

**CONCRETOS ASFALTICOS ELABORADOS CON
EMULSIONES BITUMINOSAS**

PROYECTO Y TECNICAS CONSTRUCTIVAS

Ing. Duilio D. Massaccesi

Ing. Oscar L. Ciafardo

Serie II, nº 166

GENERALIDADES

El presente trabajo tiene por finalidad contribuir a satisfacer la palpable necesidad de contar con un método práctico y efectivo para dosificar una mezcla con emulsión asfáltica, de elaboración y distribución a temperatura ambiente. Se ha tratado en lo posible, de llenar las indeterminaciones que existen en la actualidad en la ejecución de este tipo de mezcla, en lo que respecta a la granulometría de áridos conveniente, influencia de la humedad de mezclado, porcentaje óptimo de ligante, forma de moldeo de las probetas de proyecto, momento oportuno de compactación de las mismas, y determinación de los ensayos más apropiados para medir su calidad. Asimismo se da una descripción de la forma conveniente de trabajar en obra con estas mezclas frías.

Las ventajas constructivas y económicas de mezclas asfálticas de este tipo son bien conocidas, basta tener en cuenta que para su elaboración no es necesario disponer de costosos equipos para el calentamiento y secado de los agregados, ya que la baja viscosidad del ligante y la presencia de humedad permiten un perfecto recubrimiento de los agregados a temperatura ambiente prácticamente en cualquier época del año.

El medio ligante en el tipo de mezcla que estudiaremos, corrientemente conocida como "Concreto asfáltico en frío" es una emulsión asfáltica aniónica tipo superestable; la importancia de las emulsiones asfálticas en la práctica de las construcciones viales, radica en sus propiedades, las cuales permiten lograr varios objetivos fundamentales, a saber:

- a) Practicidad en su transporte y manejo.
- b) Facilidad de empleo, ya que llega a la obra lista para ser usada.
- c) Trabajabilidad de las mezclas con ellas ejecutadas, en

una escala amplia de temperaturas ambientes.

d) Facilidad de mezclado con agregados fríos y húmedos.

Esta última propiedad, unida a la sencillez del equipo requerido, es tal vez la que posibilita la construcción de caminos de bajo costo.

Tanto la densificación como la resistencia de una superficie de rodamiento ejecutada con una mezcla de este tipo, varían respecto a las que se obtienen con mezclas en caliente.

En las carpetas ejecutadas en caliente pueden lograrse luego del cilindrado, en forma más o menos inmediata, estabildades y densidades bastantes aproximadas a las que puede llegar a adquirir la mezcla en última instancia; en cambio en las carpetas realizadas y colocadas en frío, el proceso es algo diferente, ya que también, como en el caso anterior, se va produciendo una compactación progresiva bajo los efectos del tránsito, pero al mismo tiempo, en forma sincronizada se van desarrollando las propiedades cohesivas del ligante.

El uso de emulsiones asfálticas, condiciona también la adopción de granulometrías de materiales inertes, algo diferentes a las empleadas en los concretos asfálticos elaborados en caliente, ya que deben permitir la evaporación del agua y el consiguiente curado del ligante.

Como consecuencia surge una de las condiciones fundamentales del concreto asfáltico en frío, y es que debe poseer inicialmente un porcentaje suficientemente alto de vacíos comunicados con el exterior, a fin de que se desarrolle satisfactoriamente el secado de la mezcla.

Antes de entrar en el tema que nos ocupa, o sea la dosificación de la mezcla en sí, debemos dejar perfectamente definidos ciertos aspectos previos, relativos a los materiales que intervienen en dicha dosificación.

AGREGADOS PETREOS

1. Granulometría

Como ya hemos mencionado, las granulometrías recomendables de los materiales inertes que componen estas mezclas con emulsión, difieren algo de las que generalmente se especifican para mezclas en caliente, puesto que deben permitir la total eliminación de la humedad, para lo cual es necesario que posean un porcentaje más o menos elevado de vacíos.

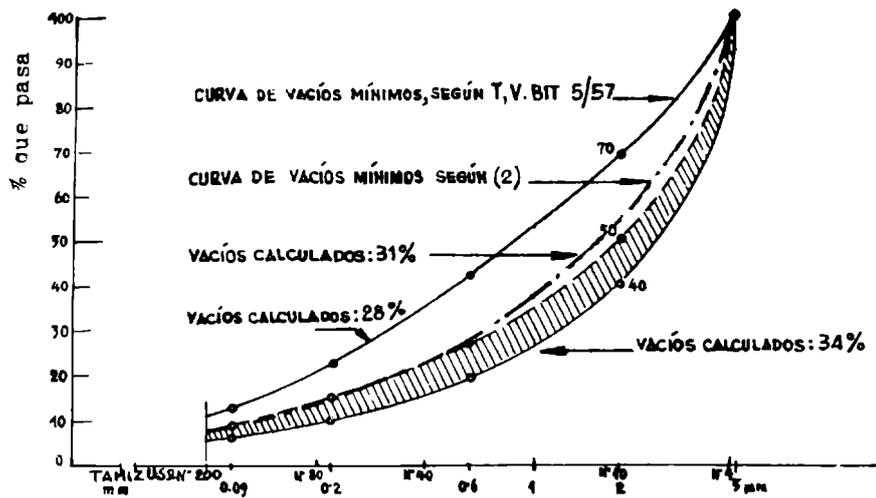
En general la zona óptima dentro de la cual puede fluctuar la curva granulométrica en las mezclas con emulsión, varía de acuerdo al criterio de los distintos investigadores.

Las normas DIN 1966-U-65 expresan que una mezcla de inertes puede considerarse satisfactoria cuando cumple con la condición de que los vacíos referidos al volumen total de áridos vibrados, sean del orden del 24 % al 28 %.

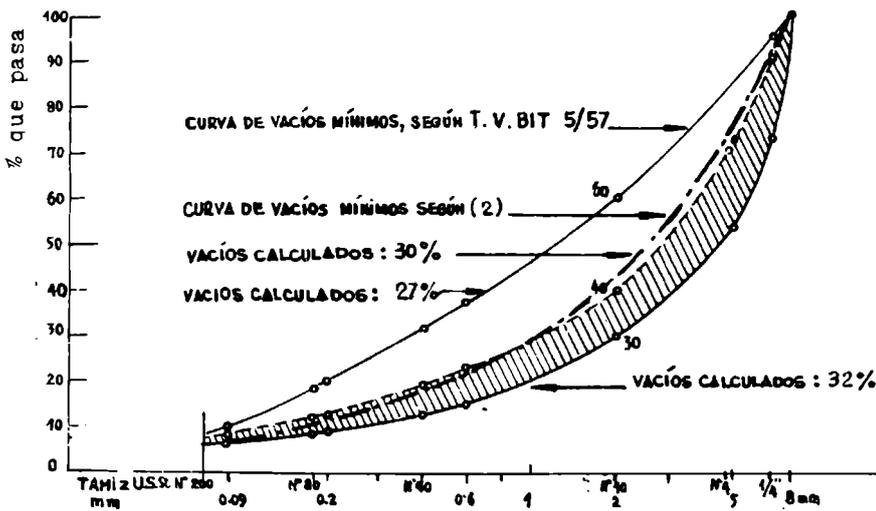
Una mezcla de inertes que responda a estos valores se logra en general con una cantidad de grueso relativamente alta y poca cantidad de agregado pétreo fino.

Las especificaciones técnicas alemanas T.V. Bit. 5/57 (1) recomiendan para mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos líquidos, los límites granulométricos que se indican en trazo lleno en la figura 1, (a), (b) y (c).

