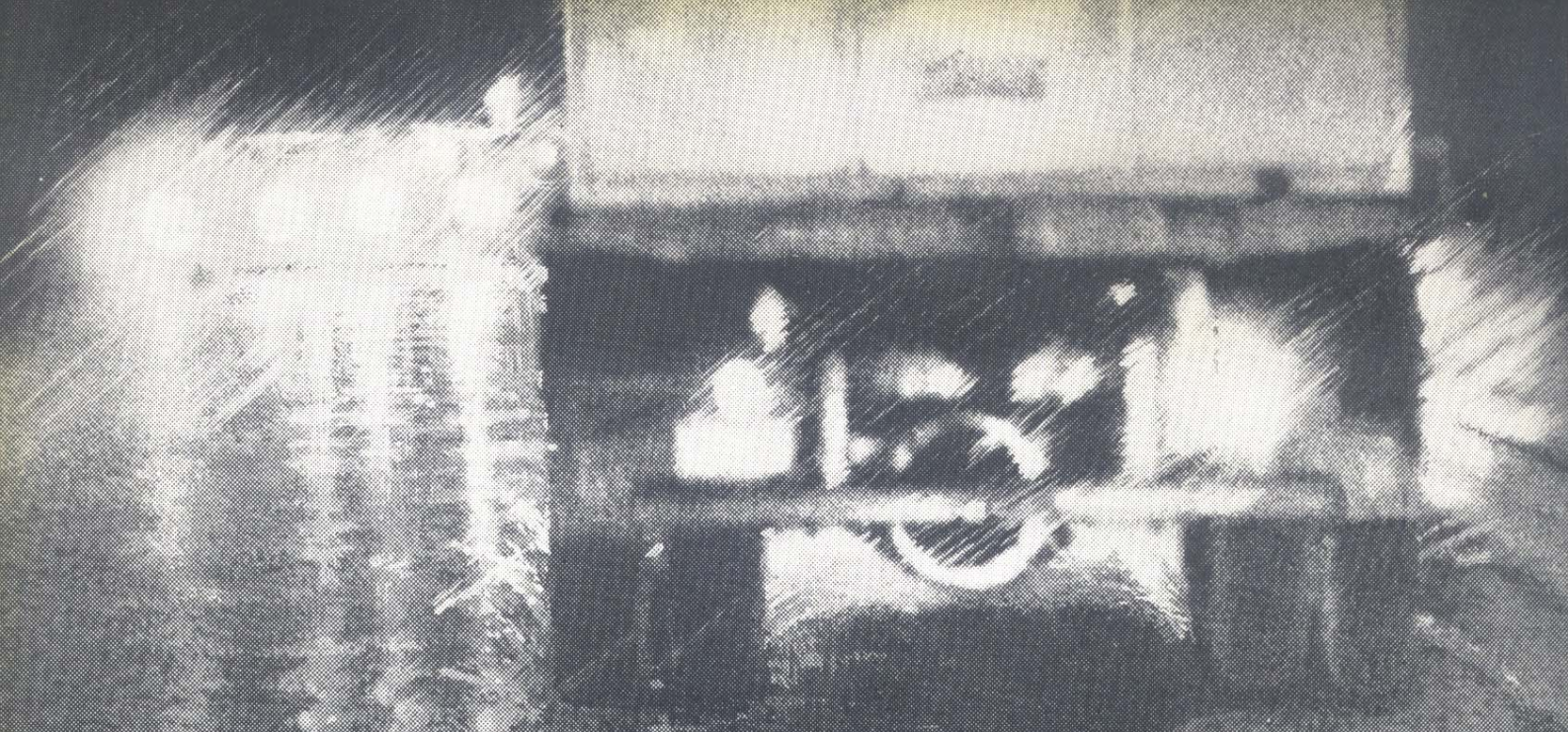


CARRETERAS

Asociación Argentina de Carreteras

Año XIX/Nº 70 / Abril - Junio 1974

10 de junio
Día de la
Seguridad
en el
Tránsito



Hoy llueve. Mañana 38°.

Lluvia, frío, calor, tráfico pesado.
El camino debe soportarlo todo.

Contra todas las alternativas, Productos Asfálticos Shell.
Sometidos a rigurosos, implacables controles de
calidad, los productos asfálticos Shell están creados para
asegurar rendimiento uniforme, durabilidad
y resistencia bajo las más severas condiciones.

La vasta experiencia internacional de Shell respalda
su eficiencia.

PRODUCTOS ASFALTICOS



también aquí, sólo Shell supera a Shell.



**PARA LAS RUTAS
ARGENTINAS**

MEJORADOR DE ADHERENCIA PARA ASFALTO

**ADITIVO AMINICO
ADROG**

**EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS CON
EMULSIVO
ADROG-E**

REPRESENTANTE EXCLUSIVO

ADRO-QUIMICA S.A.



PARANA 768 8° p.

Tel. 44-0108/1278

BUENOS AIRES

FABRICANTE:

DROGACO INDUSTRIA QUIMICA S.A.

Dr. IGNACIO ARIETA 3922/44 - Tel. 651-0790/0229

SAN JUSTO - F.C.D.F.S. (Prov. Bs. As.)

**la mayor capacidad
de garantías**



**también opera en
garantías aduaneras**

**ASEGURADORES
DE CAUCIONES**

DIRECTORIO: Presidente, Agustín de Vedia (h) - Vicepresidente, Jorge O. J. Guevara Zaefferer
Director Secretario, Horacio R. Bach - Directores: Albino C. Ertola, Antonio P. Lomónaco, Lorenzo
Lucena Maguire - Síndico Titular, Raúl de Zuviría Zavaleta - Síndico Suplente, Mario A. Carregal

PARAGUAY 580 - Teléfono 32-5321/22/23 y 32-5266 - Cables: Suscriptores - BUENOS AIRES

EDITORIAL

ES NECESARIO ESTABILIZAR E INCREMENTAR EL DESARROLLO VIAL ARGENTINO

A fuerza de habérselo reiterado tan insistentemente parecería caer en un lugar común toda tentativa de poner de relieve el azaroso desenvolvimiento de la actividad vial entre nosotros. No obstante ello, y mientras no se logre estabilizar e incrementar los planes viales argentinos, deberá volverse sin hesitar sobre el tema dada la fundamental gravitación que la obra caminera asume como instrumento del desarrollo y del progreso del país. Y en esa posición estamos y estaremos con el renovado énfasis que requieran las circunstancias.

Y precisamente en las actuales, bien singulares, por cierto, nos parece oportuno traer, sintéticamente, algunos datos de la experiencia y formular los comentarios y reflexiones que puedan sugerirnos para capitalizar sus enseñanzas.

Salvo el período inicial luego de su organización —alcanzada en 1932— el desenvolvimiento de la vialidad argentina ha sido signado por una extrema variabilidad. Si la evolución cíclica con sus secuencias de avances, estancamientos o retrocesos es corriente en los procesos económicos, lo que caracteriza al desarrollo vial argentino es la excesiva frecuencia de sus ciclos y la amplitud de sus picos, particularmente los de mínima. Es así como hemos señalado con reiteración que desde hace largo tiempo los períodos de desarrollo normal de los planes viales no han alcanzado los tres años consecutivos —ni siquiera suficientes para la amortización de equipos— registrándose mientras tanto lapsos prolongados de paralización prácticamente completa de la actividad vial por la falta de licitaciones, adjudicaciones o contrataciones de obras nuevas, todo ello esencialmente por irregularidad en los regímenes financieros a pesar de contarse con normas legales adecuadas.

Las consecuencias de tales anomalías sobre las estructuras que sostienen al camino —técnicas, empresariales, laborales, etc.— resultan obvias de señalar y las hemos experimentado suficientemente, sin perjuicio de recordar la lesión a los intereses del país al interferirse una obra que es fundamental, la que, por colmo y como se ha probado, resulta actualmente inferior al 50 % de los niveles que ya justifica la demanda.

No puede desconocerse que en los últimos tiempos hemos registrado progresos en materia de caminos, acortando déficits acumulados, pero no podemos tampoco dejar de reconocer el alto precio que por ellos ha pagado el país como consecuencia de las condiciones harto irregulares bajo las cuales los mismos fueron logrados.

Un estudio de la evolución de la obra vial nacional —representativa con holgura de la actividad global del país— realizado recientemente por la Cámara Argentina de la Construcción pone de relieve el proceso declinante registrado en el trienio 1971-1973, comparando los montos

SUMARIO

	Pág.
ES NECESARIO ESTABILIZAR E INCREMENTAR EL DESARROLLO VIAL ARGENTINO — Editorial	3
TRANSPORTE COMBINADO CARRETERO-FERROVIARIO	4
Por el Ing. Gastón A. Cossettini	
SOBRE EL MECANISMO DEL PROCESO DE COMPACTACION DE LOS SUELOS	9
Por el Dr. Celestino L. Ruiz y la Ingra. Yolanda R. de Ronchi	
INFORMACIONES DE VIALIDAD NACIONAL	16 y 17
ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LOS ENSAYOS FISICO-MECANICOS	22
Por el Dr. Jorge J. C. Colombo	
LA CALIDAD SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS - LISURA	26
Por el Ing. Arnoldo Hugo Meeroff	
LA ECOLOGIA DEL TRANSPORTE: PALABRAS DE UN INGENIERO VIAL	31
Por Jacob Dekema	

de licitación, adjudicación y contratación de obras a valores constantes de 1971. Los porcentajes que se registran, siempre en menos para tales montos, respectivamente, y con relación a 1971 son: para 1972 el 53%, el 15 % y el 14 %, y para 1973 el 71, el 65 y el 61 %. Extendido el análisis al primer trimestre de 1974 comparativamente con el mismo lapso del trienio citado se comprueba que en 1974 los valores superan ampliamente a los de 1973; son del mismo orden que en 1971 aunque inferiores a 1972, registrándose en general un notorio progreso que se extiende asimismo al plano financiero al normalizarse los pagos desde fines de 1973.

La industria de la construcción vial, sin embargo, y como culminación de un proceso de arrastre atraviesa hoy por una crisis muy grave, que se expresa a través de disminuciones, cuando no en la paralización, en los ritmos de ejecución de las obras —demorando su puesta en servicio— en quebrantos comerciales, en la afectación de las fuentes de trabajo, etc., y todo ello frente a un panorama singularmente crítico de nuestra red troncal —y seguramente de las provinciales— expuesta a quedar destruida en un 50 % en un lapso no superior a los cinco años, según recientes expresiones del Administrador General de Vialidad, lo que ha llevado a dicha repartición a elevar un plan, anexo al Trienal, que comprende, precisamente, la reconstrucción de prácticamente 10.000 km. de caminos pavimentados en cinco años. Y frente, además, a la necesidad imperiosa que tiene la Argentina de movilizar sus enormes posibilidades potenciales.

Cuanto precede justifica plenamente el encabezamiento de estas líneas: es necesario estabilizar e incrementar el desarrollo vial argentino.

Transporte Combinado Carretero-Ferroviario

Por el Ing. Gastón A. Cossettini

La experiencia francesa

1. Características operativas del sistema

Nacido y concebido como una red integrada "ruta-ferrocarril", su desarrollo se produce a partir de la década 1940-50. Luego de operar el sistema varios años, pareció necesario de reagrupar en el ámbito de una sola empresa las diferentes técnicas utilizadas al presente. Así fue creada la SOCIÉTÉ NOUVELLE DES TRANSPORTS COMBINES, más conocida bajo el nombre de NOVATRANS. El objetivo de dicha empresa es ofrecer a los transportistas por automotor un servicio ferroviario para el transporte de los vehículos rúteros sobre la mayor parte del itinerario, bajo el concepto de atender mediante la diagramación de trenes especiales, los flujos de carga en direccionales con alta concentración de demanda de transporte entre puntos terminales. El transportista rútero, aliviado en esta forma de la presencia del material rodante sobre la ruta, puede abordar otro tipo de tarea empresarial, como ser la prospección comercial de nuevos mercados, la atención y mantenimiento en forma más eficiente del parque móvil, etcétera.

La empresa Novatrans explota cuatro sistemas de transporte combinado ruta-ferrocarril, cuyas características técnicas se describen en el punto siguiente. Dado que algunos de los sistemas requieren la construcción de vagones especiales, esto configura una particularidad de la explotación de la empresa. La participación porcentual del capital accionario está distribuido de la siguiente manera:

- 60 % transportistas por camión.
- 30 % dos filiales de la Empresa Nacional de Ferrocarriles Franceses (SNCF).
- 10 % propietarios de los vagones.

Novatrans cuenta en Francia con 33 centros repartidos en todo el territorio, donde se realizan combinaciones con una o más de las cuatro técnicas operativas utilizadas. Asimismo cuenta con 12 centros en otros países de Europa, según la siguiente distribución: Italia (4), Bélgica (4), Holanda (1), República Federal Alemana (2) y Suiza (1).

El sistema ofrecido por Novatrans permite el transporte de vehículos rúteros, sea por medio de vagones aislados o bien utilizando trenes blocks, capaces de cubrir grandes itinerarios y donde existe una alta concentración de cargas entre las estaciones despachadoras y receptoras, lo que permite operar con un régimen económico satisfactorio.

Los ferrocarriles franceses tienen tarifas especiales para los servicios demandados por Novatrans y de esta manera existe una casi exclusividad para este tipo de transporte, aun-

que la SNCF puede en casos eventuales contratar con clientes especiales aplicando tarifas superiores. La modalidad apuntada hace que las relaciones contractuales para este tipo de transporte combinado se realiza a través de los pasos siguientes: 1) de cliente a transportista. 2) de transportista a Novatrans y 3) de Novatrans a la Empresa Nacional de Ferrocarriles (SNCF).

Un hecho significativo de señalar es que Novatrans no tiene fines de lucro, sino que su objetivo fundamental apunta a optimizar económicamente el sistema combinado ferrocarril-automotor, aprovechando las características técnicas y operativas que cada medio posee para cierto tipo de tráfico y en función de direccionales o ejes con alta concentración de flujos de carga.

2. Características técnicas de los sistemas combinados ofrecidos

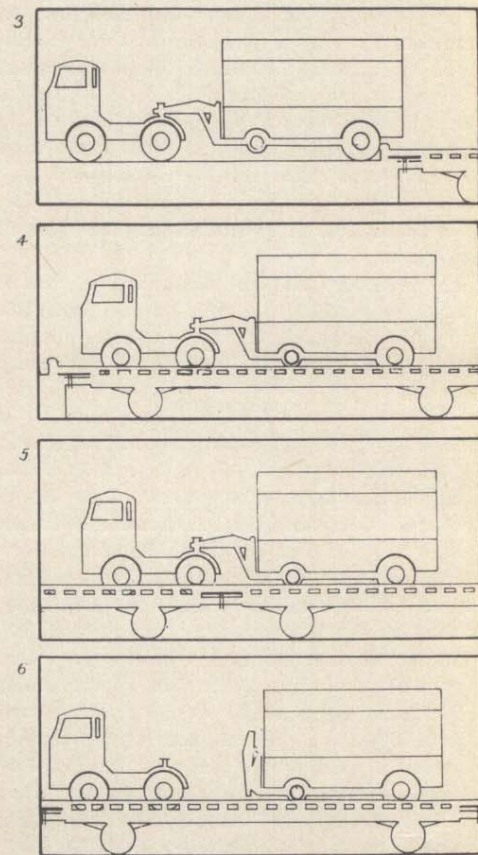
2.1. La técnica URF

Es la primera cronológicamente hablando, y su nombre proviene de "unión del transporte por ruta y ferrocarril". Consiste en transportar sobre un vagón casi standard, un semiremolque concebido en función de ese vagón, teniendo en consideración el gálibo ferroviario. La carga de los semiremolques sobre el vagón se efectúa en marcha atrás, a fin de permitir el desenganche del tractor, terminada la operación. Dispositivos especiales posibilitan realizar la operación de carga del vagón, sea a través de una rampa especial, o bien me-

rentes operaciones de carga (o descarga) de los semiremolques sobre los vagones. Este sistema se adapta perfectamente bien, tanto para el transporte de semiremolques aislados como para trenes completos.

Actualmente existen en Francia y demás países extranjeros (Italia, Bélgica, Suiza y Alemania Federal), 150 estaciones donde se utiliza el sistema UFR.

Los mecanismos utilizados en cada uno de



los tres componentes del sistema se describen a continuación:

i) El vagón

De diseño plano, está equipado de rieles longitudinales sobre los cuales deslizan las llantas metálicas delanteras y traseras del semiremolque.

Asimismo, los vagones que componen un "tren completo" están provistos de órganos de interconexión pues la maniobra de carga se realiza "de punta", permitiendo así que el tractor y el semiremolque recorran en forma continuada, toda la longitud del tren. La altura de los rieles guías provistos en cada vagón liberan en la maniobra de deslizamiento a los neumáticos traseros del semiremolque.

ii) El tractor



dante la utilización de una plataforma de altura adecuada.

Puede observarse en las fotografías 1 y 2, y esquemas adjuntos 3, 4, 5 y 6, las dife-

Está provisto de un sistema especial de enganche del semiremolque, lo que permite que un solo operario (el chofer), realice la maniobra de carga o descarga del semiremolque, en una operación extremadamente simple.

iii) El semiremolque

Su característica especial radica en el sistema de enganche al tractor, que varía si se trata de vehículos de menos o más de 10 tn. de carga útil.

La carga y deslizamiento sobre los vagones se realiza gracias a las llantas delanteras y llantas auxiliares fijadas al exterior de las ruedas neumáticas traseras.

Los semiremolques pueden estar equipados para el transporte de todo tipo de mercaderías.

2.2. La técnica "Canguro"

Consiste en el transporte de un semiremolque standard (al cual se le ha incorporado un mínimo de adaptaciones), sobre un vagón concebido especialmente en función de ese vehículo. Entre centros importantes despachadores y receptores de carga, es posible el armado de trenes completos con las ventajas económicas que ello implica. Operan actualmente en Francia y países vecinos un total de 26 centros de carga que utilizan este sistema.

Cronológicamente esta técnica es la segunda en desarrollarse y surge por las restricciones que el gálibo ferroviario europeo impone respecto a la altura resultante de transportar un

semiremolque común sobre un vagón plano normal (ver figura 7).

Las características del material utilizado son las siguientes:

i) El vagón

Su principal característica es que poseen un "receptáculo" (de allí el nombre de canguro), que admite dos posiciones. Una de ellas, la posición "baja" corresponde a la situación en que el semiremolque está ya ubicado en condiciones de transporte. Esta especie de "bolsillo" recibe el tren rodante del semiremolque, descansando los ejes en una silleta o plataforma especial, durante el tiempo de transporte.

La otra posición "alta" llamada también de circulación, permite el pasaje del semiremolque de un vagón a otro, mediante rieles guías longitudinales sobre los cuales se "monta" la entrelanta tal cual se describe en el párrafo siguiente.

ii) El semiremolque

Es de tipo standard, al cual se le ha incorporado algunas adaptaciones menores y poco costosas. Los bogies traseros requieren una pequeña adaptación de una nueva entrelanta especial, a fin de posibilitar un calaje riguroso y posterior deslizamiento del semiremolque sobre los rieles longitudinales del vagón (ver figura 8). Esta modificación no altera en nada los requisitos técnicos del semiremolque, que conserva sus características esenciales de transporte. Asimismo, el paragolpe trasero debe ser movable a fin de posibilitar la maniobra de carga del semiremolque y este último estar dotado de una esfera exterior en la parte delantera para las maniobras de carga y descarga sobre el vagón, mediante el enganche a un tractor especialmente diseñado a este fin.

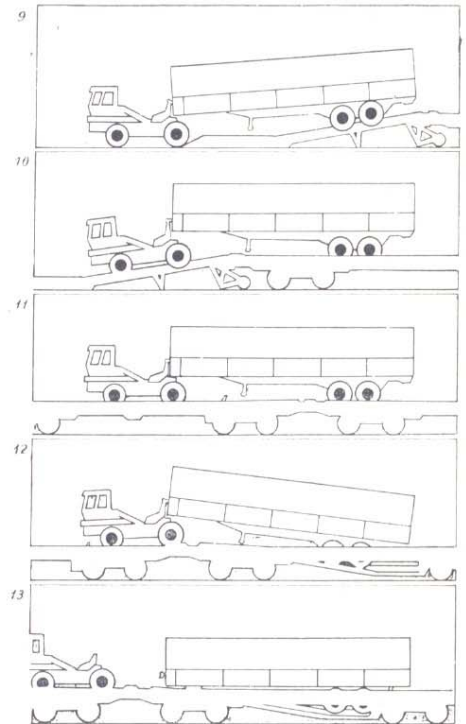
La maniobra de carga puede resumirse sucintamente en las operaciones siguientes. Tratándose de cargar un tren completo, se ubica una plataforma especial (que permite fácilmente el calaje del semiremolque y el tractor), delante del primer vagón del tren (figura 9).

Los "bolsillos" o "receptáculos" de todos los vagones, excepto el correspondiente al último están en posición "alta" para permitir a los semiremolques pasar de un vagón al otro.

En la operación de carga el tractor empuja en marcha atrás el semiremolque, subiendo primero la plataforma de carga (figura 10) y luego deslizándose a lo largo de los rieles longitudinalmente de los vagones (figura 11) hasta el último vagón que recibe en su correspondiente "bolsillo" el semiremolque (figura 11 y 12). El brazo hidráulico del tractor permite asegurar esta operación. Finalmente, desenganchando el mismo (figura 13) el tractor vuelve a repetir idéntica opera-

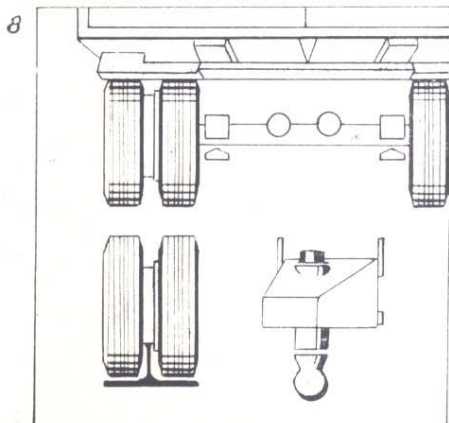
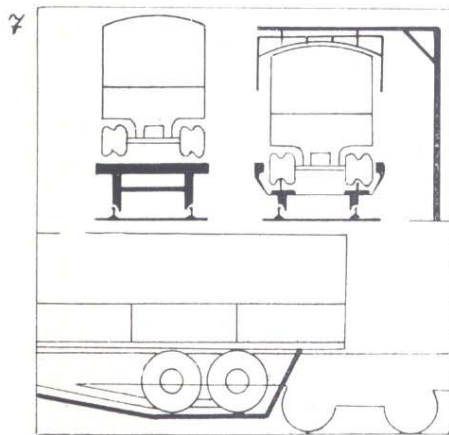
ción con el segundo remolque; realizándose la descarga del tren en el orden inverso al descrito. En las fotos 14 y 15 pueden observarse las operaciones de carga y acondicionamiento definitivo, respectivamente.

El tiempo necesario es de aproximadamente 4 minutos para cargar cada vagón y si bien conceptualmente el sistema es de solución simple, requiere inversiones importantes en el vagón especial y en el tractor de remolque.



2.3. La técnica M. C. 22.

Derivada de técnicas norteamericanas, tiene como principio fundamental reducir peso muerto, aumentando capacidad de carga útil. Compuesto de un semiremolque a bogie separable, el sistema M. C. 22 desplaza en el transporte ferroviario solamente la caja, quedando el bogie trasero en la estación. Concebido de acuerdo a las Normas Técnicas y Código de la Ruta, la M. C. 22 se utiliza tanto como



semiremolque rutero clásico, o bien en el transporte combinado ferrocarril-automotor, lo que permite un transporte "puerta a puerta" integral. Opera con bastante flexibilidad como sistema, ya que la operación de carga al vagón se puede realizar con el método que se describirá a continuación; o bien, mediante la utilización de un puente-grúa.

Las características del material son las siguientes:

i) El semiremolque

Constituido de dos elementos separables, caja y bogie, la única limitación proviene de las estipulaciones contenidas en el Código de la Ruta. Está equipado con pasadores de fijación que sirven al transporte sobre el vagón, como así también de un dispositivo especial de fijación al bogie neumático en el caso de ser utilizado como semiremolque clásico.

La ficha técnica de la caja del semiremolque es la siguiente:

largo exterior: 11,80 m
largo interior: 11,60 m
ancho exterior: 2,50 m
ancho interior: 2,40 m
altura exterior: 2,40 m
altura interior: 2,15 m
volumen: 60 m³.
puertas laterales: 1,30 m x 1,80 m
puertas traseras: abertura total
Tara: 4,3 tn.
En cuanto al bogie:
Tara: 2,8 tn.
Suspensión neumática
Paragolpe desmontable

ii) El tractor:

Cualquier tractor en circulación puede ser utilizado, necesitando solamente la adaptación de una silleta con movimiento vertical (hasta 50 cm) para levantar la parte delantera del semiremolque y de un gato cuya función será la de la carga y descarga de la caja del semiremolque sobre el vagón.

