Tramo Cano-Rojas.

Como dijimos, el suelo-cemento nació y se desarrolló en U.S.A., País que ha construido la mayor cantidad de obras con sub-base y/o Base "suelo-cemento" así como aplicado el suelo-cemento para otros usos de Ingeniería como revestimiento de canales, muros delgados para viviendas de bajo costo, etc.

Ingenieros de varios Países viajaron através de U.S.A. y adoptaron esta técnica en su medio.

Entre dichos Países, fueron pioneros para el suelo-cemento los de Argentina, Alemania e Inglaterra.

Como veremos más adelante, no se resuelven todos los problemas de Pavimentos flexibles con "suelo-cemento", pero el mismo es un buen auxiliar para muchas soluciones.

Impresiona al Técnico, la dureza que se obtiene con el "suelo-cemento" casi de inmediato. Pero la dureza no es Estabilidad, propiedad que junto con la Durabilidad son las más importantes a considerar en un proyecto de "suelo-cemento".

## 5.2.2 — Composición y propiedades del suelo-cemento

### 5.2.2.1 — Composición

El suelo-cemento es una mezcla simple altamente compactada, de suelo pulverizado, cemento Portland y agua. A medida que el Cemento se hidrata, la mezcla se hace dura convirtiéndose, cuando está bien dosificada, en material durable de Pavimentación el cual si es utilizado en capa Base de pavimento requiere una capa bituminosa de rodamiento.

Cuatro variables principales controlan el grado de reacción del cemento con el suelo, a saber:

- a) Naturaleza del material "suelo" (propiedades físicas y químicas)
- b) Proporciones de cemento en la mezcla
- c) Condiciones de humedad, es decir contenido de humedad de la mezcla en el momento de la compactación y en las condiciones de curado (humedad, temperatura y tiempo)
- d) Grado de densificación alcanzado con la compactación, deseablemente el más elevado posible en estructura de pavimento y de valor medio en caminos secundarios.

Es posible, variando simplemente el contenido de cemento, producir mezclas que van desde aquellas que solo modifican el suelo compactado, llamadas "suelo modificado con cemento" a aquellas que resultan en "suelo-cemento" bien endurecido que cumple ciertas condiciones mínimas de durabilidad y resistencia.

El "suelo modificado o mejorado con cemento" es una mezcla íntima sin dureza o semidura, de suelo pulverizado, agua y pequeñas cantidades de cemento Portland. Contiene menos cemento que el necesario para producir "suelo-cemento" de Base o Sub-base. Cuando se agregan pequeñas cantidades de cemento y humedad a un suelo granular o una arcilla limosa, las propiedades físicas y químicas

cas del mismo, cambian. La compactación y el curado son aquí factores incidentales en el proceso de modificación. El cemento reduce la plasticidad del suelo, decrece sus capacidades de retener humedad y de modificar el volumen e incrementa su capacidad portante y resistencia al corte.

“Suelo modificado con cemento” o “Suelo tratado con cemento” es esencialmente un material “suelo” que actúa y se comporta como un suelo pero, mejorado apreciablemente. Este es el tipo necesario para los caminos secundarios o vecinales, empleando suelos medianamente plásticos.

El grado de mejoramiento se juzga corrientemente por cambios en las constantes físicas y/o la capacidad portante.

Sobre como actúa el cemento en la mezcla “suelo-cemento” podemos establecer que los granos de cemento son recubiertos por las partículas de suelo y la cementación que ocurre es debida a la formación de cadenas no rotas (aglomeraciones) entre los granos de cemento y las partículas de suelo; son cadenas bien soldadas.

Por el motivo apuntado el suelo después de la acción del cemento cambia de granulometría pasando las arcillas a limos y éstos a arenas.

La humedad hace falta para la hidratación del cemento y la densificación es esencial para producir la cementación y endurecimiento de las mezclas de “suelo-cemento”.

La hidratación comienza cuando se agrega humedad a la mezcla de suelo y cemento, y continúa por largos períodos, hasta de años.

Para un máximo beneficio de uso del cemento, la mezcla húmeda debe ser compactada a densidad final antes que concluya el fraguado, completo del cemento. Las especificaciones permiten generalmente un período de 6 horas para las operaciones de agregado de agua, mojado, mezclado en húmedo y compactación final de la mezcla.

La mayoría de los Ingenieros Inspectores y Contratistas tratan de acortar lo más posible dicho período.

En esto, el “suelo-cal” tiene grandes ventajas sobre el suelo-cemento, pues no existe este período crítico de construcciones, y muy al contrario, se produce una mejor incorporación de la cal al suelo cuando se mantiene la mezcla húmeda al estado suelto por cierto tiempo, lo que se llama “curado inicial”.

En consecuencia el proceso del “suelo-cemento” requiere velocidad operativa. Cuanto más se demore la compactación, menor será la densidad a lograr, y en consecuencia la calidad del producto resultante.

Ya en 1939 los Ingenieros J. L. Carattino y V. Carri, de Argentina, demostraron en experiencias de Laboratorio la reducción de densidad, muy apreciable, con el retardo en llevar a cabo la compactación, y por ello las pruebas de Laboratorio se efectúan con el retardo esperable en obra a fin de no exigir al contratista más de lo razonable.

#### 5.2.2.2 — Humedad, compactación y temperatura

La humedad lleva a cabo dos funciones; una es lubricar las partículas de suelo y cemento para facilitar la compactación; esto requiere que todas o casi todas se encuentren cubiertas por humedad y ello significa que debe existir una mezcla íntima de suelo, cemento y agua. La segunda función de la humedad es hidratar el cemento.

Se ha demostrado que las mezclas al óptimo contenido de humedad (AASHO T-180 o AASHO T-99) proveen suficiente humedad para ambos propósitos. Como el proceso de hidratación continúa por un tiempo, es necesario proveer sobre la superficie terminada del “suelo cemento” una cobertura que retenga la humedad para prevenir las pérdidas por evaporación. Generalmente se especifica un curado de varios días, 7 a 10 con este propósito. Durante dicho primer período es donde el “suelo-cemento” gana la mayor parte de su resistencia y durabilidad.

Aparte del agua necesaria para dar el óptimo contenido de humedad, hace falta alguna agua adicional para evitar las pérdidas por evaporación durante el proceso de compactación.



Una buena compactación es indispensable para llevar las partículas húmedas de suelo y cemento en íntimo contacto y lograr la máxima resistencia y durabilidad posible; a tal efecto es deseable tratar de lograr la máxima densidad del ensayo AASHO T-180, pero esto solo para pavimentos.

Referente a la temperatura, el "suelo-cemento" no debe construirse a temperaturas inferiores a 4°C pues a bajas temperaturas el cemento hidrata lentamente pudiendo ocurrir que se congele antes de lograr resistencia.

Una vez endurecido, el "suelo-cemento" bien dosificado resiste a los efectos de la congelación y deshielo.

#### 5.2.2.3 — Propiedades

Cuando se agrega cemento al material "suelo", las propiedades físicas del mismo cambian.

Así pues, la plasticidad, el cambio volumétrico y capacidad de retener humedad son reducidas.

Al adicionar suficiente cemento a un buen suelo, para formar un suelo-cemento bien endurecido, el material resultante tiene una sustancial resistencia estructural.

Su resistencia y módulo de elasticidad aumentan con el contenido de humedad y edad. La compresión inconfiada del "suelo-cemento" bien endurecido generalmente es superior a los 25 Kg/cm<sup>2</sup> a 7 días; puede aún ser mayor siempre que se trate de un suelo graduado con baja plasticidad y el contenido de cemento sea elevado.

#### 5.2.3 — Tipos de suelo más adecuados

##### 5.2.3.1 — Bases para la selección

La selección de suelos adecuados para estabilización está basado en lo siguiente:

- a) La distribución del tamaño de las partículas (granulometría) y plasticidad, deben ser tales que el suelo pueda ser estabilizado con una cantidad eco-

nómica de cemento y procesado exitosamente con equipos disponibles de mezclado y compactación. Los suelos muy plásticos, de difícil pulverización se excluyen en el uso corriente.

- b) Los suelos deben estar suficientemente libres de constituyentes químicos indeseables como los sulfatos, que pueden ya sea oponerse al endurecimiento del suelo con cemento y/o causar una pérdida de durabilidad a través de la subsecuente destrucción de la unión entre el suelo y el cemento.