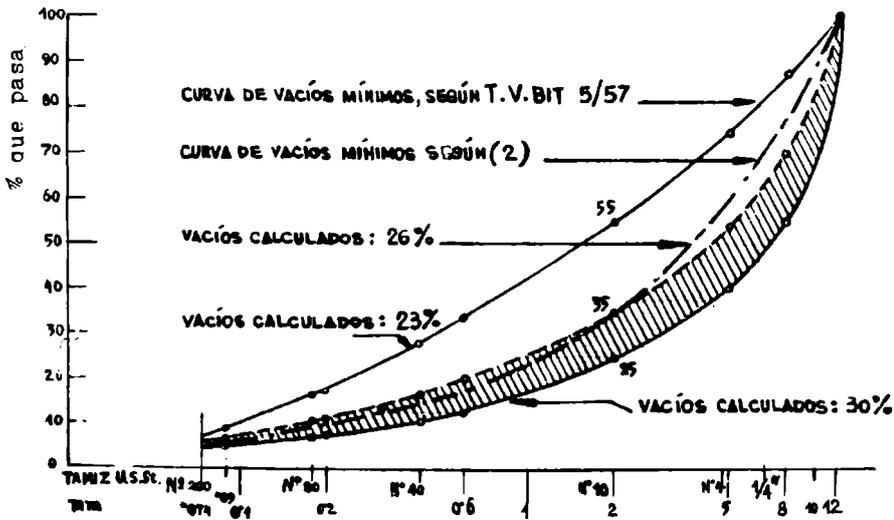
Las curvas límites inferiores y superiores de los tres gráficos establecen respectivamente, zonas bastante amplias, expresando las normas mencionadas que a medida que las granulometrías se acercan a las respectivas curvas superiores, las mezclas de áridos tienden a los mínimos vacíos y por consiguiente son menos aptas para el uso con ligantes líquidos, que las que se encuentran más centradas o tendiendo a los límites inferiores.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1.- Límites granulométricos aconsejados por especificaciones alemanas para mezclas elaboradas con asfaltos líquidos

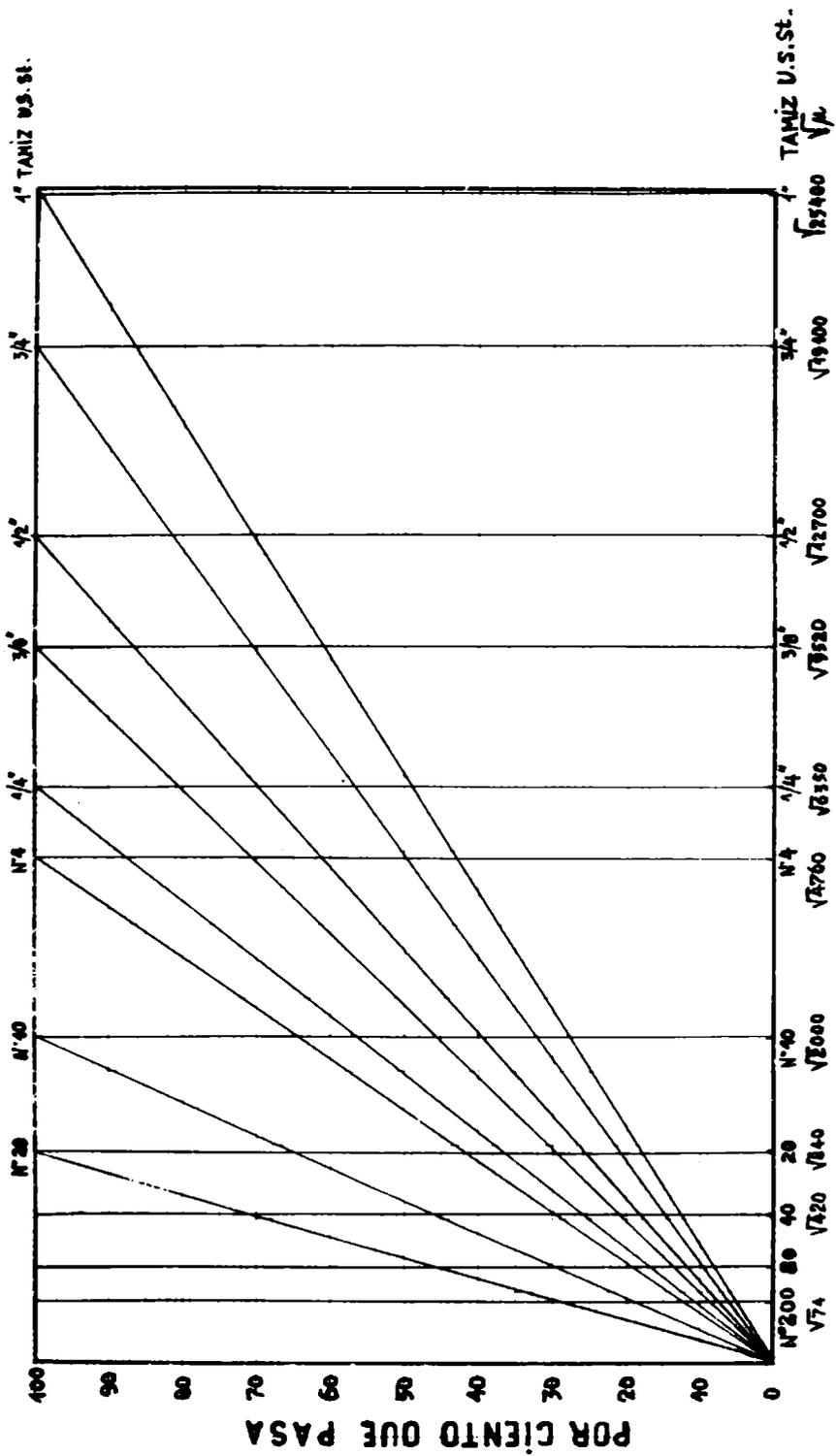


Fig. 2.- Curvas granulométricas de mínimos vacíos, según Temme (2)

Sin embargo el Dr. Th. Temme en su libro: "Gestein im Strassenbau" (1963) (Aridos en la construcción de caminos), manifiesta que las curvas granulométricas de **mínimos vacíos** responden a "rectas" (fig. 2), cuya escala de abscisas es \sqrt{d} (siendo d la abertura de tamiz), lo cual equivale en la escala semilogarítmica a curvas como las indicadas en la fig. 1.

Hemos tenido la inquietud de determinar los porcentajes de vacíos (vibrado) que poseen las curvas granulométricas de la fig. 1, en un determinado agregado (granito triturado), y hemos obtenido los siguientes resultados que ratifican las consideraciones que hace la norma T.V. Bit. 5/57:

Porcentaje de vacíos de las mezclas de áridos:	(a)	(b)	(c)
Curva Superior.....	28	27	23
Curva Media.....	31	30	26
Curva inferior.....	34	32	30

La práctica demostró (1) que cuando el material "que pasa el tamiz n° 10" es, en la fig. 1, mayor del 70 %, 60 % y 55 % en peso respectivamente, las carpetas en frío no son estables, existiendo una marcada tendencia a la deformación.

Resumiendo, para el tipo de carpeta de rodamiento estudia, T.V. Bit. 5/57 aconseja encuadrar las granulometrías de los áridos dentro de las zonas rayadas, dependiendo el apartamiento admisible, de la clase de piedra y del ligante a utilizar.

La graduación definitiva de los inertes se alcanzaría después de la reducción del material, producida por el tránsito. El tiempo en el cual se produce la degradación de la piedra dentro de la carpeta dependerá de la dureza del agregado utilizado (1).