Ficha técnica:

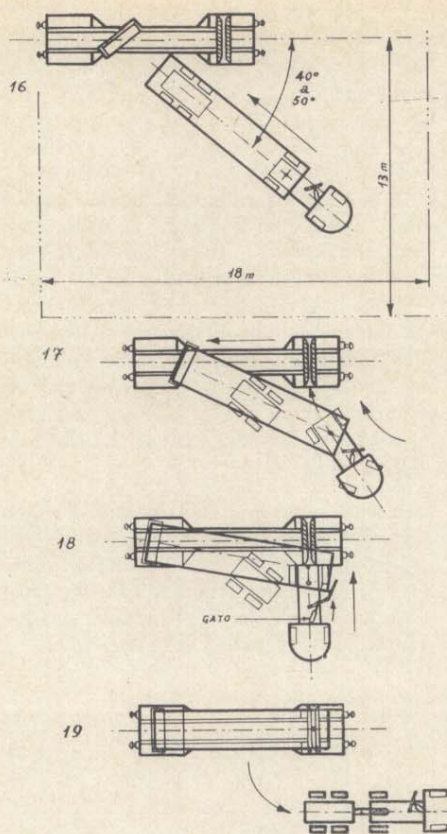
tractor rutero normal
Tara: 7 tn.
silleta con movimiento vertical de hasta 50 cm.
transmisión hidráulica
gato hidráulico

iii) El vagón:

Es de tipo plano y esencialmente se compone de dos largueros longitudinales sobre los cuales se desliza y pivotea una traviesa destinada a recibir la parte trasera de la caja del semiremolque, dotada de un dispositivo especial para amortiguar choques.

Ficha técnica:

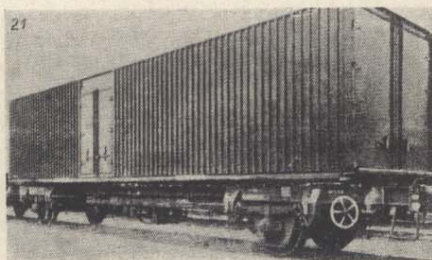
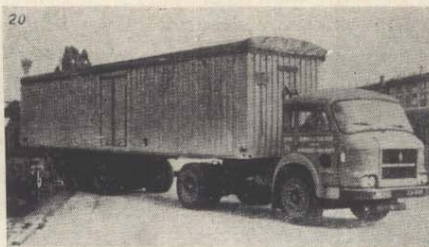
largo: 13,40 m
Tara: 11,6 tn.
Ejes normales



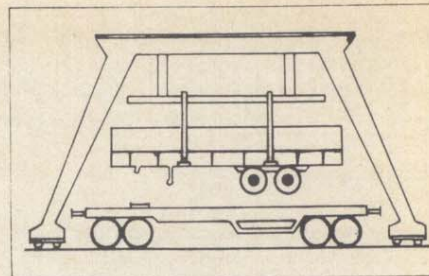
Traviesa deslizante y que pivotea sobre los largueros del vagón.

La carga de la caja del semiremolque sobre el vagón es simple y se describe a continuación. El chofer presenta el conjunto de tractor y semiremolque en marcha atrás según un ángulo de aproximadamente 40 a 50° respecto a los rieles, debiéndose disponer de un espacio de 18 m por 13 m a los efectos de posibilitar una maniobra cómoda (figura 16).

La suspensión neumática y el gato y silleta que dispone el bogie trasero, permiten elevar la caja al nivel de la traviesa pivotante del vagón. Una vez que la caja se ubica sobre la traviesa y queda solitaria, se procede al



22

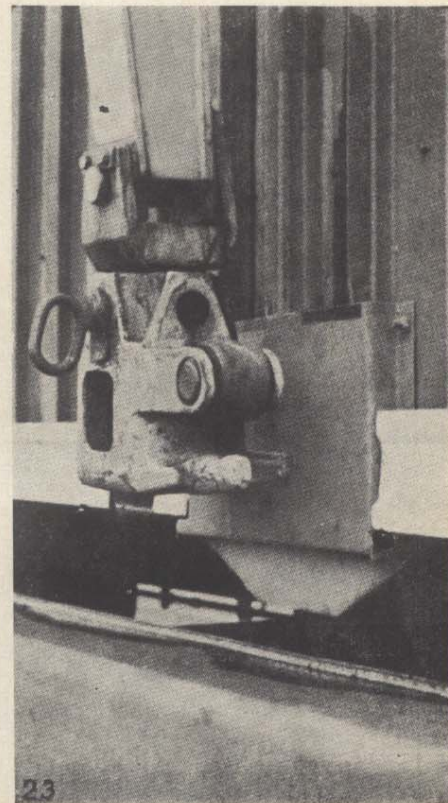


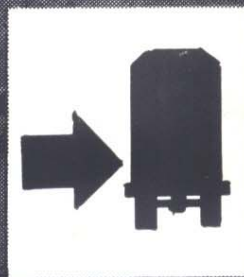
bajado y posterior desenganche del bogie trasero. Realizada esta operación, el chofer maniobra hasta presentar el eje del semiremolque perpendicular al vagón frente a la traviesa delantera del mismo y destinada a recibir la caja (figura 17). Por la acción del gato del tractor (figura 18) la parte delantera de la caja pasa por deslizamiento de la silleta de asentamiento a la traviesa del vagón. Un mecanismo automático asegura la inmovilización de la caja durante el transporte ferroviario. Finalmente, el bogie trasero se engancha al tractor, para su desplazamiento (figura 19). La operación de descarga es idéntica a la descrita, aunque en sentido inverso, requiriéndose aproximadamente 15' en el total para su realización.

Las fotos 20 y 21 muestran una parte de la maniobra de carga y la caja ya dispuesta sobre el vagón, para su transporte, respectivamente.

2.4. Carga vertical ("tomada por pinzas")

El principio de utilización radica en la disposición, en estaciones terminales, de grúas-pórticos adecuados que realizan la maniobra de carga y descarga de los semiremolques (figura 22). Dichos pórticos están concebidos



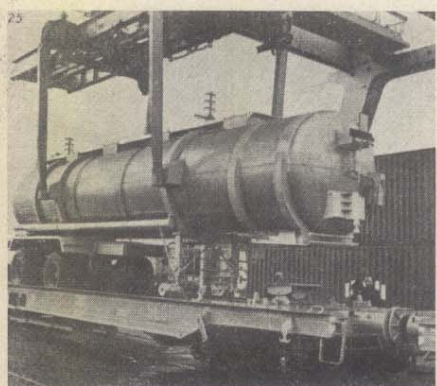
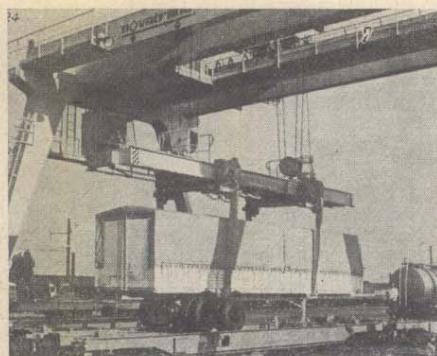


**Los caminos
de hormigón
son los que recorren
más futuro.**

INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO

San Martín 1137 - Buenos Aires

SECCIONALES: **CORDOBA:** Av. Gral. Paz 70, Córdoba - **TUCUMAN:** 25 de Mayo 30, San Miguel de Tucumán - **LA PLATA:** Calle 48 N° 632, La Plata - **ROSARIO:** San Lorenzo 1047, Rosario - **MENDOZA:** San Lorenzo 170, Mendoza - **SAN JUAN:** Ignacio de la Roza 194, Oeste, San Juan - **BAHIA BLANCA:** Luis María Drago 23, Bahía Blanca - **CORRIENTES:** Catamarca 1515 Corrientes - **NEUQUEN:** Av. Argentina 251, Neuquén



para maniobrar con unidades de 32 tn., mediante la utilización de pinzas especiales de enganche del semiremolque.

Los semiremolques son vehículos standard a los cuales se les incorpora ciertas modificaciones menores. En efecto, a cada lado del vehículo se instalan planchas especiales que recibirán los picos de las pinzas de los pórticos. Estos refuerzos se sitúan en la zona delantera y trasera del semiremolque cuyo paragolpe trasero puede quitarse para la maniobra de carga y transporte.

En cuanto a los vagones ferroviarios disponen de un "bolsillo" de características similares al descrito para la técnica canguro, aunque en este caso es fijo. Obviamente que el método de cargamento vertical permite su utilización en las técnicas canguros, M. C. 22 y la que se describe, con el solo aditamento a los semiremolques de las placas de enganche de las pinzas de los pórticos. En las fotos 23, 24 y 25 pueden apreciarse los distintos componentes del sistema. Actualmente existen en operación en toda Europa unos cien cen-

Cuadro Nº 1

Año	Millones de Tn-Km	Mi'es de Tn.
1959	708	—
1963	1133	2061
1967	1330	2415
1971	1478	2237
1972	1534. (1)	2201 (2)

Fuente: Elaboración propia en base a información de Novatrans.

Cuadro Nº 2

Año	Progresión de las tn-km transportadas (Año 1963 = 100)			
	Ruta (Total)	Ferrocarril (Total)	Novatrans (canguro) + UFR	Novatrans (canguro solamente)
1963	100	100	100	100
1967	145	100	116	200
1971	185	104	130	410
1972	190	105	135	470

Fuente: Elaboración propia en base a información de Novatrans.

tros dotados de pórticos adecuados que operan con el método descrito.

3 — Referencias estadísticas

La evolución del tráfico operado por NOVATRANS puede observarse en las cifras del cuadro Nº 1.

- (1) El 76 % le corresponde a la técnica canguro.
- (2) El 18 % es de tráfico internacional, habiéndole correspondido al mismo, en el

Comparando las cifras de tn-km del Cuadro Nº 1 y Nº 3 (Ferrocarril), para el año 1971, se observa que la participación de NOVATRANS (o técnicas combinadas ruta-ferrocarril) no es demasiado significativa respecto al total ferroviario (del orden del 2 %). No obstante, es indudable que la adopción y desarrollo de técnicas de transporte combinado ruta-ferrocarril, particularmente en ejes con alta densidad de tráfico, aportan soluciones concretas traducibles en beneficios económicos directos e indirectos, dado que se aprovecha al máximo las características técnico-

Cuadro Nº 3

Año	Millones de tn-km			
	Automotor	Ferrocarril	Oleoductos	Vías Navegables
1960	31.000	57.000	2.000	11.000
1963	37.000	63.000	8.000	12.000
1967	54.000	63.000	24.000	14.000
1970	66.900	70.400	29.000	14.200
1971	71.000	67.000	30.100	13.800

Fuente: Ministerio de Transportes - Francia.

año 1963, solamente el 0,02 % del total de tn. transportadas.

Tomando número índice año 1963 = 100, la evolución de las tn-km transportadas por diferentes medios y utilizando las tecnologías antes descritas, se consignan en el cuadro Nº 2.

A los efectos de comparar las tn-Km transportadas por la empresa NOVATRANS, utilizando la combinación de automotor-ferrocarril, con el total del tráfico que corresponde a cada uno de los medios, se discrimina en el cuadro Nº 3 las cifras correspondientes.

Se observa en el mismo que el transporte automotor a más que duplicado, prácticamente en el decenio 1962/71, sus tn-km. produciéndose a partir del último año del período un sustancial cambio cualitativo por cuanto por primera vez el tráfico del transporte automotor, respecto al ferroviario, es mayor.

operativas de cada medio, contribuyendo a materializar una efectiva coordinación del transporte.

Para nuestro país, siendo la problemática energética (tanto en el orden internacional como nacional) la que irá implícitamente definiendo futuras políticas de inversión en materia de infraestructura y equipos de transporte, pareciera altamente beneficioso instrumentar medidas basadas en el consenso de transportistas por automotor y la Empresa de Ferrocarriles Argentinos, tendientes a dar un marcado incremento a este tipo de transporte que, salvo contadas excepciones, no ha tenido hasta el presente un desarrollo significativo. Ello traerá aparejado no solamente ahorro en términos de costos de explotación, sino que los beneficios implícitos en la utilización de técnicas de transporte combinadas repercutirán significativamente en otros aspectos sociales y económicos directa e indirectamente ligados al sector Transporte.

Sobre el Mecanismo del Proceso de Compactación de los Suelos

Por el Dr. Celestino L. Ruíz y la Ingra. Yolanda R. de Ronchi *

INTRODUCCION

Desde los primeros trabajos de Proctor (1933) se conoce por vía experimental que existe dependencia del grado de compactación alcanzado por los suelos con el contenido de humedad y la magnitud del trabajo mecánico aplicado, tanto en las condiciones de laboratorio como en las de obra, cuando se opera con otros factores constantes. Los ensayos de compactación que permiten poner en evidencia la relación entre estas variables son empíricos y su técnica normalizada para obtener resultados reproducibles que permitan fijar límites de referencia para juzgar la eficiencia de un proceso de compactación en las obras.

En dichos ensayos no se pretende generalizar resultados y es necesario realizar diferentes pruebas para describir el comportamiento de un material. Tal es el caso entre otros del Proctor S^t. (AASHTO-T99), Proctor Modificado (AASHTO-T180), Proctor Reforzado (Vialidad Nacional), en los que se aplican diferentes magnitudes de un mismo tipo de trabajo lo que permite trazar los conocidos diagramas de compactación (Graf. N° 1).

Entendemos que un avance en este campo sería expresar las variables en juego en magnitudes con claro sentido físico, relacionarlas matemáticamente y establecer los parámetros físicos necesarios para describir el comportamiento de un suelo sometido a cualquier juego de los factores determinantes de la compactación. Si ello es posible se podrá relacionar cuantitativamente distintos ensayos y predecir el comportamiento de un material en otras condiciones que las empleadas en una experiencia.

Para lograr este propósito se pueden seguir dos orientaciones diferentes: a) Correlacionar estadísticamente un gran número de resultados experimentales; b) sentar una teoría de la compactación que explique el comportamiento de los materiales, en términos de conceptos y leyes físicas fundamentales, estableciendo las características o parámetros que lo determinan. En este último caso una experimentación reducida puede ser aval suficiente, asociada con la interpretación de hechos experimentales conocidos. En esta contribución al estudio de la compactación se utilizará la orientación indicada en segundo término.

Variables

Las variables que entran en juego en la

compactación de los suelos según las técnicas normalizadas son:

- Trabajo mecánico por unidad de volumen de suelo compactado en Kg.cm/cm³ designado con W. Debe tenerse presente la influencia del tipo de trabajo empleado (golpes, amasado, presión estática, etc.) que determina distinta orientación de las partículas, con modificación de las características mecánicas de los suelos para un mismo estado de compactación.¹ En la parte experimental sólo se ha considerado la compactación por impactos del método Proctor y sus modificaciones; a pesar de ello se considera que con otros tipos de trabajo de compactación pueden modificarse el valor de los parámetros que se indican más adelante.
- Desde el punto de vista de la compactación lo que interesa es la composición en volumen lograda, es decir el volumen sólido de las partículas (incluida su porosidad interna), agua y aire en la unidad de volumen total.

Para definir un estado de compactación de cualquier suelo es necesario conocer por lo menos la relación entre los volúmenes de la fase sólida y fluida (agua + aire) y la de los componentes de esta última. Considerando la unidad de volumen total, la porosidad (n) mide el volumen de la fase fluida siendo 1 - n el de la fase sólida. El grado de saturación (S) indica la relación entre el contenido volumétrico de agua (H) y la po-

rosidad, $S = \frac{H}{n}$. Se comprende que el

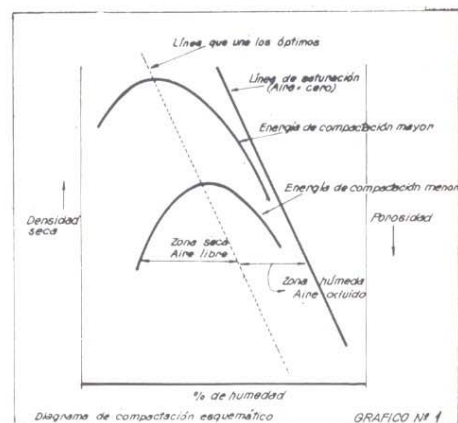
volumen de aire es $A = n - H$.

En la práctica se utiliza para definir un estado de compactación la llamada "densidad" seca y la humedad porcentual en peso referida al peso de suelo seco. Su utilización directa implica introducir la variable peso específico de las partículas, inherente a cada suelo, no informando esos dos parámetros, directamente sobre el contenido de aire.

Diagramas de compactación

En el Gráfico N° 1 se presenta un esquema general de los diagramas de compactación experimentales. Es bien conocido que en todas las curvas, la rama húmeda se acerca sin alcanzarla a la línea de saturación teórica libre de aire, por lo tanto en todo suelo compactado existe una fase gaseosa que ocupa varias unidades porcentuales del volumen to-

tal. Por otra parte, la línea que une los puntos representativos de los pares de valores de densidad seca máxima y humedad óptima que corresponden a cada trabajo de compactación, tiene una marcha paralela aproxi-



madamente a la línea de saturación teórica. Ello indica que el volumen de aire en los distintos estados óptimos se mantiene en un ámbito restringido del orden del 4-6 por ciento del volumen total en la mayoría de los suelos. Estos hechos experimentales llevan necesariamente a establecer que en los estados de compactación comprendidos entre la línea de óptimos y la de saturación (zona húmeda), existe un cierto volumen de aire incapaz de drenar en las condiciones del proceso de compactación, al que denominamos "aire ocluido".

La base fundamental de la interpretación del proceso de compactación aquí formulada, es que en la zona seca a la izquierda de la línea de óptimos existe "aire libre", capaz de drenar fácilmente hacia el exterior por ocupar poros intercomunicados entre sí y con el exterior permitiendo la reducción de porosidad. La zona húmeda comienza en la línea de óptimos porque en ella se dan las condiciones para que el aire pase al estado ocluido incapaz de drenar con igual facilidad determinando la inversión de la marcha de la curva de compactación. Paralelamente, la presencia de aire ocluido incorpora un componente de perfecta elasticidad volumétrica frente a los esfuerzos de compresión que incrementa la compresibilidad elástica del material y por lo tanto la recuperación de volumen al retirar las cargas actuantes.

Mecanismo de la compactación

a) Suelos ideales

Para establecer una teoría que interprete el mecanismo de la compactación en base a

* Colaboraron: el Ing. Boris Dorfman y el Téc Oscar Llano.

fenómenos físicos generales, consideremos en primer término suelos ideales compuestos por distintos sistemas de esferas iguales de un material rígido mojado por el agua. En dichos suelos ideales los distintos estados de compactación corresponden a diferentes tipos de empaquetamiento de las esferas y las relaciones volumétricas entre las fases componentes de cada sistema son susceptibles de cálculo geométrico y han sido estudiadas por numerosos investigadores.

La porosidad (n) de un determinado estado de compactación de un suelo ideal depende de la cantidad de puntos de contacto de cada esfera con las que la rodean. El empaquetamiento más suelto posible con contacto entre las esferas es el cúbico en el cual cada esfera se contacta con otras seis y $n = 0,4764$ (Gráfico N° 2a); el más cerrado es el hexagonal con doce contactos para cada es-

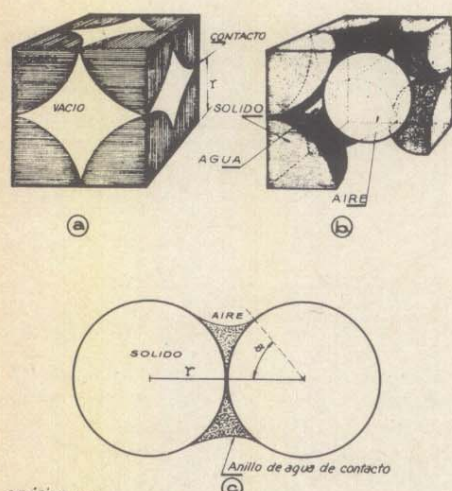


GRÁFICO N° 2
a - CELULA UNITARIA DE UN SUELO IDEAL CON EMPAQUETAMIENTO CUBICO (6 CONTACTOS PARA CADA ESFERA) Y $n = 0,4764$.
b - CON SU CONTENIDO LIMITE DE AGUA DE CONTACTOS -
c - VISTA LATERAL ESQUEMATICA DE UN ANILLO DE AGUA DE CONTACTOS ENTRE DOS ESFERAS (FISHER)

fera y $n = 0,2595$. Para estados de compactación intermedios la porosidad cae hiperbólicamente dentro de estos límites, con el aumento del número de contactos de cada esfera.²

En cualquier estado de compactación un suelo ideal es capaz de retener hasta cierta cantidad máxima de agua no drenable por acción de la gravedad. Ella se dispone en forma de anillos cónicos aislados iguales alrededor de cada contacto (agua de contactos o pendular en la nomenclatura de Verluj). Por arriba del contenido máximo de agua de contactos el exceso drena hacia abajo; en cambio si el suelo ideal con dicho contenido de humedad toma contacto por su cara inferior con un nivel de agua libre se produce succión de la misma hasta alcanzar el equilibrio capilar. El contenido de agua, en este último caso, dependerá de la distancia del punto considerado hasta el nivel de agua libre (agua capilar).

Fisher (1925-1930) y Haines (1926-1930) hicieron un exhaustivo análisis teórico de la geometría de los anillos aislados de agua no drenable en cada contacto². En esencia, si se coloca una gota de agua suficientemente pequeña en el punto de contacto entre dos

esferas mojables por el agua, se forma alrededor del mismo un anillo cónico con la cumbre hacia adentro como se muestra en el gráfico N° 2c. La superficie aire/agua tiene dos radios principales de curvatura cuyo valor aumenta con el volumen del anillo. De acuerdo a la ley de Laplace la tensión superficial actúa como una fuerza en la dirección tangencial a la superficie de las esferas, determinando una presión hidrostática negativa (succión) que retiene el anillo de agua contra la acción de la gravedad. Las esferas quedan apretadas como si existiera una presión exterior positiva equivalente a la succión (cohesión aparente). La existencia de los anillos de agua de contactos en suelos reales (arenas) después del drenado se observa en las magníficas fotografías de Derjaguin y Melnikova³.

Los estudios de Fisher llegan a la conclusión que el volumen máximo de agua en cada anillo de contacto es proporcional al volumen de las esferas, o sea a r^3 .

$$V_c = 2 \pi r^3 (\sec \theta - 1)^2 \left(1 - \frac{\pi}{2} - \theta \right)$$

$$\text{tg } \theta = f(\theta) r^3 \quad (I)$$

donde:

V_c = volumen de agua en cada contacto

r = radio de las esferas

θ = ángulo formado por las líneas que unen los centros de las esferas y uno de los centros con el borde del anillo (Gráfico N° 2c)

$f(\theta)$ = coeficiente de proporcionalidad cuyo valor depende de θ , y éste de la mojabilidad de la superficie de las esferas (menores θ para bajos ángulos de contacto).

El contenido de agua de contactos máximo que corresponde a un cierto volumen sólido de esferas será $N \times V_c$, siendo N el número de contactos totales. Para igual empaquetamiento de las esferas el contenido de agua de contactos será el mismo cualquiera sea el tamaño de las esferas, dado que para esferas grandes N será menor y V_c mayor o viceversa para esferas pequeñas. En otras palabras el contenido de agua de contactos que corresponde a un cierto volumen sólido, es independiente del tamaño y número de las esferas que lo constituyen pero dependiente del tipo de empaquetamiento, es decir del número de contactos de cada esfera con las que la rodean y por lo tanto de la porosidad del sistema.

De lo expresado surge que el contenido máximo de agua de contactos será proporcional al volumen sólido que corresponde a cada tipo de empaquetamiento, expresado como número de contactos por cada esfera o su correspondiente porosidad.

$$(1 - n) = m \cdot N \cdot V_c = m \cdot H \quad (II)$$

n = porosidad (volumen de poros en la unidad de volumen total)

H = volumen de agua de contactos en la unidad de volumen total = $N \cdot V_c$

m = coeficiente de proporcionalidad

$1 - n$ = volumen sólido en la unidad de volumen total.

Considerando dos estados de compactación de un suelo ideal, cuyas correspondientes porosidades sean $n_1 > n_2$ y los contenidos máximos de agua de contactos $H_1 < H_2$, responderán a la relación:

$$(1 - n_2) - (1 - n_1) = n_1 - n_2 = m (H_2 - H_1) \quad (III)$$

La (III) muestra que el decrecimiento de las porosidades es proporcional al incremento volumétrico del contenido máximo de agua de contactos y en consecuencia a la reducción del volumen de aire en los sistemas.