#### 5.2.3.2 — Suelos a emplear

Las investigaciones de Laboratorio y la experiencia práctica muestran que la cantidad de cemento requerida para la estabilización puede hacerse excesiva en dos grupos de suelo, a saber:

- a) Con ciertos suelos granulares, el material puede ser de tan único tamaño (uniforme) que precisen una considerable cantidad de cemento para llenar relativamente gran volumen de vacíos antes que se obtenga una ganancia significativa en resistencia. Las experiencias de Mac Lean y Lewis acusan la necesidad de 10 % de cemento para obtener una resistencia de 17,5 Kg/cm<sup>2</sup> y 13 % para llegar a 35 Kg/cm<sup>2</sup> en una arena uniforme, siempre a 7 días.
- b) Algunos suelos cohesivos con baja resistencia intrínseca de las partículas individuales requieren un contenido alto de cemento para proveer una matriz suficientemente fuerte que confiera, una adecuada estabilización.

Los ensayos de Mac Lean y Lewis dieron la necesidad en una arcilla pesada, del 10 % de cemento para obtener la resistencia de 17,5 Kg/cm<sup>2</sup> y 21 % para alcanzar los 35 Kg/cm<sup>2</sup>.

Para eliminar suelos arenosos de tamaño único se requiere que el coeficiente de uniformidad sea igual o superior a 10.

Referente a las arcillas, las mismas resultan inapropiadas de emplear si el Límite Líquido es superior a 45 y el Índice Plástico excede a 20. El motivo está en las dificultades para una pulverización del suelo con equipos de trabajo en el terreno. Los Ingleses han demostrado con experiencias, que es necesario llegar por lo menos al 80 % de material pasando el tamaño de 3/16" para una efectiva estabilización con no excesiva cantidad de cemento; este tamaño corresponde aproximadamente al del tamiz N° 4. Hay un solo equipo de trabajo que puede realizar este grado de pulverización con arcillas pesadas, y es el "Single Pass stabilizer" según la experiencia Inglesa.

En los EE.UU. de N.A. las normas generales también exigen el 80 % bajo tamiz N° 4, igual que las Argentinas.

Los suelos más adecuados a emplear en caminos secundarios serían los siguientes dentro de la clasificación del Highway Research Board con índices de grupo marcados entre paréntesis. Indicamos también los porcentajes aproximados de cemento Portland a emplear (tentativos) en una gama de valores:

Tipo	% cemento (a peso seco de la mezcla)
A - 2 - 5	} 4 - 7
A - 2 - 6	
A - 2 - 7	
A - 3	5 - 8
A - 4 (0) a A-4 (8)	5 - 8

En caminos secundarios o vecinales los porcentajes anteriores corresponderían aproximadamente para cumplir la condición de "suelo modificado con cemento".

## 5.3 — Suelos estabilizados con cal

### 5.3.1 — Generalidades

#### 5.3.1.1 — Historia del suelo - cal

Alcanza apenas a unos 30 años. Según Chester Mc. Dowell, Texas (U.S.A.), a quien por méritos muy acumulados puede considerarse como el "padre" del suelo - cal, antes de 1945 muy poco se había realizado en forma más o menos controlada.

W. D. Dockery y D. E. H. Manigault (Texas, U.S.A.) publicaron en el Magazine "Roads and Streets" (Agosto 1974) un artículo titulado "Lime stabilization and Low Cost Road Construction" donde se relataron algunas experiencias estabilizando arcillas pesadas con cal de deshecho.

Es con la investigación exhaustiva de C. Mc. Dowell donde se llegó al adelanto actual.

Cuando en 1960 primero y luego en 1962 y 1964 visitamos con Mc. Dowell todo lo realizado en Laboratorio y en la práctica pudimos valorar el gran adelanto obtenido, mucho en el terreno, efectuado en las inmediaciones de la localidad de Taylor (Texas).

Al presente, Mc. Dowell ha llegado ya a perfeccionar métodos de Diseño y mejorar la valoración estructural del suelo - cal, algo que permite emplearlo en capas estructurales de Diseño de Pavimentos flexibles.

En Europa algo se ha efectuado en "Suelo - Cal" pero sin gran adelanto.

N. I. Bykovski en 1937 (Rusia) publicó algunas nociones preliminares en una Revista de Automovilismo.

G. I. Maiborodo (Rusia) publica algo más profundo en 1947 con su artículo "Humus - Concrete Road Construction" pero nada definitivo.

Lo realizado hasta la fecha en algunos países Europeos como Inglaterra, Francia, Alemania y Holanda no es de gran envergadura y sigue prácticamente la técnica desarrollada por Mc. Dowell.

### 5.3.1.2 — Desarrollo del suelo - cal en Sud-América

Ha sido muy avanzado en Argentina pero los otros Países salvo Brasil y Venezuela poco han hecho para utilizar esta técnica tan útil y de tanto provecho.

En efecto después de tramos experimentales en 1951 desde aproximadamente el año 1955 se comenzó en Argentina a utilizar cada vez más esta técnica, para llegarse al estado presente en que es prácticamente de rutina en el tratamiento de suelos expansivos y en el mejoramiento de los Loams medianamente plásticos. Este desarrollo fue favorecido a raíz de la visita que realizó Mr. C. Mc. Dowell a nuestro País en 1962 cuando terminó de fijar los conceptos directrices.

El desarrollo cada vez más creciente en Argentina fue la causa de un Simposio sobre "Suelo-cal" realizado en 1964 como parte del "V Congreso de Vialidad y Tránsito" (Embalse Río III, Córdoba).

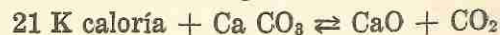
Entre 1972-73 el autor diseñó los pavimentos de la Ruta Transchaco (Nº 9, Paraguay) con sub-bases de Suelo-cal a lo largo de 430 kms. aproximadamente, produciendo un evidente avance tecnológico dentro de las posibilidades de aquel país en las zonas con suelos desfavorables y con materiales gruesos muy alejados.

### 5.3.1.3 — Cales

En un estricto sentido científico, "cal" es el óxido de calcio (Ca O) pero raramente se menciona en este único fin pues también se emplean con el mismo nombre muchos de sus derivados.

Es necesario puntualizar con nombres verdaderos los distintos tipos de formas del CaO; así por ejemplo es propio designar por Hidrato de Calcio, que generalmente se entrega en escamas, el producto originado en la Hidratación del CaO.

La cal (CaO) "cal viva" es el producto de la calcinación del Carbonato de Calcio según la reacción:



Si el Carbonato de Calcio no es puro puede aparecer un poco de Carbonato de Magnesio formando las rocas dolomíticas; entonces el producto de la calcinación es  $\text{Co O} + \text{Mg O}$  y se llama generalmente "Cal dolomítica".

La cal viva, Ca O, reacciona rápidamente con el agua produciendo hidróxido de calcio o cal hidratada, según la reacción:



El Mg O no reacciona tan violentamente con el agua y por ello queda remanente algo del mismo cuando se hidrata el  $\text{Ca O} + \text{Mg O}$ ; la cal resultante es  $\text{Ca (OH)}_2 + \text{Mg O}$  llamada técnicamente cal normalmente hidratada o cal monohidratada dolomítica. Este es el producto comercial que se expende generalmente para la estabilización de suelos.

También existe, aun cuando menos empleado, el  $\text{Ca (OH)}_2 + \text{Mg (OH)}_2$ , cal hidratada a presión o cal dolomítica dihidratada.

El producto corriente en uso  $\text{Ca (OH)}_2 + \text{Mg O}$  es decir la cal normalmente hidratada, debe tener el más alto porcentaje posible en CaO para un mejor resultado. Las especificación Norteamericanas, especialmente en Texas, exigen porcentajes superiores al 90 %. Generalmente todas están basadas en las especificaciones para mampostería cubiertas por la norma ASTM C-208-68. En la determinación de  $\text{Ca(OH)}_2$  o CaO, por la norma ASTM C-25-72.

En Argentina, el Instituto de Normalización de Materiales, I.R.A.M. (Norma 1508) ha establecido para las cales monohidratadas a utilizar en mampostería (que también se utilizan en suelos) un mínimo de 62,5 % de  $\text{Co O} + \text{Mg O}$ . La Provincia de Buenos Aires denomina como "Cal útil vial" al porcentaje que dentro de las cales comerciales corresponde como parte activa para estabilización de suelos, es decir al total de  $\text{Ca(OH)}_2$ , expresado en un coeficiente, porcentaje determinado por método electroquímico.

### 5.3.2 — Acción de la cal en suelos

#### 5.3.2.1 —

Varios tipos de reacciones ocurren cuando se mezcla un suelo húmedo con cal pero indicaremos las tres más importantes.

##### 5.3.2.1.1 — Cambio iónico y floculación

Mezclando un suelo cohesivo húmedo y permitiendo curarlo por un tiempo mínimo de 24 horas, el mismo se vuelve más friable como si se tratara de un Limo; hay dos acciones concurrentes para ello, la primera debido al reemplazo iónico por calcio, de iones monovalentes como Sodio e hidrógeno y la segunda sería la fijación de grandes cantidades de iones calcio firmemente sobre al superficie de la arcilla. En ambos casos se trata de reemplazo de iones monovalentes que hacen cadena más firme, por divalentes del calcio. Por ello, el suelo se vuelve más friable y pierde plasticidad.