En el caso de agregados menos duros, se producirá en plazos excesivamente cortos y en estos casos para evitarlo podría ser útil incrementar el porcentaje de arena, la cual debido a su mejor escalonamiento granulométrico produce una distribución más favorable de las cargas en la carpeta.

La experiencia demuestra que en primera instancia es recomendable el uso de arenas de trituración, las cuales son menos sensibles a un exceso de ligante y se oponen, debido a su mayor friccionalidad, a una densificación demasiado rápida de la carpeta bajo los efectos del tránsito.

Las instrucciones T.V. Bit. 5/57 contemplan la incorporación de hasta 1/4 parte de arena natural, pero se recomienda su uso solamente en casos excepcionales como por ejemplo en un pavimento urbano poco transitado, a fin de favorecer su compactación.

Otros investigadores, los ingenieros C. L. McKesson y D. E. Stevens sugieren para capas superficiales ejecutadas con asfaltos líquidos, los siguientes límites granulométricos:

Pasa tamiz	$\frac{1}{2}$ "	100 %
Pasa tamiz n°	4	85 - 100 %
Pasa tamiz n°	10	40 - 60 %
Pasa tamiz n°	40	15 - 35 %
Pasa tamiz n°	80	10 - 20 %
Pasa tamiz n°	200	4 - 10 %

Manifiestan también que se ha ejecutado con buenos resultados, en Massachusetts una mezcla fina tipo concreto asfáltico, constituida con la granulometría de inertes que se detalla a continuación:

Pasa tamiz	$\frac{3}{4}$ "	90 - 100 %
Pasa tamiz	$\frac{1}{4}$ "	60 - 85 %
Pasa tamiz n°	10	45 - 60 %
Pasa tamiz n°	80	10 - 20 %
Pasa tamiz n°	200	4 - 10 %

Luego del estudio detenido de un cierto número de especificaciones, llegamos a la conclusión de que la mayoría coin-

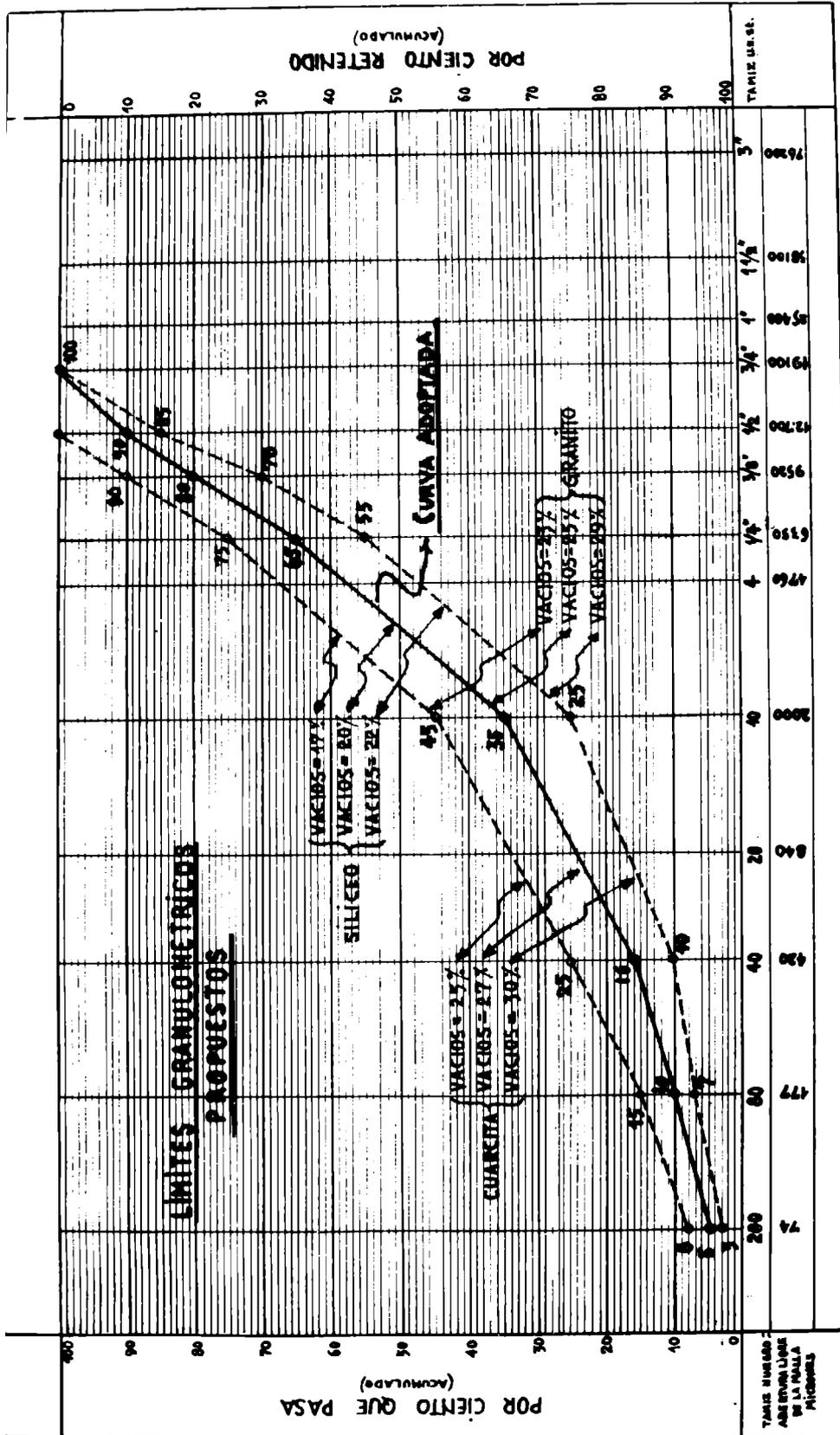


Fig. 3.- Granulometrías recomendables para materiales inertes locales que integren mezclas con emulsión superestable (EBL2)

cide en que la condición fundamental que debe poseer un concreto asfáltico en frío, es permitir el secado de la mezcla posteriormente a su compactación, lo cual está íntimamente relacionado con el porcentaje de vacíos del agregado mineral. Vinculando las conclusiones anteriores con suficiente cantidad de ensayos realizados en laboratorio y en obra, hemos juzgado conveniente establecer, para nuestros materiales corrientes empleados en la ejecución de pavimentos, las siguientes sugerencias en lo que respecta a su graduación para carpeta en frío:

		Límites aconsejados
Pasa tamiz	3/4"	100 %
Pasa tamiz	1/2"	85 - 100 %
Pasa tamiz	3/8"	70 - 90 %
Pasa tamiz	1/4"	55 - 75 %
Pasa tamiz n°	10	25 - 45 %
Pasa tamiz n°	40	10 - 25 %
Pasa tamiz n°	80	7 - 15 %
Pasa tamiz n°	200	3 - 8 %

Para la realización de nuestro trabajo hemos adoptado una curva granulométrica que se encuentra centrada en la zona aconsejada, y que se representa con línea llena en la fig. 3.

Los vacíos que poseen los áridos vibrados, cuyas granulometrías corresponden a las curvas: límite superior, media y límite inferior, de dicho gráfico, son en los tres tipos de agregados utilizados los siguientes:

<u>Material cuarcítico</u> (triturado)	Vacíos
Granulometría límite inferior:	30 %
Granulometría media (adoptada):	27 %
Granulometría límite superior:	25 %

<u>Material granítico</u> (triturado)	Vacíos
Granulometría límite inferior:	29 %
Granulometría media (adoptada):	25 %
Granulometría límite superior:	23 %

Material silíceo (natural):

Granulometría límite inferior:	22 %
Granulometría media (adoptada):	20 %
Granulometría límite superior:	17 %

Cabe aclarar que cuando se emplean agregados naturales graduados, que poseen en general bajos porcentajes de vacíos, es conveniente trabajar con mezclas cuyas granulometrías estén comprendidas entre la curva media y la inferior de la fig. 3.