La relación lineal decreciente entre porosidades y humedades impuesta por la (III) será válida para cualquier suelo ideal conteniendo exclusivamente agua de contactos y bajo el supuesto que la permeabilidad al aire del suelo permita el drenaje del mismo disipando cualquier sobre presión de erminada por la reducción de porosidad. En consecuencia la validez de la (III) debe ser necesariamente restringida hasta cierto estado, donde las sucesivas reducciones de porosidad y sus correspondientes aumentos del volumen de agua de contactos, determinen que los anillos aislados tomen contacto entre sí dando origen a una red continua de agua con burbujas de aire dentro del agua. El estado pendular del agua pasa así al funicular en la nomenclatura de Verluj, y paralelamente al aire libre capaz de drenar fácilmente por ocupar poros comunicados entre sí y con el exterior, pasa al estado de ocluido en forma de burbujas aisladas (Gráfico N° 2b) que sólo pueden drenar con más dificultades o bien junto con el agua. Alcanzando este límite el suelo está "saturado" con respecto a la fase fluida (agua más aire ocluido).

Todo estado límite de compactación en un suelo ideal con poros iguales implica en cada poro una relación volumétrica determinada entre aire y agua, en consecuencia un grado de saturación constante en el total determinados por la interrelación de los parámetros en juego.

$$S_{opt} = \frac{H_{opt}}{n_{opt}} = \frac{H_{opt}}{H_{opt} + A_{opt}};$$

$$\frac{1 - S_{opt}}{S_{opt}} = \frac{A_{opt}}{H_{opt}} = \text{const.} \quad (IV)$$

donde:

S_{opt} = grado de saturación en un estado límite

A_{opt} = volumen de aire en el mismo estado en la unidad de volumen total

H_{opt} = volumen de agua en el mismo estado para la unidad de volumen total

n_{opt} = porosidad en el mismo estado.

Estas consideraciones permiten formular una interpretación del mecanismo del proceso de compactación que explica la marcha de las curvas que relacionan densidades secas con

humedades para cada trabajo de compactación, en base al encadenamiento de las etapas siguientes:

a) **Mojado.** La curva de compactación comienza con un contenido de humedad superior a cierto mínimo. Este es el agua necesaria para mojar la superficie sólida con un espesor de película del orden molecular energicamente unida al suelo. Para contenidos de humedad inmediatamente superiores a dicho mínimo, el agua en exceso se distribuye en forma de anillos aislados en cada contacto con desarrollo de cohesión aparente.

b) **Compresión.** Las cargas aplicadas determinan esfuerzos de compresión y corte. Los primeros actúan simultáneamente sobre las fases sólidas y fluida (aire + agua). En la primera se produce desplazamiento de las partículas hacia un empaquetamiento más cerrado y por lo tanto con mayor número de contactos para cada una. En la fase fluida actúan comprimiendo el aire, la sobrepresión determina drenaje del aire libre hacia el exterior, que se cumple con mayor o menor velocidad de acuerdo a la permeabilidad al aire del sistema, disipándose en mayor o menor grado la sobrepresión inicial. Paralelamente el volumen de agua presente se subdivide en un número mayor de anillos de volumen individual menor y en consecuencia menores radios de curvatura de los meniscos que implican mayor succión y cohesión aparente. Dado que toda sobrepresión del aire con respecto a la atmosférica se opone a la formación de meniscos de menor radio de curvatura, se comprende que la formación de éstos será tanto más completa cuanto mayor haya sido la disipación de la sobrepresión. Las características inherentes al material que regulan las variables fundamentales son: repartición de los esfuerzos de compresión entre las fases sólida y fluida y la permeabilidad al aire del sistema.

c) **Recuperación.** Al cesar la acción de los esfuerzos de compresión el suelo sufre la recuperación de volumen inherente a la elasticidad de volumen propia de la fase sólida. Paralelamente expansión del aire cuando la disipación de la sobrepresión no ha sido completa. Se opone a la recuperación de volumen la mayor cohesión determinada por los nuevos anillos de agua de contactos que actúan como si existiera una mayor sobrepresión externa. El juego de estos fenómenos determina un nuevo estado de equilibrio del sistema y el la magnitud de la reducción de volumen permanente.

d) **Máximo de densidad seca y humedad óptima.** Si la reducción de porosidad y la cantidad de agua presente determina que se alcance la relación aire/agua límite (para la presencia de anillos de agua de contactos aislados en la etapa de compresión), se forma una red continua de agua con aire ocluido en for-

ma de burbujas aisladas en cada poro (Gráfico Nº 2b) retenida por la sola acción de los meniscos externos del conjunto. Se comprende que alcanzado este estado límite el suelo sufre un neto cambio de propiedades por la presencia de un componente perfectamente elástico (aire ocluido), cuya presencia implica que la permeabilidad al aire tienda a valores mínimos dado que las burbujas solo pueden drenar junto con el agua o bien deslizándose dentro del conjunto. El estado límite queda caracterizado por una relación aire/agua constante en cada poro de un suelo ideal y por lo tanto en el conjunto; ello implica grado de saturación constante (ecuación IV). El contenido volumétrico de agua (H_{opt}) será determinado por los distintos pares de valores de densidad seca (porosidad) y humedad porcentual en peso que corresponden a los distintos estados límites obtenidos con diferentes trabajos de compactación.

$$H_{opt} = D_s \cdot \frac{i}{100} = (1 - n_{opt}) \cdot \delta \cdot \frac{i}{100} \quad (V)$$

H_{opt} = humedad en volumen para la unidad de volumen total (cm^3/cm^3) en el estado límite

D_s = peso seco de la unidad de volumen total máximo (g/cm^3)

δ = id. del material sólido incluida su porosidad interna (g/cm^3)

n_{opt} = porosidad mínima

i = contenido de agua óptimo en peso para 100 partes de suelo seco.

e) **Rama húmeda.** Cuando el contenido de agua es superior al que corresponde al estado límite para una cierta energía de compactación, antes de llegar a aplicar la totalidad de ésta, el suelo alcanza otro estado límite que corresponde a un trabajo de compactación menor con la correspondiente mayor porosidad (o menor densidad seca). En consecuencia la diferencia entre ambos trabajos actúa sobre un material "saturado" con respecto a la fase fluida (agua + aire ocluido), los esfuerzos de compresión actúan en mayor grado sobre dicha fase determinando compresión del aire ocluido (ley de Boyle) y aumento de su solubilidad en el agua (ley de Henry), fenómenos reversibles que determinan marcada recuperación elástica de volumen. El único drenaje de aire posible es por deslizamiento con coalescencia de las burbujas. Ello explica que la porosidad final con el trabajo total solo pueda ser ligeramente inferior a la lograda con el trabajo menor que determina el estado límite intermedio, y que las curvas en la zona húmeda se acerquen sin alcanzarla a la línea de saturación teórica sin aire.

f) **Volumen del aire ocluido.** Las consideraciones anteriores llevan a la conclusión que después de alcanzado el estado

límite descrito en d), a todo incremento de humedad volumétrica le correspondería igual aumento de porosidad, si el drenaje del aire ocluido fuera nulo. Esto sólo puede ser cierto en una primera aproximación dado que la presión del aire en el interior de las burbujas debe ser necesariamente mayor que la que actúa sobre el agua que la rodea. La interfase curva agua/aire de las burbujas se asimila a una membrana elástica en tensión que confina el aire creando

un exceso de presión de $\frac{2\sigma}{R}$ siendo σ

la tensión superficial agua/aire y R el radio de la burbuja, necesariamente menor que el del poro que la contiene o de las esferas que lo determinan. De acuerdo a la ley de Boyle este exceso de presión comprime el volumen de aire libre que da origen a cada burbuja, con una reducción de volumen que sólo es de importancia para las burbujas pequeñas que pueden existir cuando el tamaño de las esferas es reducido, tal como se indica en el cuadro siguiente:

Diámetro en micrones de la burbuja	Sobrepresión Kg.cm ⁻² en el interior de la burbuja	Vol. de la burbuja
		Vol. de aire libre que la forma
2000	0,0015	0,99
74	0,041	0,96
50	0,060	0,94
5	0,60	0,62
2	1,5	0,40

Relación entre el diámetro de las burbujas de aire y sobrepresión interna.

Por lo tanto el grado de saturación en el estado límite descrito en d) para esferas de distinto tamaño sólo será rigurosamente constante si el mayor valor de la sobrepresión de los suelos ideales con esferas pequeñas se corrige por la sobrepresión del aire. Igualmente la sobrecompactación en la rama húmeda puede determinar desplazamiento con coalescencia de las burbujas de aire ocluido formando menor número de burbujas mayores; la masa de aire queda así constante pero su volumen será mayor en el caso de ser nulo el drenaje del aire ocluido.

Mecanismo de la compactación — b) Suelos reales

Al generalizar lo dicho con respecto a los suelos ideales en los reales debe tenerse presente las diferencias fundamentales entre ambos, que se pasan a mencionar.

La forma de las partículas de los suelos reales se aparta en distinto grado de la esférica y en consecuencia también la de los anillos de agua en cada contacto. Por otra parte,

la forma de los anillos dependerá de la **orientación** relativa de las partículas, determinada por el tipo de trabajo de compactación aplicado (golpes, amasado, presión estática, etc.). Simples consideraciones geométricas indican que la superficie contactada para un mismo volumen de partículas será tanto mayor cuanto más apartada de la esférica sea la forma de las partículas consideradas y mayor el paralelismo en su distribución.

Para un mismo volumen sólido y forma de las partículas, el número de contactos en determinado tipo de empaquetamiento será mayor en los suelos reales de **granulometría graduada que en los de granulometría uniforme**. Es bien conocido que en los suelos de mayor uniformidad de tamaño, el contenido de humedad tiene menor influencia en la compactación, que se refleja en curvas de forma más achatada comparativamente con suelos similares graduados.

Además de la forma, orientación y uniformidad de tamaño de las partículas de los suelos reales, debe tenerse presente que las fracciones finas son **superficialmente activas** y por lo tanto capaces de retener e inmovilizar agua por adsorción (orientación polar) la que realmente actúa como un incremento de su volumen sólido real. Esta agua está retenida por energías muy elevadas y el agua de contactos sólo puede existir cuando el contenido de humedad supera el necesario para saturar la capacidad de adsorción propia de cada suelo.

Los suelos ideales son monodispersos, los reales son en mayor o menor grado heterodispersos, ello obliga a considerar que las medidas de porosidad u otra característica son valores medios representativos de un número de valores individuales distintos. En los suelos reales no cabe esperar cambios bruscos de sus características, por ejemplo en el pasaje del agua de contactos aislados a la formación de una red continua de agua funicular, o bien en la permeabilidad al aire de los mismos.

Todo ello conduce a que las consideraciones antes mencionadas para los suelos ideales pueden servir de guía para interpretar el mecanismo de la compactación de los suelos reales **sólo en la medida que la experimentación lo justifique** y siempre que las desviaciones en su comportamiento con respecto a aquellos, respondan por lo menos cualitativamente, a las diferencias indicadas. Con este criterio se ha encarado la parte experimental estableciendo en qué grado se cumplen con suelos reales las exigencias impuestas por el mecanismo de la compactación deducido para los suelos ideales. Para ello se ha recurrido a informaciones de la literatura y a los resultados obtenidos compactando con cinco energías de compactación diez suelos de características distintas que se indican en el cuadro Nº 1 y gráficos Nos. 3 y 4. Se llama la atención que el suelo Nº 5, no plástico y granulométrico más uniforme con forma de partículas tendiendo a esférica, es el que más se acerca a los suelos ideales. Lo sigue en el mismo sentido el suelo Nº 4.

CUADRO Nº 1
CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS

Número	Clasificación AASHO	L. L.	I. P.	Pasa tamiz Nº			Coeficiente uniformidad	Origen o formado por
				10	40	200		
1	A2-4(0)	16	N.P.	100	99	31	1.95	Suelo de La Pampa con 35 % arena Río Paraná
2	A4(6)	26	8	100	100	57	2.80	La Pampa
3	A4(3)	18	1	100	100	45	3.10	Sgo. del Estero
4	A4(4)	21	3	100	99	43	1.70	Chaco
5	A4(1)	24	N.P.	100	100	49	1.30	Junín
6	A4(4)	17	3	100	98	57	2.40	Chaco
7	A6(7)	33	14	100	100	74	4.20	Suelo de La Pampa con 15 % de Nº 9
8	A6(12)	40	21	100	100	83	3.60	Suelo de La Pampa con 46 % de Nº 9
9	A7(19)	57	33	100	100	95	3.50	Buenos Aires
10	A7(17)	52	26	100	98	85	2.80	Entre Ríos

Para cada suelo se ha preparado el correspondiente diagrama de compactación en base a las cinco curvas experimentales y calculado las porosidades y humedades (volumen de agua por unidad de volumen total) que corresponden a cada punto.

Permeabilidad al aire y compactación

El mecanismo de la compactación descripto implica que el coeficiente de permeabilidad al aire de los suelos reales a lo largo de la rama seca, debe decrecer tendiendo a valores mínimos al acercarse a la densidad máxima y humedad óptima o a la rama húmeda; es decir cuando se produce el pasaje del aire del estado libre, ocupando poros comunicados en-

tre sí y con el exterior, al estado ocluido como burbujas aisladas dentro del agua.

Este tema ha sido estudiado experimentalmente en un trabajo anterior (4) y en el gráfico Nº 5 se reproducen los valores hallados que responden a lo esperado.

En el mismo gráfico se observa que el coeficiente de permeabilidad al aire de los suelos depende de su naturaleza, siendo marcadamente inferior para los arcillosos.

Compresión del aire

Los esfuerzos de compresión aplicados al compactar deben determinar un incremento positivo de la presión de poros por compresión del aire, la sobrepresión se disipa rápi-

damente en la rama seca por drenaje del mismo, cosa que ocurre mucho más lentamente e incompletamente en la rama húmeda.

Mc Rae y Turnbull ⁵ en su discusión sobre la teoría de Obsen (ib. Marzo de 1963) han hallado experimentalmente que cada impacto determina un incremento positivo de la presión de poros en los suelos reales por compresión del aire. En el comienzo de la rama seca dicho incremento se disipa rápidamente en tiempos del orden de 1/100 de segundo, más lentamente cerca del óptimo y no llega a ser total en la rama húmeda. Los autores mencionados piensan que la permeabilidad al aire cumple un rol básico en los procesos de compactación, idea concordante con el mecanismo propuesto.

Lambe ⁶ ha registrado que la presión de poros negativos de los suelos arcillosos compactados (presión de poros residual) disminuye a lo largo de la curva de compactación tendiendo a anularse en la rama húmeda. Ello muestra que la disipación de la sobrepresión del aire es cada vez menor lo que concuerda con lo indicado por Mc Rae y Turnbull.

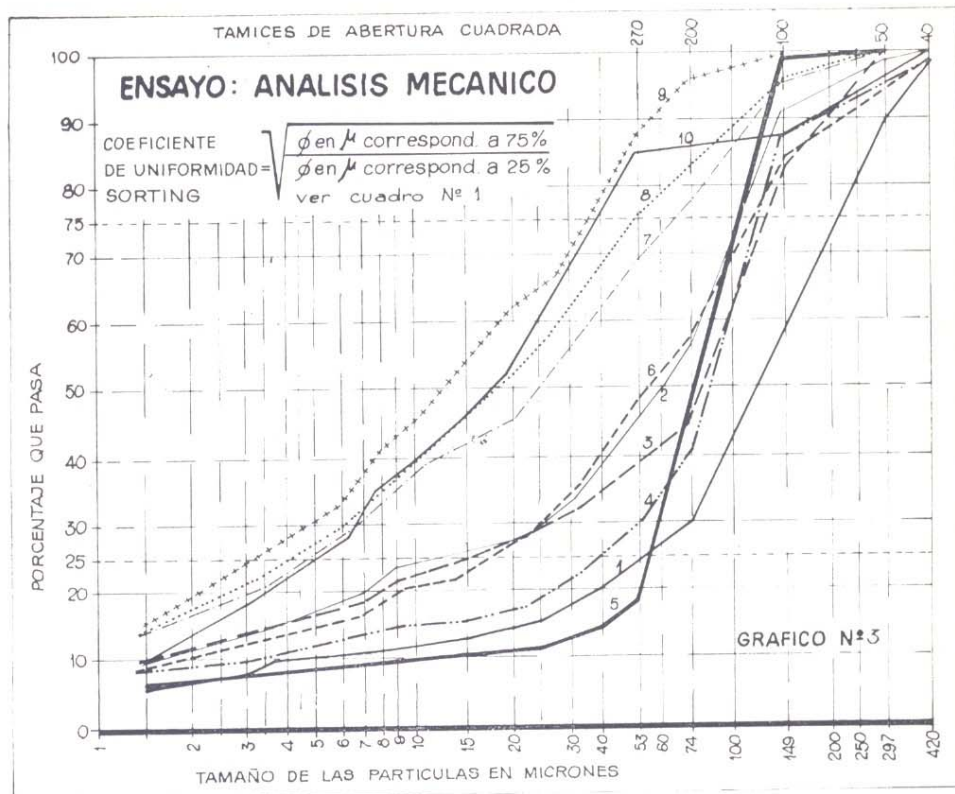
Recordamos aquí que la influencia de la fase gaseosa en el comportamiento de los suelos bajo esfuerzos de corte ha sido mencionada hace años por Hamilton ⁷ y posteriormente por otros investigadores como Wagner ⁸. Igualmente, los trabajos de Bishop y otros autores han mostrado su importancia en la aplicación del principio de "esfuerzo normal efectivo" a los suelos no saturados y en el trabajo antes citado (4) su relación con la compresibilidad elástica de los mismos.

Grado de saturación en las densidades secas máximas y humedades óptimas

El mecanismo de la compactación indicado exige que en todo estado límite de compactación de los suelos ideales debe existir una relación volumétrica "aire/agua contactos" constantes; en consecuencia el grado de saturación también lo será en todos los pares de valores de densidad seca y humedad óptima que determinan la línea de óptimos. Debe tenerse presente que dicha constancia exige corregir el volumen de aire medido por la sobrepresión interna de las burbujas de acuerdo con su tamaño.

Es un hecho conocido y ratificado en nuestras experiencias (ver cuadro N° 2) que el grado de saturación de los suelos reales (sin corrección) en los estados que corresponden a las líneas de óptimos, se mantiene en un ámbito restringido. Para los suelos granulares graduados el S_{opt} es del orden de 0,73, en los cohesivos del orden de 0,83 y algo mayor para los suelos netamente arcillosos.

Relacionando la naturaleza de los suelos ensayados con los valores de S_{opt} , se observa en el cuadro N° 2 que los suelos de granulometría más uniforme y reducida o nula plasticidad (Suelos N°s. 4 y 5) acusan los menores valores de S_{opt} , le sigue el N° 1 no plástico y más graduado y los restantes se



ordenan con S_{opt} crecientes al crecer la plasticidad lo que implica mayor contenido y/o actividad de las fracciones finas, en consecuencia presencia de agua adsorbida por orientación polar que se suma al agua de contactos.

El ordenamiento de los S_{opt} hallado se explica teniendo presente que la constancia del S_{opt} de los suelos ideales, está supeditada en

los suelos reales a su naturaleza por las siguientes razones:

- En los suelos granulares de reducida superficie específica y actividad superficial por unidad de superficie, el volumen de agua adsorbida es muy pequeño y puede aceptarse que el agua en las ramas secas es íntegramente agua de contactos, cumpliéndose en primera aproximación la ecuación (IV), es decir $S_{opt} = \text{const.}$
- Los suelos granulares de granulometría más uniforme, tienen menor número de contactos para cada partícula que los graduados para igual volumen sólida y empaquetamiento, de ahí que posean menores S_{opt} y más cercanos al que correspondiera a suelos ideales. Para un $S_{opt} = 0,66$, la relación aire/agua en el óptimo

$$\text{mo sería } \frac{1 - 0,66}{0,66} = 0,515, \text{ es decir}$$

que el aire pasa al estado ocluido cuando ocupa aproximadamente la tercera parte de la porosidad del sistema. Para un suelo granular graduado con mayor número de contactos y en consecuencia mayor volumen de agua de contactos, un $S_{opt} = 0,73$ corresponde a una relación aire/agua = 0,37.

- En los suelos cohesivos, de elevada superficie específica y actividad superficial unitaria, el volumen de agua total en los óptimos estará constituida por:

$$H_{opt} = H_a + H_e$$

siendo H_a el volumen de agua adsorbida variable propio para cada suelo, y H_e el volumen

CLASIFICACION AASHO	NUMERACION	VALORES EN EL OPTIMO DE	TAMANO DE COMPACTACION 1500 g/s				
			3,6	6,06	8,5	14,5	27,5
			W1	W2	W3	W4	W5
			METODO AASHO				
			T 99 A			T 100 A	
			Gal/seg				
			15	25	35	15	25
A2-4(9)	1	S	0,72	0,72	0,74	0,73	0,73
		K	0,027				
A4(6)	2	S	0,81	0,80	0,80	0,81	0,82
		K	0,050				
A4(3)	3	S	0,76	0,80	0,80	0,77	0,84
		K	0,026				
A4(4)	4	S	0,70	0,68	0,67	0,68	0,63
		K	0,023				
A4(1)	5	S	—	0,67	0,67	—	0,66
		K	0,019				
A4(4)	6	S	0,77	0,80	0,81	0,80	0,81
		K	0,031				
A6(7)	7	S	0,82	0,82	0,83	0,85	0,86
		K	0,032				
A6(12)	8	S	0,84	0,85	0,85	0,72	0,74
		K	0,052				
A7(11)	7	S	0,87	0,88	0,87	0,70	0,72
		K	0,036				
A7(12)	10	S	0,83	0,84	—	0,85	0,84
		K	0,034				

CUADRO N° 2

Grado de saturación $S_{opt} = \frac{H_{opt}}{H_a + H_e}$ y coeficiente de compactación por trabajo $(K = \frac{H_{opt}}{H_a})$ de los diferentes suelos del cuadro N° 1 con las humedades óptimas que corresponden a cada trabajo.

relación lineal decreciente entre porosidades y humedades en volumen impuesta por la (VIII) y que los valores del coeficiente m de cada suelo con distintos trabajos de compactación se mantienen en un ámbito restringido aceptable teniendo presente la precisión de las medidas en este tipo de ensayo, por lo cual puede definirse un valor medio para cada suelo del coeficiente de compactación por humedad que expresa la influencia del agua en el proceso de compactación.

La influencia de la naturaleza de los suelos en la magnitud del coeficiente m depende fundamentalmente de dos características: a) uniformidad granulométrica; b) actividad superficial que le permite a las partículas retener por orientación polar una envoltura de agua adsorbida antes de que puedan formarse los anillos en cada contacto. Fundamenta lo dicho los bajos valores de m para los suelos Nos. 4 y 5 de reducida o nula plasticidad y granulometría más uniforme que se apartan del resto, y el ordenamiento decreciente del coeficiente m de los restantes al crecer su plasticidad. La uniformidad del tamaño de las partículas resulta ser el factor predominante cuando se consideran suelos poco o nada plásticos dado que los suelos friables y graduados Nos. 1 y 3 se ordenan junto con los cohesivos restantes.

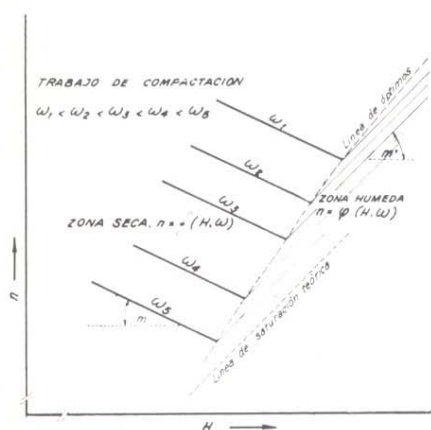


GRÁFICO N° 7
Gráfico esquemático de las relaciones entre porosidad (n) y humedades en volumen (H) con distintos trabajos de compactación (W) para los suelos del Cuadro N° 1.

La formación gradual de una red continua de agua con burbujas de aire ocluido, con desaparición de los meniscos aislados de los anillos de contactos internos, determina una permeabilidad al aire cada vez menor y en consecuencia la existencia de un componente perfectamente elástico que se opone a la reducción de porosidad. Se llega así al límite de validez de la ecuación (VIII) dado que a todo incremento de humedad en volumen corresponde ahora un incremento de porosidad por tender a cero el drenaje del aire. En consecuencia existirá una nueva función:

$$\text{Zona húmeda; } n = \varphi(H, W) \quad (\text{IX})$$

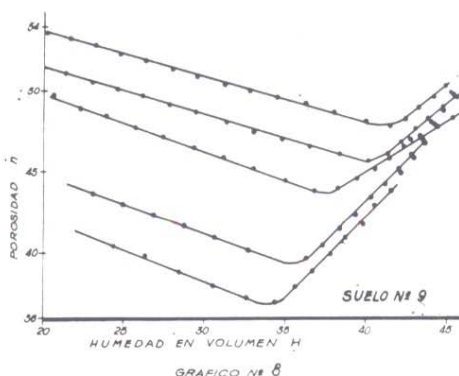
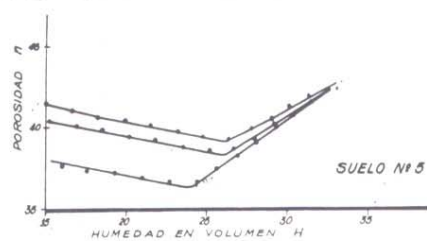
cuya derivada parcial para $W = \text{constante}$ será positiva y su valor dependerá de la permeabilidad al aire residual con coalescencia y desplazamiento parcial de las burbujas hacia el exterior.

