



PROVINCIA DE BUENOS AIRES

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

DIRECCION DE VIALIDAD

CLASIFICACION DE MATERIALES PARA SUBRASANTES
DEL HIGHWAY RESEARCH BOARD (H. R. B.)
SU CORRELACION CON EL VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA
E INTERPRETACION

Por el Dr. CELESTINO L. RUIZ

Asesor técnico de la Dirección de Vialidad
de la Provincia de Buenos Aires



La Plata, Dic. 1966
BIBLIOTECA Y PUBLICACIONES

Publicación N.º 4
Tercera Edición

**REPUBLICA ARGENTINA
PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

GOBERNADOR DE LA PROVINCIA	General de Brigada Francisco Antonio Imaz
MINISTRO DE GOBIERNO	Doctor Alberto Francisco Canestri
MINISTRO DE ECONOMIA Y HACIENDA	Doctor José María Dagnino Pastore
MINISTRO DE OBRAS PUBLICAS	Ingeniero Civil Conrado Ernesto Bauer
MINISTRO DE BIENESTAR SOCIAL	Doctor Jorge Darío Pittaluga
MINISTRO DE EDUCACION	Doctor Abel Calvo
MINISTRO DE ASUNTOS AGRARIOS	Ingeniero Pablo Julio Otto Grunbaum
SUBSECRETARIO DEL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS	Ingeniero Gerardo Luis Ventura

DIRECCION DE VIALIDAD

INTERVENTOR

Ingeniero Carlos Esteban Vitalini

CONSEJO ASESOR

Ingeniero Enrique Humet
Ingeniero Adolfo P. Grisi
Ingeniero Pedro G. Venturini

INGENIERO JEFE

Ingeniero Julio C. Astuti

JEFES DE DEPARTAMENTOS

Estudios y Proyectos	Agrimensor José A. del Soldato
Construcciones	Ingeniero Civil Jaime Larrauri
Conservación	Ingeniero Civil Oreste Borelli
Estudios Técnicos y Económicos	Ingeniero Civil Jorge M. Lockhart
Contable	Contador Vicente R. Arturi
Jurídico	Doctor Julio A. Migoni
Administrativo	Señor Carmelo T. Merlo

COMISION DE PUBLICACIONES

Presidente	Agrimensor Carlos A. Marotta
Secretario	Doctor Rolando R. Tucci
Vocal	Ingeniero Civil Julio C. Astuti
Vocal	Señor Carmelo T. Merlo
Vocal	Contador Vicente R. Arturi

CLASIFICACIÓN DE MATERIALES PARA SUBRASANTES DEL HIGH-WAY RESEARCH BOARD (H. R. B.), SU CORRELACIÓN CON EL VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA E INTERPRETACIÓN

Por el Dr. Celestino L. Ruíz

SUMARIO :

- 1) Introducción.
- 2) Clasificación del H.R.B.
- 3) Factores determinantes de la resistencia a la deformación de los suelos.
- 4) Interpretación de la clasificación H.R.B.
- 5) Índice de Grupo. Sentido físico y limitaciones.
- 6) Correlación entre el Índice de Grupo y el Valor Soporte.
- 7) Conclusiones.

La Plata, Enero de 1958.

Publicación Nº 4

En la serie de publicaciones técnicas de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, nos complace presentar, en primer término el presente trabajo del Doctor D. Celestino Ruiz.

Para el medio en que esta publicación será recibida con interés y leída con utilidad, resulta innecesario presentar al Doctor Ruiz que actúa en la vialidad bonaerense como consultor e instructor de su cuerpo técnico.

Cuando la Dirección de Vialidad de Buenos Aires invitó al Doctor Ruiz al desempeño de las nobles tareas mencionadas, lo hizo con el fundamento de dos cualidades que lo caracterizan: La capacidad de adaptación de sus profundos conocimientos de los materiales de caminos a la manera de trabajar de los ingenieros viales y sus excepcionales condiciones de instructor claro, preciso, profundo y atrayente.

Esto último queda confirmado una vez más con el extenso curso que dictara en 1957 a nuestros ingenieros viales sobre los materiales utilizados en caminos y la proyectación de sus mezclas.

De lo primero es una prueba elocuente el presente trabajo, que pone en manos de ellos una herramienta eficaz en la clasificación de los suelos, en la interpretación físicoquímica de sus resultados y en la correlación entre el índice de Grupo (Clasificación del Highway Research Board) y el Valor Soporte California (C.B.R.).

Todo ello, pensamos, será recibido con satisfacción por los estudiosos de la materia y los proyectistas de obras viales y les ayudará en la solución de sus problemas cotidianos.

Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires.
Enero de 1958.

1 INTRODUCCION

Desde el punto de vista vial interesa fundamentalmente la utilización del material suelo en la construcción de terrapienes, como sub-rasante de apoyo de la estructura integral del camino y como material directo o modificado para las sub-bases y bases de las carpetas de rodamiento.

La calidad del suelo desde dicho punto de vista queda definida por su capacidad para resistir los esfuerzos a que estará sometido en servicio al estado compactado con la humedad óptima de construcción y la conservación de la resistencia necesaria aún en las peores condiciones derivadas de la acción de los agentes naturales y en particular del incremento de humedad. La resistencia opuesta por el suelo sólo debe permitir deformaciones compatibles con el servicio y el resto de la estructura y sin llegar a la condición de falla por rotura o fluencia plástica.

El estudio de dicha resistencia cae en el campo específico de la Mecánica de los Suelos por cuyos métodos se pueden medir las deformaciones recuperables y permanentes que sufren los suelos compactados bajo esfuerzos, la resistencia al corte, cambios volumétricos por variación del contenido de humedad, energía de succión, retención y permeabilidad al agua y otras propiedades básicas determinantes del comportamiento de los suelos compactados. Estas propiedades son función de la naturaleza, forma y gradación granulométrica de las partículas y de los fenómenos que se cumplen en las superficies de contacto entre las fases sólida, líquida y gaseosa cuyo estudio cae dentro del campo de la Físico-Química del Suelo, ciencia a la cual es necesario recurrir si se desea conocer el fundamento básico de los fenómenos elementales.

Desde el punto de vista práctico, para la técnica vial no es necesario profundizar el estudio de los fenómenos elementales pero sí tener un concepto claro de los mismos para utilizar racionalmente el material suelo, aprovechando el extraordinario volumen de conocimientos experimentales reunido en muchos años de empleo. Para ello es necesaria su sistematización e individualización para correlacionar un determinado suelo con el comportamiento que han tenido suelos similares. De esta necesidad nacen las clasificaciones de los suelos que necesariamente enca-

ran su comportamiento desde uno o más puntos de vista determinados.

En todas las clasificaciones se pretende individualizar un determinado suelo mediante el menor número de características posibles, cuya técnica de ejecución sea sencilla y rápida y en todo lo posible se ejecuten con elementos de campaña. Lógicamente estas características son una expresión o medida aproximada de las propiedades básicas de los suelos que interesan desde el punto de vista encarado por la clasificación, en nuestro caso su aplicación al proyecto y construcción de caminos.

La primera clasificación de suelos utilizada en nuestro medio vial en el año 1931-32 fué la propuesta por Hogentogler y Terzaghi en 1929 y posteriormente revisada en 1931 y 1942, adoptada por la Public Road Administration (P. R. A.) de los Estados Unidos de Norteamérica. Es bien conocida la diferenciación de los suelos homogéneos en grupos denominados A_1, A_2, \dots, A_8 , en base al análisis mecánico y las constantes físicas, así como la normalización de las denominaciones de los suelos por la gradación granulométrica.

Esta clasificación tuvo y tiene amplia difusión en nuestro medio vial y las publicaciones en nuestro idioma del Dr. Josué Gollan (Propiedades, Análisis y Clasificación de los Suelos, Publ. Técnica N° 3, año 1934 de la Direc. Nacional de Vialidad) y del Ing. Adolfo P. Grissi (I Reunión Anual de Caminos - Universidad Nacional de La Plata, 1937) entre otras, contribuyeron a su divulgación.

La aplicación de esta clasificación ha dado frutos extraordinarios en su país de origen y en el extranjero y sin duda ella debe ser considerada como un aporte crucial a la técnica vial. Sin embargo la experiencia mostró ciertas inconsistencias de la misma que fueron solucionadas en base al criterio del técnico llamado a clasificar dando así mayor peso al factor personal.

Si se buscan las causas de dichas inconsistencias, las principales, a nuestro juicio, son:

- a) Utilizar la gradación granulométrica obtenida según la técnica normalizada del análisis mecánico que opera previo tratamiento energético de dispersión. Se tiende así a considerar el tamaño de las partículas elementales (o sea mínimo)

y no el real existente en el suelo tal como se lo utiliza donde existe agregación y cementación de partículas menores para dar origen a otras mayores.

b) Se mencionan límites de separación de grupos en base a distintas características, las que muchas veces no conducen individualmente a la misma clasificación, lo que obliga a elegir subjetivamente una de ellas o a clasificar un mismo suelo en dos grupos simultáneamente lo que necesariamente lleva a un juicio más errático de sus propiedades.

c) Dentro de un mismo grupo, la variación de la calidad de un suelo como subrasante es muy amplia lo que conduce a considerar como semejantes a suelos de distinto comportamiento práctico.

Lo expresado ha tenido una confirmación práctica al generalizarse en nuestro medio vial los conceptos y técnica del valor Soporte Californiano (California Bearing Ratio) propuesto por Porter y denominado corrientemente con la sigla C.B.R., que permite una medida empírica de la resistencia a la deformación de los suelos compactados en determinado juego de condiciones. Son numerosos los ejemplos del distinto C.B.R. que corresponden a suelos que caen en un mismo grupo.

En los Estados Unidos este problema fue encarado en 1941 por el Highway Research Board (Consejo de Investigaciones sobre Caminos) perteneciente a la Academia Nacional de Ciencias de ese país, el que realizó un meritorio esfuerzo para llegar a una clasificación de suelos, desde el punto de vista vial, más sencilla, exacta y práctica. El trabajo básico preparado por Hogentogler y Barber fue ampliamente divulgado entre los ingenieros viales de aquel país, discutido posteriormente por un sub-comité de especialistas designado por el Consejo, nuevamente puesto a consideración de los técnicos, y del conjunto de antecedentes reunido surge la Clasificación de Materiales de Sub-rasantes para Caminos patrocinada por el Highway Research Board, generalmente denominada con la sigla H.R.B. El informe final ha sido publicado en los Procedimientos del 25th. Meeting, año 1945, pág. 376.

La clasificación del H.R.B. se ha difundido ampliamente en los Estados Unidos, es sin duda la más empleada en la práctica vial,

figura en distintos tratados sobre el tema y aún en manuales; citaremos como ejemplo el "Barber-Greene Bituminous Construction Handbook" (1955).

En nuestro medio vial la clasificación del H.R.B. es relativamente conocida pero no ha llegado al uso general, pese a que ya en el año 1949 la revista "Construcciones" de la Cámara Argentina de la Construcción publicó, en el N° 53 del mes de octubre, una traducción del informe final mencionado. Hemos observado que existe a veces confusión entre esta clasificación y la antigua, dado que ambas utilizan los mismos símbolos A₁, A₂,..., pero ello no implica necesariamente el mismo significado, lo que es particularmente cierto en los grupos A-2, A-4, y A-7. Lo expresado tiene interés particular con respecto a las referencias bibliográficas de origen norteamericano.

Uno de los fines de este informe es divulgar la clasificación del H.R.B. buscando que ella lleve a su utilización rutinaria, dado que consideramos que presenta las indudables ventajas de valor práctico que señalamos:

a) Sencillez, los ensayos necesarios son L.L., I.P. y un análisis granulométrico (tamices N° 10, 40 y 200) por vía húmeda, todos ellos pueden realizarse rápidamente y con un mínimo de equipo como el disponible para el contralor en obra.

b) Precisión, cada suelo queda ubicado en un determinado grupo sin necesidad de aplicar juicio personal.

c) Utilidad, cada grupo posee desde el punto de vista de la práctica vial un conjunto de propiedades definido. Cualitativamente la calidad del suelo como subrasante queda indicada por el grupo; cuantitativamente por un número, el llamado Índice de Grupo, en una escala arbitraria inversa desde 0 hasta 20, donde 0 representa los mejores suelos y 20 los pésimos. Así por ejemplo, A-4 (2) significa que el suelo en cuestión pertenece al grupo A-4, limo arcilloso de baja plasticidad; el Índice de Grupo (2) indica que tiende a los de buena calidad dado que en el grupo A-4, el Índice puede variar desde 1 hasta 8 de acuerdo al contenido en material granular retenido en el tamiz N° 200.

d) El Índice de Grupo guarda correlación con el Valor Soporte Californiano en

muchos tipos de suelos y en consecuencia el criterio de diseño en base a ambos es esencialmente el mismo. Lo mismo ocurre con otros ensayos mecánicos de resistencia a la deformación de los suelos compactados como el estabilómetro de Hveem.