El suelo en esas condiciones es más trabajable y se hace más fácil de compactar al perder fácilmente su humedad; lo cual se visualiza mejor, después de lluvias.

El tratamiento de arcillas con pequeñas cantidades de cal permite su fácil pulverización para poder llevar a cabo otros procesos con cemento o asfalto donde es indispensable dicha pulverización.

##### 5.3.2.1.2 — Acción cementante

La cal se combina con minerales del suelo formando silicatos y aluminatos en diferente proporción de acuerdo a la composición del mismo. Estos componentes van progresiva y lentamente endureciendo el suelo y reciben el nombre de "puzzolanas" para cuyo proceso se precisa una adecuada compactación inicial.

### 5.3.2.1.3 — Carbonatación

La tercer reacción importante de la cal implica la absorción de dióxido de carbono del aire. Viene a ocurrir aquí la reversión del proceso de formación de la cal pues el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en presencia del  $\text{CO}_2$  vuelve a producir Carbonato de Calcio.

### 5.3.3 — Propiedades físicas de las mezclas "suelo-cal"

Las mezclas "suelo-cal" afectan grandemente las propiedades físicas del suelo aun cuando en ello hay una variedad muy grande de situaciones que pueden analizarse a través de las características obtenidas con las mismas. Vamos a ocuparnos de las más importantes y que resaltan en situaciones comunes.

#### 5.3.3.1 — Tamaño de las partículas del suelo (Granulometría)

Debido al efecto de la floculación se nota una aglomeración de las partículas finas de arcilla formando más grandes. Por ejemplo, Lund y Ramsey en Nebraska (U.S.A.) mostraron en 1956 que una arcilla tratada con 10 % de cal a los 14 días de curado pasó a ser un Loam arenoso y a las 240 días de curado pasó a clasificarse como arena.

Otro de los numerosos ejemplos lo citan Brand y Schoenburg (Bulletin N° 231 del Highway Research Board, U.S.A.) con la acción de la cal sobre el Loess reduciendo el porcentaje bajo tamiz N° 200 de 88 % a 58 % en solo 7 días de curado con la adición de 5 % de cal.

La modificación granulométrica es más sensible en arcillas que en Limos y es mayor a medida que aumenta la cantidad de cal incorporada.

### 5.3.3.2 — Plasticidad del suelo

Un fenómeno bien notable consiste en la reducción de plasticidad del suelo por acción de la cal. Lo que ocurre generalmente es un descenso en el Límite líquido y un incremento en el Límite Plástico, con lo cual el IP. queda disminuído. A veces, en arcillas poco plásticas, aumenta algo el L.L. pero como es muy apreciable el incremento del L.P., el IP. resulta siempre reducido.

La reducción en Plasticidad se produce a las pocas horas y practicamente todo ello tiene lugar a los 2 ó 3 días.

Como simple ejemplo de los numerosos casos a mencionar del pasado diremos que en las experiencias de Lund y Ramsey (Nebraska, U.S.A., 1956) una arcilla con Límite líquido de 51 e Índice Plástico de 30 se volvió no plástico en solo dos días con 6 % de cal.

De Argentina podrían citarse muchos ejemplos, dado que el "suelo-cal" es construcción de rutina para sub-bases y simples mejoramientos de suelo desde hace varios años. Mencionaremos la Base Aérea de Thelew (Chubut, Argentina) donde todos los suelos son sumamente desfavorables. La construcción de las Pistas para la Fuerza Aérea Argentina se comenzó en 1971-72 debiendo construirse como primera capa sobre el suelo natural una sub-base "suelo-cal" de 0,30 m. espesor sobre la cual se ejecutó una sub-base granular en el mismo espesor donde descansa el Pavimiento de Hormigón armado.

Los suelos estabilizados con cal para la primer sub-base tenían en promedio un límite líquido de 55 y un Índice Plástico de 30 quedando este último reducido a 12-15 con 4 % de cal.

La reducción de Plasticidad del suelo y en consecuencia la posibilidad de trabajar en una superficie firme aún durante lluvias, es lo que en algunos Países ha extendido la práctica de ejecutar una "mesa de trabajo" estabilizando con una reducida cantidad de cal la última capa de la Obra de tierra concluida, en un espesor del orden de 0,10 m. — 0,15 m. Con este propósito y con el de ase-

gurar un Valor Soporte C.B.R. mínimo de 6 en la fundación del firme, el autor incluyó dicha capa de suelo mejorado con 2 % de cal en la gran Ruta Transchaco (Rep. del Paraguay), que ya hemos mencionado anteriormente. Lo ideal para caminos secundarios: algo similar a la "mesa de trabajo" para pavimentos.

### 5.3.3.3 — Cambio volumétrico

Existe una correlación entre las modificaciones del Índice de Plasticidad y el del Límite de contracción al tratarse los suelos expansivos con cal. Así con el I.P. decrece, el L.C. se incrementa reduciendo el cambio volumétrico del suelo.

C. W. Jones en experiencias sobre arcillas de canales, en California (U.S.A.) relata la situación de una arcilla tratada con cal que en lugar de expandirse, teniendo exceso de humedad consolidó el 1,5 % con la carga de una libra por pulgada cuadrada.

### 5.3.3.4 — Humedad equivalente de campaña y Presión del suelo

Algunas experiencias efectuadas han demostrado un aumento de la H. E. C. de suelos arcillosos a medida que se incrementa el porcentaje de cal.

La presión originada por la acción de humedad se reduce con la acción de la cal, como fue demostrado ya hace tiempo por experiencias como las de I. Goldberg y A. Klein descriptas en la "Special Technical Publication" N° 142 (ASTM 1952) donde la presión originada por acción de humedad en una arcilla preponderantemente montmorillonita rebajó la presión de expansión de 7 libras por pulgada cuadrada a una con la acción de 8 % de cal.

#### 5.4 — Selección de estabilizaciones tipo Fisicoquímico

Entre lo señalado, podemos afirmar para los caminos secundarios o vecinales que puede determinarse en general una separación bastante clara entre las mejores posibilidades de empleo de cada una.

En ese orden de ideas y como concepto primario las necesidades de empleo de estos tipos recién se manifiestan después de la imposibilidad de empleo de la Estabilización granular cuya utilización en la extensa zona no crítica es exclusiva, ya que en ella existen materiales inertes en suficiente cantidad.

En la zona crítica podemos citar la siguiente lista de prioridades:

- Suelo-asfalto**, para suelos arenosos o medianamente plásticos.
- Suelo-cemento**, para suelos medianamente plásticos haciendo "suelo mejorado con cemento".
- Suelo-cal**, para suelos expansivos y muy plásticos, siempre con poco porcentaje de cal, en la clase "mesa de trabajo".

Debiendo elegir para los Suelos medianamente plásticos entre las soluciones a) y b) el factor económico es el único que debe dar la respuesta.

Cuando el factor económico hace muy costosa la solución c), la Estabilización química con resinas, que tratamos a continuación, puede ser la que corresponde emplear, cuando por supuesto su costo resulta más conveniente.

En Fig. 7 se muestra un gráfico de C. Mc. Dowell, es un gráfico muy conceptual como todo lo de Mc. Dowell. Si queremos nosotros desde el punto de vista técnico decir cual es la estabilización que debemos utilizar a igualdad de precio, y tenemos cal, cemento o asfalto, usemos un simple diagrama de Mohr, donde están las representatividades de distintos materiales. Entonces el asunto es poner los materiales y medir la resistencia al corte en ordenadas para tensiones normales en abscisas.