Clasificación AASHO	Númeración	Valores de m (Zona Seca)				
		Trabajo de Compactación Kg. cm/cm ³				
		$\omega 1$	$\omega 2$	$\omega 3$	$\omega 4$	$\omega 5$
A2-4 (1)	1	0.50	0.42	0.44	0.54	0.52
A4 (6)	2	0.48	0.45	0.46	0.44	0.41
A4 (3)	3	0.53	0.55	0.56	0.51	0.53
A4 (4)	4	0.17	0.12	0.11	0.10	0.16
A4 (1)	5	—	0.21	0.21	—	0.15
A4 (4)	6	0.40	0.39	0.38	0.50	0.45
A6 (7)	7	0.48	0.46	0.46	0.42	0.43
A6 (12)	8	0.38	0.38	0.36	0.42	0.41
A7 (19)	9	0.29	0.30	0.33	0.36	0.37
A7 (17)	10	0.28	0.20	—	0.31	0.35

Valores de m' (Zona Húmeda)						
A2-4 (1)	1	0.85	0.77	0.86	0.88	0.87
A4 (6)	2	0.80	0.62	0.75	0.92	0.89
A4 (3)	3	0.77	1.15	1.05	1.14	1.15
A4 (4)	4	0.57	0.77	1.02	1.23	0.87
A4 (1)	5	—	0.54	0.60	—	0.69
A4 (4)	6	0.80	1.04	1.08	0.98	1.07
A6 (7)	7	0.57	0.62	1.10	1.45	1.20
A6 (12)	8	0.48	0.51	0.90	1.52	1.63
A7 (19)	9	0.77	0.77	0.73	1.02	0.88
A7 (17)	10	0.64	0.93	—	0.94	0.87

CUADRO N° 3

Coefficiente de compactación por humedad a trabajo constante ($m = \frac{\delta n}{\delta H} \omega$) para los distintos suelos del Cuadro N° 1.



Relación entre porosidades (n) y humedades en volumen (H) con distintos trabajos de compactación (W) para los suelos N° 5 y 9 del Cuadro N° 1.

$$\text{Zona húmeda; } W = \text{const. } \left(\frac{\delta n}{\delta H} \right)_W = m' (X)$$

Integrando la (X) entre dos estados de la zona húmeda para un mismo tipo y magnitud de trabajo de compactación se tiene:

$$\text{Zona húmeda; } W = \text{const. } n_1 - n_2 = m' (H_1 - H_2) \quad (\text{XI})$$

que corresponde a la función lineal creciente del gráfico N° 7.

En el cuadro N° 3 se indican los valores de m' hallados en nuestras experiencias. Se observa que m' varía con el trabajo aplicado para un mismo suelo y para igual trabajo con el tipo de suelo, lo que no debe extrañar teniendo presente que existe drenaje forzado y parcial del aire ocluido después de haber alcanzado un estado límite intermedio como ya ha sido indicado.

En un suelo monodisperso las porosidades mínimas y humedades óptimas para distintos trabajos (línea de óptimos) está determinada por la intersección de las rectas representativas de la función decreciente (VIII) y creciente (XI) en el Gráfico N° 7. En los suelos reales heterodispersos la red porosa no es

(Continúa en la pág. 18)

ABRIL - JUNIO 1974

AUTOPISTAS

Se están ejecutando más de 252 kilómetros de autopistas con una inversión superior a los 554 millones de pesos. Se licitarán cinco nuevas obras en una longitud de más de 52 kilómetros, cuyos presupuestos totalizan una suma de más de 198 millones de pesos.

La Dirección Nacional de Vialidad está desarrollando un programa de construcción de autopistas que demandará una inversión de 554.930.328,08 pesos, o sea, más de 55.493 millones de pesos moneda nacional. Asimismo, entre los meses de septiembre y diciembre próximos, procederá a realizar los respectivos llamados a licitación pública para contratar la ejecución de cinco nuevos tramos de autopistas correspondientes a: Acceso Sudeste a la Capital Federal (dos secciones); Avenida de Circunvalación y Acceso Norte a la ciudad de Santa Fe y el Acceso Sur a la ciudad de San Miguel de Tucumán. Estas obras han sido presupuestadas en un monto total de 198.789.000 pesos.

Autopistas en construcción

1) AUTOPISTA COSTERA (Avda. Gral. Paz - Av. Udaondo).

Obras básicas y carpeta de concreto asfáltico en 7,30 metros de ancho y pte. de hormigón armado. Longitud: 1,685 kilómetros. Contratista: SITRAVIAL S.A.C.I.C.I. - Monto: pesos 7.445.819,48.

2) ACCESO NORTE A LA CAPITAL FEDERAL - Remodelación del cruce con las vías de Ferrocarril General Belgrano y con el Río Reconquista.

Proyecto y construcción de viaductos. Carpeta de concreto asfáltico y cuatro calzadas de 7,50 metros de ancho. Longitud: 0,525 kilómetros. Contratista: Smith, Molina, y Beccar Varela y Salas y Billock. Monto: 26.073.845,30 pesos.

3) AUTOPISTA COSTERA - Distribuidor General Paz.

Obras básicas, pavimento de hormigón armado y puentes. Contratista: Iezzi, Ottonello y Cia. S.A.C.I.C.I. - Monto: \$ 20.560.136,85.

4) ACCESO SUDESTE A LA CAPITAL FEDERAL (2º tramo).

Obras faltantes y tratamiento bituminoso con emulsión catiónica. Contratista Inmar S.A.I.C. Monto: 9.845.367,48 pesos. Longitud: 3,610 kilómetros.

5) ACCESO OESTE A LA CAP. FEDERAL - Tramo: Arroyo Morón-Moreno.

Obras básicas con cuatro calzadas de hormigón armado de 10,50 de ancho. 10 cruces a distintos niveles. Longitud: 15,635 kilómetros. Contratista: Sitra S.A. y Sitravial S.A. Monto: 59.630.632,64 pesos.

6) RUTA Nº 9 - Tramo: Garín-Campana - 1ª sec. RUTA PANAMERICANA.

Obras básicas y dos calzadas de hormigón armado de 7,30 metros de ancho. Longitud: 15,524 kilómetros. Contratista: Panedile Argentina S.A.I.C.F.I. Monto: 27.671.662,85 pesos.

7) RUTA Nº 9 - Tramo: Garín-Campana - 2ª sec. RUTA PANAMERICANA.

Obras básicas y dos calzadas de hormigón armado en 7,30 metros de ancho. Ensanche de dos puentes y accesos a la ciudad de Campana y Ruta Provincial Nº 6. Longitud: 19,958 kilómetros. Contratista: Iezzi, Ottonello y Cia. S.A.C.I.C.I. - Monto: 31.255.803,96 pesos.

8) RUTA Nº 7 - Tramo: La Purísima-San Martín - AUTOPISTA DE ACCESO ESTE A LA CIUDAD DE MENDOZA.

Obras básicas, carpeta de concreto asfáltico en 2 calzadas de 7,60 metros de ancho y 31 puentes. Longitud: 37,906 kilómetros. Contratista: Welbers Insúa S.A. Monto: 18.803.167,12 pesos.

9) RUTA Nº 40 - Tramo: Empalme Ruta 7-Agrelo-Mendoza.

Obras básicas, dos calzadas de 7,30 metros de ancho de concreto asfáltico y 15 puentes de hormigón armado. Longitud: 10,900 kilómetros. Contratista: E. Sánchez Granel. Monto: 26.313.553,32 pesos.

10) RUTA SIN NUMERO - AV. DE CIRCUNVALACION DE SAN JUAN.

Obras básicas, calzada de hormigón armado y 9 ptes. de hormigón armado. Longitud: 5,475 kilómetros. Contratista: Benito Roggio

Remodelación de la Intersección de las Rutas Nacionales 2 y 215

La Dirección Nacional de Vialidad ha decidido incluir entre las obras a ejecutar con carácter prioritario, la remodelación de la intersección de las Rutas Nacionales Nº 2 y Nº 215, conocida como "cruce Etcheverry" y causante de serios perjuicios para el importante tránsito que fluye por ambas rutas.

Los trabajos consistirán, en primer término, en la reubicación del cruce actual, a unos 1.200 metros más cerca de Buenos Aires, sobre el nuevo trazado, recientemente aprobado, para la ruta Nacional Nº 215. En dicho lugar, tanto la ruta Nº 215 como la Nº 2, se construirán con dos calzadas separadas.

Mediante un distribuidor de tránsito del tipo "trébol", dichas rutas se cruzarán allí a diferentes nivel

por medio de un gran puente y contarán con todos los empalmes necesarios para cualquiera de los giros posibles.

La remodelación comprenderá, además, las siguientes obras:

a) Un puente para el cruce de la Ruta Nacional Nº 2 con las vías del ferrocarril en las inmediaciones de Etcheverry, que reemplazará al actual paso a nivel.

b) Un puente similar para la ruta Nacional Nº 2.

c) Nueve (9) kilómetros de camino nuevo para esta última ruta, de dos calzadas separadas de dos trochas cada una, desde la Avenida Nº 209 (acceso a la localidad de Abasto) hasta el empalme con la actual Ruta Nº 215, unos dos kilómetros más allá de su cruce con la Ruta Provincial Nº 6. Estos nueve kilómetros se desa-

rollarán íntegramente en el nuevo trazado asignado a dicha ruta, que discurre paralelo, a unos 1.200 metros del actual.

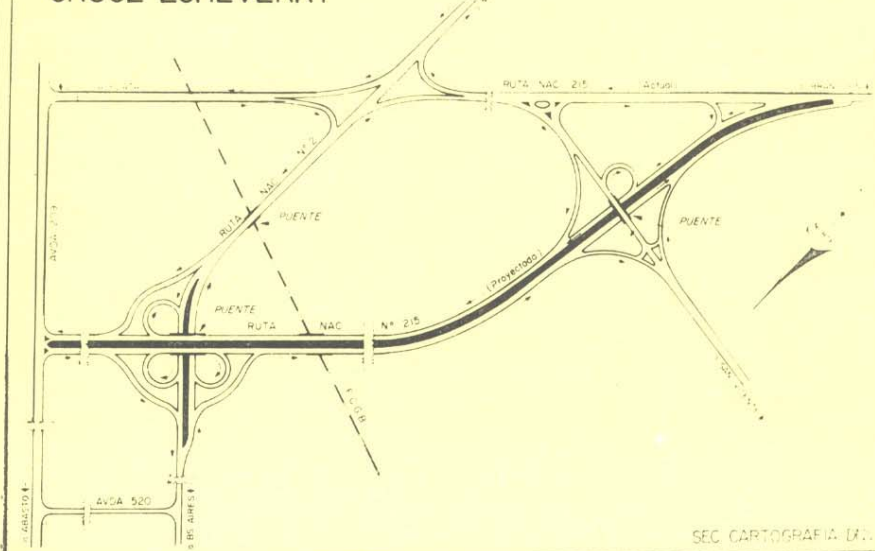
d) Un cruce a diferente nivel, con sus ramas, en el empalme de la Ruta Nacional Nº 215 con la Ruta Provincial Nº 6.

Se ha previsto realizar el respectivo llamado a licitación de estos trabajos para fines del mes de octubre próximo, y comenzar la ejecución en el mes de marzo de 1975, con un plazo de 18 meses.

Durante la realización de los trabajos será asegurado el funcionamiento del tránsito.

Además, esta obra incluirá la totalidad de los trabajos complementarios para su adecuado funcionamiento, tales como: señalización completa, barandas de defensa, etc.

REMODELACION DE RUTAS NACIONALES Nº 215 - 2 CRUCE ECHEVERRY



SEC. CARTOGRAFIA UN.

e Hijos. Monto 11.356.347,20 pesos.

11) RUTA SIN NUMERO - Tramo: Córdoba-Villa Dolores del camino de LAS ALTAS CUMBRES - Sección: Piedra La Tortuga-Hotel El Cóndor.

Obras básicas, proyecto y construcción de un puente. Longitud: 32,031 kilómetros. Contratista: Arvial S.A. y G. Fernández de Maussión S.

R.L. Monto: 34.847.538,63 pesos.

12) RUTA Nº 9 - Tramo: Nueva Terminal de Omnibus-Arco de Entrada a la ciudad de Córdoba.

Reconstrucción y remodelación. Contratista: Giacomino Fazio y Hugo Jorge Asís. Monto: 20.829.242,50 pesos.

13) RUTA Nº 20 - AUTOPISTA CORDOBA - C.

PAZ. Tramo: Escuela de Aviación-Carros Paz.

Obras básicas, dos calzadas de concreto asfáltico de 7,50 metros de ancho cada una y dos puentes de hormigón armado. Longitud: 22,360 kilómetros. Contratista: Vimelco S.R.L. y Carlos A. Caruso y Cia. S.A. Monto: 45.547.707,08 pesos.

14) RUTA Nº 20 - Avda. DE CIRCUNVALACION

EN EL PRIMER CUATRIMESTRE DEL AÑO SE LICITARON OBRAS VIALES POR MAS DE 558 MILLONES DE PESOS

Un informe relacionado con las obras viales que se licitaron durante el primer cuatrimestre del año en curso, indica que el monto total que se invierte en dichas obras se eleva a la suma de 558.673.246 pesos, para ejecutar trabajos en una extensión de 1.310 kilómetros de caminos y la construcción de 11 puentes.

En el mismo periodo del año 1973, el monto licitado alcanzó a la suma de 175.154.000 pesos, para la ejecución de obras en una longitud de 453 kilómetros.

El detalle de los trabajos que la Dirección Nacional de Vialidad licitó durante el periodo mencionado del año actual, es el siguiente:

BUENOS AIRES

Ruta N° 188

Tramo Lincoln - Pintos Bacheo y carpeta de concreto asfáltico. 32 kilómetros. 9.210.363 pesos.

Tramo: Pintos - Granada. Bacheo y carpeta de concreto asfáltico. 35 kilómetros. 9.992.672 pesos.

Tramo: Ameghino - Drabbe. Bacheo y carpeta de concreto asfáltico. 31 kilómetros. 9.268.112 pesos.

Tramo: Drabbe - Villegas. Bacheo y carpeta de concreto asfáltico. 34 kilómetros. 8.541.000 pesos.

Tramo: Villegas - Limite con La Pampa. Bacheo y carpeta de concreto asfáltico. 34 km. 10.159.924 pesos.

Ruta N° 227

Tramo: Lobería - Empalme con la Ruta N° 26. (primera sección). Obras básicas y pavimento bituminoso. 33 km. 24.720.000 pesos. (segunda sección). Obras básicas y pavimento bituminoso. 34 kilómetros. 24.588.000 pesos.

Acceso

Desde ruta 197 a la Base Oficial de Aviación Civil: obras básicas y pavimento. 2,4 kms. 2.322.828 pesos.

NEUQUEN

Ruta Compl. "F"

Tramo Lago Espejo - R. Totoral - Frontera; rea-

condicionamiento, obras básicas y pavimentación en hormigón simple. 32 kilómetros. 34.743.990 pesos.

ENTRE RIOS

Ruta 12

Tramo: Brazo Largo - Ceibas: Reacondicionamiento de caminos. 41 km. 18.788.000 pesos.

Tramo: Paraná - Guazu - Ceibas, sección Arroyo Sagastume - Ceibas: obras básicas, pavimentación y 7 puentes en hormigón armado. 16 kilómetros y 270 mts. de puentes. 33.987.600 pesos.

Ruta 14

Tramo: Arroyo Ceibas - Arroyo Nacay - Arroyo Sauce: obras básicas, pavimentación flexible y ensanche de puentes. 44 km. 43.884.535.

Ruta 131

Tramo: Nogoyá - Lucas González: puentes en hormigón armado sobre arroyo Nogoyá y accesos. 312 metros. 12.996.000 pesos.

Ruta 127

Tramo: Empl. Ruta 126 - Arroyo Burgos: repavimentación, 18,1 kilómetros 3.910.200 pesos.

CORRIENTES

Ruta 122

Tramo: Empl. Ruta 14 - Monte Caseros: bacheo y tratamiento simple. 31 km. 2.492.600 pesos.

Ruta 126

Tramo: Empl. 14 - Bonpland: Bacheo y tratamiento triple. 63 kilómetros. 5.274.000 pesos.

CHUBUT

Ruta 26

Tramo: acceso a Sarmiento - Cuarteles aeródromo: obras básicas y pavimentación. 7 kilómetros. 4.136.798 pesos.

Acceso

Al barrio militar "Fortín Chacabuco", en Comodoro Rivadavia: obras básicas y pavimento. 5 km. 2.970.477 pesos.

Acceso

Desde la ruta 3 al Puerto Mineralero (Puerto Madryn): obras básicas y tratamiento triple. 6,5 km. 3.373.000 pesos.

SAN JUAN

Ruta 20

Tramo: Berniejo - Difunta Correa: bacheo y tratamiento sellado. 30 kilómetros. 862.040 pesos.

Tramo: Difunta Correa - Caucete: bacheo y tratamiento sellado. 38 kilómetros. 989.360 pesos.

Tramo: Cerro Blanco - Calingasta: puente de 100 metros sobre el Río Blanco. 3.113.952 pesos.

Ruta 150

Tramo: San José de Jáchal - Rodeo: obras básicas y pavimento bituminoso. 15 km. \$12.396.509.

Ruta 147

Tramo: Las Casuarinas - Empalme Ruta 20 Sección Las Casuarinas - Control Forestal. Obras Básicas y pavimento bituminoso. 17 km. 11.604.000 pesos.

SANTA FE

Ruta 11

Tramo: Vera - Malabrid-

go - Reconquista. Repavimentación. 63 kilómetros. 23.159.000 pesos.

Tramo: Calchaquí - Vera. Repavimentación. 47 kilómetros. 14.595.000 pesos.

Ruta 33

Tramo: Fuentes - Empalme Ruta 16. Obras básicas y pavimentación. 23 kilómetros. 16.038.100 pesos.

Ruta 166

Tramo: Nuevo Torino - Rafaela. Carpetas concreto asfáltico. 26 kilómetros. 2.268.968 pesos.

CORDOBA

Ruta 9

Tramo: Villa María - Oliva. Obra de bacheo y ejecución de carpeta. 50 km. 13.616.579 pesos.

Ruta 19

Tramo: La Francia - Tránsito. Obras de reparación de base y ensanche de pavimento. 56 kilómetros. 12.374.606 pesos.

Tramo: Tránsito - Río Primero. Reparación de base y bacheo. 43 km. 11.696.798 pesos.

Tramo: Río Primero - Monte Cristo. Bacheo y carpeta bituminosa. 31 kilómetros. 6.789.741 pesos.

Ruta 36

Tramo: Acceso fábrica Kaiser - Ciudad de Córdoba. Bacheo y tratamiento doble. 4 km. 1.706.508 pesos.

Ruta 148

Tramo: Limite con San Luis - Villa Dolores. Base estabilizada y tratamiento bituminoso simple. 42 kilómetros. 4.035.049 pesos.

CATAMARCA

Ruta 67

Tramo: Los Altos - Hua-

cra. Obras básicas, pavimento bituminoso y construcción de un puente sobre el Río Huacra. 9 km. 6.387.579 pesos.

CHACO

Ruta 95

Tramo: La Tigra - Tres Isletas. Tratamiento bituminoso simple. 88 km. 2.877.000 pesos.

TUCUMAN

Ruta 38

Tramo: Lules - Tucumán. Bacheo y tratamiento doble. 13 kilómetros. 1.213.158 pesos.

Acceso

Camino de acceso al ingenio Santa Ana. Base estabilizada y tratamiento doble. 2,7 km. 682.840 pesos.

MENDOZA

Ruta 7

Tramo: Las Catitas - Alto Verde. Obras básicas y carpeta de concreto asfáltico. 27 km. 20.683.000 pesos.

Tramo: Alto Verde - San Martín. Obras básicas y carpeta de concreto asfáltico. 18 km. 16.579.000 pesos.

LA PAMPA

Ruta 152

Tramo: Valle Argentino - General Acha. Obras faltantes. 29,5 kilómetros. 10.044.700 pesos.

STGO. DEL ESTERO

Ruta 16

Tramo: Los Pirpintos - Los Tigres. Obras básicas y pavimento flexible. 100,9 kilómetros. 58.895.900 pesos.

Tramo: Los Tigres - Km. 25. Obras básicas y pavimento. 25 km. 14.587.300 pesos.

Tramo: Km. 25 - Limite con el Chaco. Obras básicas y pavimento. 39,1 km. 22.513.100 pesos.

DE CORDOBA - Sec. Km. 3,265 - Km. 12.

Obras básicas, dos calzadas de 7,50 metros de ancho con tratamiento bituminoso doble y cinco puentes de hormigón armado. Longitud: 8,734 kilómetros. Contratista: C. B. Peuser S.R.L. y Paschini y Depestris. Monto: 41.214.875,47 pesos.

15) RUTA SIN NUMERO - AVENIDA DE CIRCUVALACION DE CORDOBA. 1er. Tramo.

Proyecto y construcción de tres puentes. Contratista: Estructuras S.A. Monto: 1.860.987,50 pesos.

16) RUTA N° 9 - REMODELACION CRUCE RUTA N° 9 CON LA AVENIDA AGUIRRE EN LA CIUDAD DE TUCUMAN.

Obras básicas, pavimento

y construcción de 6 puentes de hormigón armado. Contratista: José Cartellone S.A. Monto: 12.005.622,75 pesos.

17) RUTA SIN NUMERO - Tramo: JUJUY - AEROPUERTO EL CADILLAL.

Obras básicas y tratamiento bituminoso tipo triple en 7,30 metros de ancho. Longitud: 26,889 kilómetros. Contratista: Wellers Insúa S.A. Monto: 10.841.674,06 pesos.

18) RUTA SIN NUMERO - AVENIDA DE CIRCUVALACION DE ROSARIO - ACCESO AL PUERTO (Km. 25,8-Km. 29,4).

Obras básicas, pavimento de hormigón armado y ocho puentes de hormigón armado. Contratista: Aragón

S.A.I.C. Monto: 38 millones 278.233,32 pesos. Longitud: 4,100 kilómetros.

19) RUTA SIN NUMERO - AUTOPISTA SAN NICOLAS-ROSARIO - 2ª Sección.

Obras básicas, carpeta de concreto asfáltico y ocho puentes de hormigón armado. Contratista: GEOPPE; Fontana-Nicastro; Impresit Sideco y Aragón S.A.C.I. Monto: 107.548.110,60 pesos. Longitud: 39,200 km.

Autopistas a licitar

1) ACCESO SUD-ESTE A LA CAPITAL FEDERAL. Secciones: Avenida Debeditti-Canal Sarandí - Canal Sarandí-Canal Santo Domingo.

Obras básicas y construcción de dos calzadas de 7,30 metros de ancho cada una, longitud total: 3 kilómetros. Presupuesto:

36.000.000 pesos. Fecha probable de llamado a licitación: septiembre 1974, 1ª sección; noviembre 1974, 2ª sección.

2) AVENIDA DE CIRCUVALACION DE LA CIUDAD DE SANTA FE. Tramo: calle Juan de Garay-Laguna Setubal.

Obras básicas y dos calzadas centrales de 7,50 metros de ancho cada una y un viaducto de 800 metros. Longitud: 2,7 kilómetros. Presupuesto: 45.062.000 pesos. Fecha probable de llamado a licitación: diciembre 1974.

3) ACCESO NORTE A LA CIUDAD DE SANTA FE Y AVENIDA DE CIRCUVALACION.

Acceso: Tramo Ruta Nacional N° 166 - Avelina de Circunvalación; dos calza-

das centrales de 7,30 metros c/u y 2 puentes y una calzada central del mismo ancho. Longitud total 11,5 kilómetros.

Avenida: Sección Acceso Norte-Avelina Blas Parera. Dos calzadas de 7,50 metros de ancho, un puente y un distribuidor de tránsito. Longitud: 0,9 kilómetros. Presupuesto: 35.918.000 pesos. Fecha probable de llamado a licitación: noviembre de 1974.

4) ACCESO SUR A LA CIUDAD DE S. MIGUEL DE TUCUMAN. Tramo: Empalme Famaillá-Empalme Ramal Bella Vista. Calzada de 7,30 metros de ancho en una primera etapa, cinco puentes y un distribuidor de tránsito. Presupuesto 81.800,00 pesos. Fecha del probable llamado a licitación: octubre de 1974.