Teniendo en cuenta que toda clasificación de suelos está basada en la correlación entre el comportamiento práctico y las características, de individualización, con los materiales y en las condiciones del país de origen, hemos creído prudente establecer si con suelos ar

gentinos existe la misma correlación que con los norteamericanos tomando como índice del comportamiento el Valor Soporte Californiano y si dicha correlación responde a una expresión definida de carácter empírico.

Por último, para facilitar la comprensión de la clasificación del H.R.B. hemos creído oportuno apartarnos del texto del informe mencionado, respetando su contenido esencial, y fundarla en los principios básicos de la Mecánica de los Suelos para los granulares y de la Física del Suelo para los cohesivos, expuestos en la forma más simple posible.

2. CLASIFICACIÓN DE SUB-RASANTES DEL HIGHWAY RESEARCH BOARD

Los datos necesarios son:

1) Análisis por tamices por vía húmeda del suelo total (pasa abertura de 3") sobre los N° 10, 40 y 200, previa inmersión en agua de por lo menos dos horas, seguida de agitación manual vigorosa de tres minutos o de un minuto en aparato dispersor.

2) Límite líquido y Límite Plástico, Calcular el Índice de Plasticidad.

La nomenclatura es la misma que la usada en la clasificación antigua de la P.R.A. Se suprime el grupo A-8 por considerar que los materiales comprendidos en el mismo son inapropiados para la construcción de terraplenes o subrasantes. El cambio en los valores límites hace que el sentido de los símbolos pueda no tener el mismo significado en ambas clasificaciones y por ésto es necesario indicar la sigla de la clasificación usada.

El método para llegar a la clasificación es proceder a ubicar en el cuadro N° 1 el suelo en cuestión de acuerdo a los tres valores mencionados por un proceso de eliminación de izquierda a derecha, el primer grupo desde la izquierda al que se ajustan los datos es la clasificación que corresponde.

El Índice de Grupo se calcula analíticamente o gráficamente como se indicará más adelante.

Los datos experimentales deben ser redondeados al número entero más próximo que son los únicos que se utilizan en la clasificación.

Descripción de los Grupos. (H.R.B.)

Materiales Granulares. Contienen 35 % o menos que pasa el tamiz N° 200.

Grupo A-1. El material típico de este grupo es una mezcla bien graduada de fragmentos de rocas o gravas, arena gruesa y fina y un ligante no plástico o sólo débilmente. Sin embargo este grupo incluye también fragmentos de rocas, grava, arena gruesa, cenizas volcánicas, etc., sin ligante.

Sub-grupo A-1-a. Incluye aquellos materiales principalmente constituidos de fragmentos de rocas o gravas, con o sin material fino ligante bien graduado.

Sub-grupo A-1-b. Incluye aquellos materiales principalmente constituidos por arena gruesa con o sin suelo ligante bien graduado.

Grupo A-3. El material típico de este grupo son las arenas finas de playas o desiertos sin finos limosos o arcillosos o con muy pequeña cantidad de limo no plástico. Incluye también las mezclas de arena fina y limitadas cantidades de gruesa o grava depositadas por las corrientes de agua.

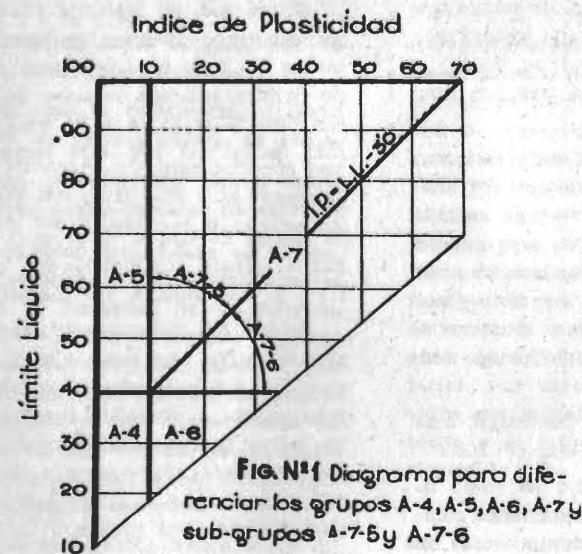
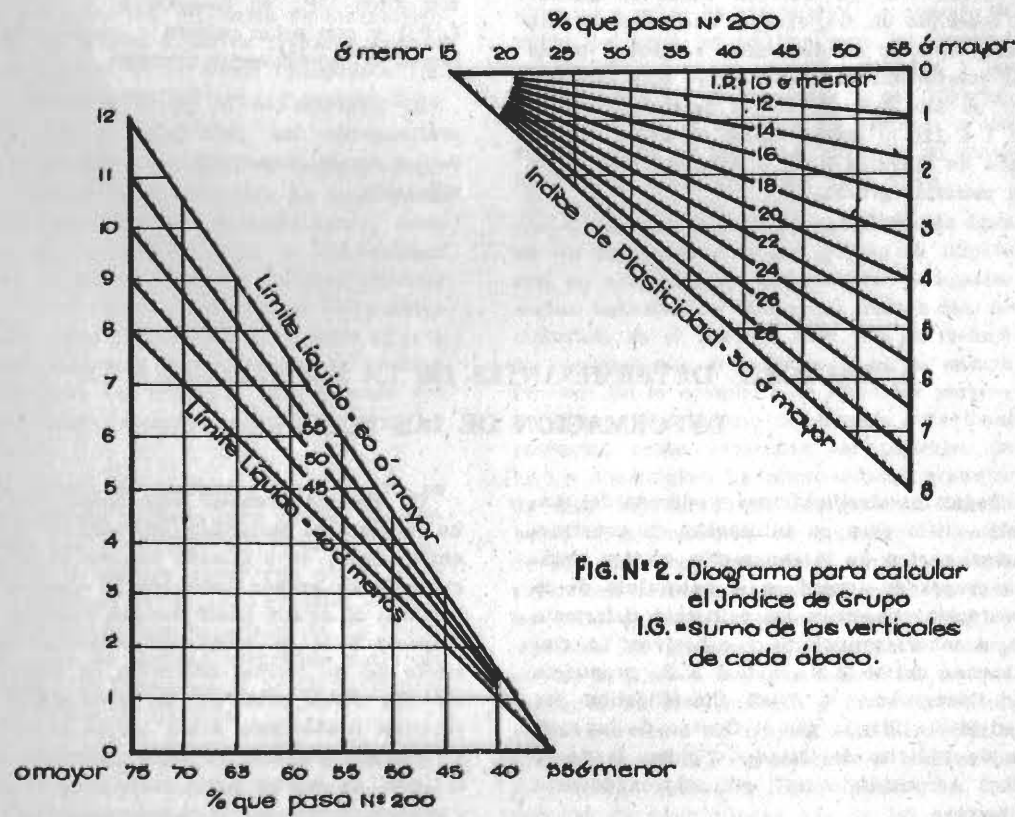
Grupo A-2. Este grupo comprende una amplia variedad de materiales "granulares" que son limitrofes entre los que caen en A-1 y A-3 y los arcillosos de los A-4, A-5, A-6 y A-7. Incluye todos los materiales con 35 % o menos que pasa el tamiz N° 200, que no pueden ser clasificados como A-1 o A-3 debido al contenido en finos, la plasticidad, o ambos, en exceso a las limitaciones exigidas en dichos grupos.

Sub-grupos A-2-4 y A-2-5. Comprende varios materiales granulares con 35 % o menos que pasa N° 200, pero la parte que pasa el N° 40

CUADRO N°1
 Clasificación de Materiales para Subrasantes (H.R.B) del
 Highway Research Board

Clasificación General	Materiales Granulares (35% o mas pasa por tamiz N°200)							Materiales arcillo-limosos (Mas de 35% pasa el tamiz N°200)			
	A-1		A-3	A-2		A-4	A-5	A-6	A-7		
Clasificación por grupos	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
Análisis por límites % que pasa por N°10, N°40, N°200	50 máx. 30 - 15	50 máx. 25 -	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 mín. 35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción pasa N°40: L.L. I.P.	6 máx.		No plástico	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. (a) 11 mín.
Índice de Grupo (b)	0	0	0	0	0	4 máx		8 máx.	12 máx	16 máx.	20 máx
Tipos comunes de los materiales mas importantes	Fragmentos de rocas Gravas Arenas	Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa					Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Comportamiento como subrasante	Excelente a bueno							Mediano a pobre			

(a) El I.P. del sub-grupo A-7-5 es igual o menor al L.L.-50. El I.P. del sub-grupo A-7-6 es mayor que L.L.-50.-
 (b) Para calcular el Índice de Grupo ver gráfico y fórmula más adelante. El Índice de Grupo debe ser indicado entre parentesis después del simbolo de grupo, así : A-2-6(3), A-6 (12) etc.-



posee características de A-4 o A-5. Incluye materiales tales como grava o arena gruesa con contenido de limo o plasticidad en exceso a las limitaciones de A-1, y arena fina con limo no plástico en exceso al A-3.

Sub-grupos A-2-6 y A-2-7. Comprende materiales similares a los descritos en los sub-grupos A-2-4 y A-2-5 excepto que la porción fina contiene arcilla plástica con las características de los A-6 o A-7. El efecto combinado de la plasticidad en exceso a 10 y el porcentaje que pasa Nº 200 en exceso a 15 es reflejado en los valores del Índice de Grupo desde 0 hasta 4.

Materiales Limo-arcillosos. Contienen más de 35 por ciento de pasa el tamiz Nº 200.

Grupo A-4. El material típico es suelo limoso no plástico, o sólo moderadamente, conteniendo generalmente 75 por ciento o más de pasa Nº 200. Incluye también mezclas de suelos limosos finos y hasta 64 por ciento de arena y grava retenida en el Nº 200. El Índice de Grupo varía de 1 a 8; los valores de crecientes revelan el aumento del porcentaje de material grueso.

Grupo A-5. El material típico es similar al descrito en A-4, excepto que generalmente tiene carácter de diatomeas o mica y puede ser fuertemente elástico lo que está indicado por un alto L.L. El Índice de Grupo oscila de 1 a 12; al crecer indica el efecto combinado de mayores L.L. y menores contenidos de material grueso.

3. FACTORES DETERMINANTES DE LA RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE LOS SUELOS

Todas las clasificaciones modernas del material suelo para su utilización en construcciones, parten de la separación en dos grandes grupos de acuerdo a la naturaleza de la resistencia opuesta a los esfuerzos deformantes, a saber: granulares y cohesivos. La clasificación del H.R.B. la U.S.E.D. propuesta por Casagrande, la "Soil Classification for Airfields" utilizada por el Cuerpo de Ingenieros de Ejército de Estados Unidos, la de la "Civil Aeronautic Adm", etc., parten de este principio.

Grupo A-6. El material típico son los suelos arcillosos plásticos que contienen generalmente 75 % o más que pasa Nº 200. El grupo incluye también mezclas de suelos arcillosos finos y hasta 64 % de arena y grava retenida en el Nº 200. Los materiales de este grupo tienen generalmente grandes cambios de volumen entre el estado seco y el húmedo. El Índice de Grupo varía de 1 a 16, aumenta por el efecto combinado del crecimiento del I.P. y disminución del material grueso.

Grupo A-7. El material típico es similar al A-6, salvo que tiene alto L.L. característico del A-5 y puede ser elástico como también sujeto a elevados cambios de volumen. El Índice de Grupo varía de 1 a 20, los valores crecientes indican el efecto combinado del aumento del L.L. e I.P. y la disminución del material grueso.

Sub-Grupo A-7-5. Incluye a los materiales con moderados índices de plasticidad en relación al límite líquido (altos límites plásticos) y que pueden ser muy elásticos y también sujetos a considerables cambios de volumen.

Sub-Grupo A-7-6. Incluye a los materiales con altos I.P. en relación al L.L. (bajos L.P.) y que están sujetos a cambios de volumen extremadamente grandes.