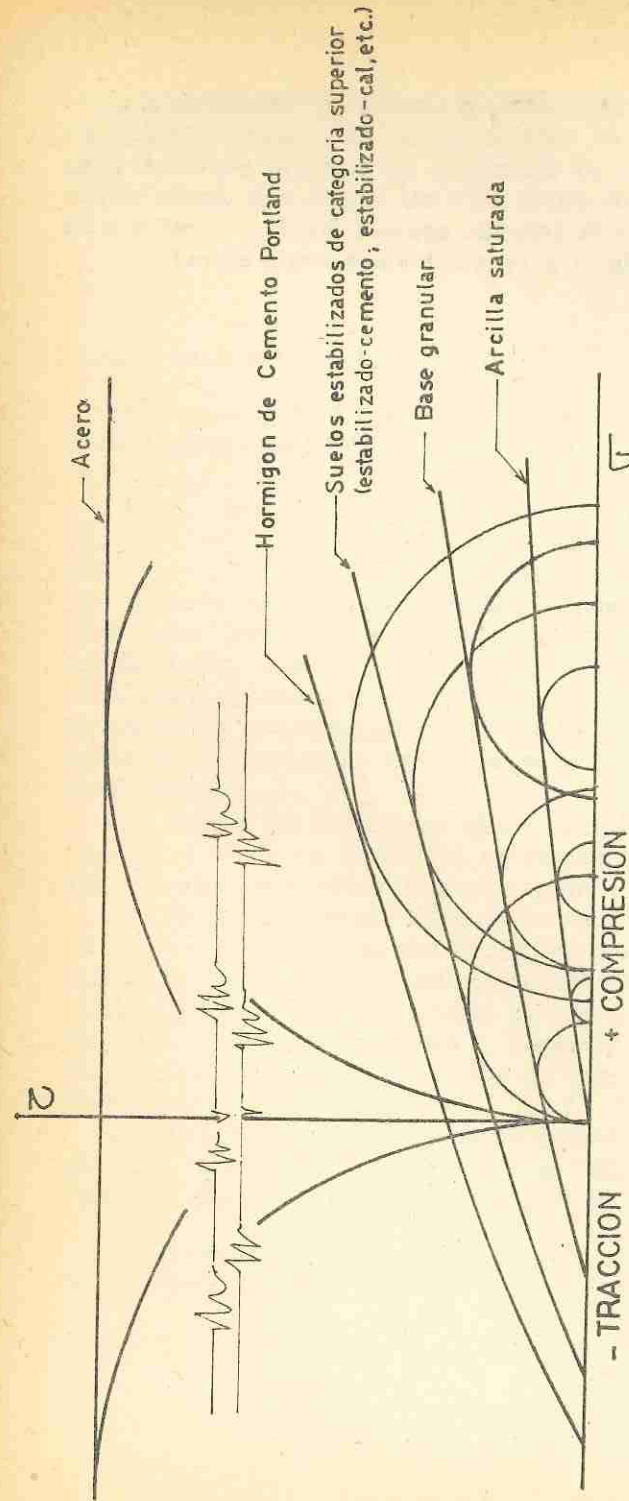


Fig. 7 - RESULTADOS DEL ENSAYO TRIAXIAL PARA VARIOS MATERIALES TÍPICOS

(adaptado del gráfico de C. Mc Dowell, Bulletin 321, Highway Research Board, U.S.A. 1962)

Elegiríamos de acuerdo a valores de resistencia al corte de cada tipo de estabilización. El gráfico muestra en forma superior al Hormigón de cemento portland y en horizontal, e nla parte extrema superior al Acero, donde la resistencia a la tracción aparece igual a la resistencia a la compresión, y a un valor sumamente elevado.

## 6. — ESTABILIZACION QUIMICA DE SUELOS

### 6.1 — Introducción e historia

En sentido general es muy poco lo realizado en este campo escasamente desarrollado, de la estabilización de suelos.

Las razones de ello son de dos órdenes, en primer lugar el costo elevado de los ingredientes químicos para los países en desarrollo, donde justamente esta estabilización sería muy necesaria para las zonas con falta de materiales inertes, arena y agregados gruesos. En segundo lugar, casi todos los procesos conocidos menos uno, están cubiertos por patentes muy rigurosas que no permiten un conocimiento profundo de los mismos para saber de su desarrollo en la incorporación a los suelos desfavorables.

Aun cuando las cantidades que se emplean son pequeñas, el costo de los productos es sumamente alto, salvo en los países con buen desarrollo químico industrial.

En 1950 se efectuaron algunas demostraciones, no experiencias, en Argentina con un producto llamado comercialmente "Krilium", el cual efectivamente estabilizaba la arcilla pesada, pero nada pudo hacerse por el problema de las patentes, ya que ninguna Repartición quiso aceptar exclusividades con productos de composición desconocida.

La excepción que mencionábamos anteriormente correspondió a la labor de Laboratorio desarrollada por el Profesor Dr. Hans F. Winterkorn\* con el complejo resinoso

\* Ex-Director del Laboratorio de Física del Suelo, Universidad de Princenton (U.S.A.).

"Anilina (Difenilamina) - Furfural" quien ya en 1938 publicó sus primeros trabajos en el empleo del complejo resinoso "anilina-furfural" (A-F) como mejorador de adherencia para agregados pétreos hidrófilos. Ya en 1945 el mismo investigador junto con R. G. Fehrman y G. W. Mc. Alpin publicaron las primeras experiencias en estabilizar suelos.

En 1946, el Profesor Winterkorn viajó a la Argentina con el objeto de desarrollar su técnica del empleo de A-F para estabilizar suelos y promover la fabricación local de los productos químicos necesarios.

Se puso en contacto con la Dirección Nacional de Vialidad donde lo atendió preferentemente el autor, en ese entonces funcionario de dicha Repartición.

Winterkorn llevó a cabo extensa labor de Laboratorio después de la gira por una de las zonas con suelos más desfavorables, que comprendió la Provincia de Entre Ríos (forma parte de la Mesopotamia Argentina) y el Norte de la Provincia de Santa Fe.

Todos los suelos extraídos en la gira, que eran altamente expansivos, fueron tratados de estabilizar con resultados varios, en promedio aceptables; el peor de ellos, una arcilla de Villaguay (Entre Ríos) resistió sin inconvenientes la inmersión completa en agua por siete días.

Capítulo posterior detalla estas experiencias.

En conferencia dictada el 23 de setiembre de 1946 en el Centro Argentino de Ingenieros y posteriormente publicada, Winterkorn trató entre otros temas de estabilización de suelos, el empleo del complejo A-F.

Desgraciadamente, el desarrollo práctico de la estabilización A-F en el terreno, con aplicación de las experiencias de Laboratorio, no pudo efectuarse por razones ajenas al Profesor Winterkorn y a la Dirección Nacional de Vialidad, que estaba deseosa de llevar a cabo los tramos experimentales y había puesto a disposición de los mismos el equipo y personal necesario.

Quedó la idea para el futuro.

El problema económico que es básico, influye decisivamente en la solución; las posibilidades de obtener a razonable precio los componentes, determinan la factibilidad de empleo en este tipo de estabilización.

Posteriormente seguimos en el tiempo teniendo contacto con el Prof. Winterkorn, quien envió dos publicaciones a las Reuniones Anuales de Asfalto de Argentina, aparecidas en los años 1950 y 1952.

No podía existir la factibilidad de empleo del complejo A-F en Argentina por falta de ambas materias primas a precio razonable; el primero de ellos, el Furfural, ya comenzó a elaborarse en forma industrial durante los años 1950-51.

En 1962, asistiendo a una de las Reuniones Anuales del Highway Research Board (U.S.A.) tomamos nuevamente contacto con el Prof. Winterkorn a raíz de un trabajo presentado por el mismo sobre el tema de empleo del complejo A-F en la estabilización de suelos.

Ya para 1964 en Argentina se podía importar con facilidades la Difenilamina (A), por lo cual se obtenían sin dificultad ambos aditivos químicos del complejo. Por ello tratamos de interesar a los gobiernos Nacional y algunos Provinciales Argentinos donde existen problemas de suelos expansivos y escasean los materiales granulares.

No fue posible obtener apoyo económico para realizar por lo menos algunos tramos experimentales.

En el año 1971 obtuvimos facilidades para llevar a cabo experiencias de Laboratorio con el complejo A-F en la Facultad de Ingeniería, Vivienda y Planeamiento (Departamento de Estabilidad) de la Universidad Nacional del Noroeste (Resistencia, Pcia. del Chaco, Argentina) con suelos expansivos locales de la Pcia. del Chaco, es decir tratando de experimentar para soluciones locales.

Las experiencias después de algunos inconvenientes se completaron en sus dos primeras partes hasta relacionar las propiedades características del suelo con porcentajes de la resina A-F diluida, en setiembre de 1972.



Hasta la fecha no se ha continuado con dichas experiencias por diversos motivos, pero se lo hará a la brevedad dentro del año 1975 para el comportamiento mecánico de los suelos ya estabilizados con porcentajes de resina A-F diluida.

## 6.2 — El complejo Anilina-Furfural (A-F) en los EE.UU. de N.A.

### 6.2.1 —

La efectividad de los derivados del Furfural especialmente aquellos obtenidos por reacción con aminas aromáticas, como agentes cementantes y repelentes al agua para suelos, ha sido conocida, desde el principio de la década de los treinta. Su potencial estabilizador para ambos suelos cohesivos y granulares por sí solos y también como aditivos en estabilización bituminosa, fue ampliamente investigada durante la década de los cuarenta y los principios generales bajo los cuales actúa su efectividad, fueron establecidos en dicho tiempo.