(Viene de la pág. 15)

uniforme y existe un pasaje gradual de una a otra función, que determina el ámbito donde se sitúa la condición considerada en la práctica como estado de máxima densidad seca y humedad óptima, tal como se muestra en el Gráfico Nº 8 como ejemplo de los obtenidos experimentalmente. Ello significa que el estado de densidad máxima y humedad óptima para un determinado trabajo no debe ser considerado como máximo de una función representada por la curva de compactación que es lo generalmente aceptado.

Coefficiente de compactación por trabajo

En el proceso de compactación el suelo recibe un cierto trabajo mecánico por unidad de volumen compactado que determina el número de contactos para cada partícula y el correspondiente volumen sólido (1-n). Una parte de dicho trabajo se gasta en vencer las resistencias friccionales y viscosas para lograr el desplazamiento de los componentes del sistema y se disipa como calor. Otra parte es acumulada transitoriamente como energía elástica potencial y se recupera como trabajo mecánico de expansión. El resto, que no se recupera ni disipa, se acumula incrementando la energía de unión del agua con el suelo y en consecuencia la succión de agua y cohesión del mismo.

En la compactación el trabajo total se aplica por sucesivos umbrales. La reducción de porosidad que corresponde a cada uno es menor al incrementar el número de umbrales aplicados anteriormente, es decir que la parte acumulada como energía elástica recuperable por expansión es cada vez mayor y alcanza su valor máximo cuando el material llega a un estado límite de compactación en el cual a la compresibilidad elástica propia de la fase sólida se suma la compresibilidad elástica del aire ocluido (ley de Boyle) y el aumento reversible de la solubilidad del aire en el agua de acuerdo a la ley de Henry (4).

Si en la función $n = f(W, H)$ de la zona seca consideramos $H = \text{constante}$, existirá una porosidad n cuando el trabajo aplicado sea W . Un incremento diferencial de trabajo δW producirá un decrecimiento diferencial de porosidad ($-\delta n$) que será proporcional a δW e inversamente al trabajo W aplicado anteriormente. En consecuencia:

$$\text{Zona seca, } H = \text{const.} \left(\frac{-\delta n}{\delta W} \right)_H = K \cdot \frac{1}{W} \quad (\text{XII})$$

donde K es el "coeficiente de compactación por trabajo", o sea la modificación de porosidad al variar el trabajo con humedad en volumen constante.

Integrando la (XII) entre dos estados del gráfico Nº 7 a los que corresponde igual contenido de humedad en volumen y las porosidades n_1 y n_2 con sus respectivos W_1 y W_2 , se tiene:

$$\text{Zona seca, } H = \text{const.}; n_1 - n_2 = K \cdot \ln \frac{W_2}{W_1}$$

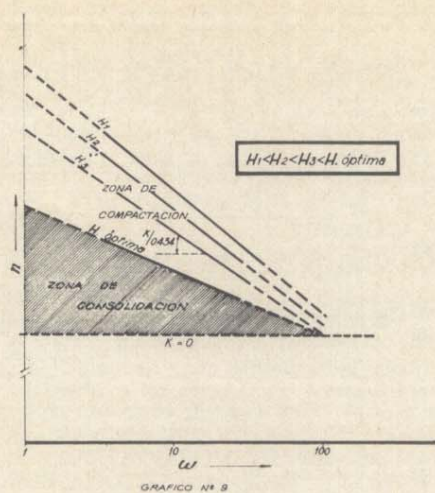


Gráfico esquemático de las relaciones entre porosidades (n) y trabajos de compactación (W) con diferentes humedades en volumen (H) de acuerdo a la ecuación (XII).

$$n_1 - n_2 = \frac{K}{0,434} \cdot \log \frac{W_2}{W_1} \quad (\text{XIII})$$

que corresponde a relación lineal decreciente entre las porosidades y el logaritmo decimal del trabajo de compactación que se muestra en el gráfico Nº 9. En el gráfico Nº 10 se muestran los valores experimentales obtenidos para los suelos Nº 5 y 9.

El sentido físico del coeficiente de compactación por trabajo K se deduce dando a la (XIII) la forma:

$$W_2 = W_1 \cdot e^{\frac{n_1 - n_2}{K}} \quad (\text{XIV})$$

haciendo $K = n_1 - n_2$, $W_2 = W_1 \cdot e^{\pm 1}$, luego K es la diferencia de porosidad que existirá entre dos estados de un suelo con la misma humedad, compactados con los trabajos W_1 y $W_2 = W_1 \cdot e^{\pm 1}$ de acuerdo a que $n_1 - n_2$ sea positivo o negativo. Se comprende que K tiene un sentido físico similar que el "Índice de Compresión" de Skempton basado en la curva de consolidación normal de los suelos completamente saturados.

La relación lineal entre porosidad y logaritmos de los trabajos impuesta por la XIII, es aplicable en la línea de óptimos por tener aval experimental, justificado por la relación agua de contacto/aire constante. Diferentes autores han citado que las densidades secas máximas guardan una relación lineal creciente frente a los logaritmos de los trabajos de compactación, expresados como tal o en número de golpes normalizados aplicados. Esta relación ha sido también verificada en las condiciones de obra, (Logaritmos del Nº de pasadas).

En el cuadro Nº 4 se observa que los valores experimentales de K de cada suelo con distintas humedades en volumen dentro de la zona seca muestran la constancia que exige la ecuación (XIII). El valor de K correspondiente a la zona seca de cada suelo es superior al correspondiente K_{opt} del cuadro Nº 2, es decir que en la línea de óptimos la reducción de porosidad es menor para igual incremento logarítmico del trabajo, lo que es lógico

teniendo presente que en ella la posibilidad de drenaje del aire es reducida.

La influencia de la naturaleza de los suelos en el valor del coeficiente K muestra una tendencia inversa a la indicada para el coeficiente m . Los suelos Nºs 4 y 5 se apartan del resto con bajos coeficientes K , los restantes se ordenan aumentando K al crecer la plasticidad.

Coefficiente de Compactación

Desde el punto de vista práctico lo que más interesa es valorar la interdependencia de la influencia de las humedades y trabajos de compactación que determinan una cierta porosidad (densidad seca) siempre dentro del ámbito de la zona seca. La función que relaciona aquellas variables puede permitir comparar costos si se conocen los costos unitarios del trabajo de compactación y cambio de humedad.

Diferenciando la función $n = f(H, W)$:

$$dn = \left(\frac{\delta n}{\delta H} \right) \cdot dH + \left(\frac{\delta n}{\delta W} \right) \cdot dW \quad (\text{XV})$$

para $n = \text{constante}$, $dn = 0$:

$$\begin{aligned} - \left(\frac{\delta n}{\delta H} \right) \cdot dH &= \left(\frac{\delta n}{\delta W} \right) \cdot dW \\ \frac{dW}{dH} &= \left(\frac{\delta W}{\delta H} \right)_n = \frac{- \left(\frac{\delta n}{\delta H} \right) W}{\left(\frac{\delta n}{\delta W} \right) H} \\ &= \frac{m}{K} = \frac{m}{K} \cdot W \\ \frac{dW}{W} &= - \frac{m}{K} \cdot dH \end{aligned}$$

que integrada entre el par de valores conocidos H_1, W_1 y otro desconocido H_x, W_x que conducen a la misma porosidad lleva a la expresión buscada:

$$n = \text{const.}; \log W_x - \log W_1 = - \frac{m}{K} (H_x - H_1) \quad (\text{XVI})$$

$$W_x = W_1 \cdot e^{- \frac{K}{m} (H_x - H_1)} \quad (\text{XVII})$$

$$H_x = H_1 - \frac{\log \frac{W_x}{W_1}}{0,434 \cdot \frac{m}{K}} \quad (\text{XVIII})$$

Las ecuaciones (XVII) y (XVIII) permiten calcular el trabajo (o la humedad) que corresponde para lograr determinada porosidad, partiendo de un par de valores experimentales y la modificación de humedad (o de trabajo) impuestas.

La ecuación (XVI) muestra que para obtener la misma porosidad todo cambio de humedad dentro de la zona seca exige una modificación exponencial del trabajo de compactación que para cada suelo está regulada por

el "coeficiente de compactación" $\frac{m}{K}$. Su significado se deduce haciendo $H_X - H_1 = \frac{K}{m}$; luego $W_X = W_1 \cdot e^{\pm 1}$, por lo

tanto el coeficiente de compactación es la inversa de la diferencia de humedades para que el trabajo que conduce a la misma porosidad sea el inicial multiplicado o dividido por 2,718 de acuerdo a que $H_X - H_1$ sea negativo o positivo.

El coeficiente de compactación medio de los suelos N°s. 4 y 5 friables y mal graduados es menor que el de los de baja plasticidad y graduados, los restantes se ordenan en forma creciente al incrementar la plasticidad poniendo en evidencia la influencia de la naturaleza del suelo en el comportamiento del mismo en el proceso de compactación.

Partiendo de un estado conocido caracterizado por los valores H_1 , n_1 y W_1 es posible calcular la porosidad n_X que corresponderá a otro par de valores H_X y W_X . Basta para ello integrar la ecuación diferencial (XV) que conduce a la relación:

$$n_X = n_1 + m(H_1 - H_X) + \frac{K}{0,434} \log \frac{W_1}{W_X} \quad (XIX)$$

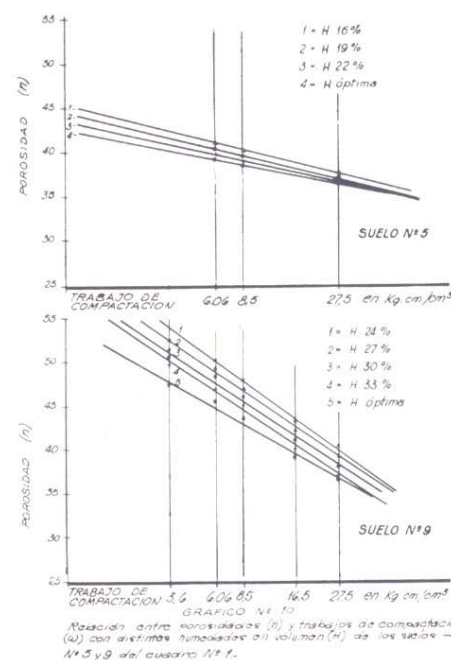
Debe tenerse presente que si se desea pasar de un estado a otro en la línea de óptimos, ésta representa el límite de validez de la ecuación VIII, lo que implica anular el 2º sumando y por lo tanto la (XIX) se iguala con la (XIII). Los valores de K en este caso son los que se mencionan en el cuadro Nº 2.

Correlación entre los Coeficientes de Compactación y las Características de los Suelos

La aplicación de las ecuaciones que relacionan distintos estados de compactación exige conocer el valor de los coeficientes m , K y m/K de cada suelo, lo que anula toda ventaja de orden práctico dado que para determinarlos es necesario disponer de un diagrama completo de compactación con varios trabajos lo que consume tiempo y labor. Por esta razón resulta de interés buscar alguna correlación entre aquellos coeficientes y las características de rutina dado que ambos dependen de la naturaleza de los suelos. Si ello es posible puede llegarse a una estimación de

Clasificación AASHO	Nume-ración	Valores de H y K					
			H	K	H	K	H
A2-4	(0)	1	H	0.19	0.16	0.13	0.10
			K	0.034	0.036	0.036	0.034
A4	(6)	2	H	0.25	0.22	0.18	0.15
			K	0.042	0.043	0.044	0.046
A4	(3)	3	H	0.20	0.17	0.14	0.11
			K	0.032	0.033	0.034	0.034
A4	(4)	4	H	0.18	0.16	0.14	—
			K	0.026	0.027	0.028	—
A4	(1)	5	H	0.22	0.19	0.16	—
			K	0.021	0.022	0.024	—
A4	(4)	6	H	0.19	0.16	0.13	—
			K	0.038	0.039	0.038	—
A6	(7)	7	H	0.29	0.25	0.21	0.17
			K	0.041	0.043	0.044	0.045
A6	(12)	8	H	0.30	0.27	0.24	0.21
			K	0.057	0.057	0.054	0.056
A7	(19)	9	H	0.33	0.30	0.27	0.24
			K	0.064	0.064	0.064	0.066
A7	(17)	10	H	0.31	0.28	0.25	—
			K	0.057	0.058	0.057	—

Coefficiente de compactación por trabajo a la humedad constante indicada, dentro de la zona seca ($K = \left(\frac{\delta n}{\delta w}\right) H$).



se indica la ecuación de las rectas calculadas por mínimos cuadrados en cada caso que permiten determinar un valor aproximado de los coeficientes en base al I. P.

Por otra parte, el grado de saturación de los suelos cohesivos utilizados generalmente como subrasantes con las porosidades mínimas y humedades óptimas es del orden $S_{opt} = 0,83$ y en consecuencia:

$$H_{opt} = 0,83 \cdot n_{opt}; n_{opt} = \frac{H_{opt}}{0,83}$$

que llevados a la ecuación:

$W = \text{const.}; n - n_{opt} = m(H_{opt} - H)$ conduce a las fórmulas:

$$H_{opt} = \frac{n + m \cdot H}{m + \frac{1}{0,83}}$$

$$n_{opt} = \frac{n + m H}{1 + 0,83 \cdot m}$$

los coeficientes que permita calcular con suficiente aproximación.

En los gráficos números 11, 12 y 13 se muestra que existe correlación aproximadamente lineal entre los coeficientes medios m , K y m/K y el índice de plasticidad de los suelos ensayados, descartando los friables de granulometría uniforme. En el mismo gráfico

que permiten un cálculo aproximado de la humedad óptima en volumen y porosidad mínima con cierto trabajo si se conoce los valores de n y H en un punto del lado seco de una curva de compactación con dicho trabajo y el índice de plasticidad para fijar el coeficiente M . De estos valores se pasa a la densidad seca máxima D_{opt} y humedad óptima

porcentual en peso (i) por las fórmulas conocidas:

$$D_{opt} = (1 - n_{opt}) \delta \quad i_{opt} = \frac{100 \cdot H_{opt}}{(1 - n_{opt}) \cdot \delta}$$

siendo δ el peso específico del suelo.

Para dar una idea general de estas aproximaciones tomamos como ejemplo un suelo AG(7) con las características siguiente: $\delta = 2,69 \text{ gr/cm}^3$; I.P. = 14 y los resultados obtenidos en un ensayo de compactación Proctor: St. ($W = 6,06 \text{ Kg. cm/cm}^3$), densidad seca $D = 1,530 \text{ gr/cm}^3$ y humedad en peso $i = 19,0 \%$ en la rama seca.

De estos valores se deduce:

$$n = \frac{\delta - D}{\delta} = 0,431 \quad H = \frac{i}{(1 - n) \delta} = 0,291$$

$$m = 0,4132 \quad K = 0,0469 \quad \frac{m}{K} = 8,156$$

a) Calcular la densidad máxima (D_m) y la humedad óptima (i_{opt}) para el proctor St.

$$n_{opt} = \frac{n + m \cdot H}{1 + 0,83 \cdot m} = 0,4104 \quad H_{opt} = \frac{n + m \cdot H}{1 + 0,83 \cdot m} = 0,3407$$

$$D_m = (1 - n_{opt}) \cdot \delta = 1,586 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Valor experimental} = 1,578 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Diferencia porcentual: } (0,5 \%)$$

$$i_{opt} = \frac{100 \cdot H_{opt}}{(1 - n_{opt}) \delta} = 21,48 \%$$

$$\text{Valor experimental} = 21,40$$

$$\text{Diferencia porcentual} = (0,4 \%)$$

b) Calcular la humedad en peso (i_x) para lograr la misma densidad seca utilizando el Proctor T99A (35 golpes) ($W_x = 8,5 \text{ Kg. cm/cm}^3$)

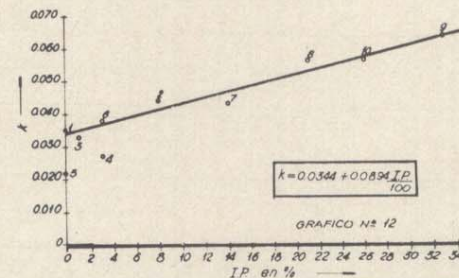
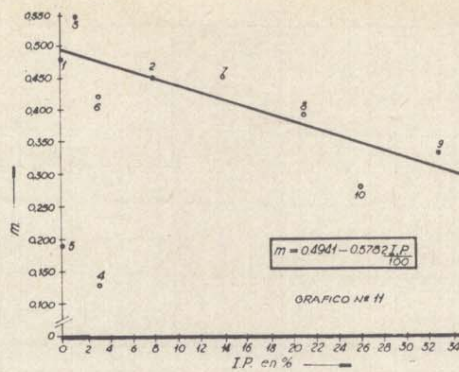
$$H_x = H - \frac{\log \frac{W_x}{W}}{0,434 \cdot \frac{m}{K}} = 0,249$$

$$i_x = \frac{100 \cdot H_x}{(1 - n) \delta} = 16,3 \%$$

$$\text{Valor experimental} = 15,5 \%$$

$$\text{Diferencia porcentual} = (5,2 \%)$$

c) Calcular el trabajo de compactación (W_x) necesario para lograr la misma densidad con otra humedad $i' = 15,5 \%$



Correlación entre los coeficientes de compactación por humedad media y el I.P. (Gráfico N° 11) y entre los coeficientes de compactación por trabajo medio y el I.P. (Gráfico N° 12) descartando los suelos no graduados (Suelos N° 4 y 5)

$$H' = (1 - n) \cdot \delta \cdot \frac{i'}{100} = 0,237$$

$$W_x = W \cdot e^{-\frac{m}{K} (H' - H)} = 9,41 \text{ Kg. cm/cm}^3$$

$$\text{Valor experimental} = 8,5 \text{ Kg. cm/cm}^3$$

$$\text{Diferencia porcentual} = (10,7 \%)$$

d) Calcular la porosidad (n') cuando se aplica el trabajo de compactación del Proctor

Modificado ($W_m = 27,5 \text{ Kg. cm/cm}^3$) y se desea la humedad en volumen ($H' = 0,21$)

$$n' = n + m (H - H') +$$

$$+ \frac{K}{0,434} \cdot \log \frac{W}{W_m} = 0,3935$$

$$\text{Valor experimental} = 0,4010$$

$$\text{Diferencia porcentual} = (1,9 \%)$$

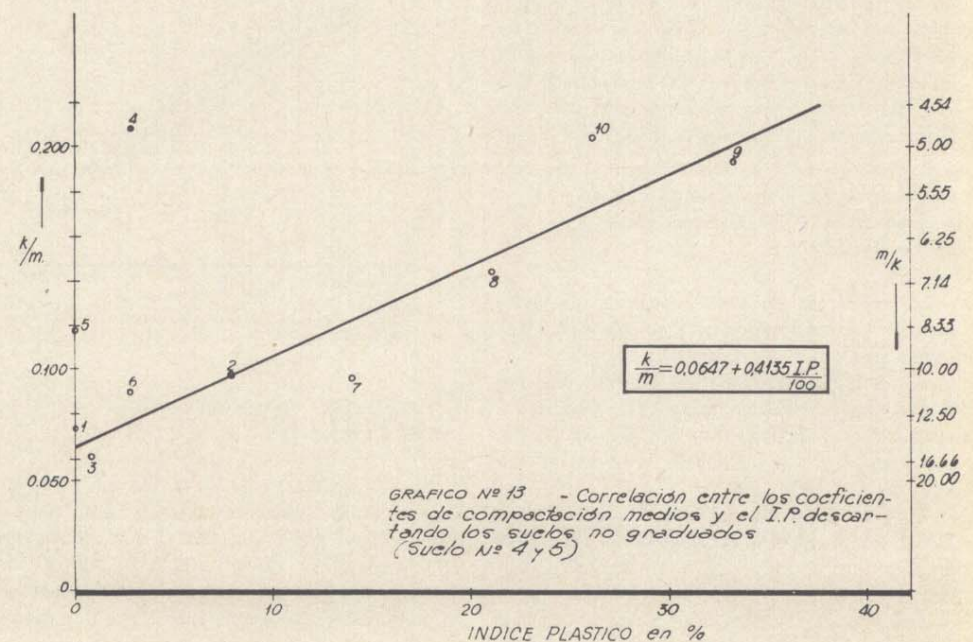
Consideraciones Finales

Se propone una interpretación del proceso de compactación de los suelos basada en:

a) Que en el intervalo de humedad que corresponde a las ramas secas, el agua está en forma de anillos aislados en cada contacto entre las partículas (agua de contactos o pendular) y el aire ocupa poros intercomunicados entre sí y el exterior (aire libre) de fácil drenaje. Los estados de máxima densidad seca y humedad óptima coinciden con la unión de los anillos aislados formando una red continua de agua (agua funicular) con burbujas aisladas de aire ocluido dentro del agua de difícil drenaje. El aire ocluido actúa como un componente volumétrico perfectamente elástico.

b) De los trabajos de Fisher sobre suelos ideales se deduce que el volumen de agua de contactos es directamente proporcional al volumen sólido, en consecuencia existe una relación lineal decreciente entre porosidades y humedades en volumen. El coeficiente de proporcionalidad en los suelos reales depende de su naturaleza.

c) El desarrollo matemático de la teoría permite definir los parámetros que caracteri-



zan el proceso de compactación y relacionar cuantitativamente las variables en juego (porosidad, contenido volumétrico de agua y trabajo de compactación) vinculando distintos procesos. Los resultados experimentales con diez suelos de distintas características responden satisfactoriamente a las exigencias de la teoría.

- d) Los parámetros que caracterizan el comportamiento de cada suelo se correlacionan, en una primera aproximación, con sus características de rutina, lo que permite aplicar las relaciones cuantitativas halladas para predecir aproximadamente estados de compactación distintos de uno inicial obtenido experimentalmente.

BIBLIOGRAFIA CITADA:

- 1 — H. H. Seed, C. K. Chan y C. E. Lee — Resilience Characteristic of Sub-grade Soils and their Relation to Fatigue Failures of Asph. Pav. First Int. Conf. Struc. Design of Asph. Pav. Ann Arbor — Michigan 1962.
- 2a — A. Kashirski — Teoría del agua edáfica y su aplicación a la práctica caminera. III Reunión Anual de Caminos. Univ. La Plata 1939.
- b — M. W. Tschapek — El agua en el suelo. I.N.T.A. Buenos Aires 1959.
- c — L. D. Baver — Soil Physics. J. Wiley. London 1948.
- 3 — B. V. Darjaguin y N. K. Melnikova — Mechanism of Moisture Equilibrium and Migration in Soils. Special Report 40 — H. R. B. 1958.
- 4 — C. L. Ruiz y colaboradores — Measurement and Interpretation of the Elastic Compressibility of Sub-grades and its Relation to the Behaviour of Asph. Pav. Second Int. Conf. on the Struct. Design of Asph. Pav. Ann Arbor — Michigan 1967. En castellano ver Carreteras N° 44 y 45, 1968.
- 5 — J. L. Mc Rae y W. J. Turnbull — Discusión del trabajo de R. Olsen: Effective Stress Theory of Soil Compaction — J. of Soil Mech. and Foundations, vol. 89, part. 1 1963.
- 6 — T. W. Lambe — Residual Pore Pressure in Compacted Clay — Procc. 5th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. — Paris, vol. I, 1961.
- 7 — L. W. Hamilton — The effects of Internal Hidrostactic Pressure on the Shearing Strenght of Soils. Symposium on the Shear Testing of Soils. A.S.T.M. 39 — 1939.
- 8 — A. A. Wagner — Shear Characteristics of Remolded Earth Materials. A.S.T.M. Sp. Tech. Bull. 106 — 1950.