El diagrama de la figura Nº 1 muestra gráficamente los intervalos de L.L. e I.P. de los suelos limo-arcillosos y facilita la clasificación.

Un sistema granular está constituido por un conjunto de partículas con contacto directo entre ellas y cuyo tamaño mínimo es lo suficientemente grande para que la energía superficial de origen molecular sea pequeña con respecto a la de masa, en consecuencia el efecto de las fuerzas cohesivas es despreciable. En otras palabras, las propiedades de volumen predominan sobre las de superficie. Un sistema granular no posee resistencia a la tracción, en cambio acusa resistencia al corte y soporta cargas por la contención lateral del

material adyacente al área cargada que es más elevada en sus capas profundas.

Se interpreta que la resistencia al corte determinante de su valor portante es consecuencia de la estructura granular formada por la trabazón entre las partículas y la resistencia friccional en las superficies o puntos de contacto. Su expresión más usada es la tangente de un hipotético ángulo de fricción interna ϕ igual al cociente de la resistencia al corte sobre el esfuerzo normal al plano de deslizamiento. Debe tenerse presente que la resistencia al corte de un sistema granular no preexiste, ella es una consecuencia de la existencia de un esfuerzo normal al plano de corte y en consecuencia debe existir este último para que aquélla aparezca.

El valor de la resistencia frente a los esfuerzos deformantes desarrollada por un sistema granular y expresada por el valor del ángulo de fricción interna, es función de: a) grado de compactación, la reducción de vacíos aumenta la trabazón y contacto entre las partículas; b) gradación granulométrica que favorece la densificación para un mismo grado de compactación; c) forma de las partículas que da origen a mayor trabazón cuando más se apartan de la forma redondeada (laminar, angular, fibrilar, etc.) y rugosidad superficial.

La resistencia al corte es poco afectada por la presencia de películas de agua recubriendo las partículas o llenando parcialmente los vacíos. Cuando el agua o dispersiones acuosas de finos ocupan un volumen superior a los vacíos entre las partículas del sistema granular, éstas pierden contacto entre sí y la carga es soportada por el líquido, se produce así expulsión del mismo y consolidación del sistema hasta alcanzar contacto entre las partículas.

Un sistema de partículas cuyo tamaño es suficientemente pequeño para que su comportamiento sea controlado en forma predominante por la energía superficial sobre la de masa, constituye un material cohesivo o ligante, caracterizado por la existencia de vínculos de unión de distinta naturaleza entre las partículas y en consecuencia acusa resistencia a los esfuerzos de tracción.

Desde el punto de vista vial el material cohesivo por excelencia es la arcilla, cuyas partículas poseen elevado grado de dispersión

o superficie específica (superficie por unidad de volumen o peso) y por su estructura física y química fuerte energía superficial por unidad de superficie, variable de acuerdo a la naturaleza de los minerales que la constituyen. (Máxima para la montmorillonita de las arcillas bentónicas, intermedia para la illita, mínima para la caolinita). Una expresión conjunta de ambos factores de la energía superficial total es la capacidad de intercambio de cationes (valor T de Hissink) o sea el número de miliequivalentes para 100 g. de material. Por otra parte la energía superficial varía con la naturaleza de los cationes adsorbidos y el estado de agregación de las partículas.

La tendencia de la energía superficial a un valor mínimo, que caracteriza la evolución de los procesos espontáneos en la naturaleza, determina la fijación sobre la superficie de las partículas de envolturas de agua adsorbida, la que pierde su movilidad y queda en un estado semi-rígido comparable al que correspondería al agua comprimida contra la superficie por elevadas presiones que pueden alcanzar a miles de atmósferas. La energía de unión del agua es máxima para las envolturas de poco espesor que corresponden a los bajos contenidos de humedad y cae hiperbólicamente con el aumento de espesor, o sea del contenido de humedad, ganando en movilidad hasta alcanzar la del agua libre.

La importancia de estas envolturas de agua en las propiedades de las arcillas de interés vial se evidencia al deformar o compactar suelos cohesivos a diferentes contenidos de humedad, en el segundo caso con un trabajo de compactación definido como en el ensayo Proctor. En la condición de secas las partículas poseen un máximo de energía superficial potencial, están separadas por películas de aire y constituyen un micro-sistema granular de muy bajo grado de compactación. Cuando pasan a la condición de máximo contenido de humedad (condición del L.L.) la energía superficial restante es mínima y las partículas están separadas por espesores de agua máximos. La diferencia de energía se consume en la fijación de agua adsorbida, trabajo mecánico de hinchamiento y parte se disipa como calor (calor de mojado). En la condición intermedia del L.P. y cercana a ella en la de humedad óptima de compactación, las envolturas de agua fijadas son de tal espesor

que la capa exterior posee la movilidad y consistencia necesaria para permitir el deslizamiento de las partículas, unas con respecto a otras, bajo los esfuerzos aplicados. Se comprende así que exista correlación entre los límites de consistencia de Atterberg y el ensayo Proctor de compactación, con la estructura de las envolturas de agua que rodean las partículas arcillosas.

Cuando la distancia entre las partículas determina que sus envolturas acuosas adsorbidas se superpongan, es necesario gastar una cierta cantidad de energía para separarlas, es decir, se han creado vínculos de unión determinantes de las propiedades cohesivas o ligantes. Si dicha distancia es suficientemente pequeña y la energía superficial elevada, las partículas quedan unidas en forma tal que el conjunto se comporta en forma semejante a un sólido rígido.

Esta cohesión, a la que llamaremos de tipo a), se explica desde el punto de vista estructural por la orientación de las moléculas polares del agua por el campo eléctrico superficial de las partículas y de los cationes adsorbidos. Es evidente que su valor desde el punto de vista mecánico decrece con el aumento del contenido de humedad y aumenta con el grado de compactación, o sea con la presión de precompresión aplicada que acerca las partículas.

Si existe agua libre ocupando parcialmente los espacios vacíos entre las partículas más sus envolturas de agua adsorbida necesariamente aparece la superficie de separación agua/aire y con ella los fenómenos capilares derivados de la tendencia del agua libre a reducir la energía superficial disminuyendo la interfase agua/aire. La presencia de meniscos capilares cóncavos que ejercen una fuerza de succión sobre el agua existente debajo del mismo y en consecuencia tienden a acercar las superficies que soportan los meniscos, determinan otro tipo de cohesión de naturaleza capilar que llamaremos tipo b), cuya magnitud es inversamente proporcional a la distancia entre las superficies o sea al diámetro medio de los poros donde existe la interfase agua libre/aire. Lógicamente la magnitud de este tipo de cohesión decrece con el aumento de tamaño de las partículas que dan origen a poros más grandes y aumenta con la densificación que reduce el volumen de los po-

ros. La característica esencial de la cohesión de tipo capilar es que se anula cuando el agua ocupa totalmente el espacio de poros, por desaparecer la interfase agua/aire que la origina.

La cohesión capilar de tipo b) es la predominante en los limos donde la cohesión tipo a) es pequeña por la menor superficie específica y energía superficial por unidad de área de los limos con respecto a las arcillas, lo que determina la existencia de finas envolturas de agua rodeando las partículas. En cambio, en las arcillas compactadas y sin manipuleo predomina la del tipo a), al empastarlas con más agua entra en juego la de tipo b) hasta llegar al estado de L.L., que desde el punto de vista vial puede considerarse como el máximo grado de saturación del suelo manipulado, en el cual las partículas pueden moverse casi libremente y la atracción capilar es prácticamente nula.

Esta diferencia se revela en el I.P. elevado para las arcillas y bajo para los limos; el contenido porcentual de agua que expresa dicho índice es una medida aproximada que permite su diferenciación. Los vínculos de unión entre partículas en la condición del L.P. son de distinta naturaleza para los limos y las arcillas. El agua contenida en el estado de L.P. en las arcillas determina cohesión del tipo a) y por ello la presión necesaria para deformar el suelo húmedo es mayor que en los limos que en dicha condición muestran principalmente cohesión tipo b) o capilar que tiende a dar menor rigidez y fuerza cohesiva.

Por otra parte, la existencia de cohesión de tipo a) es la que permite a las arcillas formar terrones rígidos a los bajos contenidos de humedad que conservan por secado al aire, los grandes cambios de volumen que acompañan a la pérdida del agua y su baja permeabilidad, todas ellas propiedades derivadas de la tendencia de la energía superficial a disminuir inmovilizando películas de agua adsorbida.

El tercer tipo de cohesión, al que llamaremos tipo c), es el que determina la unión de las partículas finas entre sí o a otras mayores por acción electrostática de cargas opuestas, floculación irreversible de coloides de sílice u óxidos de hierro y aluminio y aún de la misma arcilla, precipitación de carbonato de calcio y otras sales insolubles, formación de

complejos arcilla-humus, etc. que tienen una acción cementante poco influenciada por la acción del agua y en algunos casos favorecida por ella. La agregación, aún siendo parcial, puede cambiar marcadamente las características originales.

Cuando este tipo de cohesión es el predominante, el suelo tiende a la rigidez formando una cierta estructura integral, siendo ejemplos de lo dicho la formación natural de las toscas cementadas por el carbonato de calcio, o bien la artificial creada por la acción de ligantes hidráulicos en los suelos-cementos. La influencia de dicha estructura integral en la resistencia no es revelada por los ensayos de consistencia que exigen trabajar con el material pulverizado, en consecuencia no puede emplearse el mismo criterio de interpretación que cuando la cohesión es del tipo a) o b). En cambio ellos ponen en evidencia la agregación de las partículas primarias existente en el material pulverizado (Nº 40) por aumento del L.P. y caída del I.P., es decir, menor cohesión de tipo a) y mayor del tipo b).

Mecánicamente considerada la propiedad física más importante de las subrasantes es su resistencia al corte. Ya hemos indicado que en los sistemas granulares ella es directamente proporcional a la presión normal en el plano de corte, siendo la tangente del ángulo de fricción interna el factor de proporcionalidad. En los sistemas cohesivos dicha relación es más compleja y en los primeros tiempos de la Mecánica de los Suelos se consideró la resistencia cohesiva como una constante igual a la parte de la resistencia al corte independiente de la presión normal:

Resistencia al corte = cohesión + presión normal \times coef. de fricción.

La experiencia ha demostrado que esta relación no se cumple siempre, la cohesión no puede considerarse en los suelos ligantes como una constante, dado que es función del contenido de humedad, grado de preconsolidación, tiempo de aplicación de los esfuerzos

y de la estructura interna del material. Por otra parte, la diferenciación se hace aún más relativa dado que el coeficiente friccional es también función del grado de consolidación.

Se comprende lo dicho si se tiene en cuenta que a altos contenidos de humedad (L.L.) las partículas están muy separadas y que el esfuerzo de corte es resistido fundamentalmente por el rozamiento molecular del agua al deformarse, el cual es muy pequeño. Al disminuir la humedad y crecer la densificación del sistema el plano de corte comprende sucesivamente películas de agua cada vez más inmovilizadas hasta alcanzar las más rígidas de espesor molecular que cubren la superficie mineral. Es necesario alcanzar este punto para que el coeficiente friccional sea una constante y pueda definirse un ángulo de fricción de interna con igual sentido que en los sistemas granulares y en consecuencia un término independiente de la presión normal y constante, la cohesión. Desde el punto de vista del comportamiento de las subrasantes debe tenerse presente que la fracción arcillosa con bajo contenido de humedad puede dar altos valores de resistencia cohesiva, pero ella es también responsable de las bajas resistencias friccionales y en consecuencia pérdida de la estabilidad por posterior aumento del contenido de agua.

En el cuadro Nº 2 se mencionan los valores del ángulo de fricción interna en distintos tipos de suelos y paralelamente su calidad como subrasante expresada por el C.B.R. y su contenido en arcilla ($< 0,002$ mm). En él puede observarse que al elevarse el contenido de arcilla ligante la resistencia a la deformación disminuye en la condición de compactado y saturado del C.B.R. y paralelamente disminuye la resistencia friccional expresada por el ángulo de fricción interna sin ser compensada por la resistencia cohesiva creada. En consecuencia el factor friccional cumple un rol preponderante en la estabilidad de los suelos desde el punto de vista vial.