Durante el período 1955-1960 algunos concimientos de las épocas mencionadas precedentemente han sido perfeccionados y reactualizados, para cumplir el fin que en varios casos no fue realizado.

El problema básico en la estabilización de suelos cohesivos es mantener parte del agua que induce cohesión, pero **controlar la excesiva agua que accede**. Los sistemas de este tipo poseen bastante cohesión para todos los propósitos prácticos y tienen también la propiedad de "respirar", es decir evitar la acumulación de agua, lo cual puede ocurrir bajo capas impermeables a la humedad.

La afinidad al agua de un suelo es una función de la extensión y carácter de la superficie interna y el tipo y número de los iones intercambiables.

El tratamiento con aminas orgánicas sirve para controlar la afinidad del agua a los suelos reemplazando algunos de los iones atractivos al agua como el sodio por las

aminas, las cuales poseen el grupo amino como cabeza activa catiónicamente y un cuerpo repelente al agua representado por el remanente de la molécula orgánica\*.

Si tal intercambio de cationes se produce en los planos basales de los minerales de arcilla, entonces la masa de moléculas orgánicas interferirán grandemente con las fuerzas paralelas que actúan en tales planos y reducirán la cantidad de expansión osmótica en tales suelos. Para que ello ocurra se necesita suficiente humedad a fin de inducir a los cationes a desaparecer de su lugar en las superficies minerales, y también se necesita que el sistema sea ácido ya sea completa o localmente, con combinaciones o asociaciones de las aminas y ácidos orgánicos o inorgánicos o complejos de sales acidificadas. Es también ventajoso si los iones intercambiados desprendidos forman sales insolubles con los respectivos ácidos. En el caso de partículas de carbonato de calcio, como las arenas de playa coralíferas, el recubrimiento con sales de calcio y aniones orgánicos o inorgánicos, poseyendo baja solubilidad deben ser producidos en el proceso estabilizante.

La expansión osmótica incrementa con la decreciente carga del intercambio de iones intercambiables. También, en los suelos mono-iónicos, a excepción del intercambio de iones hidrógenos el pH aumenta con la carga decreciente de los iones intercambiables. Los suelos hidrogenados tienden a convertirse en suelos de hierro y aluminio bajo largos períodos de estacionamiento, debido a la interacción del Hidrógeno con el esqueleto de minerales de arcilla.

Con referencia a la resistencia mecánica de los suelos, es bien conocido que la misma aumenta con el incremento de su densificación.

No obstante, si el aumento de la densidad seca se efectúa a un demasiado bajo contenido de humedad, es decir a valores que son insuficientes para producir el necesario

\*El sodio es el peor catión por el hinchamiento que produce en el suelo. Igual efecto origina en el organismo humano y así el cloruro de Sodio está prohibido para los enfermos del corazón y de circulación sanguínea, a los propensos a la obesidad, etc.

intercambio de iones naturales en el suelo, por iones de amina, en este caso, la compactación o densidades más elevadas puede resultar en una efectividad menor de la estabilización, especialmente con respecto a la resistencia a la intemperie (weathering).

La investigación que vamos a tratar, efectuada por el Dr. Winter Korn fue dividida en tres partes, que detallaremos a continuación.

### 6.2.2 — Preparación de suelos monoiónicos en el suelo de Hagerstown y su comportamiento con el complejo A-F

Se utilizó el suelo mencionado, típico del Estado de New Jersey (U.S.A.) obtenido del Horizonte "B" en la vecindad de Peapack (N.J.), el cual tenía la siguiente composición:

	% s/método Bouyoucos
Arena 1 — 0,05 mm.	10,5
Limo 0,05 — 0,005 mm.	51,5
Arcilla < 0,005 mm.	38,0
Coloides < 0,002 mm.	20,0 (s/arcilla)

Los cationes intercambiables en miliequivalentes por 100 gramos de suelo son:

H	Ca	Mg	K
0,0	5,83	4,27	0,007

y la capacidad de Intercambio Catiónico es de 9,6 miliequivalentes por 100 gramos de suelo.

Se prepararon los siete suelos Homoiónicos correspondientes a los siguientes cationes:

H, Na, K, Mg, Ca, Al y Fe

Los siete suelos y el suelo natural se secaron a la temperatura de 65°C aproximadamente, pulverizaron en forma de pasar el tamiz N° 10 y guardaron en depósitos galvanizados. Sus características físicas después de sufrir la modificación iónica fueron las siguientes:

TABLA N° 1 (a)

Suelo	pH	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Peso específico (H <sub>2</sub> O)	Peso específico (Xylene)
Natural	7,72	29,5	21,8	7,7	2,68	2,71
Na	9,00	22,5	18,7	3,8	2,68	2,71
K	8,62	24,5	21,3	3,2	2,68	2,70
H	5,62	32,2	28,6	3,6	2,68	2,72
Al	4,92	30,3	25,3	5,0	2,68	2,71
Fe	5,80	33,3	26,0	7,3	2,68	2,71
Mg	7,01	29,3	20,0	9,3	2,68	2,71
Ca	7,70	29,0	21,0	8,0	2,67	2,70

Las características mecánicas de los suelos modificados dieron los siguientes valores:

TABLA N° 1 (b)

Saturación de Iones Homoiónicos en NH <sub>4</sub> A c (Iones extraíbles en Miliequiv.) (100 g.)	Límite de Contracción	Relaciones Humedad-Densidad				Suelo
		AASHO T-99		AASHO T-180		
		% w	S max (Kg/dm <sup>3</sup> )	% w	S max (Kg/dm <sup>3</sup> )	
7,1	20,5	18,8	1,65	16,5	1,81	Natural
5,5	22,5	17,7	1,69	16,4	1,77	Na
6,0	23,3	20,7	1,63	17,8	1,76	K
0,5	26,2	19,5	1,64	17,8	1,74	H
0,5	27,9	20,2	1,65	18,3	1,73	Al
0,0	28,4	20,8	1,60	19,4	1,74	Fe
7,6	22,8	17,7	1,68	16,0	1,80	Mg
9,5	24,2	18,3	1,68	16,7	1,80	Ca

Se utilizaron 1 % y 2 % de estabilizadores A-F basados en el peso seco del suelo, de una combinación de 2 partes de Anilina y una de Furfural en forma líquida. Para reemplazar cada catión del suelo intercambiables con el producido por la reacción de dos moléculas de anilina y una de furfural se requirió 2,68% de la combinación 2A-1F.

Testigos (Probetas) de 0,05 m.  $\times$  0,05 m. fueron moldeados a las densidades citadas en el cuadro anterior para los suelos homoiónicos, utilizando las humedades óptimas respectivas. Se fabricaron diez probetas para cada tachada de suelo, curándose a siete días sin pérdida de humedad, en cámara húmeda (90 a 100 % de humedad relativa).

Testigos duplicados fueron sometidos a la siguiente exposición antes de ensayarse a compresión (cada serie por separado):

- a) Un día de absorción capilar seguido por siete días de inmersión en agua.
- b) Un ciclo de humedecido y secado.
- c) Cuatro ciclos de humedecido y secado.
- d) Un ciclo de Congelado y descongelado.
- e) Cuatro ciclos de congelado y descongelado.

Un ciclo de Humedecido y secado (H-S) consistió en 24 horas de completa inmersión en agua seguida por 24 horas de secado en estufa a 60°C.

Todos los testigos sometidos a H-S, fueron sumergidos en agua por 24 horas después del último ciclo de secado y antes de ser sometidos a la compresión.

Un ciclo de congelado y descongelado (C-D) consistió en 24 horas de congelado a -23°C seguido de 24 horas de inmersión en agua. Todos los testigos sometidos a C-D fueron sumergidos en agua por 24 horas, antes del primer ciclo de congelado.