APENDICE

- a) Calcular la densidad máxima (D_m) y la humedad óptima (i_{opt}) para el Proctor St.

$$n = 1 - \frac{D_s}{\delta} = 1 - \frac{1,53}{2,69} = 0,431$$

$$H = \frac{i(1-n)\delta}{100} = \frac{19(1-0,431)2,69}{100} = 0,291$$

$$m = 0,4941 - 0,5782 \text{ IP}(\%) = 0,4941 - 0,5782 \times 0,14 = 0,4132$$

$$l = 0,0344 + 0,0894 \text{ IP}(\%) = 0,0344 + 0,0894 \times 0,14 = 0,0469$$

$$k = 0,0647 + 0,4135 \text{ IP}(\%) = 0,0647 + 0,4135 \times 0,14 = 0,1226$$

$$m = 8,156$$

$$n_{opt} = \frac{n + mH}{1 + 0,83m} = \frac{0,431 + 0,4132 \times 0,291}{1 + 0,83 \times 0,4132} = 0,4104$$

$$H_{opt} = \frac{n + mH}{m + 1} = \frac{0,431 + 0,4132 \times 0,291}{0,83 + 1} = 0,3407$$

$$D_m = (1 - n_{opt})\delta = (1 - 0,4104)2,69 = 1,586 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Valor experimental} = 1,578 \text{ „}$$

$$\text{Diferencia porcentual} = 0,5 \%$$

$$i_{opt} = \frac{H_{opt} \times 100}{(1 - n_{opt})\delta} = \frac{0,3407 \times 100}{(1 - 0,4104)2,69} = 21,5 \%$$

$$\text{Valor experimental} = 21,4 \%$$

$$\text{Diferencia porcentual} = 0,5 \%$$

- b) Calcular la humedad en peso (i_x) para lograr la misma densidad seca utilizando el Proctor T99A (35 golpes) ($W_3 = 8,5 \text{ Kg.cm/cm}^3$).

$$-\frac{m}{K} (H_x - H) = \frac{1}{0,434} \log \frac{W_3}{W_2}$$

$$H_x = -0,1226 \times \frac{1}{0,434} \log \frac{8,5}{6,06} + 0,291 = 0,249$$

$$i_x = \frac{100 H_x}{(1-n)\delta} = \frac{100 \times 0,249}{(1-0,431)2,69} = 16,3 \%$$

$$\text{Valor experimental} = 15,5 \%$$

$$\text{Diferencia porcentual} = 5,2 \%$$

- c) Calcular el trabajo de compactación (W_x) necesario para lograr la misma densidad con otra humedad $i_x = 15,5 \%$.

$$H_x = \frac{i_x(1-n)\delta}{100} = \frac{15,5(1-0,431)2,69}{100} = 0,237$$

$$-\frac{m}{K} (H_3 - H_2) = \frac{1}{0,434} \log \frac{W_x}{W_2}$$

$$\log W_x = -8,156 (0,237 - 0,291) \frac{0,434}{W_2} + \log 6,06$$

$$W_x = 9,41 \text{ Kgcm/cm}^3$$

$$\text{Valor experimental} = 8,5 \text{ „}$$

$$\text{Diferencia porcentual} = 10,7 \%$$

- d) Calcular la porosidad (n_x) cuando se aplica el trabajo de compactación del Proctor Modificado ($W_5 = 27,5 \text{ Kg. cm/cm}^3$) y se desea la humedad en volumen ($H'_5 = 0,21$).

$$n_x = n + m(H - H_5) + \frac{K}{0,434} \log \frac{W_2}{W_5}$$

$$n_x = 0,431 + 0,4132 (0,291 - 0,210) + \frac{0,0469}{0,434} \log \frac{6,06}{27,5}$$

$$n_x = 0,3935$$

$$\text{Valor experimental} = 0,4010$$

$$\text{Diferencia porcentual} = 1,9 \%$$

Algunas Consideraciones sobre los Ensayos Físico-Mecánicos

Por el Dr. Jorge J. C. Colombo *

En la construcción de caminos se emplean actualmente las carpetas superficiales preparadas, sea con ligantes bituminosos, sea cementados, saturados de granulados pétreos y reforzados a veces, mediante tratamientos superpuestos. Estos mantos ofrecen al continuo desgaste del tránsito una resistencia que no depende solamente del ligante, pero también y en gran proporción de las características físico-mecánicas de los granulados sometidos continuamente a la acción de roce, de compresión, y también de arranque del ligante que lo retiene anclado a la superficie de la calzada.

El consumo actual de esos granulados es enorme; las naciones europeas lo calculan en decenas de millones de toneladas: fácil es comprender como la elección de tales granulados implique una selección atenta y expirimentada según las características que presentan y que naturalmente derivan de la roca madre de la que se extraen.

Las rocas son formaciones magmáticas-erúptivas a veces y otras, agregados heterogéneos o sedimentarios discontinuos. Suelen presentar aspectos negativos en ciertos puntos: alteraciones, descomposiciones, fisuras: se trata de fenómenos químicos y físicos, por lo tanto un operador muy experimentado puede, en un macro-ensayo sobre la muestra, juzgar la eficiencia de dicho material.

En la misma cantera podemos alcanzar un conocimiento aproximado de la solidez de la roca cortando un trozo de la misma en forma de cuña con un ángulo de 20° y probando hasta que espesor es posible romper con los

dedos la parte aguzada. Naturalmente la mayor o menor extensión del trozo que podrá ser roto, probará la resistencia del material.

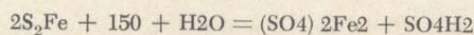
Si se trata de rocas sedimentarias, la línea de estratificación será paralela a la base de la cuña fig. 1.

Este método empírico, usado por los alemanes no es siempre aplicable, tal por ejemplo en gravas o en cantos rodados. En el material destinado al adoquinado de calles o para integrar con ligantes las carpetas, es necesario ensayar la dureza por desgaste y también su resistencia a la fragmentación.

Para conocer el grado de desgaste se procede a un ensayo general que consiste en someter el material al roce de una muela de 25 cm. de radio, sobre la cual se va vertiendo 400 grs. de esmeril (Nº 3) y después de 440 vueltas se determinará cuantos mm. de espesor ha perdido la roca (1).

Pero todo esto no es siempre suficiente. La resistencia de las rocas a la meteorización depende más de la composición química que de la estructura. El examen microscópico nos analizará su composición determinando cada uno de los minerales que la integran y el respectivo grado de frescura o descomposición.

En las rocas erúptivas de magma vítreo hay que determinar la naturaleza química del vidrio y si gelatiniza o es inatacable por los distintos ácidos diluidos. La piritita es elemento muy perjudicial pues en su vitriolización hay formación de ácido sulfúrico que descompone y corroe rápidamente la roca según la ecuación siguiente:



Y este deterioro, como otros muchos, se revelan con el tiempo que descubre sorpresas negativas (2).

Los ensayos de resistencia de un material pétreo se hacen en laboratorio sobre muestras de cubos o paralelepípedos que vienen sometidos a la acción de prensas hidráulicas. Las

muestras serán trabajadas, pero solamente aserradas o desbastadas ligeramente para no aumentar las fisuraciones.

Serán bloques de regular tamaño evitando los fragmentos de reducidas dimensiones y si presentan estructuras distintas se agruparán en modo de poder hacer un análisis homogéneo.

No es tampoco muy fácil determinar el coeficiente de fisuración de las rocas.

Formadas según procesos genéticos, metamórficos de alteraciones sucesivas presentan siempre propiedades físicas variadísimas.

Hay fisuraciones visibles a simple vista, pero las hay también visibles solamente con el microscopio o sea microfisuraciones y, otras que quedan invisibles también con un microscopio común.

Los actuales métodos para el estudio de la microfisuración son variados.

Pueden observarse directamente sobre una lámina petrea delgada, pero durante su preparación pueden venir multiplicadas sus fisuraciones producidas por los granos de "carborundum" que al frotar la lámina de vidrio tiene libre acción de rozamiento. Para evitar lo cual se usa inyectar una resina antes de proceder a la preparación.

Otro método consiste en sumergir la muestra (sobre vacío) en una resina epoxy conteniendo del 5 a 10 % de colorante pero hay el riesgo de una penetración incompleta.

También notaremos la absorción por capilaridad de sustancias fluorescentes.

Se han ensayado también los rayos X (pero se han puesto en evidencia las fisuras grandes); la propagación del sonido, pero con este método se ha comprobado más la orientación de las fisuras que su importancia (solamente en el mármol de Carrara se han obtenido resultados positivos con una disminución de la velocidad del sonido en un 40 % después de calentado). Otros métodos se han

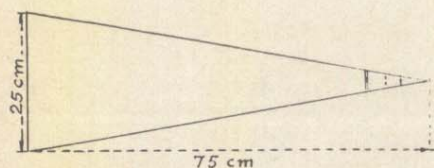


Figura 1

(*) De la Dirección Nacional de Vialidad.

ensayado: compresión, presión sobre testigos siguiendo ejes, etc.

Elencados parcia'mente todos estos métodos, podemos juzgar que los más eficaces resultan los ensayos físico-mecánicos en los cuales las rocas están sometidas a contracciones sea de tracción como de compresión y de fragmentación.

La observación debe hacerse sobre superficie pulida para poder notar la orientación y determinar los minerales que se fisuran antes.

Reducidas las rocas a granulados, su valorización según los ensayos mecánicos actuales pueden llevar a conclusiones prácticas positivas.

Trataremos a continuación los ensayos Los Angeles, Micro-Deval, del Touring Club Italiano y el que se emplea en los Laboratorios de V. N.

ENSAYO LOS ANGELES

Procedimiento:

Se separan los granulados de la muestra en grupos según el tamaño usando tamices aceptados por Norma Iram. Cada una de estas fracciones serán lavadas y secadas.

En el ensayo se emplean 5.000 grs. de granulados elegidos según el tamaño que conviene al tipo de obra (el tamaño estará comprendido entre 4,8 y 38 mm.). A continuación damos una descripción sucinta de la máquina que se emplea en este ensayo.

Ella consta de un cilindro de acero fig. 2 de unos 500 mm. de largo y de diámetro de 700 mm. Este cilindro gira alrededor de un eje interior horizontal y fijado en sus extremos a un dispositivo que le transmite un movimiento rotativo alrededor de sí mismo. El cilindro posee una abertura (por donde entra el material) de cierre hermético. En el interior de este tambor y fijada a lo largo de una generatriz hay una pestaña saliente de acero, de un largo de 90 mm., cuyo fin es de aumentar el rebote de las esferas; esta pestaña está fijada en forma segura y rígida. La distancia entre las pestaña y la abertura medida sobre la superficie curva interior del cilindro no será menor de 1250 mm. Puede esta pestaña ser substituida por un hierro doblado en ángulo y fijado a la tapa del cierre, así la cara exterior de un lado del ángulo arrastrará la carga.

La abrasión se compone de esferas de acero de fundición de 48 mm. de diámetro y del peso de 390 a 445 grs. en cantidad de 6 a 12 esferas.

Una vez colocado el material granulométrico y las esferas, reciben rotaciones a la velocidad de 30 a 35 vueltas por minuto hasta cumplir 500 vueltas. Entonces se retira todo el material y se tamiza con tamiz Iram 1,7 mm (Nº 12) y se pesa el material retenido previo lavado y secado con la precisión del gramo y se calculará la pérdida por abrasión según la siguiente fórmula:

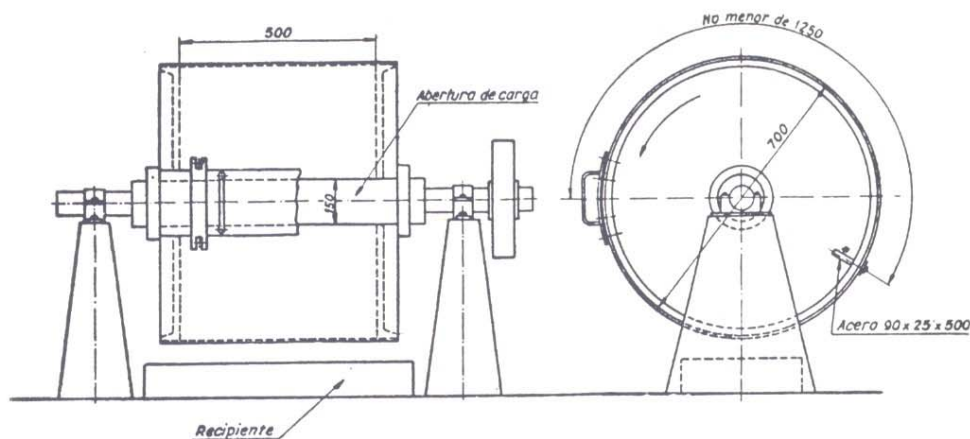


Fig. 2

De Norma Iram oficializada Nº 1532 N.I.O. "Ensayos de los agregados gruesos con la máquina Los Angeles - Octubre 1956 - Pág. 4.

$$P = \frac{G - G_l}{G} \times 100$$

de donde:

- p: porcentaje de pérdida
- G: peso de muestra seca
- G_l: peso del material retenido

Acotaciones:

Los laboratorios regionales franceses han experimentado largamente sobre el ensayo Los Angeles y derivaron de ello la máquina Amedée Mannheim haciendo las siguientes modificaciones:

- a) espesor de la chapa del cilindro
- b) posición de la pestaña interna

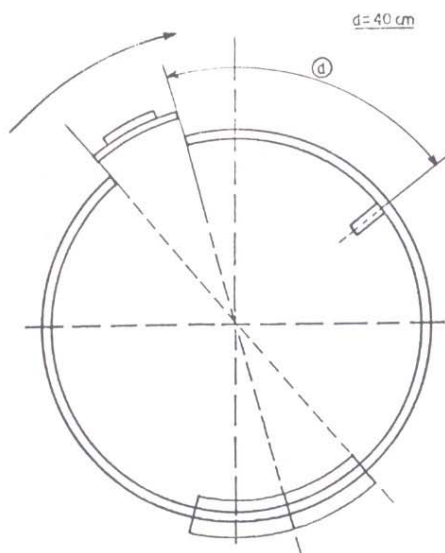


Fig. 3

Del artículo: Machine Los Angeles détermination du point de chute des boulets por Cl. Caltaux - Operador de rocas de la sección de Suelos y Rocas del Lab. Central.

Distancia abertura de la pestaña
Zona de caída opuesta a la abertura.
Nueva disposición recomendada para el emplazamiento de la abertura en relación a la pestaña.

De Bull. Liaison Labo. Routiers P. et Ch. Nº 7, Pág. 9-6 Mayo-Junio 1964 - Nº 215.

Con estas condiciones fueron presentadas a los laboratorios D'Angers con las motivaciones siguientes.

- a) el espesor influye sobre la energía cinética de las esferas que por fracciones viene absorbida elásticamente por la chapa, por lo cual ese laboratorio aconseja aumentar el espesor hasta 12 mm, siendo el anterior en Ponts et Chaussée solamente de 6 mm.
- b) el punto de caída de las esferas debe estar alejado racionalmente de la abertura de la máquina. Ensayos hechos para observar el punto de mayor rebote o de impacto de las esferas, para impedir que caiga sobre el cierre, punto débil de la máquina (para esa comprobación se revistió el tambor interiormente con una hoja de papel "Krafft", sobre otras de papel carbónico y de papel secante, para permitir una buena impresión).

Hechos varios ensayos, han deducido que la mejor colocación de la pestaña, era a 40 cm. de la abertura fig. 3.

ENSAYO MICRO-DEVAL

El ensayo Micro-Deval emplea 500 grs. de granulado 12,5/25 tamizado. Es conveniente disponer de un testigo de 50 cm. de largo, fig 4 (x), que se fragmentará en una trituradora de laboratorio para un diámetro de 30 mm. Esta granulometría es conveniente para no apartarse de los materiales comúnmente usados en las calzadas.

Este granulado será lavado, secado y pesado, luego introducido en recipientes fig. 5 de acero inoxidable de la capacidad de 4 litros y cargados con 5000 grs. de esferas de

(*) Essai Micro-Deval destiné a prévoir a partir de petits échantillons, les qualités Routiers des Roches Carottées por R. L'Haridon -Tco. Superior- Rev. de Lab. Ponts et Chaussée -Nº 14- julio-agosto, año 1965, pag. 1-17.

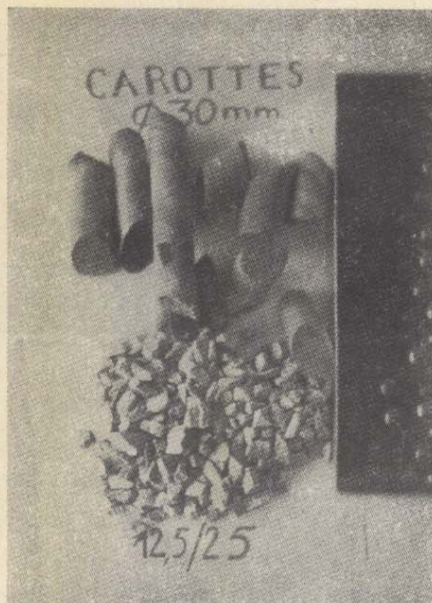


Fig. 4

Del artículo: Essai Micro-Deval destiné a prévoir a partir de petits échantillons, les Qualités Routières des Roches Carotées por R. L'Haridon —Técnico Superior—. Granulado 12,5/25 obtenido de un test'go del diámetro de 30 mm. De Bull. liasion Labo. Routiers P. et Ch. N° 14, Pág. 1-18 - Fig. 1 - Julio-Agosto 1965.

20 mm. de diámetro de acero-niquel-cromo fig. 6.

Los recipientes vienen sometidos a un movimiento rotatorio a la velocidad de 100 revoluciones por minuto, mediante dos ejes horizontales verificándose la velocidad por un taquímetro.

El tiempo de revoluciones durará 1 hora y media. Se extrae el granulado de los recipientes y se pasa el retenido por el tamiz de 2 mm. Una vez pesado el retenido se vuelve a introducir en los recipientes con 5000 grs. de esferas y se somete a una nueva rotación durante otra hora y media. Se vuelve a extraer y se somete a una separación gra-

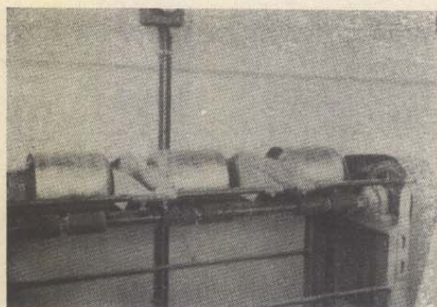


Fig. 5

Del artículo: Essai Micro-Deval destiné a prévoir, a partir de petits échantillons, les Qualités Routières des roches carotées por R. L'Haridon-Tco. Sup. Ensayo Micro-Deval (triturador) De Bull. liasion Labo. Routiers P. et Ch. N° 14, Pág. 1-18 - Fig. 3 - Julio-Agosto 1965.

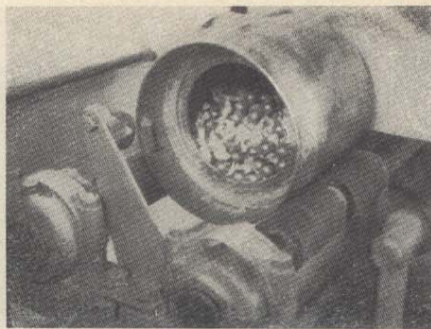


Fig. 6

Del artículo: Essai Micro-Deval destiné a prévoir, a partir de petits échantillons, les Qualités Routières des roches carotées por R. L'Haridon-Tco. Sup.

Recipiente en posición de movimiento. De Bull. liasion Labo. Routiers P. et Ch. N° 14, Pág. 1-18 - Fig. 2 - Julio-Agosto 1965.

nulométrica mediante tamices de 20-16-12,5-10-8 y 6,3 mm.

El coeficiente Micro-Deval es la relación:

$$100 \times \frac{P}{500}$$

Estos ensayos se pueden realizar por vía seca o húmeda. En este último caso los recipientes vienen llenados con agua por 3/4 de su volumen después de haber recibido su carga.

La sensibilidad al agua, es decir la diferencia entre Deval seco y Deval húmedo es dada por la relación variable según el tipo de roca.

METODO EMPLEADO EN EL ENSAYO DEL TOURING CLUB ITALIANO.

En este antiguo ensayo, se trata de someter el granulado a un peso-carga rodante dispuesto en las peores condiciones de resistencia, es decir extendido sobre una superficie plana y rígida.

El procedimiento emplea un rodillo de 400 Kg. acondicionado con una corona circular sobrealiente, ancha 5 cm., el diámetro es de 50 cm. El rodillo apoya únicamente sobre esta corona fig. 7 y así llega a transmitir una carga equivalente a 80 Kg. por cm² de superficie de contacto. Este rodillo se hará rodar sobre una superficie rectilínea, rígida ancha 14 cm. y larga 50 cm. constituida por el plano rectificado de un hierro a doble T. Sobre esta superficie se extenderán 500 gr. de granulado pasado por tamices de las dimensiones comprendidas entre 9,4 y 4,7 mm. El aplastamiento se ejecutará con cuatro pases de la corona (5 cm.) sobre la pista. Se necesitarán 12 pasadas en forma que cada faja sea comprimida tres veces.

La velocidad del rodillo será de 1 metro cada diez segundos.

Recogido el granulado, aplastado y fragmentado, viene pasado por tamices de 4,70

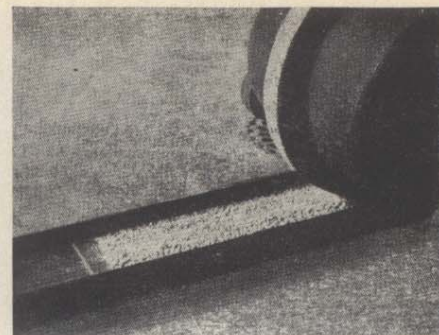


Fig. 7

Del artículo: La prova di Frantumazione per lo graniglie por Doct Ing. Giuseppe Cimato - Instituto Sperimentale Stradale del Touring Club Italiano y del Real Automobile Club D'Italia. Extracto de la Revista "Le Strade" Setiembre 1935 - XIII - Pág. 9 - Fig. 5.

Acción de Fragmentación

(N° 4); 2,36 (N° 8); 1,7 (N° 14); 0,59 (N° 28); 0,30 (N° 48); 0,15 (N° 100).

La variación granulométrica que resulte de este proceso representará el coeficiente de fragmentación cuyo valor resultará de la suma de los retenidos parciales de cada tamiz.

Si llamamos a-b-c... etc., los retenidos parciales y con A la cantidad total de material granulado empleado, podremos deducir ese coeficiente.

$$R = \frac{100}{A} [nA - na - (n-1)b - (n-2)c - (n-3)d \dots S]$$

Es decir la porcentual del peso del material empleado menos la suma de los retenidos; tendremos pues que para un granulado, que bajo la acción del rodillo no se altera absolutamente, será:

A = a + b + c + detc. el coeficiente será R = 0

Si en cambio todo el material pasa por los tamices, (en caso de tratarse material que se pulveriza completamente) tendremos:

$$a = b = c = d \dots S = 0 \text{ será } R = 100 \text{ xm}$$

Los valores comprendidos entre 0 y 600 serán los coeficientes que formarán una amplia graduación de las diferentes rocas.

$$\text{o sea } R = 100 \times 6$$

En la práctica y en los numerosos procesos ejecutados en el Instituto Experimental del T.C.I. se ha obtenido por materiales excepcionalmente resistentes mínimos valores, de 60 y 70, mientras los máximos se acercan y superan los 300 con rocas muy friables.

En el Laboratorio de V. N. empleamos el Ensayo Los Angeles. El aparato, como ya se ha visto, consta de un cilindro de acero de un espesor de 12,5 mm y la pestaña para el rebote de la carga está colocada a 200 mm del cierre hermético de la abertura.

Se desbasta la roca en modo de obtener granulados cuya forma se acerque lo más posible a la cúbica, recelando de las formas planas que ofrecen un alto porcentaje de rotura y de desgaste. Para su separación se usa un tamiz de abertura rectangular 4,5 x 20 que dejen pasar las formas planas.

Un ensayo mecánico no es eficiente sino es realizado con material homogéneo, en caso contrario conviene agruparlo.

El tamaño más satisfactorio del granulado es de 4,7 a 9,4 mm. Pero la conveniencia del mayor o menor tamaño del granulado depende en gran parte de la clase de roca.

Para trabajos de análisis y ensayos resulta de mucha importancia un laboratorio amplio, luminoso, ventilado. Comprenderá tres ambientes:

- uno, para el análisis de los elementos que integran las muestras de rocas, su textura, su grado de conservación y alteración mediante la observación directa y sobre todo con el microscopio, además de archivos de análisis.
- un segundo ambiente, para la mecánica de los ensayos: desbastadora, máquina rotatoria para la abrasión de las muestras, tamices y balanza.
- un tercer ambiente, que puede integrarse con el precedente para depósito de muestras de roca.

El análisis microscópico comprende:

- composición de las rocas o sea estudio de los minerales que la integran.
- estructura de las mismas rocas o sea modo de unión de sus elementos.

El cuarzo es un elemento favorable siempre que no presente en su estructura, granos aislados; las cuarcitas y las areniscas son a veces muy frágiles. Los feldespatos unidos a cuarzo dan buenos resultados sobre todo si son de grano fino: aptitas y microgranitos.

La mica blanca (muscovita), la mica negra (biotita) son muy sensibles al agua, lo que provoca dilataciones (hinchazones) causa de desintegración.

La presencia de minerales de alteración como la clorita, sericita, vermiculita y también las arcillas y los hidróxidos de hierro, reducen la resistencia mecánica.

En cuanto a la estructura debemos remarcar que más fino es el grano, más alta es la resistencia, los macrogranos causan porosidad.

Otras estructuras favorables con las en que los granos se unen uno dentro de otro como en la dolerita.