Tipo	Angulo de fricción interna	C. B. R.	% de arcilla
Arenas y gravas	30 — 45°	20 — 30	< 5
Suelos arenosos	15 — 30°	10 — 30	10 — 30
Suelos arcillosos	5 — 15°	5 — 10	5 — 10
Arcillas	< 5°	< 5	> 30

La resistencia a la deformación en los suelos cohesivos puede también expresarse por el esfuerzo que determina la condición de falla por fluencia plástica, es decir deformación continua y creciente con carga constante, el llamado valor de fluencia. Lógicamente, las cargas a que está sometido en servicio serán solo una fracción del valor de fluencia para evitar el predominio de las deformaciones permanentes sobre las recuperables. Por repetición de esfuerzos menores que el valor de fluencia se producen cambios de estructura y orientación de las partículas y las deformaciones son cada vez más recuperables y menos permanentes, asegurando así las condicio-

4. INTERPRETACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN H.R.B.

Consideremos ahora la clasificación de H. R.B., cuadro N° 1, en base a lo expresado.

a) Suelos Granulares

En esta clasificación se toma en cuenta el tamaño de partícula real sin entrar a considerar si la partícula es elemental o está formada por cementación o agregación de otras menores. La única condición impuesta es que las partículas previamente secadas resistan la inmersión en agua por un mínimo de dos horas seguida de agitación vigorosa de tres minutos indicada expresamente en la técnica de ensayo para esta clasificación como modificación a la del A.A.S.H.O., y posteriormente normalizada por la A.S.T.M. - D 1140 - 54 (Standard 1950, tomo III). La clasificación considera la gradación granulométrica de todo el suelo, separando por vía húmeda las fracciones que retenidas por los tamices N° 10, 40 y 200 después del tratamiento con agua indicado. El suelo total comprende el material que pasa por la malla de 3 pulgadas de abertura y en el caso de existir material retenido se deja constancia por separado de su porcentaje y naturaleza.

Es evidente que en este punto se diferencia marcadamente de la clasificación del P. R.A. donde se practica el análisis mecánico sólo con la fracción de pasa el N° 10 y después de un enérgico tratamiento de dispersión tendiente a separar las partículas elementales.

En la clasificación del H.R.B. se definen fracciones exclusivamente por su tamaño, ellas son:

Grava - Material que pasa por la malla de 3 pulg. y es retenido por el tamiz N° 10.

nes de equilibrio en el servicio práctico.

El valor de fluencia es una función conjunta de la resistencia friccional y cohesiva y han sido deducidas fórmulas para su cálculo en base a la medida experimental del ángulo de fricción interna y la cohesión. Por ejemplo en la teoría de Prandtl, el valor de fluencia es el producto de la cohesión por una función exponencial creciente del ángulo de fricción interna, esta función tiene un valor de 6,5 para $\phi = 5^\circ$, 20 para $\phi = 30^\circ$ y 71 para $\phi = 40^\circ$. Estos valores muestran el amplio predominio de la resistencia friccional sobre la cohesiva en la resistencia total opuesta por una subrasante a los esfuerzos deformantes que llegan hasta ella.

Arena gruesa - id. pasa N° 10, retenido N° 40.

Arena fina - id. id. N° 40, id. N° 200.

Limo + arcilla - id. id. N° 200.

Se observa que el umbral arbitrario límite inferior de la fracción granular (grava arenas) es el tamiz N° 200 (abertura 74 micrones), coincidente con el adoptado por la A.A.S.H.O. y mayor que el aceptado por P.R.A. de 50 micrones. Debe tenerse presente que este umbral de separación es necesariamente arbitrario y se ha elegido el que corresponde a la malla más fina susceptible de uso práctico de rutina por razones de conveniencia.

El límite mínimo de fracción retenida en el N° 200 necesario para que el suelo sea considerado como granular ha sido fijado en 65% en peso de suelo seco. El sentido físico de este límite debe interpretarse, a nuestro juicio, como el menor porcentaje de fracción retenida en el N° 200 necesario para que exista contacto entre las partículas de esta fracción en un suelo compactado, condición necesaria para que exista esqueleto granular. Para tener una imagen de lo dicho consideremos un suelo graduado con 65 % de retenido en el tamiz N° 200 que compactado según el Proctor standard acuse por ejemplo un peso del litro seca de 2,00 kg. y humedad óptima de 9 %, siendo el peso específico del suelo seco 2,6.

Su composición en volumen por litro sería:

Suelo seco	{	retenido N° 200 -	500 cm ³
		pasa N° 200 -	270 cm ³
Agua			180 cm ³
Aire			50 cm ³
Total			1000 cm ³

Si fuese posible eliminar el agua y la fracción que pasa el N° 200 sin cambiar la posición de las partículas retenidas en dicho tamiz, estas formarían un sistema granular de bajo grado de densificación ya que los espacios vacíos alcanzarían al 50 % en el cual existe un contacto mínimo entre las partículas. El grado de compacidad sería comparable al modelo formado por un determinado espacio ocupado por pequeñas esferas iguales dispuestas en el estado más suelto posible pero con contacto entre ellas (arreglo cúbico) en el cual el espacio vacío calculado geoméricamente es de 47,6 %. Lógicamente la resistencia friccional tiene un valor mínimo por la débil estructura granular por entrecruzamiento y el menor número de puntos de contacto.

Dentro de los suelos granulares la clasificación del H.R.B. diferencia grupos y subgrupos en base al porcentaje de fracción limo-arcillosa y su grado de plasticidad; al disminuir la cantidad de esta fracción y su capacidad para fijar agua es posible una mayor estructura y densificación de la fracción granular y en consecuencia mayor resistencia friccional. Igualmente toma en cuenta la gradación granulométrica de la fracción granular como factor determinante de un mayor grado de densificación cuando la fracción limo-arcillosa no alcanza a colmatar los vacíos de la fracción granular.

De acuerdo a la cantidad y naturaleza de la arcilla presente en la fracción limo-arcillosa, ésta cumple una acción cohesiva y a la resistencia friccional de la fracción granular se une la cohesión. Junto con la cohesión, se obtienen otras propiedades de interés, en particular menor permeabilidad y mayor resistencia a la penetración del agua en función del tiempo, en el suelo compactado sin manipular.

Los suelos granular - cohesivos trabajados y luego compactados en la condición de subrasante, poseen siempre un esqueleto granular cuyos vacíos están sólo parcialmente ocupados por la fracción limo-arcillosa seca y ella no debe colmatarlos al embeber agua para no afectar a dicho esqueleto básico. Se comprende así la importancia primordial de la existencia de cierto por ciento en volumen de aire en la condición óptima de compactación, reconocida por la técnica inglesa, para absor-

ber los cambios volumétricos de la fracción más fina sin comprometer el esqueleto granular.

Para dar una imagen de lo dicho, una arena compactada a un peso del litro seco de 1,600 kg./lt. puede incorporar en sus vacíos un 30 % de fracción limo-arcillosa con respecto a su peso y embeber este mismo peso de agua antes de afectar el esqueleto granular siempre que el aire que ocupa los vacíos pueda salir al exterior.

El grupo A-1 comprende los suelos con estructura granular formada por partículas relativamente gruesas, con poco o nada de material limo-arcilloso y en el caso de existir, de relativamente baja capacidad para embeber agua. En el A-3 la estructura granular es de partículas más finas con escaso contenido en ligante y friable.

El grupo A-2 abarca todos los suelos con esqueleto granular no comprendidos en los A-1 y A-3, sus subgrupos A-2-4 y A-2-5 comprenden los suelos con estructura granular gruesa pero que, por excesiva cantidad de fracción limo-arcillosa o por la elevada plasticidad de la misma o por ambas cosas a la vez, no pertenecen al A-1, junto con los suelos de estructura granular fina que no pertenecen al A-3 por su contenido en fracción limo-arcillosa de baja plasticidad.

Los subgrupos A-2-6 y A-2-7 comprenden suelos granulares con fracción limo-arcillosa que posee las características de los A-6 o A-7; cuando la cantidad es baja (menor del 15 %) y su I.P. no muy elevado la calidad de los mismos es mejor.

Lo expresado revela que este grupo A-2 comprende toda una gama de suelos limítrofes con los otros y lógicamente de valor distinto. Aquí es de suma importancia el valor del Índice de Grupo que precisa numéricamente la calidad de un suelo determinado, dentro de su grupo y sub-grupo. Esta calidad está esencialmente fijada por la conservación de la estructura granular al embeber agua la fracción limo-arcillosa, cualidad de importancia primordial en las subrasantes de apoyo de los pavimentos de hormigón para prevenir el posible bombeo de las losas y en el diseño de los flexibles.

A la conservación de la estructura granular, aún en presencia de agua, está condicionada la capacidad de drenaje. Un ensayo

complementario que da más información sobre la misma, es la Humedad Equivalente de Centrifuga, valores superiores a 15 indican suelos de escaso drenaje.

b) Suelos Limo-Arcillosos

En la clasificación H.R.B. quedan definidos exclusivamente por la existencia de más de 35 o/o de pasa Nº 200, lo que puede interpretarse como una exigencia tendiente a establecer la ausencia de estructura granular. Acepta la presencia de fracción gruesa cuyas partículas no tengan contacto entre sí y estén como suspendidas dentro de la fina la que impone así sus características. La presencia de material grueso suspendido eleva la resistencia a la deformación propia de la fina, dado que las partículas gruesas sólo pueden girar o desplazarse consumiendo parte de la energía aplicada y ésta será proporcional al volumen ocupado por las partículas gruesas y a su forma, hasta alcanzar la concentración en volumen mínimo donde exista contacto continuo y dar origen a la estructura granular y con ella a la resistencia friccional a que nos hemos referido anteriormente, es decir pasar a la categoría de granulares.

Lo expresado demuestra que las características de los suelos netamente limo-arcillosos con elevado contenido de pasa el Nº 200, es mejorada gradualmente por la presencia de fracción granular, lo que en esta clasificación es revelado por el Índice de Grupo que disminuye gradualmente tomando en cuenta conjuntamente la presencia de aquella y el carácter propio de la fracción fina expresado por su I.P. y L.L.

La clasificación del H.R.B. caracteriza el comportamiento de la fracción fina diferenciando un tipo "limoso" de otro "arcilloso" en base al I.P. de 10 o menor para el primero (grupos A-4 y A-5) y 11 o mayor para el segundo (grupos A-6 y A-7) determinados según la forma usual con la fracción que pasa el tamiz Nº 40.

Ya hemos indicado el sentido del I.P. como signo representativo de la mayor superficie específica y energía superficial por unidad de área de las arcillas con respecto a los limos. Su lógica consecuencia es la presencia de gruesas películas de agua adsorbida e inmovilizada que representan casi toda la humedad óptima de compactación y confieren a las arcillas compactadas cohesión del tipo a), resistencia a la penetración rápida del

agua y capacidad para elevados cambios de volumen por incremento de humedad desarrollando presiones de hinchamiento que pueden ser superiores al peso de la estructura superior.

Un I.P. bajo revela carácter limoso con predominio de la cohesión capilar tipo b) menos efectiva que la a) tanto como factor de estabilidad como frente a la erosión por el viento o el agua, más permeabilidad con rápida absorción de agua y cambio de volumen relativamente menores.

La resistencia a la deformación de una subrasante arcillo-limosa compactada a la humedad óptima expresada numéricamente por el C. B. R. sin embeber es relativamente elevada pero disminuye marcadamente al fijar agua. La diferencia entre valores antes y después de los 4 días de inmersión, es una consecuencia de:

- a) Capacidad potencial del suelo sin compactar y manipulado para fijar el máximo de agua, función de la superficie específica (expresada por el contenido que pasa el Nº 200) y la energía superficial por unidad de superficie (indicada indirectamente por el I. P.), la que depende de la naturaleza de los minerales de arcilla presentes, relación limo-arcilla, presencia y tipo de materia orgánica y sales solubles, naturaleza de los cationes adsorbidos. Puede aceptarse que una expresión de la capacidad potencial del suelo para fijar agua en estado suelto y manipulado es la condición de humedad del L.L. cuando no existe drenaje y la del Equivalente de Centrifuga cuando puede llegar al máximo de drenaje, es decir, eliminación del agua retenida por menos energía que la gravedad.
- b) De la velocidad con que el agua puede penetrar y moverse en el suelo compactado o sea de la permeabilidad, función de la superficie específica, diámetro medio de los poros no ocupados por agua inmovilizada y de la diferencia de energía de succión (potencial capilar) entre el suelo húmedo que tiende a aumentar su contenido de humedad y el que la cede; para el agua libre el potencial capilar es nulo.

En los suelos granulares y limosos compactados el factor a) es menor que en los arcillosos y sucede la inversa con el factor b). En consecuencia en los suelos limosos compactados el agua puede penetrar rápidamente tendiendo a anular la diferencia de ener-

gía potencial que la impulsa y ello provoca una rápida caída de su valor soporte.