Los suelos monoiónico compactados, dieron los siguientes valores de la resistencia a compresión inconfiada después de siete días de curado sin pérdida de humedad:

TABLA N° 2

Suelo modificado	Resistencia a compr. ( $\frac{\text{Kg.}}{\text{cm}^2}$ )	
	AASHO T-99	AASHO T-180
Natural	3,5	9,8
H	5,3	12,3
Na	3,5	9,8
K	3,5	10,2
Mg	3,5	7,7
Ca	3,5	8,8
Al	3,5	6,7
Fe	1,8	6,7
Promedio	3,5	9,0

Los suelos tratados con las exposiciones ya mencionadas dieron los resultados que figuran en Tabla 3 siendo de interés presentar de inmediato unas pocas relaciones en los siguientes items:

- (a) El beneficioso o desfavorable efecto de las diferentes exposiciones ambientales (a la intemperie).
- (b) Efecto de la densidad en la resistencia a compresión inicial y en la resistencia de los testigos a la deteriorización.
- (c) Promedio de resistencia a compresión de destigos no tratados y no expuestos a variaciones ambientales comparado con los tratados pero expuestos a dichas variaciones de la intemperie:

TABLA N° 3

RESISTENCIA A COMPRESION (Kg/cm<sup>2</sup>) EN  
TESTIGOS DE SUELO TRATADO DESPUES  
DE DIFERENTES EXPOSICIONES  
AMBIENTALES (METEORIZACIONES)

Iones intercambiables	Al	Fe	H	Mg	Ca	Nat.	K	Na
Tratamiento								
A <sub>0</sub> — 1% A-F								
I — Compactados con AASHO T - 180								
7 días de inmersión	9,7	6,7	4,4	3,8	2,9	3,5	1,5	0
1 día H-S	15,2	19,9	22,8	20,4	5,6	18,8	11,4	0
4 días H-S	19,3	22,8	21,4	23,4	14,0	23,1	16,4	0
1 día C-D	5,9	4,4	4,7	1,5	0	1,1	0	0
4 días C-D	0	0	0,6	0	0	0	0	0
II — Compactados con AASHO T - 99								
7 días de inmersión	2,0	2,0	1,8	1,5	1,5	0,9	0,4	0
1 día H-S	8,5	9,4	12,1	9,1	8,5	9,9	8,2	0
4 días H-S	12,0	11,6	12,6	9,9	9,9	8,2	3,6	0
1 día C-D	0	1,5	1,9	0,9	0	0	0	0
4 días C-D	0	0	0,3	0	0	0	0	0
B <sub>0</sub> — 2% A-F								
I — Compactados con AASHO T - 180								
7 días de inmersión	12,1	9,9	9,0	6,2	3,4	2,2	0,8	0
1 día H-S	23,3	26,0	29,5	26,7	22,7	23,3	18,6	0
4 días H-S	24,5	27,0	32,6	32,2	34,2	33,2	25,5	0
1 día C-D	10,2	8,4	7,8	2,2	0	0,9	0	0
4 días C-D	0	0	0,9	0	0	0	0	0
II — Compactados con AASHO T - 99								
7 días de inmersión	4,1	3,1	2,2	2,5	2,5	0,9	0	0
1 día H-S	12,1	12,1	14,9	14,3	11,5	14,6	6,5	0
4 días H-S	14,9	14,9	11,8	17,4	19,3	15,5	7,5	0
1 día C-D	0,5	2,2	2,5	0,6	0	0	0	0
4 días C-D	0	0	0,5	0	0	0	0	0

1. El promedio de resistencia a compresión fue de 3,5 Kg./cm.<sup>2</sup> (A.A.S.H.O.T - 99) y 9,0 Kg./cm.<sup>2</sup> (A.A.S.H.O. T - 180) según puede verse en Tabla N° 2 para testigos no tratados ni expuestos. Se nota la influencia grande de la mayor densidad.

2. El promedio de resistencia a la compresión sobre todos los suelos de iones modificados, todos los tratamientos estabilizadores y exposiciones ambientales fue de 4,5 Kg./cm.<sup>2</sup> para la densidad A.A.S.H.O. T - 99 y 9,5 Kg./cm.<sup>2</sup> con el A.A.S.H.O.T - 180 es decir más del doble del primero.

3. La resistencia a compresión promedio sobre todos los suelos homoiónicos, todos los tratamientos de estabilización y todas las exposiciones de meteorización fue de 128% y 106% respectivamente que los resultados promedios de testigos no tratados y no meteorizados con densidades A.A.S.H.O. T - 99 y A.A.S.H.O. T - 180.

4. El efecto beneficioso o perjudicial de las diferentes exposiciones de meteorización se muestra a continuación por el promedio de resistencia a compresión con ambas densidades utilizadas:

TABLA N° 4

Tipo de Meteorización	Resistencia Promedio a Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )		
	AASHO T-99	AASHO T-180	Promedio
(1) 7 días de inmersión	1,6	4,6	3,1
(2) 1 " H-S	9,5	17,8	13,6
(3) 4 " H-S	10,6	21,9	16,2
(4) 1 " C-D	0,6	2,9	1,8
(5) 4 " C-D	0,3	0,05	0,2
(6) Nada	3,5	9,0	6,2

La susceptibilidad relativa de los diferentes suelos con iones modificados por la estabilización A-F se indica con los siguientes valores promedios de resistencia para cada ión sobre los dos porcentajes de aditivos, las dos densidades y todos los tratamientos previos.

TABLA N° 5

Modificación de Iones (Homoiónicos)	H	Fe	Al	Mg	Nat.	Ca	K	Na
Resistencia a compresión en promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	9,7	9,1	8,8	8,6	7,8	6,8	5,0	0
pH del suelo modificado	5,6	5,8	4,9	7,0	7,7	7,7	8,6	9,0

Las otras partes de la investigación que estamos detallando corresponden a la acción del complejo 2 A-IF como activador de la estabilización bituminosa con el suelo natural del Horizonte B; y a una estabilización directa sobre un suelo arcilloso rojo de Princeton (N.J., U.S.A.).

### 6.3 — Experiencia argentina en el complejo A-F en el pasado

Este asunto se llevó a cabo en el Laboratorio de la Dirección Nacional de Vialidad (Buenos Aires, Argentina) con la dirección del Dr. Hans F. Winterkorn, a fines de 1946.

En este caso, se empleó el complejo A-F en la estabilización bituminosa como "activador de superficie" sustancias que se fijan al sistema "suelo-betún" una vez que han promovido su formación y lo convierten en otro "suelo - agua - activador - betún" que resulta no sólo impermeable sino también repelente al agua en forma permanente.

Según opinión del Dr. Winterkon los mejores activadores son los derivados resinosos del Furfural que pueden resinificar los suelos alcalinos, los cuales no pudieron ser nunca eficientemente estabilizados con bitumen, antes de conocerse este tratamiento.

Las resinas sintéticas empleadas como activadores se encuentran formadas por anilina (Difenilamina) y Furfural en proporción de 2: 1.

Se utilizaron en las experiencias de Winterkorn diversos suelos que se extrajeron bajo su dirección de los siguientes lugares, siendo todos de carácter altamente expansivo:

— Ruta Nacional Argentina N° 12 (Pcia. de Entre Ríos) Tramo Nancay - Sauce, Horizonte "A".

— Ruta Nacional Argentina N° 18 (Pcia. de Entre Ríos), Tramo Viale-Villaguay, Horizonte "A".

— Ruta Nacional Argentina N° 11 (Pcia. de Santa Fe), Tramo Calchaquí-Vera, Km. 680, Horizontes "A" y "B".

— Ruta Nacional Argentina N° 19 (Pcia Córdoba), Tramo Devoto-Jeanmaire, Km. 166,5, Horizonte "B".

Con las muestras mencionadas se fabricaron testigos de 0,05 m. por 0,05 m. de altura en cantidad de cuatro para cada suelo y repitiendo esto para la estabilización del suelo con los diez siguientes materiales bituminosos solos o activados, de acuerdo, al siguiente detalle:

- N° 1 - Emulsión bituminosa rotura lenta EBL - 1
- N° 2 - Emulsión bituminosa superestable EBL - 2
- N° 3 - Asfalto diluido de curado medio, MC - 2
- N° 4 - Idem anterior activado con 1,5% de resina anilina-furfural (2:1)
- N° 5 - Idem N° 3 activado con 3% de resina anilina-furfural (2:1)
- N° 6 - Idem N° 3 activado con 4,5% de resina anilina-furfural (2:1)
- N° 7 - Asfalto diluido de curado lento SC - 2
- N° 8 - Idem anterior, activado con 1,5% de resina anilina-furfural (2:1)
- N° 9 - Idem N° 7 activado con 3,0% de resina anilina-furfural (2:1)
- N° 10 - Idem N° 7 activado con 4,5% de resina anilina-furfural (2:1)

La proporción de estabilizante asfáltico fue en todos los casos 10% a peso seco del suelo.

Las muestras preparadas se hicieron sumergir en agua durante 7 días, al cabo de los cuales hubo comportamiento

muy variado, generalmente bueno, pero fue notable observar la estabilización lograda por la arcilla limosa de Villaguay.

Winterkorn no pudo completar sus trabajos de Laboratorio ni llevar a cabo experiencias de campo, por razones ajenas a su voluntad dejando aparte de las pruebas efectuadas una serie de conceptos, algunos que al parecer no estaban en armonía con los principios de la estabilidad de estructuras de pavimento, pareciendo extraño pretender estabilizar suelos expansivos, cohesivos en exceso, con empleo de materiales que aportan lubricación de partículas, como los materiales bituminosos, aún cuando sean "activados", y entonces cabría preguntar cómo se obtiene la necesaria fricción interna para dar la indispensable estabilidad.