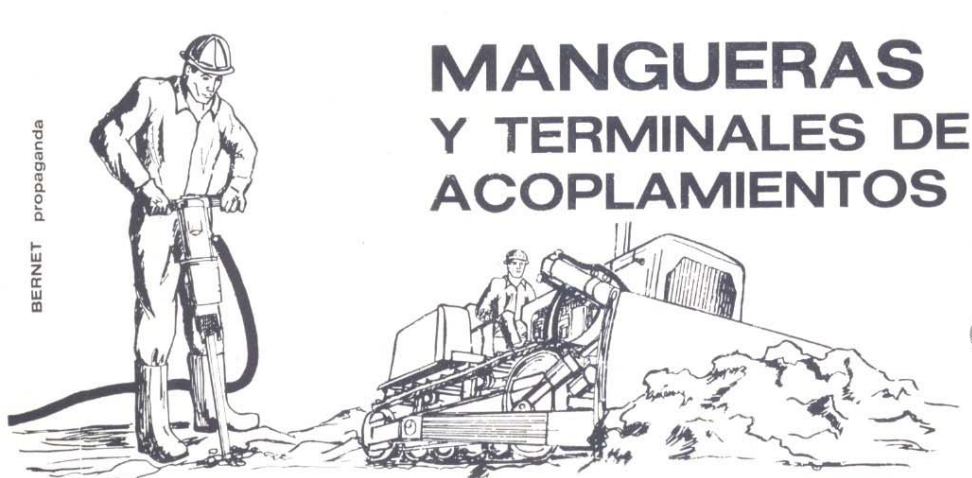
Las estructuras orientadas no dan siempre resultado positivo y las rocas cuyos elementos están unidos por cemento depende de la naturaleza del mismo, cuanto más fino más resistente tales como macrogranos de feldespato unidos por cemento microcristalino de cuarzo.

Rocas tenaces con buenas texturas, con cohesión entre los granos como basalto, gabros, diabasas y con minerales de estructura entrecruzada o fibrosa como en las Serpentininas, que son relativamente blandas pero difíciles de quebrarse son recomendables, para un granulado, mientras los granitos, granitoides, las sienitas, muchos pórfidos de estructura cristalina, de grano más o menos grueso en pasta vidriosa cuarzosa, por lo tanto frágiles, son pésimos resistentes al desgaste rasante y al roce, dando granulados que se disgregan y pulverizan fácilmente con un alto coeficiente de trituración.

Naturalmente en la mayor duración de las carpetas, intervienen otros factores importantísimos como la preparación de las bases y de los contrapisos y de la acción inteligente, criteriosa y constante de los controles durante los trabajos y a obra terminada.

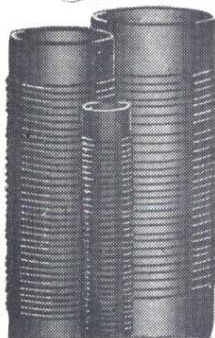
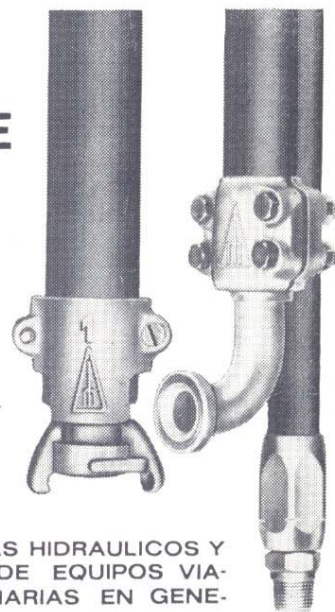
BIBLIOGRAFIA

- (1) y (2): Tratado de Geología Práctica de Conrado Keilhack, 4ta. Edición, Año 1927, Págs. 420 - 421.
- (3) : La prova di Frantumazione per le graniglie per Dr. Ing. Giuseppe Cimato - Istituto Sperimentale Stradale del Touring Club Italiano y del Real Automobile Club D'Italia Extracto de la Revista "Le Strade" - Setiembre 1935 - Año XIII.



BERNET propaganda

MANGUERAS Y TERMINALES DE ACOPLAMIENTOS



LINEA COMPLETA DE CAÑOS FLEXIBLES PARA USOS INDUSTRIALES, CONDUCCION Y ASPIRACION DE AGUA, AIRE Y COMBUSTIBLES

PARA SISTEMAS HIDRAULICOS Y NEUMATICOS DE EQUIPOS VIALES Y MAQUINARIAS EN GENERAL.

DISTRIBUIDORES DE:
ADHESIVOS Y TRABAS QUIMICAS
"LOCTITE"®

INDUSTRIAS
MONTEFIORE
S.A.I.C.



ESTACIONAMIENTO GRATUITO EN BELGRANO 463.

ADMINISTRACION AV. BELGRANO 427/41 TEL. 34-9362 34-9948 VENTAS TEL. 30-7456 33-0878 BUENOS AIRES
SUCURSAL MENDOZA: GODOY CRUZ 52 - TEL. 258388 - SAN JOSE DE GUAYMALLEN (MZA)

La Calidad Superficial de los Pavimentos

LISURA

Por el Ing. Arnoldo Hugo Meeroff

INTRODUCCION

La inquietud de los especialistas en temas viales en lo referente al tema de la calidad superficial de los pavimentos no es de reciente data; a medida que la técnica fue avanzando, la suavidad obtenida en el rodamiento de los vehículos —y exigida por los usuarios— fue incrementándose; a la par que se fueron dotando a esos vehículos de los medios mecánicos tendientes a lograrlo.

Es evidente que el elemento primero que propende a esa suavidad de marcha está dado por lo que denominamos lisura de la calzada; idealmente, el plano de rodamiento de una carretera debería conformar exactamente la línea del perfil de la rasante dibujada en los planos del proyecto; en la práctica, esa superficie de rodamiento no debiera alejarse en sentido vertical, más que en una magnitud lo suficientemente pequeña como para que no alcance a ser percibida por los ocupantes de un vehículo durante su marcha.

Todo aquel punto de la superficie de una calzada que se separe en sentido vertical de aquella línea ideal de rasante, ya sea en función de una textura rugosa, o por saltos, juntas, ondulaciones, etc., dará origen a una solución de continuidad en el andar del vehículo que repercutirá en mayor o menor grado sobre los ocupantes y/o carga del mismo.

Evidentemente esto depende de una gran gama de variables, siendo las más importantes: el tipo de vehículo con que se lo pretende evaluar, —peso, suspensión, etc.— la velocidad a que el mismo circula, el grado de comodidad en el rodamiento que se pretende en esa ruta, la apreciación personal del pasajero medio, la seguridad en el transporte de determinadas cargas.

Debe aclararse que no es solamente en función de ese grado de comodidad del pasajero la razón por la que se habla de mejorar la lisura de una ruta; si bien es así, de por sí sola es una buena razón, es posible que ella sola no lo sea lo suficiente como para hacer rentable la necesidad de mejorar equipos y técnicas constructivas tendientes a lograrla; sino que dicha lisura es uno de los factores que, juntamente con la textura superficial, son elementos que influyen directamente sobre:

- 1) Esguerramiento superficial de las aguas sobre la calzada y consiguiendo rapidez de alejamiento de las mismas.
- 2) Esfuerzos dinámicos sobre la estructura del pavimento originados por las fuerzas de inercia (impacto) que producen los vehículos al circular sobre las calzadas con irregularidades superficiales (algunos métodos de diseño estructural de pavimentos, autorizan a incrementar hasta en un 25 % la carga por rueda por efecto de impacto).
- 3) Seguridad en la conducción, elemento de fundamental importancia a las velocidades de circulación actuales.
- 4) Vida útil de los vehículos.
- 5) Consumo de combustible.

Si bien no es factible por el momento llevar a cabo un análisis económico a fin de sopesar la rentabilidad de un mejoramiento en lisura de una ruta, debido a la naturaleza variada de los elementos componentes que entrarían en juego en tal análisis, una estimación sobre este punto, considerando lo enumerado anteriormente, no nos deja lugar a dudas sobre el beneficio que reportaría, especialmente en rutas de primera magnitud.

La importancia que reviste el estado de la superficie de rodamiento de las calzadas ha sido puesta de manifiesto muy claramente en el concepto de "Serviciabilidad" o Transitabilidad Actual ("Present Serviciability") desarrollado en los EE. UU. con motivo del AASHO Road Test; definiéndoselo como la capacidad de una determinada sección de pavimento para proveer, en la opinión del usuario, una conducción suave y confortable, en un determinado momento, a velocidades normales de operación y en condiciones normales de tránsito mixto.

La evaluación de esta condición, era llevada a cabo mediante el recorrido y posterior calificación del tramo en estudio por parte de un panel compuesto de autorizados representantes de los usuarios, obteniéndose el "Present Serviciability Rating" ("Rango o Grado de Transitabilidad Actual, PSR"), en una escala de uno a cinco puntos, como promedio de las calificaciones individuales de los integrantes de ese panel.

Posteriormente, y a los efectos de poder llevar a cabo esa evaluación en forma periódica y continua, e independizada de la apreciación humana, se establecieron fórmulas matemáticas basadas en mediciones practicadas sobre la ruta a evaluar y elaboradas de tal manera que el guarismo obtenido mediante ellas, pudiera suplantar, dentro de límites prefijados, al obtenido por calificación individual. Puesto que las características que influían con mayor peso sobre la calificación del panel, eran las referentes a la calidad y condición del perfil longitudinal y transversal, es que sobre éstas se basaron principalmente dichas mediciones; interviniendo en menor grado el estado de fisuración, baches, resistencia al deslizamiento, estado de banquetas y cunetas, zumbido de los neumáticos sobre cada diferente tipo de textura del pavimento, etc.

Las expresiones matemáticas que se deter-

minaron a los efectos de obtener el Índice de Transitabilidad Actual (PSI) fueron:

a) para pavimentos flexibles:

$$PSI = 5,03 - 1,91 \log (1 + \overline{SV}) - 1,38 \overline{RD}^2 - 0,01 \sqrt{C + P}$$

b) para pavimentos rígidos:

$$PSI = 5,41 - 1,78 \log (1 + \overline{SV}) - 0,09 \sqrt{C + P}$$

en donde:

$\overline{SV}$: sumatoria estadística —variancia— de las irregularidades longitudinales medidas a lo largo de cada huella de rodamiento en cada trocha; determinación efectuada mediante el equipo denominado AASHO Road Test Profilometer (descrito más adelante en el punto 4), el que va proporcionando las variaciones de pendiente de la calzada, prácticamente en cada punto, con respecto a un plano horizontal; es decir, el grado de alteración del perfil longitudinal en el sentido paralelo al eje.

$\overline{RD}$: sumatoria estadística —variancia— de las depresiones transversales medidas mediante una regla rígida de 1,22 m. (4 pies) de longitud colocada perpendicularmente al eje, sobre cada una de las huellas de rodamiento en cada trocha; representa el grado de alteración del perfil en el sentido transversal al eje.

El valor $(C + P)$ es representativo del estado de la calzada en cuanto a fisuras mayores y bacheos.

La determinación de este índice, en un instante cualquiera de la vida de un pavimento, permite conocer el estado del mismo en ese momento; indicando la conveniencia o necesidad de proceder a una eventual reparación o mantenimiento. Por otra parte, la medición llevada a cabo sobre una calzada recién ejecutada posibilita el calificar la técnica constructiva y equipos empleados.

En nuestro medio, ha sido dable observar una marcada y progresiva tolerancia en cuanto a la aplicación de las pocas exigencias vigentes sobre el control de la calidad superficial de carreteras en construcción.

La finalidad primordial de este artículo es el de hacer un llamado de atención respecto a la necesidad de no seguir descuidando este tema; se intenta hacerlo, describiendo algunos de los equipos y especificaciones más perfeccionados de los que están en utilización actualmente en diversos sitios del mundo; con especial mención para aquellos que consideramos son los de mayor aplicabilidad en esta

etapa de la vialidad nacional; como son, aquéllos capaces de efectuar controles de obra en proceso de ejecución, con el objeto de evaluar, corregir y perfeccionar a lo largo de las mismas, técnicas constructivas y equipos. El paso posterior, sería el de contar con dispositivos aptos para evaluar mayores longitudes de carreteras en obras ya habilitadas, con el criterio de calificar toda una red vial.

MÉTODOS Y EQUIPOS DE EVALUACION

Cabe mencionar que ya en el año 1900, fue publicada la obra: "Road Making and Maintenance" de Thomas Atkins, en los EE. UU., en donde se hace referencia a un equipo utilizado en aquellas épocas, denominado "Viagraph"; el cual, dentro de una construcción rudimentaria, poseía y estaba en condiciones de aportar todos los datos necesarios sobre la condición superficial de un camino, dentro de la exactitud que de él podría esperarse. Datos que en realidad son los que hoy en día proveen la mayoría de los modernos perfilógrafos en uso; suministraba un gráfico, un diagrama a escala, del perfil longitudinal relativo de la línea de la calzada a lo largo de la cual era arrastrado; aportaba un número índice como totalización de las irregularidades detectadas. Se indicaba que un valor de 15 pies por milla, como valor índice, era el representativo de una calzada que podía considerarse como de aceptable rodamiento.

A partir de ese momento, los medios a que se recurrió en sitios diversos en el mundo, han sido variados; describiremos los más significativos:

1) La forma primaria, más elemental que se nos ocurre para determinar el perfil, y la de proceder a nivelar, con respecto a un plano determinado de comparación, una secuencia de puntos a lo largo de una línea paralela al eje, lo suficientemente próximos, digamos con intervalo de centímetros entre sí, como para poder elaborar un perfil longitudinal a lo largo de varias fajas paralelas al eje. Lo obtendríamos con la precisión dada por la mayor o menor separación entre los puntos levantados. Está demás decir que es un sistema impracticable para ser desarrollado en una obra.

2) Un segundo sistema, éste ya llevado a la práctica, se basa en la detección de irregularidades midiendo el alejamiento, según una vertical, de los puntos de la calzada; tomando como plano de comparación el materializado por una regla rígida de longitud determinada y que se asienta sobre la calzada en forma paralela al eje (Figura 1); esa regla se posa sobre los puntos más altos, midiéndose las irregularidades como depresiones con respecto a ese plano superior. Debiendo en este caso, establecerse las tolerancias y exigencias en función de esas depresiones re-



Fig. 1 - Regla rígida.

lativas ya que no es posible lograr un perfil longitudinal de superficie; se debe por lo tanto, indicar valores de depresiones máximas tolerables, determinadas en función de la experiencia como productoras de sensaciones de incomodidad o riesgo.

Este es el método actualmente en vigencia en nuestros Pliegos Viales y el que por su relativa sencillez y rapidez de operación es utilizado por un buen número de organismos viales en el mundo con distintas variantes, y generalmente con exigencias adicionales.

Pero, una ruta, aún cumpliendo estrictamente las máximas exigencias que se pueden indicar para este método, no logra alcanzar una lisura aceptable en su totalidad; pues persisten deficiencias que la regla rígida no detecta, fundamentalmente aquéllas cuya frecuencia se da a intervalos que superan la longitud de la barra rígida utilizada.

Una variante de este sistema, es el que hace apoyar la regla, ya no sobre la calzada, sino sobre dos soportes en sus extremos, tipo tornillos calantes, a fin de nivelarla. Se materializa así un plano horizontal; puede adicionarse sobre aquélla un dispositivo desplazable sobre esa regla como por un riel, registrando mediante un graficador, accionado por una rueda que apoya sobre la calzada y dotada de un grado de libertad en sentido vertical, un perfil parcial sobre la longitud estudiada; es un método sumamente lento en su aplicación.

3) Dispositivos más avanzados consisten en equipos móviles, dotados de desplazamiento longitudinal sobre la calzada; el ya citado "Viagraph", utilizado ya antes de 1900, es el ejemplo primero de este caso. Se trata de mecanismos que en esencia no son otra cosa que aquella misma regla rígida, —para el ejemplo dado de 12 pies de longitud— arrastrada en sentido paralelo al eje, como si fuese un trineo. Un patín, o una rueda central, grafica el perfil relativo. Para eliminar el desgaste del equipo originado por el arrastre, así como el esfuerzo humano que representaba, se dotó a equipos posteriores de dos ruedas extremas solidarias a la regla, y de una rueda central móvil verticalmente, graficadora (Figura 2). Algunos de estos disposi-

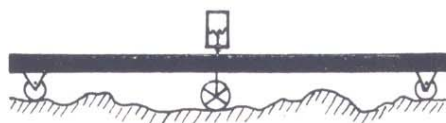


Fig. 2 - Regla móvil graficadora. Dos ruedas extremas.

tivos, en lugar de mecanismo graficador, venían dotados de un contacto eléctrico accionado a pilas, que producían el sonido de un timbre al circular sobre sectores excediendo las tolerancias; uno de estos aparatos considerablemente más perfeccionado está en uso en Gran Bretaña.

La inexactitud que poseen estos sistemas de solo dos ruedas en los extremos es grande; ya que exageran determinadas irregularidades

y minimizan otras, dependiendo de la longitud que medie entre ellas, pudiendo llegar a darse el caso de que para determinadas frecuencias de ondas o saltos, coincidentes con la separación entre ruedas, el perfil obtenido es diagramado como una línea recta; por otra parte, al avanzar, un solo defecto, digamos, un salto, aparecía diagramado tres veces, una como salto y dos como depresiones.

4) Dispositivos, de más reciente data, que miden y grafican ya no el perfil relativo del pavimento, sino la pendiente del mismo, detectando en cada punto el ángulo que se va formando entre la horizontal y un plano materializado por dos ruedas móviles verticalmente, con pequeña separación entre sí; por integración puede deducirse el perfil longitudinal (Figura 3). Como ejemplo de estos me-

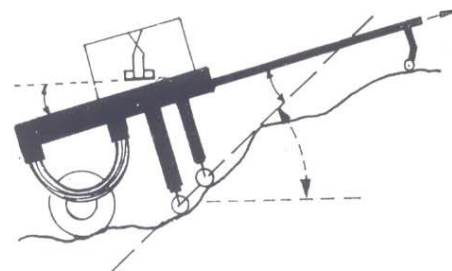


Fig. 3 - Graficador de la pendiente en el Punto. AASHO ROAD TEST Profilometer.

canismos, pueden mencionarse el "Altígrafo Diferencial de Coudert", el "Clinodógrafo" de Simonin, o el AASHO Road Test Profilometer, operado en función de circuitos electrónicos y registros en oscilógrafo. En general son dispositivos de alto costo, que van remolcados por un vehículo automotor, montados sobre trailer, y con posibilidad, por lo tanto, de poder medir considerables extensiones de rutas; por lo que puede ser afectado a la evaluación de carreteras; debe tenerse en cuenta que sus resultados pueden verse afectados por variaciones en la textura superficial y por irregularidades que se den con frecuencias pequeñas, muy cercanas entre sí.

5) Equipos que tienden a determinar directamente la calidad de rodamiento de una calzada (el denominado "Riding Quality") en forma similar a la sensación que experimentaría el usuario (Figura 4 - Foto). Tampoco



Fig. 4 — "Bump Integrator", Gran Bretaña.

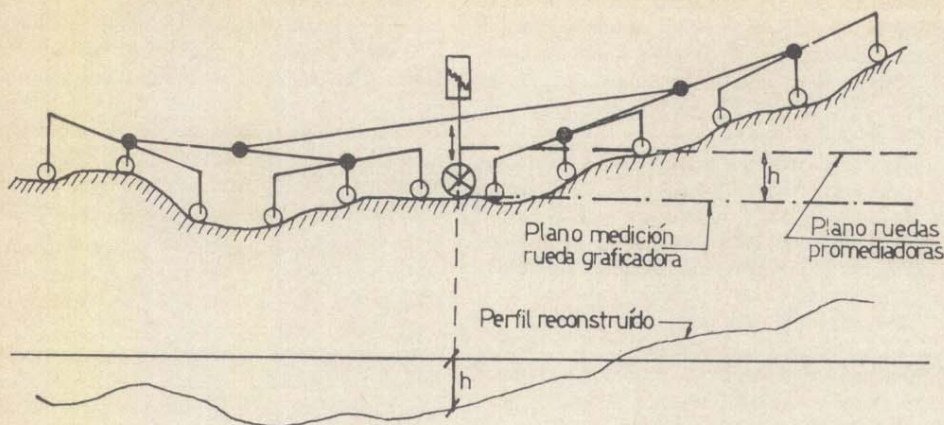


Fig.5 - Perfilógrafo ruedas múltiples-Tipo Texas ó California.

son de reciente aparición, ya que los primeros equipos utilizados se remontan a alrededor de 1920. Consisten esencialmente, de registradores de los movimientos relativos del chasis, o cuerpo de un vehículo, o remolque, con respecto al del eje de ruedas circulando sobre esa calzada; trabaja en función del principio de inercia; se hace necesaria por lo tanto, una cierta velocidad de circulación del equipo, que debe ser fija, uniforme, para asegurar reproducibilidad de resultados; esto, originariamente no podía ser logrado, pues se producían notables diferencias al montar los mecanismos en diferentes automóviles, o al cambiar en algo la suspensión de éstos. Con estos equipos se pretende medir directamente el efecto que las irregularidades de una calzada ejercen sobre los ocupantes de un vehículo. Se infiere que esto depende de elementos tan variables como ser: el vehículo en sí, su rodamiento, velocidad, suspensión, peso, incluso la percepción subjetiva del individuo dentro del vehículo, etc.; asimismo, la respuesta de diferentes automotores es distinta ante el mismo grado de irregularidad, dependiendo ello de la excitación que aquélla produce sobre las frecuencias de resonancias propias del vehículo. Normalizando estrictamente un determinado dispositivo, se ha podido llegar a establecer números Índices como relación entre la integración de los movimientos verticales detectados por una rueda, relativos al chasis, sobre la distancia recorrida. El primero de este tipo fue el "Via-Log", del Estado de Nueva York; mencionamos también dentro del mismo tipo, el "Bureau of Public Roads Roughness Indicator", el "Bump Integrator" británico, etc.

Son equipos de alto costo, aptos también para transitar sobre largos recorridos de rutas, y por lo tanto para evaluación de una red; poseen el inconveniente de no poder indicar acertadamente en algunos casos, los efectos causados por irregularidades con frecuencias largas.

6) Como perfeccionamiento de los dispositivos y métodos descritos en el punto 3), han surgido aquellos equipos que, basándose en la diagramación y medición de un perfil longitudinal relativo real, operan corrigiendo las deficiencias atribuidas a aquéllos elemen-

tos, que contaban de sólo dos ruedas extremas; poseyendo un tren de ruedas dispuestas de diversas maneras, y que producen el efecto de dar un plano de comparación promedio con respecto a todos los puntos de contacto de cada una de esas ruedas con la calzada. La medición se realiza mediante una rueda detectora central, que da por consiguiente una medida de la elevación o depresión de cada punto, con respecto a ese plano pro-

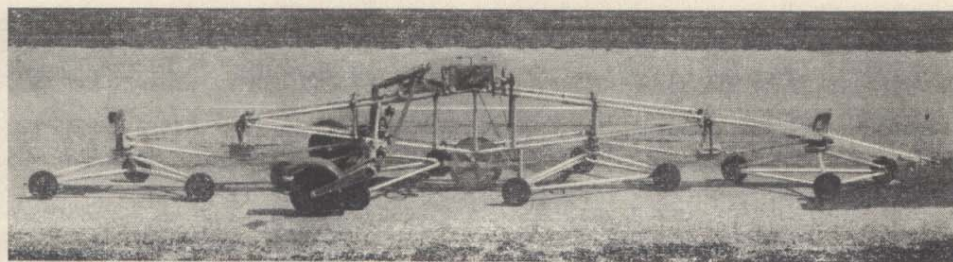


Fig. 6 — Perfilógrafo.

medio del área cubierta por el equipo. (Figura 5).

La variedad de dispositivos desarrollados en base a este principio es también muy grande; la exactitud y reproducibilidad de resultados depende, por supuesto, de numerosas variables; entre ellas, y fundamentalmente, la longitud del aparato, número de ruedas y separación y distribución de ellas; es el tipo de equipo que consideramos de mayor significación y posibilidad de empleo para obras en construcción, ya que por su relativa sen-

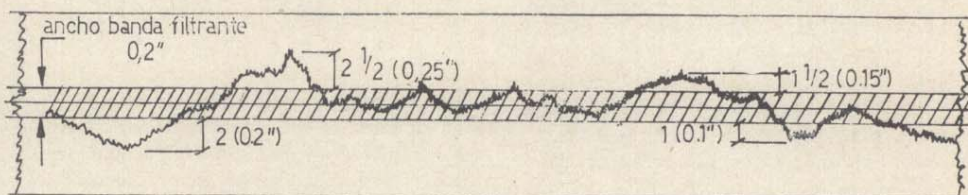
cillez de construcción comparado con los restantes, resulta de un costo tal como para que pueda disponerse de uno para control permanente de cada obra en sus distintas etapas.

Es adaptable para tramos cortos, o si se quiere, puede llegar a ser remolcado a reducida velocidad para distancias mayores. Dentro del mismo tipo de aparatos, se han desarrollado algunos más perfeccionados, tal como el consistente en un camión al cual se le ha adicionado el tren de ruedas promediadoras delanteras, traseras, o ambas, formando ya éstos equipos, el conjunto de los destinados para evaluación de rutas y control de obras terminadas.