En los arcillosos de muy baja permeabilidad (porque sus poros están ocupados por agua adsorbida semi-rígida o por lo menos parcialmente inmovilizada) el agua penetra con lentitud, pese al mayor gradiente de potencial existente, y en consecuencia la caída de su valor soporte original es lenta particularmente cuando no están en contacto con agua libre directamente sino con otros suelos saturados. No llegan a condiciones de equilibrio energético en toda la vida útil de las subrasantes, salvo que en contacto directo con agua ésta provoca rotura de la estructura interna dada por la compactación o bien exista manipuleo, factores ambos que aumentan la permeabilidad. Por esta razón en las subrasantes arcillosas en condiciones normales de trabajo, la humedad de construcción (o sea la óptima de compactación) sólo se eleva hasta alcanzar valores del orden del L.P. como máximo, en cambio como apoyo de una losa de hormigón que acusa bombeo y ejerce una acción de amasado llega hasta el L.L. o a la H.E. de Cga. si existe drenaje.

La humedad utilizada en el C.B.R. como peores condiciones, es la que es capaz de fijar la probeta compactada dentro de su molde por inmersión de 4 días en agua bajo una sobrecarga del orden del peso de la estructura que soportará. Es evidente que se trata de un criterio conservativo desde el punto de vista de la accesibilidad del agua, en cambio no lo es considerando que no existe acción dinámica alguna durante la inmersión.

Como expresión de estos fenómenos, la clasificación que comentamos diferencia los suelos limo-arcillosos en base a su I.P., L.L. y relación entre ambos, o sea el L.P., mediante el umbral I.P. = L.L. - 30 (ver gráfico Nº 1).

Los suelos limosos A-4 de baja energía superficial sólo retienen finas películas de agua adsorbida, pero para que las partículas puedan deslizarse o girar como en la condición del L.P., requieren separación entre las mismas y en consecuencia mayor cantidad de

agua que es retenida capilarmente (tipo b de cohesión). Este agua adicional es aún mayor cuando existen partículas diformes (tipo ml-caceo) y ello justifica mayores L.P. (A-5). Al aumentar el contenido de humedad por arriba del L.P., alcanzan rápidamente la condición del L.L. (bajo I.P.) donde las partículas pueden moverse casi libremente. consecuencia lógica del elevado tenor de agua necesario para inlc-lar la libertad de movimiento y de la sola presencia de vínculos capilares entre las partículas.

En los suelos arcillosos A-7 es necesario diferenciar dos casos límites. Cuando existe cohesión marcada de tipo a) por la presencia de cationes floculantes (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, H⁺) las partículas están parcialmente agregadas y es necesario un alto contenido de humedad para debilitar los vínculos de unión y alcanzar la condición del L.P., formando envolturas de agua adsorbida relativamente gruesas. La condición del L.L. se alcanza con un incremento de humedad que debilite aún más dichos vínculos (A-7-5). Cuando existe preponderancia de cationes adsorbidos dispersantes (Na⁺) las partículas arcillosas no están agregadas y los vínculos de unión tipo a) son de menor energía, la condición de L.P. se alcanza con películas relativamente finas sobre las partículas individuales; en cambio la del L.L. exige un considerable aumento de la humedad por el elevado desarrollo de superficie activa que implica la dispersión. Son los suelos A-7-6 que acusan los más elevados I.P., menor valor soporte y máximo hinchamiento.

Resumiendo, puede decirse que en los A-7-5 la elevada energía superficial potencial existente es parcialmente consumida en la agregación de las partículas, disminuyendo la superficie activa real con respecto a la potencial. En los A-7-6 la elevada energía potencial existente se revela íntegramente en la fijación de agua, es decir mayor L.L. e I.P. Como ejemplo indicamos los valores (Endell y colab.) de dos minerales de arcilla, la caolinita poco activa y la montmorillonita, que es el mineral de arcilla más activo en su forma cálcica y sódica preparadas especialmente.

	L.P.	L.L.	I.P.
Caolinita	35.7	65.3	29.6
Montmorillonita Cálcica	49.5	140.6	91.1
Montmorillonita Sódica	47.0	475.0	428.0

Los límites de diferenciación en la clasificación H.R.B. de los suelos limo-arcillosos, difieren de los de la antigua de P.R.A. Los suelos A-5 (P.R.A.) con alto L.L. pasan al grupo A-7-5, algunos A-2 plásticos y A-4 (P.R.A.) pasan a los A-6 y los A-6 altamente plásticos (P.R.A.) pasan al A-7-6. En general el grupo A-7 ha sido ampliado para comprender a todos los peores suelos como sub-

5. ÍNDICE DE GRUPOS — Sentido físico y limitaciones

Ya hemos indicado que dentro de un mismo grupo o sub-grupo la calidad de un suelo puede variar fundamentalmente. Esto obligaría a nuevas e interminables subdivisiones, problema que ha sido solucionado en primera aproximación con la introducción del criterio numérico del Índice de Grupo (I.G.) el que ha tomado aún más importancia por su relación con el proyecto de espesores de pavimentos flexibles y rígidos.

El I.G. es un número empírico dentro de una escala desde 0 hasta 20 calculado analíticamente por la fórmula:

$I.G. = 0,2 a + 0,005 a \cdot c + 0,01 b \cdot d$
en la cual:

- a, es la parte del porcentaje que pasa el N° 200 superior a 35 y considerando un máximo de 75, expresada como un número entero positivo (de 1 a 40)
- b, es la parte del porcentaje que pasa el N° 200 superior a 15 y como máximo 55, expresada como un número entero positivo (de 1 a 40)
- c, es la parte del L.L. mayor de 40, y que no exceda de 60 expresada como número entero y positivo (de 1 a 20)
- d, es la parte del I.P. mayor de 10 y que no exceda de 30, expresada como un número entero y positivo (de 1 a 20)

Ejemplos: Suelo A-6, 65 % pasa N° 200,
LL = 32, I.P. = 13
a = 65 - 35 = 30
b = 55 - 15 = 40 (se toma 55 pues 65 excede del límite 55)
c = 0 (el LL es menor que 40)
d = 13 - 10 = 3
 $I.G. = (0,2 \times 30) + (0,005 \times 30 \times 0) + (0,01 \times 40 \times 3) = 7,2$
I.G. = 7 (no se consideran decimales)

rasantes, dejando para el Índice de Grupo establecer su valor relativo.

El grupo A-6 comprende los suelos del tipo A-7 pero con mayor contenido en material granular o limoso pero sin alcanzar el límite de 65 por ciento de retenido en el N° 200. La presencia del mismo disminuye en grado variable los caracteres arcillosos lo que es medido aproximadamente por el I.G.

Ejemplo: Suelo A-7, con 54 % pasa N° 200, L.L. = 62, I.P. = 33
a = 54 - 35 = 19
b = 54 - 15 = 39
c = 60 - 40 = 20 (se toma 60 pues 62 excede del límite 60)
d = 30 - 10 = 20 (se toma 30 pues 62 excede del límite 30)
 $I.G. = (0,2 \times 19) + (0,005 \times 19 \times 20) + (0,02 \times 39 \times 20) = 13,5 (13)$

Los diagramas fig. N° 2 permiten el cálculo rápido entrando en las horizontales con el % de pasa el N° 200 hasta las rectas del valor del L.L. y del I.P. que corresponda, leyendo en las verticales dos números cuya suma es igual al I.G.

La fórmula ha sido calculada en forma que la máxima influencia del primer sumando sobre el I.G. sea 8, la del segundo 4 y del tercero 8.

Bajo condiciones medias de buen drenaje y compactación de una sub-rasante, el H.R.B. acepta que existe una relación inversa entre el I.G. y el valor soporte, esto es, un I.G. = 0 indica subrasante buena y I.G. = 20 una muy pobre.

Se comprende (a nuestro juicio) fácilmente el sentido físico del I.G. considerando los tres sumandos por separado:

- 1) 0,2.a, significa un decrecimiento de calidad al aumentar la fracción limo-arcillosa en exceso al valor de 35 % considerado como necesario para la existencia del esqueleto granular y aceptando que la influencia de la fracción gruesa en el conjunto tiende a anularse cuando ella es menor del 25 % por quedar dispersa en la fina que impone al total sus propiedades.
- 2) 0,005.a.c, significa un decrecimiento de la

calidad cuando se asocia al exceso de finos un alto LL (mayor de 40), este último es una expresión de las propiedades elásticas y capilares y se acepta que pasando de 60 se entra en la categoría de sub-rasantes pobres.

- 3) 0,01.bd, significa un decrecimiento de la calidad cuando predomina en la fracción pasa N° 200 el carácter arcilloso. Las propiedades arcillosas se consideran simultáneamente por la cantidad (superior al 15 %) y su capacidad de fijar agua expresada por el I.P. mayor de 10. Se entra en la categoría de subrasantes muy pobres cuando el porcentaje supera al 35 o el I.P. a 30, con predominio del carácter cohesivo no resistente al agua y con pequeño o nulo aporte friccional.

De lo expresado se deduce que el I.G. separa dos grupos de suelos, a saber:

IG = 0 hasta 1. Los materiales que caen dentro de los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 son satisfactorios como subrasantes cuando se hallan convenientemente drenados y compactados, bajo pavimentos de espesor moderado (base y carpeta superficial) o bien pueden ser satisfactoriamente corregidos por agregado de pequeñas cantidades de ligantes naturales o artificiales. El I.G. 0-1 no significa que todos los suelos que reúnen esta condición sean iguales, para diferenciarlos es necesario recurrir a ensayos complementarios, en particular a la determinación del Valor

Soporte Californiano.

I.G. = de 1 a 20. Los materiales con I.G. comprendido entre 1 y 20 pertenecen a los suelos "granulares arcillosos" A-2-6 y

A-2-7 y a los "arcillosos limosos" A-4, A-5, A-6 y A-7, su calidad como subrasantes oscila desde las cercanas a "buenas" hasta las "muy pobres", siendo necesaria una sub-base o un incremento de la capa base a fin de obtener soporte adecuado para los esfuerzos del tránsito. El I.G. pretende aquí dar una medida o criterio de la calidad del suelo como subrasante para el proyecto integral de la estructura y en forma similar al diseño en base al Valor Soporte Californiano.

Antes de entrar a considerar la correlación del I.G. con el valor soporte creemos oportuno y necesario aclarar que las tres características usadas para calcular el I.G. no toman en cuenta la capacidad de ciertos suelos para desarrollar cohesión resistente al agua del tipo c) antes mencionado. Es de particular interés este punto para nuestra provincia cuando se pretende juzgar materiales como la tosca blanda, algunos conglomerados calcáreos, suelos corregidos con cemento Portland, mezclas de suelos ácidos de tipo podsólico, con agregados calcáreos o de arcillas lateríticas con agregados silíceos, donde son posibles interacciones físico-químicas de carácter cementante en los materiales compactados a humedad óptima, creando una cierta estructura integral. Ya hemos mencionado que la influencia de la misma en el comportamiento de la subrasante no es revelada por los ensayos de caracterización que se practican con material pulverizado, en consecuencia su comportamiento no puede ser juzgado por el I.G. y debe recurrirse a ensayos mecánicos directos sobre probetas compactadas para revelar su valor soporte real.

6 CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE GRUPO Y EL VALOR SOPORTE

Para el proyecto de la estructura integral de un camino con el máximo aprovechamiento de los materiales locales es necesario recurrir a alguno de los métodos existentes, siendo el más usado en nuestro medio el basado en el Valor Soporte Californiano (C.B.R.) ampliamente conocido. Esto hace necesario que exista cierta unidad de criterio al juzgar indistintamente un suelo en base a los ensayos de individualización y clasificación o por su valor soporte. Consideremos como

ejemplo lo que debe entenderse como "suelo seleccionado": Si este es el "mejor" disponible en la zona, el criterio para establecer cuál es "mejor" debe ser el mismo utilizado en el proyecto (valor soporte) o si el criterio es distinto (por clasificación) ésta debe guardar una cierta correlación con aquél. Igualmente, si se indican características para establecer qué es "suelo seleccionado" éstas deben guardar correlación con el criterio de diseño.