Las experiencias realizadas por Winterkorn posteriormente en forma práctica, dentro de algunas zonas bélicas como durante la guerra de Corea y lo publicado en 1950, y 1962 muestran que es posible obtener fricción interna inalterable, consiguiendo la acción, impermeable permanente de agents repelentes al agua como A-F. Sería el caso semejante a obtener en una arcilla saturada sometida a un ensayo triaxial lento un elevado valor de  $\phi$  que posteriormente no se reduce con exposición a la humedad por la repelencia al agua provista por A-F.

Con todo, aún cuando todavía no creemos poder sustituir en una Base de pavimento un material granular fino estabilizado con asfalto (caso más económico en ausencia de material granular grueso) por una arcilla estabilizada con asfalto debidamente activada, o aún en forma más evolucionada (como son nuestras experiencias recientes, citadas mas adelante) por una arcilla estabilizada directamente con A-F; el hecho de obtener una inmunidad al agua de una arcilla expansiva, abre enormes campos para la ejecución de Sub-bases en pavimentos de caminos principales y en la ejecución de Bases y Sub-bases de caminos secundarios, que son tan necesarios en las Repúblicas de América latina.

Estas realizaciones fuera del aspecto tecnológico, están dependiendo del análisis económico en cada País, sobre el costo de los aditivos químicos que forman el complejo resinoso A-F.

Conviene mencionar algunos conceptos de Winterkorn volcados en la publicación aparecida en Buenos Aires (1947) titulada "Principios sobre moderna estabilización de suelos", donde entre otras cosas dice tratando de los activadores:

"Si se emplean resinas artificiales en los porcentajes mencionados estas no sólo impermeabilizarán el suelo sino, también contribuirán a aumentar la cohesión permanente del mismo. Un efecto de nuestro aserto se evidencia en la comparación del efecto de diferentes estabilizaciones sobre diez suelos que —por su textura— variaban de arena a arcilla pesada, de lo cual resulta que 2% de estabilizador furfural-anilina suministra una resistencia a la compresión casi dos veces mayor que la proporcionada por la adición de 8% de cemento portland y, a la vez, más resistencia al agua que la que se obtiene con el agregado de 8% de betún."

"El adecuado uso de los nuevos métodos de estabilización está basado en un conocimiento perfecto de las propiedades "topoquímicas" de las superficies de las partículas que constituyen el suelo. Así por ejemplo, puede obtenerse ventaja del tipo particular de materia orgánica que se encuentra en el primer Horizonte de los perfiles de suelo tipo Chernozem o similares para que actúe como estabilizante, simplemente activando y mejorando la distribución de su materia orgánica."

"Este hecho es conocido desde hace muchísimo tiempo por los Horneros, que hacen su nido —sobre postes, de los alambrados o del telégrafo— con barro (lodo) y expuestos a la intemperie."

El caso de estabilización de arenas con el complejo A-F tratado por Winterkorn in extenso no presenta tanta aplicación práctica corriente como el de arcillas, por existir otro métodos que en forma normal y sin la necesidad

de realizar los trabajos con la velocidad requerida en las zonas bélicas, presentan ventajas económicas, como ocurre utilizando los tratamientos con cemento Portland o asfaltos.

#### 6.4 — Trabajos argentinos recientes en A-F

Las tareas se realizaron hace poco tiempo bajo nuestra dirección en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería, Vivienda y Planeamiento (Departamento de Estabilidad) de la Universidad Nacional del Nordeste (Resistencia, Provincia del Chaco, Argentina) durante el año 1972.

La zona aledaña al lugar cuenta con suelos altamente expansivos como ocurre con casi toda la Provincia del Chaco y por ello el motivo de buscar dicho lugar para las experiencias.

En estos trabajos se empleó otra técnica de uso de la resina A-F, la cual no se utilizó como activador de una estabilización bituminosa, sino directamente como estabilizador, diluyendo aquella que tenía la formulación 2A-F, en un solvente mediano obtenido de la destilación del petróleo y que constituye un combustible de moderada inflamación.

El motivo de eliminar el asfalto como medio dispersante de 2A-F consistió en reducir costos y al mismo tiempo restringir efectos lubricantes sobre el sistema.

La resina así diluída tenía la siguiente composición:

3 %	2A-F (2:1)
97 %	solvente mediano
<u>100 %</u>	(Total)

La muestra preparada de resina solubilizada contenía

Anilina .....	35,60 gramos	} 3 %
Furfural .....	17,80 "	
Solvente .....	1.726,60 "	} 97 %
Total .....	1.780,00 gramos	

El suelo a estabilizar dió las siguientes características promedios en siete ensayos:

Límite líquido .....	60,0
Límite plástico .....	24,4
Índice plástico .....	35,6
Pasando tamiz N° 200 .....	95,7 %
Peso específico absoluto .....	2,70

En base a estos en sayos el suelo quedó clasificado como CH (Clasificación uniformizada) y A 7-6 (39) en H.R.B. - AASHO con la nueva especificación del AASHO para Índice de grupo.

La primer parte de la investigación consistió en utilizar la resina diluída en 10% a peso con 90% de suelo seco, incorporando la resina a la humedad del Límite plástico del suelo.

A esta preparación se la secó al aire y luego en estufa a 60°C hasta peso constante.

Con el suelo tratado se determinó nuevamente la plasticidad obteniendo los siguientes datos como promedio de cinco determinaciones muy semejantes:

Límite líquido .....	50,0
Límite plástico .....	27,5
Índice plástico .....	22,5

Estos valores ubican también al suelo en la categoría CH, pero se acerca más a la línea "A" de la carta de plasticidad (Fig. 8) correspondiendo a un A 7-6 (25) en la clasificación del H.R.B. - A.A.S.H.O.

En la segunda parte de la investigación se le incorporó al suelo un 20% de resina diluída en peso sobre 80% de suelo seco al cual se le dió también la consistencia del Límite Plástico.

Se llevaron a cabo doce determinaciones de Límites que en promedio dieron los siguientes valores:

Límite líquido .....	39,5
Límite plástico .....	25,0
Índice plástico .....	14,5

Se nota un sustancial mejoramiento del suelo que pasó en la clasificación uniformizada a ser un CL. [A-6(15) en la del H.R.B.] y ello con 20% de resina líquida, es decir:

$$0,20 \times 0,03 = 0,006 = 0,6 \% (2A-F)$$

Puede notarse que con un poco más de resina y sin llegar al 1,5% es esperable una plasticidad moderada inferior a 10.

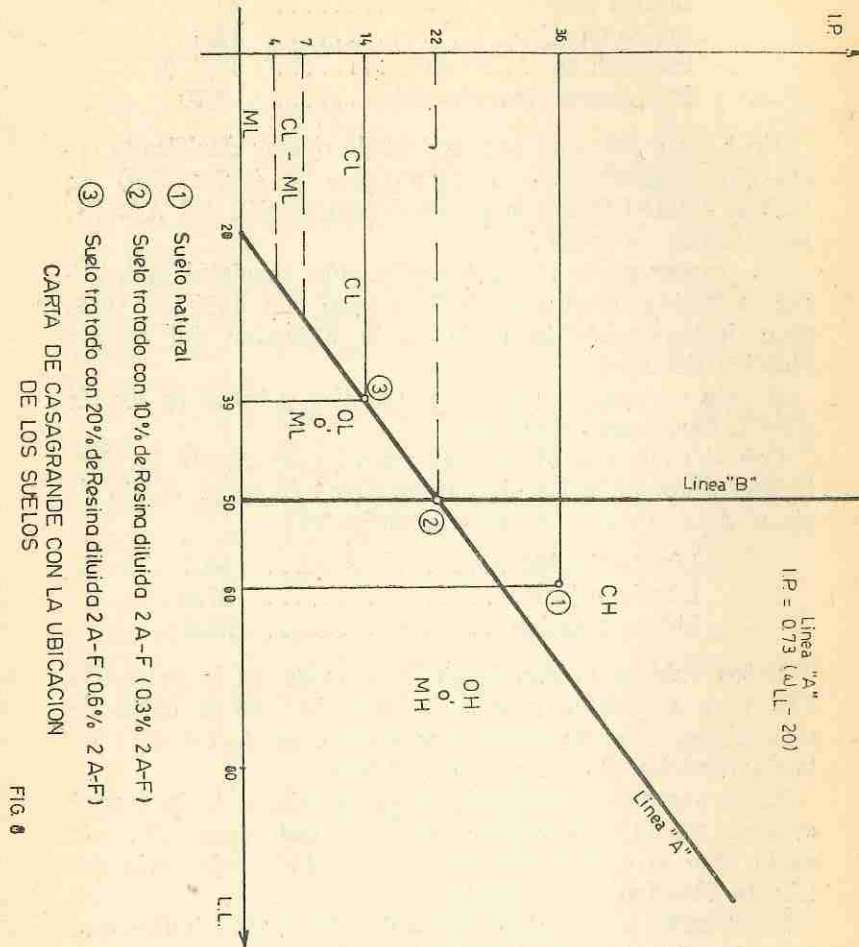
### 6.5 — Perspectivas futuras

Son promisorias las perspectivas del comple (2A-F) en la estabilización de arcillas.