Asimismo, las mezclas con agregados de trituración que caen en dicha zona, es conveniente emplearlas en épocas templadas o cálidas, a fin de poder lograr un adecuado cierre de la estructura.

En general la "elaboración" de las mezclas puede realizarse hasta temperaturas mínimas de 3°C aproximadamente sin ningún inconveniente, ello se debe a que el incremento de la viscosidad de la emulsión con la disminución de la temperatura es muy pequeño.

Sin embargo, no ocurre lo mismo cuando se trata de compactar una mezcla distribuída en obra, que se encuentre en las condiciones adecuadas de curado; en este estado - como se aclara más adelante - la mezcla conserva aproximadamente un 50 % de su contenido inicial de humedad. Si determináramos la viscosidad sobre una emulsión a la que se le ha hecho perder en laboratorio la mitad de su contenido de agua, se observaría un aumento considerable de aquélla, que se iría incrementando a medida que desciende la temperatura; las circunstancias señaladas explican las dificultades que se presentan en la práctica para conseguir una adecuada den-

sificación de la mezcla en épocas de bajas temperaturas.

El problema puede atenuarse parcialmente seleccionando mezclas de inertes que posean granulometrías comprendidas entre la curva media y la superior de la fig. 3, que son las más finas y las que poseen menor porcentaje de vacíos.

Asimismo, conviene recordar que la incorporación de un cierto porcentaje de arena natural favorece la compactación de la mezcla.

2 - Características de los materiales empleados

a) Descripción petrográfica del material granítico

La roca utilizada se clasifica como migmatita granítica encontrándose principalmente en el sistema de Tandil (Olavarría a Balcarce) y zona de Tornquist. El mineral más abundante es el feldespato potásico, sigue en proporción el cuarzo, de superficies límpidas, contornos irregulares y marcada extinción ondulante. La biotita es el tercer componente principal; se presenta en cristales tabulares de color castaño, con clivaje perfecto; además este mismo mineral se encuentra diseminado en pequeñas escamas junto al cuarzo y los feldespatos. Como minerales accesorios se encuentra clorita, apatita y magnetita.

El peso específico de este agregado pétreo granítico es de $2,67 \text{ g/cm}^3$.

El agregado fino (Pasa Tamiz nº 10) proviene de la molien-
da de esta roca granítica y su peso específico es también $2,67 \text{ g/cm}^3$.

El ensayo de absorción de agua practicado sobre el agregado grueso arrojó el valor 0,25 %.

b) Descripción petrográfica del material cuarcítico

Esta roca sedimentaria se clasifica como Ortocuarcita y es característica de la zona de Chapadmalal.

Bajo la observación microscópica, presenta cuarzo como mineral más abundante que se encuentra como clastos sobrerredondeados o subangulosos con superficies exentas de altera-

ción; como minerales accesorios se observan escamas de mica, clorita y turmalina; todos estos clastos se encuentran cementados por ópalo y calcedonia, existiendo además una pequeña proporción de matriz arcillosa.

El peso específico de este material es $2,53 \text{ g/cm}^3$.

El agregado fino correspondiente, producto de la trituración de la ortocuarcita, posee un peso específico de $2,64 \text{ g/cm}^3$.

La absorción de agua es del orden de $1,7 \%$.

c) Descripción del material silíceo (natural)

Este material es típico de la zona del río Paraná, consistente en rodados silíceos, de cuarzo, redondeados o subredondeados, calcedonia de formas angulosas e irregulares y finalmente una pequeña proporción de rodados chatos cuya composición petrográfica corresponde a una Metacuarcita.

El peso específico de este agregado es $2,61 \text{ g/cm}^3$.

La arena natural utilizada es proveniente del río Paraná y su peso específico es de $2,63 \text{ g/cm}^3$.

La absorción de este material es $0,52 \%$.

EMULSION BITUMINOSA - GENERALIDADES

Es un sistema heterogéneo que contiene dos fases normalmente inmiscibles, una continua constituida por el agua, y otra discontinua formada por pequeños glóbulos de asfalto. Las partículas coloidales de betún asfáltico están dispersas en la fase acuosa que es el medio de suspensión. La viscosidad de la emulsión es la de dicha fase acuosa (aún para temperaturas del orden de 3°C).

Debido a que el agua actúa como vehículo, las partículas de betún se disponen uniformemente sobre el agregado pétreo formando una película uniforme.

Existen dos tipos fundamentales de emulsiones, las catiónicas y las aniónicas, cuya diferencia radica en el tipo de agente emulsionante usado en su preparación.

En una emulsión catiónica las partículas de betún transportan una carga positiva que proviene del catión, absorbido del agente emulsionante catiónico, generalmente un compuesto de amonio cuaternario o una amina. En estas emulsiones catiónicas el proceso de ruptura depende principalmente de la absorción del agente emulsionante sobre la superficie del agregado (generalmente cargada negativamente) que conduce a la deposición del betún sobre la misma y permite que el agua se escurra. Por consiguiente un alto contenido de humedad del agregado no las afecta mayormente.

En cambio las emulsiones aniónicas no comienzan a romper hasta que una gran parte del agua se haya evaporado. Cuando el agua se elimina, las partículas de asfalto sufren una fusión y la primitiva película de asfalto y agua coloidal, es reemplazada por una película de asfalto puro que se deposita sobre la piedra.

Un alto contenido de agua sobre la piedra puede por lo tanto diluir la emulsión aniónica y demorar seriamente su rotura.

Es por ello necesario que el agregado pétreo posea la cantidad justa de humedad que permita un correcto mezclado.

También es posible que en algunas circunstancias la emulsión rompa demasiado rápido, trayendo aparejado una distribución no uniforme del ligante en la mezcla.

La norma B.S. 2542 divide las emulsiones en los siguientes tres grandes grupos de acuerdo a la estabilidad:

Clase I: rotura rápida

Clase II: rotura lenta (semiestable)

Clase III: rotura muy lenta (totalmente estable)

Estas variaciones en la estabilidad de la emulsión se consiguen variando la cantidad de estabilizador incorporado

a la misma.

La clase de emulsión elegida para mezclas con agregados húmedos está íntimamente vinculada con la graduación de los mismos, y más aún con la proporción de material fino. Generalmente las de la Clase II (semiestables) son utilizadas con agregados triturados, pero si las mezclas tienen material que pasa el tamiz n° 200 es necesario utilizar emulsiones de la Clase III.

En nuestro trabajo hemos empleado emulsión superestable tipo EBL₂ cuyas características son las siguientes:

Viscosidad Saybolt Furol a 25°C (s).....	36
Contenido de betún y emulsivo, por 100.....	55
Residuo sobre tamiz n° 20, por 100.....	0,0
Demulsibilidad (50 ml) Cl ₂ Ca 0,1 N.....	0,0
Ruptura con cemento, por 100.....	0,0
Mezcla con agua, coagulación apreciable, 2 h.....	Ninguna

Sobre residuo bituminoso

Penetración a 25°C.....	135
Ductilidad a 25°C (cm).....	150
Ensayo de Oliensis.....	Negativo

HUMEDAD DE MEZCLADO

Para lograr un correcto recubrimiento de las partículas de los áridos con la emulsión, es necesario que aquellos se encuentren ligeramente humedecidos.