En las Especificaciones Especiales de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos-Aires (Cap. I. Sección 2, Art. 2º) se indica que el suelo seleccionado tendrá un I.P. comprendido entre 2 y 10 y un L.L. no mayor de 35, y que será extraído de determinados lugares en cada caso. Estas características determinables en obra no bastan para tener un criterio de calidad. En la clasificación H.R.B. ellas pueden corresponder a A-4 o a un A-2-4 de acuerdo a su contenido en material que pasa el Nº 200, correspondiendo al primero un comportamiento como sub-rasante de Bueno y al segundo de Mediano. Si se tiene en cuenta el I.G., este puede variar desde 0 hasta 8, es decir, en un amplio margen de calidad al que corresponden distinto valor soporte y en consecuencia distinto diseño de la estructura total del pavimento.

Lo expresado es un ejemplo de la necesidad de completar la individualización y valoración de un suelo con un ensayo de tamizado húmedo sobre el Nº 200 perfectamente realizable en obra que permitirá definir el grupo y determinar el I.G. Entendemos que un suelo para merecer la calificación de "seleccionado" debe tener un I.G. igual o menor de 4.

Si se demuestra que el I.G. guarda correlación aproximada con el C.B.R., el suelo en cuestión queda valorizado en forma armónica con el diseño del pavimento. Por esta razón entendemos que es de importancia práctica y económica establecer si en los suelos de la Provincia se cumple o no dicha correlación

Como punto de partida para establecer la existencia de una correlación entre el I.G. y el C.B.R. nos hemos basado en los antecedentes siguientes:

1) El Ing. D. J. Steele de la P.R.A. Distrito de San Francisco, propuso en 1945 (Procc. High. Research Board, 25, 1945, pág. 388) un sistema de proyecto de diseño de espesores en base al I.G., utilizado posteriormente en varios estados norteamericanos para el cálculo de pavimentos flexibles. Considera que en buenas condiciones de compactación y drenaje las sub-rasantes "buenas" (I.G. entre 0 y 1) no necesitan sub-base; para sub-rasantes "medias" (I.G. entre 2 y 4) debe emplearse una sub-base de 10,1 cm (4"), para "pobres" (I.G. entre 5 y 9) el es-

pesor de la sub-base debe ser 20,3 cm (8") y para "muy pobres" (I.G. entre 10 y 20) 30,5 cm (12"). El suelo que se emplea para las sub-bases de 4" debe caer en la calificación de "bueno", y para las de 12" los dos tercios inferiores "mediano" y el superior "bueno".

Al espesor de sub-base indicado se suma la base y superficie de rodamiento que se consideren necesarios para tránsito comercial liviano, medio y pesado, según el caso.

Es evidente que el criterio seguido es análogo al diseño de espesores de sub-bases que se obtiene, siguiendo las curvas de Porter basadas en la determinación de C.B.R. Si ambos valores pueden utilizarse para un mismo fin es lógico esperar que exista correlación entre ellos.

2) El Ing. R. E. Livingston del Departamento de Carreteras del Estado de Colorado propuso el método utilizado en dicho Estado (Procc. High. Research Board, 27, 1947, pág. 92) para el diseño de espesores de pavimentos flexibles basado en un juego de curvas, que corresponden a las de 4000 y 13000 lbs por rueda del método de Porter, donde se utiliza indistintamente el C.B.R. o el I.G. para la determinación del espesor, aunque deja expresa constancia que ello no significa que sean equivalentes, es decir, que si se utiliza en el diseño el C.B.R. no debe tenerse en cuenta el I.G. y vice-versa. (Ver figura Nº 1 del trabajo citado).

Los valores de ambos que conducen a igual espesor son:

C.B.R.	I.G.	C.B.R.	I.G.
2	20	7	8
3	10	10	5
4	13	15	2
5	11	20	0

Por las razones indicadas en el apartado Índice de Grupo, entendemos que el C.B.R. de 20 que corresponde al I.G. = 0 debe comprenderse como 20 o mayor, dado que para valores de I.G. inferiores a 1 aquél no pretende dar una medida del valor soporte, sólo indica que se trata de un material de calidad buena. En consecuencia puede esperarse correlación sólo con los valores I.G. superiores a 1, de la tabla anterior. Tal vez sea ésta la razón que llevó a Livingston a la aclaración que mencionamos en el párrafo anterior.

Por otra parte es necesario tener presente que el C.B.R. abarca desde las bases hasta

las subrasantes, en cambio el I.G. ha sido creado para valorar materiales para subrasantes; los mejores materiales como subrasantes, sin discriminar entre ellos, son los que poseen un I.G. entre 0 y 1.

Hemos establecido que los valores mencionados, con la salvedad indicada, responden a una ecuación exponencial del tipo

$$I.G. = k \cdot e^{-q \cdot C.B.R.} \quad (I)$$

donde e es la base de los logaritmos naturales, k y q constantes cuyo significado interesa establecer. La I implica que debe existir una relación lineal entre el C.B.R. y el logaritmo del I.G. tal como se muestra en el gráfico Nº 3.

La constante k tiene un significado claro, es igual al I.G. cuando el C.B.R. = 0 porque entonces $e^{-q \cdot C.B.R.} = 1$. Su valor en el gráfico es 26; número que corresponde al I.G. de un suelo en el cual basta la carga de acomodación del pistón para llegar al 0,1" de penetración a la velocidad de 0,05"/minuto en la probeta embebida, dado que el punto de partida del ensayo es después de asentar el pistón con una carga de 10 lb. (4,54 kg). La constante q es el coeficiente angular de la recta semilográmica del gráfico Nº 3 por $\log e = 0,434$ y significa que la disminución del I.G., correspondiente a un determinado C.B.R., por un incremento diferencial de éste, es proporcional al valor inicial del I.G. que se considere, dado que en las ecuaciones del tipo I la derivada negativa del I.G. con respecto al C.B.R. es en todo momento proporcional al I.G. considerado. El valor de

la constante q, despejada en la I es, $q = \frac{2,3}{C.B.R.}$

log. — donde 2,3 es el factor de transformación de los logaritmos naturales a decimales.

Para C.B.R. superiores a 20 el término exponencial negativo de la I se hace muy pequeño y el I.G. disminuye rápidamente tendiendo a anularse; en esta zona ya hemos mencionado que el I.G. sólo indica que la calidad del material es buena sin pretender una medida de ella, por ésta razón consideramos que a I.G. entre 0 y 1 corresponden valores del "C.B.R. calculado" que expresamos como "mayores de 20"

En el cuadro Nº 3 se muestra que el valor de q es razonablemente constante para los distintos valores del I.G. y la media da $q = 0,163$. Dando su valor a las constantes la ecuación I es:

$$I.G. = 26 \cdot e^{-0,163 \cdot C.B.R.} \quad (II)$$

Pasando la II a la forma III es posible determinar un "C.B.R. calculado" conociendo el I.G.

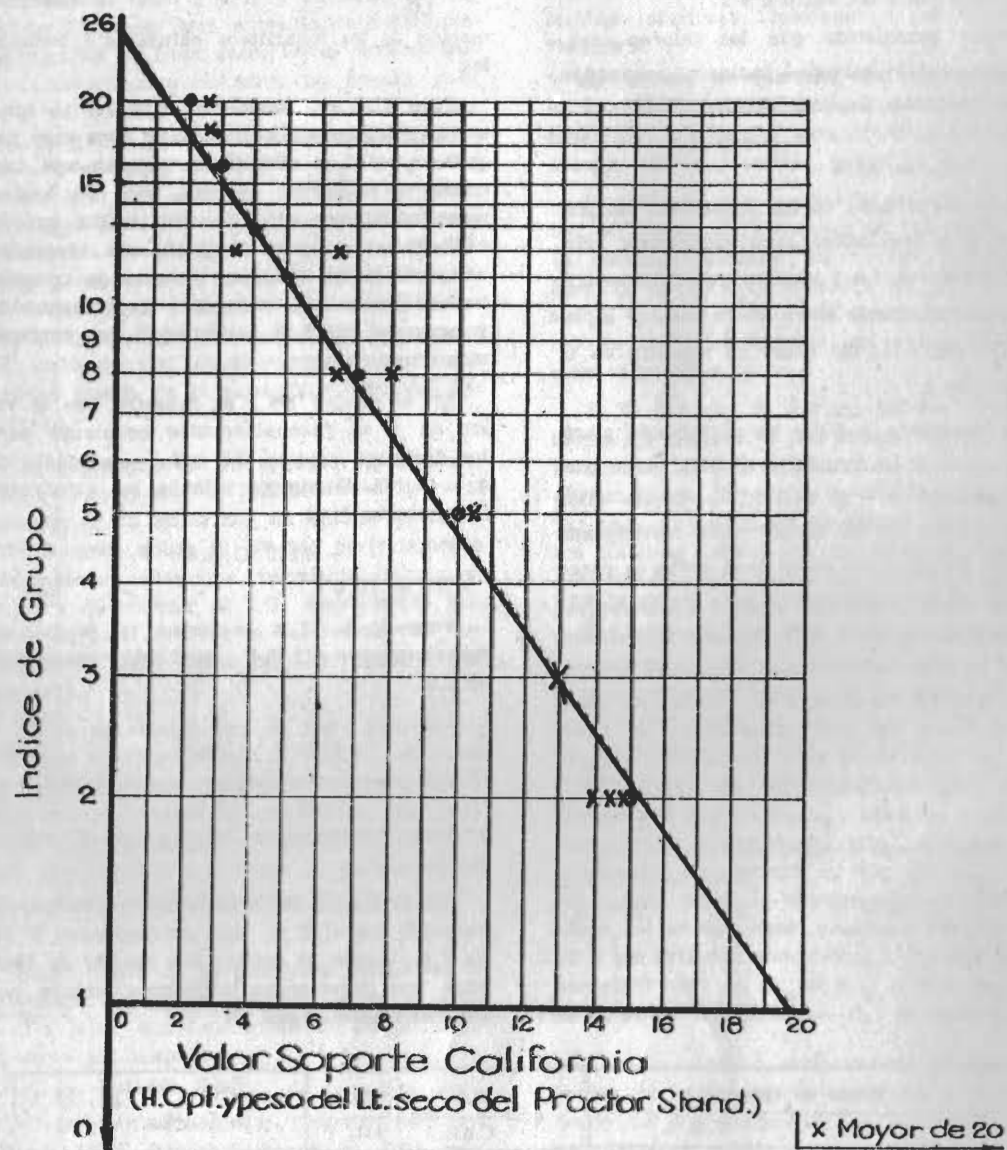
$$C.B.R. = \frac{2,3}{0,163} \log. \frac{26}{I.G.} = 14,1 \log. \frac{26}{I.G.} \quad (III)$$

o bien directamente empleando el gráfico Nº 3.

En el cuadro Nº 3 se muestran comparativamente los C.B.R. que corresponden a cada I.G. según el gráfico del Estado de Colorado que concuerdan satisfactoriamente con los calculados según III

Estado de Colorado		$q = \frac{2,3}{C.B.R.} \log. \frac{26}{I.G.}$		C.B.R. calculado $= 14,1 \log. \frac{26}{I.G.}$
I.G.	C.B.R.			
2	15	0,170		16,0
5	10	0,164		10,0
8	7	0,169		7,2
11	5	0,171		5,3
13	4	0,172		4,2
16	3	0,162		3,0
20	2	0,151		1,6
		media 0,163		

GRAFICO N°3 Permite determinar el C.B.R. calculado en base al I.G. hallado...