Las experiencias seguirán muy pronto en el Laboratorio de la Universidad del Nordeste (Resistencia, Chaco, Argentina).

Se experimentará con el porcentaje de resina (2A-F) necesario para no sobrepasar un Índice Plástico de seis (para empleo en caminos secundarios).

Posteriormente se determinarán resistencias mecánicas de los suelos estabilizados tendientes a su utilización en un diseño de Pavimentos flexibles, ensayos C.B.R., compresión confinada y Triaxial.





## PALABRAS FINALES

Señores:

Al cerrar la Segunda Reunión del Asfalto en 1974 dijimos:

"Las tareas de esta Comisión crecen; los problemas se multiplicarán, pero serán siempre atendidos con buena voluntad y cariño, contando con la colaboración de vosotros."

"Las jornadas técnicas que hoy clausuramos constituyen un jalón más en el camino a seguir, resultante de la preocupación de todos para lograr un mayor perfeccionamiento, que en el fondo se traducirá en un bien a nuestra querida patria."

"Hay compensaciones grandes en la ardua tarea que debemos desarrollar; al igual que ustedes, yo señores gozo enormemente con el espectáculo de las Obras que benefician al País."

"La visión simple de lo que será por ejemplo, la Ruta Nacional N° 11 concluida me da fuerzas suficientes para seguir en la tarea diaria."

Hace varios años que la Ruta Nacional N° 11 está concluida.

Decimos ahora :

Señores:

Ojalá que en la Argentina de las coincidencias, Dios nos de vida para poder ver terminada aún cuando sea parcialmente, la Red de 100.000 Kilómetros de caminos vecinales planeada por Vialidad Nacional. Ello sin duda se llevará a cabo con la apreciable ayuda de nuestros jóvenes Ingenieros Viales a quienes deseamos las satisfacciones que hemos tenido nosotros.

## REFERENCIAS

- 1 — *Development and significance of the great Soil Groups of the U.S.A.*, por Charles E. Kellog, Bureau of Chemistry, Department of Agriculture (U.S.A.), 1938.
- 2 — *Estabilización granular, Experiencia e investigación Argentina y Sudamericana*, por L. M. Zalazar "Primer Simposio sobre Pesquisas Rodoviarías" (Río de Janeiro, Brasil, agosto de 1965).
- 3 — "La estabilización de Suelos con materiales bituminosos", por L. M. Zalazar. Primera Reunión Anual de Asfalto (Argentina, 1946), pág. 221-276.
- 4 — "Estabilización bituminosa en el Litoral Argentino"; por M. J. Alvarez y L. M. Zalazar. Sexta Reunión Anual del Asfalto (Argentina, 1952), pág. 241-298.
- 5 — "Algunas propiedades Físicas y Mecánicas de la mezcla suelo arcillo arenoso - Emulsión asfáltica"; por N. C. de la Puente. Quinta reunión Anual del Asfalto (Argentina, 1950), pág. 67-89.
- 6 — "Bituminous Emulsion Stabilized Roads"; por C. L. Mc. Kesson, pág. 283-288. Proceedings Eighteen Annual Meeting, Highway Research Board (U.S.A., 1938).
- 7 — "Recent Developments in the Design and construction of Soil - Emulsion Road Mixtures"; por C. L. Mc. Kesson. Proceedings Twentieth Annual Meeting, Highway Research Board (U.S.A., 1940), pág. 856-864.
- 8 — "Exploration Research in Bituminous Soil Stabilization"; por J. R. Benson y C. J. Becker. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Volumen 13 (U.S.A., 1942), pág. 120-181.
- 9 — *Soil - Emulsified Asphalt and Sand - Emulsified Asphalt Pavement*"; por C. L. Mc. Kesson y A. W. Mohr. Proceedings Twenty first Annual Meeting, Highway Research Board (U.S.A., 1941), pág. 506-514.

- 10 — "*Soil Stabilization with cut-back asphalt in Southern Brazil*"; por L. M. Zalazar y P. C. de Castro; 1st. International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements (U.S.A., 1962), pág. 971-987.
- 11 — "*Basic Principles of Soil-Cement Mixtures and Exploratory Laboratory Results*"; por M. D. Catton, Highway Research Board, Proceedings N° 17 (U.S.A., 1937).
- 12 — "*Estabilización de Suelos con Cemento Portland*"; por J. L. Carattino y V. Carri. Cuarta Reunión Anual de Caminos (Universidad de La Plata, La Plata, Pcia. de Buenos Aires, Argentina), 1939.
- 13 — "*La Estabilización de los suelos por medio del Cemento*"; por Raymond Peltier (traducción). Publicación N° 18 de la Dirección de Vialidad de la Pcia. de Buenos Aires (Argentina), 1962.
- 14 — "*British practice in the Design and Specification of Cement Stabilized Bases and Sub-bases for Roads*"; por D. J. Mac Lean and W. A. Lewis, Highway Research Record N° 36, Highway Research Board (U.S.A.), 1963.
- 15 — "*Flexible Pavement Design - A complex combination of theory, testing and evaluation of materials*"; por Chester Mc. Dowell, Bulletin N° 321, Highway Research Board (U.S.A., 1962).
- 16 — "*Lime - Soil Mixtures*"; por Moreland Herrin y Henry Mitchell, Highway Research Board (U.S.A.), Bulletin N° 304.
- 17 — "*Criterio de calidad y Bases para la adquisición de cales destinadas a la corrección y estabilización de suelos*"; por Félix J. Lilli (V Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Embalse Río III, Córdoba, Argentina, 1964).
- 18 — "*Asphalt Pavement in Southwestern Santa Fe Province (Argentina) with fine local materials*"; por L. M. Zalazar, "First International Conference on the structural design of asphalt Pavements", University of Michigan (U.S.A., 1962).
- 19 — "*Evaluation of Soil-Lime Stabilization Mixtures*"; por Chester Mc. Dowell. Highway Research Record N° 139, Highway Research Board (U.S.A., 1966).
- 20 — "*Flexible Pavement Design Guide*"; por Chester Mc. Dowell, The National Lime Association, Bulletin 327, Washington D.C. (U.S.A., 1972).
- 21 — "*Road Test Findings utilized in Analysis of Texas Triaxial Method of Pavement Design*"; por C. Mc. Dowell, Special Report 73, Highway Research Board (U.S.A.).
- 22 — "*Affinity of Hydrophilic Aggregate for Asphaltic Bitumen. Use of Furfural and its Resinous Derivatives for improving Affinity*"; por H. F. Winterkorn. Industrial & Engineering Chemistry, vol. 30, U.S.A. (1938).
- 23 — "*Waterproofing Soils by Resinous treatment*"; por H. F. Winterkorn, R. G. Fehrman y G. W. Mc. Alpin. Proceedings Soil Science Society of America, vol. 10, U.S.A. (1945).
- 24 — "*Principios sobre Moderna estabilización de suelos*"; por H. F. Winterkorn. Revista "Caminos" N° 70, Buenos Aires, Argentina. Enero-febrero 1947.
- 25 — "*Ciertos Aspectos de la Estabilización de suelos con resinas*"; por H. F. Winterkorn, E. C. Chandrase Kharan y R. G. Fehrman. Quinta Reunión Anual del Asfalto; Buenos Aires, Argentina 1950.
- 26 — "*Desarrollo del método Anilina - Furfural para la estabilización de Playas*"; por H. F. Winterkorn. Sexta Reunión Anual de Asfalto; Buenos Aires, Argentina, 1952.
- 27 — "*The effectiveness of Certain Derivatives of Furfural as admixtures in Bituminous Soil Stabilization*"; por H. F. Winterkorn. Proceedings of the 41st. Annual Meeting Highway Research Board, Washington D.C. (U.S.A., 1962).
- 28 — "*La estabilización de suelos en la Argentina desde el punto de vista vial*"; por L. M. Zalazar. Revista "Construcciones" Nros. 79 y 80, Buenos Aires, Argentina (1951).

---

Impreso en Argentina

Hecho el registro que ordena la ley N° 11.723

© Asociación Argentina de Carreteras, 1975  
Paseo Colón 823, piso 7°, Buenos Aires

Tirada de la edición: 1.500 ejemplares

Impreso por José Luis Trenti Rocamora,  
Virrey Liniers 313, Buenos Aires, durante  
la primera quincena de marzo de 1975.