Es sumamente importante la determinación del porcentaje adecuado de la humedad de mezclado, ya que si el material se encuentra demasiado seco, al incorporarle la emulsión, ésta puede roper antes de haberse distribuido uniformemente sobre los áridos; esta rotura ocurre aún incorporando un elevado porcentaje de emulsión asfáltica, si el agregado está pobremente humedecido.

Por otra parte un alto contenido de humedad trae aparejadas toda la serie de dificultades que provoca en la práctica una ruptura demorada; dichos inconvenientes pueden sintetizarse así:

- 1.- Perjuicio económico que provoca la demora del ingreso del equipo de compactación.
- 2.- Riesgo de que una precipitación imprevista produzca el lavado de la mezcla distribuída y sin compactar.
- 3.- Pérdida de parte del ligante debido al exceso de humedad de mezclado

El punto tercero afecta directamente a las características finales de la mezcla, es decir a su estabilidad, densidad, durabilidad, flexibilidad, etc., debido a que el exceso de agua provoca un adelgazamiento de la película de asfalto residual y al mismo tiempo un excesivo escurrimiento, que produce una disminución del porcentaje de betún en la mezcla.

De todos los procedimientos conocidos para la determinación del porcentaje mínimo de humedad de mezclado, el que aparentemente podría resultar más efectivo sería el que se basa en la superficie específica del agregado pétreo. No obstante, en la realidad se observa que juega un papel sumamente importante la absorción propia de cada material, la cual puede hacer variar en forma notable los porcentajes de humedad determinados por el citado método, aún en áridos que posean idénticas granulometrías pero que mineralógicamente sean de diferente naturaleza.

El Dr. Ingeniero Paul Kraemer de la Universidad Técnica de Karlsruhe ha realizado investigaciones sobre el tema y ha determinado coeficientes que aplicados a las fracciones entre tamices próximos, permiten hallar por integración el porcentaje total de humedad que requiere una mezcla de inertes "bajo condiciones preestablecidas". En base a sus investigaciones ha confeccionado la Tabla I.

Hemos hecho un análisis de dicha tabla y experimentado con los tres tipos de materiales a utilizar en este trabajo, es decir granito, cuarcita y agregado natural, llegando a la conclusión que los factores indicados resultan excesivos para estos materiales, por cuanto su aplicación conduce a por-

T A B L A I

<u>Pasa Tamiz</u>	<u>Retenido Tamiz</u>	<u>Cantidad de agua respecto a 100 partes de inertes</u>
	3/4"	4,0
3/4"	1/4"	5,5
1/4"	N° 10	5,7
N° 10	N° 40	7,6
N° 40	N° 80	10,8
N° 80	N° 200	11,4
<u>Fracción que pasa el tamiz N° 200</u>		
0,06	0,02	11,9
0,02	0,006	14,9
0,006	0,002	20,0
0,002	0,001	29,9

centajes de humedad elevados para mojar a los mismos, antes de agregarles la emulsión bituminosa.

Por consiguiente, teniendo en cuenta que a los efectos de nuestra finalidad no es necesaria una extrema precisión en la determinación de la humedad apropiada para el mezclado, hemos estimado razonable la determinación en forma objetiva de los coeficientes a aplicar a cada una de las fracciones retenidas entre tamices próximos.

Para ello hemos procedido a la separación de dichas fracciones, incorporándole a continuación, a cada una, porcentajes crecientes de humedad hasta lograr la cantidad "mínima", que permitiera una correcta distribución de la emulsión sobre la superficie de los áridos, sin provocar la rotura de la misma.

Los factores hallados son los que se indican en la Tabla II

La diferencia que existió entre los porcentajes de humedad apropiada para los agregados granítico y silíceo fue tan pequeña que se estimó conveniente adjudicarles los mismos coeficientes para su determinación. Se incluyen asimismo en la tabla, los coeficientes requeridos para un filler calcáreo y una cal hidráulica que pasan el 85 % por el Tamiz n° 200.

El correcto comportamiento práctico de todos estos coeficientes, fue comprobado en la ejecución de los pavimentos urbanos de las siguientes localidades de la Provincia de Buenos Aires: 30 de Agosto, Saldungaray, Pellegrini y Tres Arroyos, donde se construyeron capas de rodamiento del tipo de la que estamos estudiando, es decir: concreto asfáltico, ejecutado y aplicado en frío.

En el caso particular de una de estas obras, diremos que antes de consultar al L.E.M.I.T., la Empresa Constructora adoptó en forma provisoria para la realización de la mezcla con agregado pétreo granítico y filler calcáreo, un porcentaje de humedad de aproximadamente 4,5 % referida al peso de áridos secos. - Aclaramos que de acuerdo con nuestra tabla dicho porcentaje resulta excesivo, ya que para los inertes utilizados correspondería aproximadamente el 2,8 % de agua de mezclado.

La excesiva cantidad de agua empleada, si bien hizo que

T A B L A II

Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	Cantidad de agua respecto a 100 partes de inertes	
		Silíceo o granítico	Cuarcítico
3/4"	Nº 10	1,5	2,5
Nº 10	Nº 40	1,8	3,0
Nº 40	Nº 80	4,0	7,0
Nº 80	Nº 200	6,5	9,0
Filler calcáreo		20,0	20,0
Cal hidráulica		40,0	40,0

la mezcla fuera "muy trabajable" tornó dificultoso el ingreso del equipo compactador pues había que esperar más de 36 horas para comenzar a pasar el rodillo de 5 toneladas.

Por razones de fuerza mayor, la Empresa tuvo que reemplazar el agregado pétreo granítico por un agregado cuarcítico de idéntica granulometría, manteniendo el porcentaje de agua en 4 %.

La mezcla resultante fue igualmente trabajable, con la ventaja sobre la anterior de que su compactación pudo iniciarse a las pocas horas de distribuída.

La explicación surge inmediatamente: "De acuerdo con nuestros coeficientes (aplicando la Tabla II), el 4 % de humedad es el porcentaje correcto que le corresponde a la mezcla cuando se utilizan agregados cuarcíticos".

En la práctica es conveniente incrementar el porcentaje de humedad determinado en base a la Tabla II, en un 10 % a los efectos de cubrir posibles pérdidas por escurrimiento, evaporación, mojado de las paredes de la hormigonera, del alimentador, etc.

Asimismo debe tenerse presente en el cálculo, la humedad higroscópica que posee el agregado en el momento del trabajo (se recomienda hacer como mínimo 3 determinaciones diarias sobre la pila de acopio).

PROYECTO DE LA MEZCLA

Las buenas características de una mezcla tipo densa ejecutada en frío, con emulsión bituminosa, depende entre otros factores de la correcta composición del sistema agregado-agua-ligante.

Existe en todos los casos un porcentaje óptimo de ligante y agua para el mezclado, que nos permite obtener la máxima densidad aparente de una mezcla compactada, y como consecuencia su mayor estabilidad.

T A B L A III

Pasa Tamiz	Retenido Tamiz	%	Agregado granítico		Agregado silíceo		Agregado cuarcítico	
			Coef. %	de humedad	Coef. %	de humedad	Coef. %	de humedad
3/4"	Nº 10	65	1,5	0,97	1,5	0,97	2,5	1,62
Nº 10	Nº 40	20	1,8	0,36	1,8	0,36	3,0	0,60
Nº 40	Nº 80	5	4,0	0,20	4,0	0,20	7,0	0,35
Nº 80	Nº 200	5	6,5	0,32	6,5	0,32	9,0	0,45
P. Nº 200 (Filler calcáreo)		5	20,0	1,00	20,0	1,00	20,0	1,00
Total:			2,85		2,85		4,02	

Los problemas que necesitan una definición previa para poder arribar a una correcta dosificación son: 1) granulometría conveniente de áridos; 2) porcentaje óptimo de agua para el mezclado; 3) porcentaje óptimo de ligante; 4) humedad óptima de compactación; 5) carga apropiada de compactación para la preparación de la probeta de laboratorio que nos permitirá formular la mezcla; 6) modo de aplicación de dicha carga; 7) ensayos mecánicos para determinar las características de la mezcla.