Representación gráfica de la ecuación propuesta: $C.B.R. = 14.1 \log \frac{26}{I.G.}$

Valores del C.B.R. estadísticos de suelos Norteamericanos.

x Valores individuales del C.B.R. experimental con suelos argentinos (cuadro n°3)

CUADRO N°4 Características de suelos y materiales para subrasantes de la Provincia de Bs. Aires, clasificación según H.R.B. y comparación del C.B.R. experimental con el C.B.R. calculado según ecuación III ó gráfico N°3

Número	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Clasificación P.R.A. o denominación	A-7	A-4	A-7	A-4	A-7	A-4	A-4-2	t	A-4	t t	A-2	A-7	A-4-2	A-2
% que pasa N°200	99.0	96.6	95.3	93.6	93.4	62.0	26.0	68.0	46.0	12.2	43.0	85.0	45.0	53.0
L.L.	44.6	25.5	60.1	32.1	54.7	32.5	10.6	37.3	26.6	19.6	29.5	43.9	38.0	29.0
I.R.	16.2	8.0	33.0	10.6	27.9	6.3	1.6	6.5	6.0	5.7	10.5	19.0	5.0	9.0
Clasificación H.R.B. e Índice de Grupo	A-7-5 (12)	A-4 (8)	A-7-6 (20)	A-6 (9)	A-7-5 (18)	A-4 (5)	A-2-4 (0)	A-4 (6)	A-4 (2)	A-1-b. (0)	A-4. (2)	A-7-6 (12)	A-4- (2)	A-4 (5)
Peso del litro seco kg. Hum. Óptima %	16.50 19.8	16.60 11.8	1.420 25.4	1.650 17.3	1.470 25.6	1.580 21.9	1.960 10.4	1.510 24.2	1.650 18.5	1.970 8.5	1.700 18.4	1.577 22.7	1.668 18.2	1.822 14.5
Hinchamiento %	3.5	2.2	7.2	1.2	5.2	1.6	-	0.7	1.0	-	0.9	2.6	3.6	3.1
Valor soporte California (C.B.R.) (%)	3.5	6.5	2.5	8.0	2.5	10.3	50.5	49.2	14.5	61.9	13.8	65	14.8	13.0
Valor Soporte Calculado según ecuación III	4.7	7.1	1.6	7.1	2.1	10.0	>20	(x x)	14.5	>20	14.5	4.7	14.5	13.2

(*) Método de Porter pero con probetas compactadas con la humedad óptima y peso del litro seco del Proctor Standard

(x x) Valor no computable por ser un material con propiedades cementantes (ver texto) -

t - Tasa blanda -

++ Conglomerado calcáreo fino -

Cuadro Nº 3 — Validez de la ecuación II demostrada por la constancia q. Coincidencia del "C.B.R. calculado" según III con el mencionado por el Estado de Colorado.

Con el fin de confirmar si la ecuación III (gráfico Nº 3) es válida para suelos de la Provincia de Buenos Aires ella ha sido aplicada a los suelos cuyas características están mencionadas en el cuadro Nº 4. Los valores experimentales han sido facilitados por el Ing. L. M. Fossa del L.E.M.I.T. a quien se agradece esta colaboración. Los C.B.R. mencionados en el cuadro Nº 4 han sido obtenidos con probetas moldeadas por el método estático de Porter pero con la humedad óptima y al peso del litro seco acusados por el Proctor standard, criterio seguido en dicho laboratorio con el fin de obtener los C.B.R. semejantes a las condiciones de obra exigido por las Especificaciones.

En dicho cuadro se indica la clasificación antigua de P.R.A., la propuesta por el H.R.B. con indicación del Índice de Grupo entre paréntesis como está indicado expresarlo, el C.B.R. experimental para probeta embebida y en último término el "C.B.R. calculado" según la ecuación III o el gráfico Nº 3 indistintamente. La diferencia entre ambos valores soportes es mayor que la registrada en el cuadro Nº 3 para los del Estado de Colorado. Esto es lógico desde que los primeros son valores individuales y los segundos son los medios resultantes de la correlación estadística de muchos suelos. Lo más importante, a nuestro juicio, es que las diferencias entre los valores individuales determinados y calculados no afectan mayormente las conclusiones prácticas que se derivan de ambos números

7. CONCLUSIONES

- 1) — Se recomienda utilizar la clasificación de suelos para subrasantes del Highway Research Board (H.R.B.) en reemplazo de la actualmente usada (P.R.A.), por sus ventajas en sencillez, precisión y utilidad. En particular, justifica esta sustitución la posibilidad de ejecutar los ensayos necesarios en los laboratorios de campaña.
- 2) — La clasificación H.R.B. incluye la valoración de la calidad de los materiales para subrasantes por su Índice de Grupo (I.G.), lo que permitirá una mejor selección de suelos en obra.
- 3) — Se demuestra que existe una correla-

tanto para el diseño de espesores de pavimentos flexibles como rígidos, teniendo presente en el segundo caso, la conocida relación entre C.B.R. y el módulo de reacción de la subrasante necesaria para el cálculo según el método de Westergaard o sus modificaciones.

Repetimos aquí que la correlación establecida entre el I.G. y C.B.R. no comprende a materiales con propiedades cementantes del tipo c). Como ejemplo hemos incluido en el Cuadro Nº 4 una tosca blanda (Nº 8) a la que correspondería la clasificación A-4 (6) con un "C.B.R. calculado" de q. El C.B.R. experimental es 49 por las buenas propiedades cementantes que poseen estos materiales calcáreos que determina una cohesión mucho mayor que la correspondiente a su I.P. Aquí los valores del "C.B.R. calculado" tienen el sentido de los que corresponderían al material sin la cementación producida por el material calcáreo, es decir, con la cohesión tipos a) y b) exclusivamente debidas a la energía superficial de las partículas y el agua retenida.

Lo expresado pone en evidencia el escaso valor de los límites de consistencia para juzgar el valor de materiales con propiedades cementantes y la necesidad de recurrir a ensayos mecánicos directos y correlacionarlos con la experiencia práctica. Tal es el caso del "suelo-cemento" donde la cohesión tipo c) dado por los productos de fragüe del cemento pórtland justifica la rigidez que acusa su comportamiento bajo esfuerzos.

Es necesario tener presente esta limitación lógica de los ensayos de consistencia y del I.G. para no caer en una extrapolación incorrecta de su alcance, lo que se refleja en el "C.B.R. calculado" aquí propuesto.

ción definida entre el I.G. y el Valor Soporte de California expresable por la ecuación III (gráf. Nº 3). Estos permiten determinar un "Valor Soporte Calculado" en base al I.G. con concordancia aceptable con el experimental, salvo el caso de materiales con propiedades cementantes. Lo expresado implica utilizar en obra el mismo criterio de selección que el empleado en el diseño de los pavimentos.

- 4) — Se interpreta la clasificación del H.R.B. en base a los principios elementales de la Mecánica de los Suelos.

Diciembre de 1957.

Publicaciones de la Dirección de Vialidad

PUBLICACION Nº 1. Pavimentación de las rutas nacionales Nros. 33 y 226. Convenio entre la Dirección Nacional de Vialidad y la Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires. Setiembre de 1957.

PUBLICACION Nº 2. Régimen de Coparticipación Vial para las Municipalidades. Anteproyecto, reuniones preliminares. Decreto Ley Nº 17.861 y Decreto Reglamentario Nº 21.280. Noviembre de 1957. 2ª Edición 1966.

PUBLICACION Nº 3. Régimen de Coparticipación Vial para las Municipalidades. Decreto Ley Nº 17.861 y Decreto Reglamentario Nº 21.280. Noviembre de 1957. Segunda edición: Noviembre 1960; Segunda edición, 1966.

PUBLICACION Nº 4. Clasificación de Materiales para subrasantes del Highway Research Board (H. R. B.), su correlación con el valor soporte de California e interpretación. Doctor Celestino L. Ruiz. Enero de 1958. Segunda edición, Julio de 1960.

PUBLICACION Nº 5. Estudio de la red primaria, secundaria y total de caminos de la provincia de Buenos Aires. Ingeniero Enrique Humet. Noviembre de 1958. Segunda Edición: Marzo de 1964.

PUBLICACION Nº 6. Vigas continuas con momento de inercia variable. Ingeniero Ladislao J. Rózycki. Abril de 1959. Agotada.

PUBLICACION Nº 7. Mesa redonda sobre el plan vial de la provincia de Buenos Aires. 1959-1963. Noviembre de 1959. Segunda edición, Enero de 1961. Agotada.

PUBLICACION Nº 8. Autarquía de la Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires. Decreto Ley Nº 7823; Decreto Reglamentario Nº 17.486. Nueva edición. Octubre de 1959.

PUBLICACION Nº 9. Primer Concurso de Trabajos Viales. Octubre de 1959; Segunda Edición, Marzo de 1962.

Dimensionado de pavimentos flexibles de Texas y California y su comparación con el procedimiento del E. B. R. utilizado en la provincia de Buenos Aires. Ingeniero Jorge M. Lockhart.

Método para determinar la homogeneidad de la mezcla en la construcción de bases y subbases de Suelo-Cemento. Maestro Mayor de Obras, Rodolfo A. Duarte.

El estudio de los suelos para subrasantes. Criterio adoptado por el laboratorio de la D.V.B.A. Agrimensores Carlos F. Marchetti.

PUBLICACION Nº 10. Ley de Caminos, cercas y tranqueas. Nueva edición. Enero de 1960.

PUBLICACION Nº 11. "Concentración crítica" de "filler", su origen y significado en la dosificación de mezclas asfálticas. Doctor Celestino L. Ruiz. Febrero de 1960. 2ª edición. Marzo 1966.

PUBLICACION Nº 12. Características físicas de los suelos y sus relaciones. Ingeniero Víctor Carré. Marzo de 1960. Segunda edición. Febrero de 1966.

PUBLICACION Nº 13. Segundo Concurso de Trabajos Viales. Octubre de 1960. Agotada.

Algo sobre la red vial de segundo orden de la provincia de Buenos Aires. Ingeniero Juan R. Villar.

Costo de los usuarios de caminos en la provincia de Buenos Aires. Ingeniero Ernesto F. Weber y Agrimensores Carlos A. Peña.

Método de ensayo para obtener relaciones de humedad-densidad. Señor Raúl O. Tejo.

Rango de suficiencia para carreteras. Ingeniero Ernesto F. Weber.

DIRECCIÓN DE VIALIDAD DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

PUBLICACION Nº 14. Normas Técnicas de la Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires. Segunda edición. Noviembre de 1961.

PUBLICACION Nº 15. Alcantarillas Tipo. Departamento Estudios y Proyectos. Octubre de 1961. Segunda Edición, Agosto de 1966.

PUBLICACION Nº 16. Nota sobre el comportamiento práctico de materiales "subnormales" para bases de pavimentos. Doctor Celestino L. Ruiz. Setiembre de 1961.

PUBLICACION Nº 17. Tercer Concurso de Trabajos Viales. Octubre de 1961. Agotada.

Ensayo de estabilidad mediante el penetrómetro de cono. Ingeniero Félix J. Lilli.

Bases de tosca: Una solución y un problema. Ingeniero Raúl G. de Souza.

Hacia una reforma sustancial del régimen de adjudicación de obras viales por contrato. Doctor Julio A. Migoni e Ingeniero Juan R. Villar.

La influencia del agregado de cal a las mezclas de suelo-cemento. Maestro Mayor de Obras Rodolfo A. Duarte y Agrimensor Carlos F. Marchetti.

Índice de prioridad para la inversión de los fondos de conservación en la red pavimentada. Ingeniero Luis R. Luna.

Predicción del tránsito vial en la República Argentina. Ingeniero Ernesto F. Weher y Agrimensor Juan A. Bilbao.

Alcantarillas prefabricadas. Ingenieros Luis R. Luna y Pedro García Gausi.

La estabilización de suelos con cal en el Estado de Texas. Sus posibilidades en la provincia de Buenos Aires. Ingeniero Félix J. Lilli.

PUBLICACION Nº 18. La estabilización de los suelos por medio del cemento. Ingeniero R. Peltier; Traducción. Mayo de 1962.

PUBLICACION Nº 19. Consideraciones sobre la constitución, ejecución, comportamiento y degradación de las capas de base, por acción del tránsito pesado y la intemperie. Ingeniero J. Durrieu. Traducción. Julio de 1962.

PUBLICACION Nº 20. Introducción a la ingeniería de tránsito. Ingeniero W. T. Jackman. Traducción. Junio de 1962.

PUBLICACION Nº 21. Función del Laboratorio de Ensayo de Materiales en los Departamentos Viales de los Estados Unidos. Agrimensor Carlos F. Marchetti. Octubre de 1962.

PUBLICACION Nº 22. Promoción Vial Municipal. Encuesta sobre organización vial en las comunas. Ingeniero Félix E. Poggio. Abril de 1962. Agotada.

PUBLICACION Nº 23. Diseño estructural de pavimentos flexibles. Ingeniero Félix J. Lilli. Octubre de 1962.

PUBLICACION Nº 24. Interpretación osmótica del hinchamiento de los suelos expansivos. Doctor Celestino L. Ruiz. Diciembre de 1962.

PUBLICACION Nº 25. Previsiones para la seguridad y rapidez del tránsito. Ley Nº 8312. Abril de 1962.

PUBLICACION Nº 26. Grandes rutas del Plan Vial 1959-1963. Enero de 1962. Agotada.

PUBLICACION Nº 27. Problemas de la adhesividad en la técnica de los revestimientos carreteros. Ingeniero Jacques Bonitzer. Octubre de 1962.