Mencionaremos algunos de los aparatos desarrollados acorde al sistema que se describe en este apartado: el "Multi - Wheel Profilometer", de Gran Bretaña, dotado de un interesante dispositivo contador-clasificador, cataloga las irregularidades en intervalos de 2,5 mm. en un rango entre 0,1" a 1,5"; aporta un número índice, por integración de irregularidades, dividida por la distancia recorrida. El "Viagraphe Traceur", francés, operando en el mismo principio, tiene la particularidad de abarcar un área transversal con-

siderable; es utilizado fundamentalmente en conservación, pues detecta zonas deprimidas, demarcándola con pintura sobre la calzada a fin de ser reparadas.

Nos resultan particularmente interesantes los equipos diseñados, con sucesivas modificaciones, por los Departamentos de Carreteras de California y Texas; este último bastante más elaborado (Figura 6 - foto) pues a la par de dar el gráfico del perfil relativo. (Figura 7) entrega directamente un Número Índice mediante contadores digitales, que ca-



Escala Horiz. 1"=25' (~1:300) Escala Vert. 1:1
Cálculo para la sección Índice de Perfil = 7 (0,7")

Fig. 7 — Perfilograma típico obtenido con los equipos de Texas o California. Se miden sólo las irregularidades que superan el ancho de la banda "filtrante" —área rayada— de 0,2" de ancho.

TABLA A RESUMEN DE ESPECIFICACIONES

	Texas		California		Argentina		Gran Bretaña
	Pavimento Rígido	Pavimento Flexible	Pavimento Rígido	Pavimento Flexible	Pavimento Rígido	Pavimento Flexible	Todo Tipo de Calzada
Longitud regla rígida	3,05 m. (10')	4,88 m. (16')	3,66 m. (12')	3,66 m. (12')	3,00 mts.		3,05 m. (regla con ruedas)
Depresión máxima permitida bajo regla rígida	3,17 mm. (1/8")	6,35 mm. (1/4")	3,05 mm. longitudinal 6,10 mm. transversal	3,05 mm. longitudinal 6,10 mm. transversal	3 mm.	4 mm.	9,52 mm. (3/8") máximo absoluto
Número índice del perfilógrafo	15"/milla (24 cm/km) (en estudio)	15"/milla (24 cm/km) (recomendado)	7"/milla* (11 cm/km.) (exigencia)	7"/milla (11 cm/km.) (tentativa)	—		55"/milla (87 cm/km.) °°

* Tentativa de disminuir exigencia a 5"/milla (8 cm/km.) en trochas principales de calzadas excepto en zonas donde el radio de curvas sea menor de 305 m. (1.000 pies).

** Valor que incluye rugosidades superficiales, sin "banda de blanqueo".

NOTA: Texas establece, adicionalmente, que la desviación máxima de la superficie de la calzada desde el punto de contacto más cercano entre la regla y la superficie, no sea superior a 5,2 mm/m. (1/16" por pie) para todo tipo de pavimento. California trabaja en el perfilógrafo, con una "banda de blanqueo" de 0,2 pulgadas de ancho, mientras que Texas lo hace con una de 0,1". Asimismo, ambos Estados establecen que toda irregularidad (sobreelevación en caso de pavimentos rígidos) que supere las 0,3 pulgadas (7,62 mm), detectados en función del perfilograma, deberá ser corregida. En la Tabla B, que se detalla a continuación, se complementan las especificaciones de Gran Bretaña en cuanto al número máximo de irregularidades permitidos por tramo.

TABLA B (Gran Bretaña)

Número Máximo de Irregularidades Permitidas por Tramo en Estudio				
Longitud del Tramo				
En 305 mts. (1.000 pies)			En 76 mts. (250 pies)	
Irregularidades mayores de 3, 17 mm.		Irregularidades mayores de 6,35 mm.	Irregularidades mayores de 3, 17 mm.	Irregularidades mayores de 6,35 mm.
A	20	2	9	1
B	40	4	18	2
C	60	6	27	3

A: Capas de rodamiento para carreteras principales (No de ejes equivalentes en 20 años de tránsito, mayor de 5 x 10⁶).

B: Capas de rodamiento para otras rutas. Banquinas pavimentadas. Capas de base de carreteras principales.

C: Capas de base de otras rutas.

lifica el estado superficial de la calzada en el trayecto recorrido. El tren de ruedas promotoras está dispuesto de tal manera que todas ellas recorren sendas diferentes, longitudinalmente. Se constató que la textura, o grado de rugosidad superficial influye notablemente sobre ese Número Índice, confundiendo el perfil obtenido; puesto que en calzadas con pocas irregularidades pero de considerable magnitud, el Índice obtenido aparecía distorsionado con respecto a otras con gran número de irregularidades pequeñas, atribuibles exclusivamente a la textura superficial.

Para corregir esto, en ambos estados se introdujo el principio de la "banda de blanqueo" o "banda filtro" con la cual sólo se computan y totalizan aquellas imperfecciones cuya magnitud supere al de la tolerancia impuesta por la "banda de blanqueo". Esto se complementa, estableciéndose para las especificaciones, no solamente un valor tope para la totalización de las irregularidades a lo largo de una distancia determinada, sino también, adicionalmente, valores máximos para cada punto aislado.

El procedimiento consiste en que una vez que ha circulado el aparato por un tramo de ruta, se estudia el perfil depurado obtenido, así como el número índice hallado; de excederse las tolerancias, las correcciones importan desde el arreglo de zonas aisladas, superficialmente, con métodos cuidados para no afectar el grado de rugosidad necesario para evitar deslizamientos, hasta la remoción total de sectores demasiado defectuosos; involucrando eventualmente el reemplazo o reparación a satisfacción de equipos de construcción que no satisfagan las exigencias requeridas.

En función de la utilización de estos dispositivos, ya a lo largo de varios años de modificaciones y experimentación, se ha llegado a resultados sumamente interesantes, dentro de los que podemos mencionar, hablando por ejemplo de pavimentos flexibles, ejecutados con concretos asfálticos:

1º) La mayoría de las irregularidades detectadas en superficie son originadas por defectos de las capas subyacentes, especialmente la de base; tanto más se reflejan hacia la superficie, cuanto más delgada es la capa de rodamiento; y más aún si se la ha construido en una sola capa. De esto se deduce la necesidad del cuidado y control de lisura desde las capas de subbase y base.

2º) Se han observado mayores deficiencias en lisura cuanto mayor ha sido la velocidad de avance de la terminadora asfáltica.

3º) Se detectan irregularidades en cada sitio de detención de la terminadora asfáltica cuando se descarga cada camionada, toda vez que esta operación no es llevada a cabo con el cuidado correspondiente.

En pavimentos de hormigón de cemento portland, en el Estado de California, se comprobó un cierto grado de deterioro en lisura con el correr del tiempo, a lo largo de la vida de un pavimento; se observó un movimiento de elevación de los bordes de lasas, en zona de juntas, con respecto al área central de aquéllas; efecto constatado a diferentes horas del día y en diferentes estaciones del año. Se consideraba importante determinar si los puntos altos o bajos se localizaban en correspondencia de juntas, grietas o fisuras.

Se desprende de todo esto, la suma utilidad que reviste la medición sucesiva y repetida por medio de los equipos diagramadores de perfiles a lo largo de la vida útil de los pavimentos, ya que de esa manera pueden detectarse deficiencias progresivas, fallas incipientes, no registrables a simple vista; por comparación de gráficos de perfiles, obtenidos en distintas oportunidades, se ubican deformaciones en avance las que pueden ser corregidas a tiempo; esto puede lograrse, gracias a la sensibilidad con que pueden hacerse operar a estos equipos, con lecturas del orden de los 0,01" (0,25 mm).

En las tablas A y B que se adjuntan, se resumen valores numéricos correspondientes a normas en vigencia en algunas de las reparticiones viales del mundo que mayor atención han dirigido sobre el tema de la lisura de las calzadas; comparándolas con los actualmente exigidos en nuestro país.

CONCLUSIONES

Se considera de suma importancia y mucha urgencia la actualización de los medios y métodos de evaluación y control de la calidad superficial de nuestros pavimentos. Comparando los valores numéricos de las exigencias y tolerancias de las normas en vigencia en otros países, se observa que nuestros requisitos, en cuanto a valores de máximos permisibles, están acordes con aquéllas; aún más, podría indicarse que con referencia a algunas de aquéllas normas, las nuestras se sitúan en un plano bastante estricto, no indicándose margen de tolerancia para grupos de mediciones efectuadas a lo largo de un tramo en estudio. No se quiere significar con esto que no se debe buscar el adelanto y perfeccionamiento continuo de nuestros métodos y técnicas constructivas, adecuándonos a esos guarismos; pero la realidad es que por no existir una cierta permeabilidad estadística para con un cierto número limitado de puntos excedentes por tramo observado, se da la tendencia por parte de los mismos organismos de inspección y control, a desestimar, o aplicar parcial y retaceadamente la ejecución de ese control.

Debe tenderse a que esa verificación se produzca con efectividad; con dispositivos que dejen asentado por escrito, gráficamente, el perfil logrado en cada paso de una

obra; contando con un elemento irrefutable y veraz de que ese control se ha llevado a cabo efectivamente; pudiendo así detectarse un equipo de construcción deficiente; ajustando las técnicas de ejecución para lograr el máximo de precisión. Existiendo así la posibilidad de evaluar la red existente deduciendo con tiempo la necesidad de proceder al eventual mantenimiento o reparación de una ruta.

Para llevar esto a la práctica se hace necesario contar con perfilógrafos, considerando los del tipo de Texas o California, como los que mejor se pueden adaptar a esos fines; por otra parte, un esquema de exigencias tal como el vigente en Gran Bretaña, detallado en las tablas anexos, fijando un límite máximo absoluto y adicionalmente un número límite de irregularidades por tramo inspeccionando, arroje posiblemente los mejores resultados. Estableciendo simultáneamente un Índice tope de perfil, en función de las lecturas obtenibles del perfilógrafo.

Es evidente que para llegar a establecer los valores numéricos correspondientes a una norma con aquéllas características y adecuada a las condiciones locales, se deberá recurrir a un previo estudio exhaustivo con criterio estadístico, desarrollado sobre rutas recién terminadas y sobre caminos ya habilitados; a los efectos de poder establecer con certeza y justicia esos guarismos tope. Estudio que también deberá estar basado en el recorrido de las obras por parte de esas unidades graficadoras.

De esta manera, se habrá dado un importante paso, que no admite dilaciones, en pro del perfeccionamiento de un punto que por estar en permanente y directa relación con el usuario, es fundamental en la obra vial.

BIBLIOGRAFIA

- 1) "Devices for Recording and Evaluating Pavement Roughness". F. M. Hveem.
- 2) Materials and Research Department, California Division of Highways. Normas y métodos de evaluación de perfiles.
- 3) Texas Highway Department. Normas y Especificaciones.
- 4) "Development of a Construction Control Profilograph". Departmental Research. Report N° 49-3F. Texas Highway Department.
- 5) "The Assessment of the Riding Quality of Concrete Roads." D. F. Cornelius. 2º Simposio Europeo de Carreteras de Hormigón. Berna, 1973.
- 6) Comunicaciones personales con los Departamentos de Carreteras de los Estados de Texas y California. U.S.A.

La Ecología del Transporte: Palabras de un Ingeniero Vial *

Por Jacob Dekema

Nuestro actual sistema de transporte es objeto de un violento ataque por los "jeremías" que no son capaces de comprender que según los términos del Gral. Billy Mitchell: "El transporte es la esencia de la civilización".

Actualmente estamos empeñados en modernizar y mejorar el ya magnífico sistema de transportes, hecho que algunos presuponen un fenómeno natural. Nuestra tarea es totalmente similar a la del Barón Hausman quien, hace más de cien años, recibió instrucciones de Napoleón III para modernizar la ciudad de París. La transformación de la aldea medieval en la gran ciudad moderna de hoy, fue realizada a pesar del mismo ataque público que acompaña nuestra lucha presente.

Hausman desarrolló los grandes bulevares a través del corazón de París "desarraigando gente, eliminando propiedades valiosas, partiendo comunidades, separando familias y dividiendo la ciudad en islas aisladas" —Contrapuesto con el procedimiento de hacha de carnicer de Hausman, nosotros estamos desplegando la paciencia y precisión de un neurócrujano, para restaurar la adecuada fluencia del tránsito a través del sistema arterial urbano.

Como puntualizó Emund Burke: "aquellos que llevan la responsabilidad de los grandes planes públicos, deben estar a prueba contra las demoras más fatigosas, las decepciones más mortificantes, los insultos más chocantes y lo que es peor, los juicios presuntuosos de los ignorantes sobre sus proyectos".

Estos "ignorantes" se regocijarán demostrando estadísticamente que el área dedicada al transporte en el centro de Los Angeles es más de la mitad de su área total. Pocos saben que el centro de San Diego, desarrollado cuando el automóvil era aún un sueño, tenía un 42 % ocupado por las calles de la ciudad. Pierre L'Enfant, en el proyecto de Washington D.C. propuso destinar a calles el 59 %

del área total. Los sistemas de autopistas de Los Angeles y San Diego ocuparían el 2 % del área total y llevarán alrededor del 60 % del tránsito.

Un cáustico crítico de Boston escribió: "Las necesidades del transporte han forzado nuevos usos de las calles para los que nunca fueron diseñadas y para los cuales no están totalmente adaptadas. Las primitivas sendas de Boston fueron trazadas para vacas y deterioradas por el paso de los peatones y ocasionalmente alguna carreta. Ahora son atravesadas por monstruos que hubieran dejado atónitos a nuestros antepasados y que hacen a los viejos caminos, casi impasables para sus descendientes". Esto sucedía en 1892 y el "monstruo" era el tranvía. El primer automóvil aún no había sido fabricado en los Estados Unidos.

La conversión al transporte mecanizado de alta velocidad, ha traído, como beneficio adicional, la incorporación para otros fines, de 90 millones de acres (36,5 millones de has) de campos de pastoreo, destinados a la alimentación de caballos y mulas empleados para satisfacer las necesidades del transporte a comienzos del siglo veinte. Esta superficie es dos veces la total que ocupan las zonas de los caminos públicos de los Estados Unidos, incluyendo los tres millones de millas de caminos existentes antes de la primera guerra mundial. Incidentalmente el crecimiento de casi un 25 % de la longitud de caminos fue acompañado por un 100 % de aumento de la población. Aún hoy día, menos de la mitad de esa longitud está pavimentada y, desde luego, en ningún caso el ancho total de la zona de camino está pavimentada. Además, más de 1,5 millones de árboles y retoños son plantados cada año a lo largo de la zona de camino.

No hay nada nuevo en relación con el medio ambiente. En 1300 los nobles ingleses solicitaron al Rey Eduardo I hacer algo con respecto a la contaminación del aire de Londres, y en 1306 dictó una proclama prohibiendo la contaminación del aire. Como habrá descubierto Eduardo, y como todos sabemos en la actualidad, el mejoramiento del medio ambiente llega con el crecimiento económico y no por medio de edictos.

En 1400 Enrique V estableció una comisión de nobles para restringir y controlar el movimiento del carbón dentro de Londres, reconociendo el hecho de que el humo provenía de la combustión del carbón. No se disponía de la tecnología necesaria para corregir esta situación y Londres sufrió un número de "matadores smogs" a través de los siglos, cuyo último, aunque no el mayor, sucedió en 1952.

La grandeza del Imperio Romano se basó, fundamentalmente, en su magnífico sistema de carreteras; 53.000 millas de supercarreteras en conexión con los límites del extenso imperio. No obstante, ellos también tenían sus problemas y, a causa de la congestión urbana, Julio César prohibió la entrada a Roma de los vehículos con ruedas.

En 1635 Carlos I dio una proclama haciendo notar el excesivo alto costo de vida en Londres, causado por la extrema congestión y el oneroso retardo para proveer henos y forraje al interior de la ciudad. El no vivió para ver la solución del problema logrado en 1666 con el gran incendio de Londres. Actualmente nuestros servicios contra incendios son tan eficientes que no permitirían esta forma de renovación urbana instantánea, y muchos de nuestros problemas urbanos son causados por la lenta deterioración que puede ser revertida solamente por el crecimiento económico y los beneficios marginales derivados del mismo, como parques, museos, literatura y educación.

En 1909 cerca de 26 millones de caballos recorrían 13 mil millones de millas y 3.850 personas morían en accidentes provocados por vehículos con tracción a sangre.

Esto representa casi 30 muertes por 100 millones de vehículos-millas, número más de diez veces mayor que el correspondiente a las autopistas de California, que son objeto de nuevos mejoramientos.

Un estudio de la Asociación Médica Americana en un condado rural de Illinois, muestra que 16 médicos prestan mejor atención a mayor número de personas, que 42 médicos hace 40 años. La razón es, desde luego, el transporte más rápido, seguro y conveniente

(*) Extraído de un discurso en la American Road Builder's Association en Los Angeles, en Febrero, 1971. El Sr. Dekema es Ingeniero del Distrito 15, San Diego, de la División de Caminos de California. Traducción del Highway Research News, No 43 1971.

que facilita el traslado de los pacientes y su atención médica en pocos minutos y con mayor frecuencia, respectivamente. El número de vidas salvadas por esta mejor atención médica, excede largamente el de muertes producidas por el movimiento de personas y mercancías.

Una transformación similar ha ocurrido en el campo de la educación. Mejores medios de transporte han permitido arraigar pequeñas escuelas y mejorar la enseñanza.

Retornar al caballo y a la mula está, obviamente, fuera de consideración. Ya tenemos el problema de deshacernos de 2,3 mil millones de toneladas de estiércol por año, sobre un total de 4,4 mil millones de toneladas, de desperdicios.

Si quisiéramos mantener nuestro actual nivel de vida utilizando la tracción a sangre, en cambio de la mecánica, tendríamos una tonelada inútil de sólido y media tonelada de líquido, por día y por persona. Desde este punto de vista nuestro problema de contaminación ya ha sido resuelto.

Un desarrollo similar ha experimentado la contaminación del agua.

Cuando descubrimos que los retretes estaban contaminando los pozos, comenzamos a enviar las aguas servidas a ríos y lagos, contaminándolos, pero a pesar de ello, fue un tremendo adelanto. En 1810 el río Támesis en Londres, durante el estiaje estaba tan contaminado que los pájaros podían caminar de una a otra orilla. El Támesis está siendo final-

mente descontaminado gracias al mejoramiento económico que hace financieramente posible emplear la mejor tecnología disponible.

La contaminación por el hombre se está eliminando mediante adecuada legislación y nuestros "jeremías" tendrán que volver su atención a la contaminación natural. W. T. Pecora, Director del Servicio de Geología de los Estados Unidos, cita el ejemplo de solamente tres erupciones volcánicas (Krakatoa en 1883, Monte Katmai en 1912 y Hekla en 1947) que eyectaron hacia la atmósfera más polvo, cenizas y gases que todas las actividades de la humanidad a través de la historia.

Las mejoras del transporte incrementan la movilidad, y los mejores sistemas de transportes proveen gran libertad para elegir el lugar para vivir, expandir el área dentro de la cual la población puede vender el producto de su trabajo, y seleccionar los lugares de diversión, educación, oficios religiosos, culturales y recreación.

Para el empleador hay mayor facilidad de reclutar y retener una adecuada fuente de trabajo. Para los empleados hay mayores posibilidades para encontrar un trabajo que corresponda al nivel de su máxima habilidad.

Frank Herring, de la Autoridad del Puerto de Nueva York, en un estudio de la región metropolitana de esa ciudad concluye que la declinación del uso del transporte masivo y el aumento del uso del automóvil, son fenómenos paralelos, más bien que causa y efecto. Ellos son el resultado de una causa co-

mún, los cambios de forma y estructura de las metrópolis debidos a los cambios en las instalaciones de energía, técnicas de producción y métodos de comunicación así como de transporte. El propósito del transporte no es fundamentalmente llegar al vehículo más económico y eficiente concebible. El propósito del transporte es la civilización misma. Desde los albores de la civilización aquellas ciudades y estados que tenían los mejores sistemas de transporte alcanzaron los más altos niveles de vida, han tenido una cultura avanzada para su época y fueron capaces de mantenerse militarmente contra vecinos envidiosos y agresivos.

El transporte es la más vital, y primaria contribución a la ecología de la civilización humana. Si continuamos con nuestro impulso de construir una América mejor, alcanzaremos la visión de uno de los profetas hebreos, que asomándose al futuro dijo: "Todos los hombres se sentarán bajo su parra y su higuera, y nada los atemorizará".

FE DE ERRATAS

En el artículo "Visibilidad en Curvas Planimétricas" publicado en nuestro número 68, la fórmula (21) debe leerse en la siguiente forma:

$$y = \frac{\frac{\Delta}{\operatorname{tg} 2}}{4 \omega_0} = x^2$$

CANTERA

EL PEREGRINO

ruta 3 — KM. 333 — AZUL — PROVINCIA DE BUENOS AIRES

**PIEDRA GRANITICA TRITURADA
PRIMERA CALIDAD**

**Para Hormigones - Tratamientos
y Carpetas Asfálticas**

EL PEREGRINO S.A.

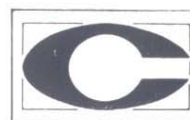
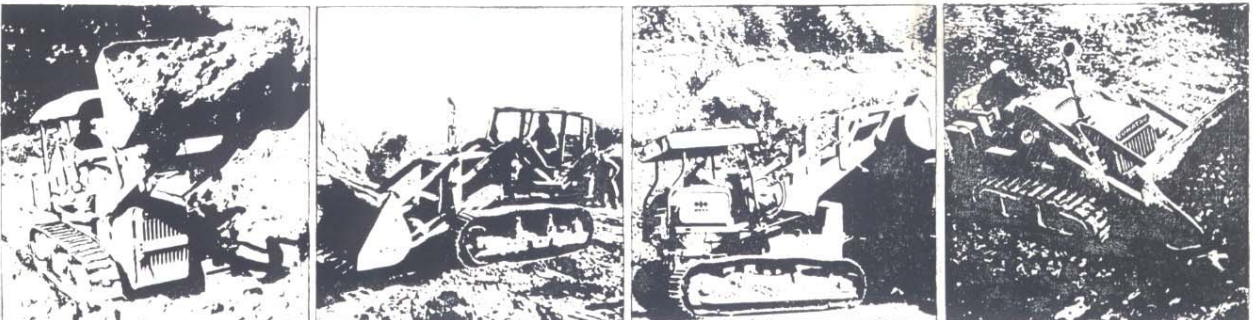
MAIPU 325 - 10º PISO "C"

TEL. 49-0049/5138



KOMATSU gana terreno

Los tractores y cargadores **KOMATSU**, han rendido todas las pruebas de eficiencia a que han sido sometidos en los más diversos terrenos y actividades que podemos imaginar, y se han impuesto definitivamente en el mundo por su más bajo costo y superior capacidad de trabajo (28.000 equipos se vendieron en el mundo el último año). Si a todo ello agregamos que COVEMA le brinda un stock permanente de repuestos y service a cualquier lugar del país, podremos decir que **KOMATSU**, es la marca que su empresa debe elegir.



DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

ovema

Av. Belgrano 634 - 5° Piso - TEL. 30-7814/18 - BUENOS AIRES - TELEX:122543 AR COVEM
SERVICE Y REP.: Chubut 1318 - TEL. 28-4396 1540 21 2731 - PLANTA IND. AV. SENGUEL 835 - GONZALEZ CATAN
SUCURSALES: MENDOZA: Beltran 16 - TEL. 50210 - TUCUMAN; Ayacucho 407 - TEL. 22143

FLOTA SERVICE A TODO EL PAIS



¿Cruces a dos Niveles?

¡ESTRUCTURAS ARMCO!

LAS ESTRUCTURAS **ARMCO** EN SUS DIVERSOS TIPOS CONSTITUYEN LA SOLUCION RACIONAL EN MATERIA DE OBRAS DE ARTE. AL REDUCIR AL MINIMO DE TIEMPO EL PERIODO DE SU CONSTRUCCION, POSIBILITAN LA RAPIDA UTILIZACION DE LA CALZADA POR LOS EQUIPOS PESADOS DE MOVIMIENTO Y COMPACTACION DE TIERRA. SU MONTAJE E INSTALACION NO DEPENDE DE LAS CONDICIONES METEOROLOGICAS Y CLIMATICAS, ASEGURANDOSE EN ESA FORMA LA RAPIDA HABILITACION DE LA OBRA.

Para información adicional:
ARMCO ARGENTINA S.A.I.C.
División Productos Ingeniería
Corrientes 330 - Tel. 31-6215 - Bs. Aires

Sucursales: Córdoba: Humberto 1º 525
Tel. 28157
Rosario: Córdoba 1749 - Tel. 24302

ARMCO ARGENTINA S.A.I.C.