El punto 1 ya ha sido considerado en párrafos anteriores, y en base a lo expuesto en los mismos, se ha adoptado una zona de mezclas de inertes que se considera apropiada para el tipo de estructura que estamos estudiando.

Dentro de dicha zona hemos elegido una curva media (Figura 3), cuya composición granulométrica es la que se indica a continuación:

Pasa tamiz 5/4".....	100 %
Pasa tamiz 1/2".....	90 %
Pasa tamiz 3/8".....	80 %
Pasa tamiz 1/4".....	65 %
Pasa tamiz n° 10.....	35 %
Pasa tamiz n° 40.....	15 %
Pasa tamiz n° 80.....	10 %
Pasa tamiz n° 200 (filler calcáreo).	5 %

Se han determinado para esta curva media adoptada, los porcentajes de vacíos que poseen en estado suelto los tres tipos de materiales utilizados. El peso de la unidad de volumen de los mismos se realizó de acuerdo con la norma ASTM C.29/42, con la salvedad de que se imprimió al molde, un enérgico vibrado para facilitar el acomodamiento de las partículas.

Los valores obtenidos luego del ensayo fueron los siguientes:

Material	% de vacíos (vibrado)
Agregado granítico	25
Agregado cuarcítico	27
Agregado silíceo	20

Con respecto al punto 2, la cantidad óptima de humedad de mezclado que corresponde a la granulometría adoptada, ha sido determinada en base a la Tabla II cuya aplicación arroja para cada uno de los áridos, los porcentajes referidos al peso del agregado seco, que da cuenta la Tabla III.

Nos referimos a continuación, simultáneamente a los puntos 3, 4, 5 y 6, ya que los mismos se encuentran íntimamente vinculados entre sí.

Uno de los problemas de nuestra investigación consiste en determinar la carga máxima de compactación que es posible aplicar a la probeta de laboratorio, para lograr la máxima densidad sin que se produzca expulsión del sistema agua-emulsión por la colmatación de los vacíos.

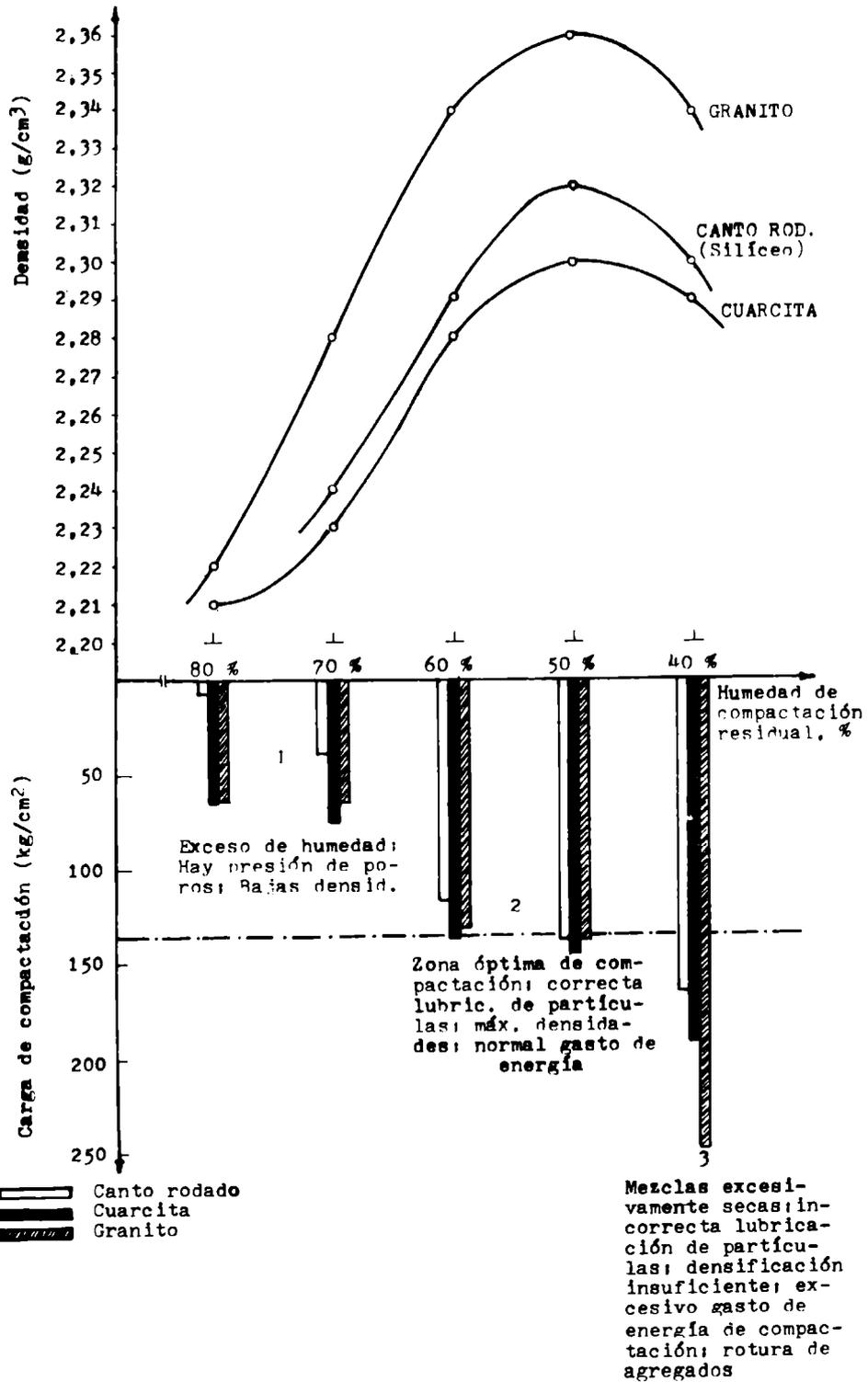
Una compactación prematura de la mezcla, es decir cuando ésta se encuentra aún en estado de excesiva fluidez, podría llegar a provocar, entre otros inconvenientes (como la pérdida del producto bituminoso), una densificación incorrecta debido a la aparición de presiones hidráulicas en el seno de la mezcla.

Por otra parte, si la mezcla se compactase muy seca, no tendría la lubricación conveniente para alcanzar la correcta densidad, ya que el aumento de la viscosidad del ligante y la fricción, dificultarían mucho el logro de la misma, requiriendo cargas considerablemente mayores que las necesarias para conseguir una correcta compactación en circunstancias normales. Ello puede observarse en la fig. 4 donde hemos llevado en ordenadas (hacia arriba) las máximas densidades que fue posible obtener en las mezclas empleadas, con los diferentes porcentajes de humedad residual (anotados en abcisas). Hacia abajo, también en ordenadas se han llevado las cargas de compactación necesarias para alcanzar dichas densidades máximas.

Ejemplo, cuando la mezcla ejecutada con agregado granítico se compactó conservando el 80 % de la humedad total incorporada (agua de mezclado más agua de la emulsión), sólo se consiguió alcanzar una densidad máxima de $2,22 \text{ g/cm}^3$ y la carga requerida fue de 63 kg/cm^2 .