PUBLICACION Nº 28. Cuarto Concurso de Trabajos Viales. Octubre de 1962.

Determinación de los vacíos de las mezclas asfálticas en forma directa. Agrimensor Pedro R. Sosa y Técnico Químico Norberto O. Ferrari.

Investigación de las desviaciones individuales entre operadores y su comparación con un operador automático en las medidas del ensayo Marshall. Agrimensor Julián Ruiz.

Interpretación del ensayo "Equivalente de arena". Maestro Mayor de Obras Adrián Duarte y Agrimensor Carlos F. Marchetti.

DIRECCIÓN DE VIALIDAD DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Hormigón pretensado. Tentativas, recomendaciones y aplicación. Ingeniero Pedro García Gausi.

El camino de tierra y su circunstancia bonaerense. Ingeniero Juan R. Villar.

Apuntes sobre mantenimiento preventivo de máquinas viales. Señores Alberto R. Cangelosi y Pedro S. Cuomo.

PUBLICACION Nº 29. Segundo Simposio del Equipo Vial. Octubre de 1962.

PUBLICACION Nº 30. Consideraciones acerca de la reunión internacional sobre diseño estructural de pavimentos flexibles, realizada en Ann Arbor, Michigan, EE. UU. Doctor Celestino L. Ruiz. Enero de 1963.

PUBLICACION Nº 31. Distribución del Tránsito. Ingeniero Rodolfo A. Montalvo. Febrero de 1963.

PUBLICACION Nº 32. Inspección de materiales con detectores electromagnéticos. Ingenieros Rafael S. Blanca y Jacobo V. Dreizzen. Marzo de 1963.

PUBLICACION Nº 33. Vigas continuas con momento de inercia variable de sección a sección del mismo tramo. Ingeniero José Petrucci. Abril de 1963.

PUBLICACION Nº 34. Mesa redonda sobre banquetas. Trabajos, experiencias, investigaciones. Octubre de 1963.

PUBLICACION Nº 35. Observaciones sobre las exigencias contrales de la compactación de las subrasantes. Doctor Celestino L. Ruiz. Agosto de 1963.

PUBLICACION Nº 36. Puente arco laminar rígido. Ingenieros César J. Luisoni y Adolfo A. Giacobbe. Setiembre de 1963.

PUBLICACION Nº 37. Catálogo de la Biblioteca Técnica René A. Fénix. Noviembre de 1963.

PUBLICACION Nº 38. Quinto Concurso de Trabajos Viales. Octubre de 1963.

Tramos experimentales de bases construidas con granito desintegrado. Ingenieros Félix J. Lilli y Reynaldo R. Barrientos.

Sugerencias extraídas del estudio y comienzo de construcción de una obra cuyo llamado a licitación fue hecho por el procedimiento denominado "Tabla de Valores de Precios Unitarios". Ingeniero José M. Kenny.

Estudio de la correlación entre las medidas de estabilidad de suelos finos obtenidos en los ensayos de Valor Soporte California (C.B.R.) y penetrómetro de cono. Señor Roberto T. Santángelo.

Agrimensura vial. Métodos en relacionamiento y planialtimetría. Agrimensor Edgardo A. Rothache.

Costos unitarios de transporte sobre camiones. Ingeniero Matías Yaffe y Agrimensor Norberto Lamotta.

Bases para un proyecto de especificaciones sobre motoniveladoras. Ingenieros Jacobo V. Dreizzen y Rafael S. Blanco.

Influencia de las características del suelo en la dosificación de mezclas de suelo-cemento. Mapa tentativo de los porcentajes óptimos de cemento para la dosificación de mezclas de suelo-cemento en la provincia de Buenos Aires. Señores Adolfo H. Delorenzo y Omar R. Ocampos.

Hacia un horizonte. Ingeniero Eduardo A. Petrucci y Señor Carlos Novoa.

Ensayo sobre el tránsito de la ciudad de Bahía Blanca. Señor Juan Lis.

Obras licitadas por el Sistema de Tablas. Ingenieros Roberto Meneses y Horacio Claudio.

PUBLICACION Nº 39. Accesos a centros urbanos. Ingeniero Eduardo A. Petrucci. Mayo de 1964.

PUBLICACION Nº 40. Programación de obras y proyectos por el Método P.E.R.T. "Critical Path Method". Ingeniero Juan M. M. Corvalán. Marzo de 1964.

PUBLICACION Nº 41. Construcción de caminos por el sistema de peaje. Ingeniero José D. Luxardo. Agosto de 1964.

PUBLICACION Nº 42. Tipos y causas de fallas en los pavimentos de carreteras. Ingeniero F. N. Hveem. Traducción. Julio de 1964.

PUBLICACION Nº 43. Problemas de diseño y comportamiento de pavimentos en la provincia de Buenos Aires. Ingenieros Jorge M. Lockhart y Félix J. Lilli. Setiembre de 1964.

PUBLICACION Nº 44. Alcantarillas prefabricadas para obras de arte menores. Ingenieros Luis R. Luna y Pedro García Gausi. Octubre de 1964.

PUBLICACION Nº 45. Sexto Concurso de Trabajos Viales. Octubre de 1964.

Análisis crítico del Régimen de Coparticipación Vial Municipal de la provincia de Buenos Aires. Ingeniero Juan R. Villar.

Las soluciones para la reconstrucción de los pavimentos de hormigón y el problema de las cargas de la estructura vial. Ingeniero Luis A. Cardozo.

El uso del amianto como "filler" en las mezclas asfálticas de tipo superior. Técnico Químico Norberto O. Ferrari.

La Contribución de Mejoras en la Ley de Vialidad de la provincia de Buenos Aires. Agrimensor Juan A. Urrutia.

DIRECCIÓN DE VIALIDAD DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Estudio sobre volúmenes de tránsito en caminos de la red vial de la provincia de Buenos Aires. Agrimensores Juan A. Bilbao y Emilio Bandel.

Hormigón pretensado. Algunas secciones típicas de hormigón pretensado. Ingeniero Pedro García Gausi.

La red troncal vial de la provincia de Buenos Aires. Agrimensor Carlos D. Craig.

PUBLICACION Nº 46. Presentación y comentarios sobre los Diagramas Shell 1963 para el diseño de pavimentos flexibles. Doctor Celestino L. Ruiz. Diciembre de 1964.

PUBLICACION Nº 47. Hormigón pretensado. Tentativas, recomendaciones y aplicación. Ingeniero Pedro García Gausi. Diciembre de 1964.

PUBLICACION Nº 48. Criterio de calidad y bases para la adquisición de cales destinadas a la corrección y estabilización de suelos. Ingeniero Félix J. Lilli. Enero 1965.

PUBLICACION Nº 49. Sobre el cálculo de espesores para refuerzo de pavimentos. Dr. Celestino L. Ruiz. Marzo 1965.

PUBLICACION Nº 50. Apuntes sobre mantenimiento preventivo de máquinas viales. Señores Alberto R. Cangelosi y Pedro S. Cuomo. Marzo 1965.

PUBLICACION Nº 51. La utilización de las arenas con ligantes bituminosos. Ing. Victorio Lelú. Traducción. Abril 1965.

PUBLICACION Nº 52. Algunas normas para la selección del tipo de intersección a diferente nivel. Ing. Juan M. M. Corvalán. Mayo de 1965.

PUBLICACION Nº 53. II Congreso Vial Municipal. 153 ponencias, 28 monografías, 14 peticiones, etc., discusiones, sesiones. Marzo de 1965.

PUBLICACION Nº 54. Canalización de intersecciones a nivel. Ing. Juan M. M. Corvalán. Julio 1965.

PUBLICACION Nº 55. Interpretación de las fallas de las carpetas asfálticas por resiliencia. Influencia de la fase gaseosa en el comportamiento bajo carga de los materiales compresibles. Dr. Celestino L. Ruiz. Noviembre 1965.

PUBLICACION Nº 56. Séptimo Concurso de Temas Viales. Octubre de 1965.

Estudio de velocidades en caminos de la provincia de Buenos Aires. Ingeniero Mario J. Leiderman y agrimensor Juan A. Bilbao.

Estudio sobre limitación de velocidad en la Ruta Provincial Nº 78. Técnico Juan Lis.

Hormigón pretensado. Sugerencias y alcances. Ingeniero Pedro García Gausi.

Agrimensura vial. Taquimetría y triangulación. Agrimensor Edgardo A. Rotsche.

Igualdad de dos métodos de análisis acónómicos. Alumnos de la Escuela de Ingeniería de Caminos. Quinta Promoción.

Sobre mejoramiento y consolidación de caminos de tierra. Ingeniero Luis A. Cardozo.

La expropiación. Señor Osvaldo D. García.

PUBLICACION Nº 57. Interpretación del ensayo Marshall. Relación estabilidad-fluencia. Su aplicación a las mezclas asfálticas no convencionales y al criterio de calidad. Dr. Celestino L. Ruiz. Mayo 1966.

PUBLICACION Nº 59. Ley Nº 6312. Previsiones para la seguridad y rapidez del tránsito en la provincia de Buenos Aires. Agosto 1966.

PUBLICACION Nº 60. Tendencias actuales en la construcción de puentes. Ing. Adolfo A. Giacobbe. Abril 1966.

PUBLICACION Nº 62. La disminución del fondo de caminos. Dr. Julio A. Migoni. Marzo 1966.

PUBLICACION Nº 65. Autopistas. Soluciones para sus intersecciones. Ingeniero Juan M. M. Corvalán. Marzo 1965.

OTRAS EDICIONES

Plan Vial de la provincia de Buenos Aires, años 1959 - 1963. Tomos I y II. Síntesis, memoria, descripción, factores considerados, longitudes, red primaria y secundaria, comparaciones estudio económico, tránsito, índices económicos, obras. Primera, Segunda y Tercera edición.

Primer Simposio Técnico de Banquinas. Noviembre de 1959.

Segundo Simposio de Banquinas. Octubre de 1960.

Normas Técnicas de la Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires. Junio de 1961. Primera Edición

Primer Simposio del Equipo Vial. Octubre de 1960. Agotado.

Cálculo gráfico de cotas medias de base de terraplén y préstamos. Ing. Mario A. Fornari, 1936.

Planillas para cálculo de movimiento de tierra, 1936.

Trazado de curvas espirales. Ing. Mario A. Fornari, 1936.

La Zona Escuela de la Dirección de Puentes y Caminos de la provincia en Mercedes. Ing. Lauro O. Laura, 1934.

Día del Camino. Octubre de 1960.

Revista "VIALIDAD", trimestral, Nros. 1 al 36.

Boletín Bibliográfico, mensual, Nros. 1 al 104.

EN PREPARACION

PUBLICACION Nº 61. Escuela de Ingeniería de Caminos de la D.V.B.A.

PUBLICACION Nº 63. Sistemas de transporte urbano y normas para su funcionamiento. Ing. Armando Garza Baldizzone.

PROYECTO DE DIRECTIVAS PARA CLASIFICAR SUELOS PARA SUBRASANTES Y DIFERENCIACION DE "SUELOS SELECCIONADOS"

Determinar:

1) Por ciento que pasa por los tamices Nº 10, 40 y 200 por vía húmeda, previa inmersión en agua por un mínimo de 2 horas (mejor una noche) seguida de agitación energética manual por 3 minutos o bien 1 minuto en aparato dispersor. (A.S.T.M. - D 1140-54).

2) Límite líquido y plástico (A.S.T.M. o A.A.S.H.O.) - Índice de Plasticidad.

3) Clasificar según H.R.B. (cuadro Nº 1 del trabajo)

4) Calcular el Índice de Grupo (ábaco fig. Nº 2 del trabajo)

5) Determinar el "Valor Soporte Calculado" (recta del gráfico Nº 3 del trabajo).

Considerar como "suelo seleccionado" el material con Índice de Grupo de 4 o menor, al que corresponde un "Valor Soporte Calculado" de 11 o mayor.

Nota 1) Si el material retenido en el Nº 200 es de naturaleza predominantemente calcárea (fuerte efervescencia con ácido clorhídrico) o si tiene terrones o partículas relativamente blandas, disgregables al estado húmedo por fuerte presión entre los dedos o por raspado o cualquier otro signo de cementación, el "Valor Soporte Calculado" tiene el carácter de mínimo y sólo la determinación experimental del Valor Soporte mide la calidad del suelo.

Nota 2) El Índice de Grupo y el "Valor Soporte Calculado" deben utilizarse para comparar y seleccionar suelos con la salvedad de la Nota 1.