A medida que se fue produciendo el secado de las mezclas, se fueron logrando mayores densidades necesitándose correspon-

Fig. 4.- Densidades aparentes variando el porcentaje de humedad residual. Carga de compactación aconsejada



dientemente mayores cargas de compactación.

Las máximas densidades se consiguieron en las respectivas mezclas, compactándolas con humedad residual del orden del 50 %, para lo cual hubo que aplicar cargas, que pueden uniformarse en 135 kg/cm^2 .

Mayores pérdidas de humedad antes de compactar, no se justifican, pues se logran densidades menores y se requieren cargas mucho más elevadas.

El procedimiento seguido para poner en evidencia la vinculación existente entre la humedad de compactación, la carga, y la densidad fue el siguiente:

Se prepararon mezclas con cada tipo de agregado, empleando los respectivos porcentajes de humedad de mezclado que surgen de la Tabla II. En todos los casos se incorporó el 7,5 % de emulsión bituminosa superestable cuyas características se indicaron anteriormente. Este porcentaje de emulsión fue tomado en forma provisoria y surgió de la aplicación de la fórmula de McKesson para la granulometría adoptada.

Las respectivas probetas se compactaron con las cargas progresivas máximas que admitían, a medida que se iba produciendo la eliminación de la humedad, tratando de lograr en cada estado, la máxima densidad de la mezcla, y registrando la carga con la cual ésta era lograda.

Los resultados promedio fueron consignados en las Tablas IV, V y VI, adjuntas, donde se observa que llega un momento en que las respectivas probetas no se densifican más, aún con incrementos importantes de carga. Las máximas densidades se lograron con un determinado porcentaje residual de humedad y una cierta carga de compactación, valores éstos, que en general podríamos decir que no varían en forma significativa con la naturaleza del agregado.

Del análisis de las citadas tablas o de la figura 4, realizada con los valores de las mismas, se desprende que las condiciones de máxima densidad se consiguen en los tres tipos de materiales, cuando se compactan las correspondientes probetas con un 50 % de humedad residual y bajo una carga, que se puede generalizar, sin cometer un error apreciable, en 135 kg/cm^2 .

T A B L A IV

CONCRETO ASFALTICO EN FRIO (COMPACTACION PROGRESIVA)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Altura inter. del molde (cm)	Peso del molde (g)	Peso de la mezcla (g)	Peso de la mezcla y molde (g)	Agua total (dato)	(4)-Humedad (a) evapora da (g)	Humedad (b) resp. a (5) % (g)	Altura del Pistón (1)-(8) (cm)	Altura de la prob. compac. (1)-(2) (cm)	Volu. prob. compac. sup.x(9)(6)-(2) (cm ³)	Peso prob. compac. (g)	Densid. prob. compac. (g/cm ³)	Carga de compac. (total) (kg)	Carga de compac. (kg/cm ²)
24	13,5	5 702	1 203	6 905	71,6								
					6 891	14	20	6,9	5,5	1 180	2,22	5 100	63,0
					6 883	22	30	7,1	5,8	1 131	2,28	5 200	64,2
					6 876	29	40	7,3	5,02	1 174	2,34	10 675	131,0
					6 869	36	50	7,4	495	1 167	2,36	11 000	137,0
					6 862	43,0	60	7,4	495*	1 160	2,34	20 000	247,0

OBSERVACIONES: Mezcla escurada con agregado granfítico, incorporándole el 2,85 % de agua para el mezclado y 7,5 % de emulsión.

Método Simplificativo:

21	13,5	5 714											
							50	7,4	495	1 167	2,36	11 000	137,0

OBSERVACIONES: La mezcla se compactó luego de evaporarle con calentador el 50 % de la humedad total.

T A B L A V

CONCRETO ASFALTICO EN FRIO (COMPACTACION PROGRESIVA)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Altura inter. del molde (cm)	Peso del molde (g)	Peso de la mezcla (g)	Peso de la mezcla y molde (g)	Agua total (dato) (g)	(4)-Humedad (a) evaporada (g)	Humedad evapor. (b) % resp. a (5)	Altura del Pistón (1)-(8) (cm)	Altura de la prob. (2)-(9) (cm)	Volu. prob. compac. sup. (3)-(9) (cm ³)	Peso prob. compac. (6)-(2) (g)	Densid. prob. compac. (g/cm ³)	Carga de compac. (total) (kg)	Carga de compac. (kg/cm ²)
27	13,5	5 730	1 200	6 930	81,7								
					6 914	16,0	20	6,9	6,6	535	1 184	5 200	64,2
					6 905	25,0	30	7,0	6,5	526	1 175	7 000	86,4
					6 897	33,0	40	7,2	6,3	511	1 167	11 000	137,0
					6 889	41,0	50	7,3	6,2	503	1 159	11 800	145,0
					6 881	49,0	60	7,3	6,2	502	1 151	15 500	191,4

OBSERVACIONES: Mezcla ejecutada con agregado cuarcítico, incorporándole 4,02% de agua para el mezclado y el 7,5% de emulsión superestable.

Método Simplificativo

26	13,5	5 765											
							50	7,3	6,2	503	1 159	11 800	145,0

T A B L A VI

CONCRETO ASFÁLTICO EN FRÍO (COMPACTACION PROGRESIVA)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Altura inter. del molde (cm)	Peso del molde (g)	Peso de la mezcla (g)	Peso de la mezcla y molde (g)	Agua total (dato)	(4)-Humedad (a) evapora da (g)	Humedad (a) resp. a (5) (g)	Altura del Piñón (cm)	Altura de la prob. (1)-(8) (cm)	Altura Volum. prob. compac. sup. (9) (cm ³)	Peso prob. compac. (6)-(2) (g)	Densid. prob. compac. (g/cm ³)	Carga de compac. (total) (kg)	Carga de compac. (kg/cm ²)
23	13,6	5 725	1 200	6 925	71,6								
					6 911	14,0	6,8	6,8	550,8	1 186	2,15	400	4,9
					6 903	22,0	7,1	6,5	526,5	1 178	2,24	2 500	30,9
					6 896	29,0	7,3	6,3	510,3	1 171	2,29	9 400	116,0
					6 889	36,0	7,4	6,2	502,2	1 164	2,32	11 200	138,0
					6 882	43,0	7,4	6,2	502,2	1 157	2,30	12 000	164,0

OBSERVACIONES: Mezcla ejecutada con agregado silíceo, incorporándole 2,85 % de agua para el mezclado y el 7,5 % de emulsión superestable.

Método Simplificativo:

20	13,6	5 748				50	7,4	6,2	502,2	1 164	2,32	11 200	138,0
----	------	-------	--	--	--	----	-----	-----	-------	-------	------	--------	-------

OBSERVACIONES: La mezcla se compactó luego de evaporarle con calorventilador el 50 % de la humedad total.

Los ensayos fueron realizados empleando moldes Marshall comunes, a cada uno de los cuales se les practicó en la pared inmediatamente por sobre la base, un orificio de 2 mm de diámetro que nos permitió visualizar la aparición de la primera gota de ligante al colmarse los vacíos de las probetas durante la compactación. La misma se realizó en forma estática utilizando una prensa con capacidad hasta 30 t, y empleando un pistón de acero, graduado al medio milímetro.

Resumiendo las conclusiones sacadas hasta este momento se tiene:

- 1) Al proyectar una mezcla tipo concreto asfáltico en frío con agregados graníticos, cuarcíticos o naturales (silíceos), se recomienda encuadrar las granulometrías dentro de los siguientes límites:

P. Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	n° 10	n° 40	n° 80	n° 200
(%).....	100	85-100	70-90	55-75	25-45	10-25	7-15	3-

- 2) La determinación del porcentaje apropiado de agua para humedecer los citados inertes antes de incorporarles la emulsión, puede hacerse, en función de la granulometría, aplicando la Tabla II.
- 3) La humedad de compactación que permite alcanzar la mayor densificación de las probetas de laboratorio elaboradas con cualquiera de los agregados estudiados, es del orden del 50 % de la humedad total que poseen las respectivas mezclas (es decir de la suma del agua de mezclado y la que posee la emulsión).
- 4) La carga que permite lograr las máximas densidades de dichas probetas de laboratorio (compactadas con el 50 % de humedad residual), puede generalizarse para cualquiera de las mezclas en 135 kg/cm².
- 5) Con la técnica simplificada de dejarle perder de una sola vez el 50 % de humedad a las mezclas y luego compactarlas con 135 kg/cm², se reproducen las características finales que se obtienen en las respectivas probetas, al dejarles perder progresivamente la humedad y compactarlas con cargas cada vez mayores.
- 6) Las conclusiones del punto 5) facilitan el trabajo de la-

boratorio, ya que al proyectar la mezcla, pueden moldearse directamente probetas con una carga de compactación de 135 kg/cm^2 cuando la mezcla perdió el 50 % de la humedad total incorporada.

Queda por referirnos al porcentaje apropiado de emulsión bituminosa superestable que conviene incorporar a las mezclas. Al respecto cabe señalar que la norma British Standard 2542, recomienda porcentajes de emulsión que fluctúan entre 7,3 y 9,1 referidos al peso de los inertes.

Las especificaciones alemanas de la "Asociación de la Industria de asfaltos fríos" (3) aconsejan usar cantidades que oscilan entre el 4,75 % y 7 % del peso de los áridos (considerando que la emulsión contenga un 65 % de betún residual).

En la fig. 5, d) y e), se han volcado las características que presentan mezclas elaboradas con porcentajes variables de emulsión, compactadas en condiciones apropiadas, con carga estática de 135 kg/cm^2 .

De dichos resultados se deduce que los porcentajes de emulsión con que se obtienen mejores estabilidades y densidades, oscilan entre el 7 % y el 9 %, siendo las variaciones dentro de esos valores muy poco significativas.

Los porcentajes de emulsión que corresponderían a las curvas granulométricas inferior y superior, que limitan la zona que se sugiere para trabajar con mezclas tipo concreto asfáltico en frío (fig. 3), son de acuerdo con la fórmula recomendada por el Asphalt Institute de 6,9 % y 8 % respectivamente.

Por nuestra parte opinamos que cuando se utilizan materiales graníticos, cuarcíticos o silíceos que caigan dentro de la zona aconsejada, deben emplearse cantidades de emulsión bituminosa superestable, comprendidas entre el 7,5 % y el 9 % respecto al peso de inertes. Paralelamente debe tratarse de que el porcentaje de vacíos de la probeta de proyecto curada, esté comprendido entre el 5 % y el 10 %, ello hará que sin llegar a constituir carpetas excesivamente permeables, se facilite el secado durante el primer período de colocación de la mezcla.

MEZCLAS C. AGREGADO	CUARCÍTICO								GRANÍTICO								SÍLICEO							
EMULSION EBL ₂ %	5	7	7,5	8	8,5	9	11	5	7	7,5	8	8,5	9	11	5	7	7,5	8	8,5	9	11			
DENSIDAD LUEGO DE PESO CONST. (Gr/cm ³)	2,15	2,18	2,24	2,22	2,22	2,22	2,18	2,25	2,30	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,31			
ESTAB. MARSHALL (Kg)	450	536	601	601	545	471	327	353	392	353	347	347	157	235	240	240	170	100						
FLUENCIA (0,01 ^o)	13	18	20	17	17	16	13	14	15	13	13	12	15	9	10	12	12	13	15	13				
VACIOS PROMEDIOS (%)	9,7								9,5								5,1							

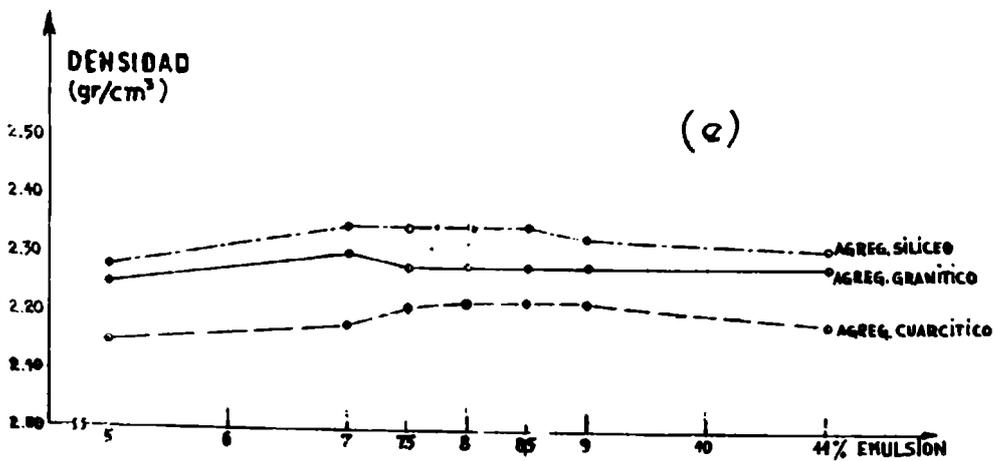
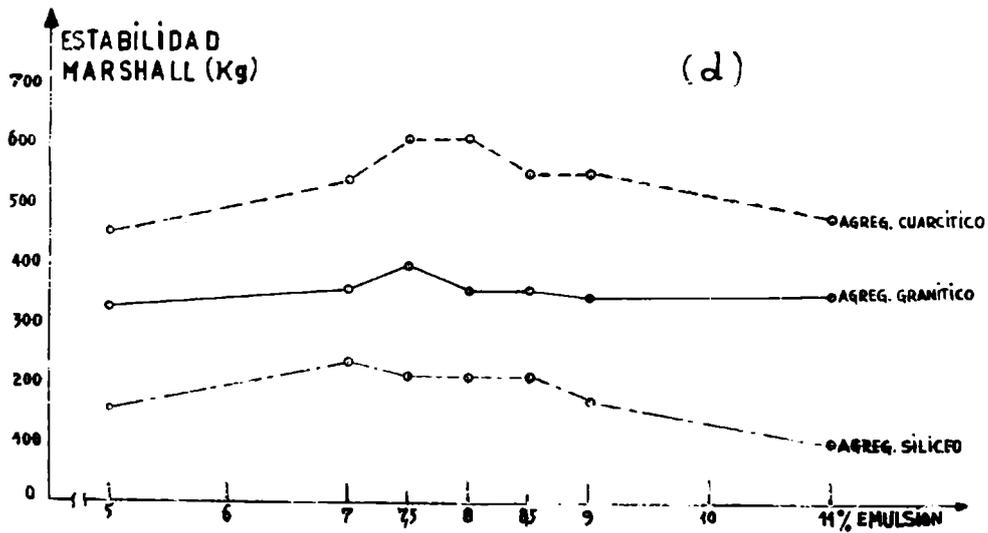


Fig. 5.- Variaciones de la estabilidad Marshall y de la densidad aparente, en función del porcentaje de emulsión (EBL₂)

La medida de la estabilidad y fluencia por el método Marshall (45 minutos en agua a 60°C) sobre probetas compactadas con carga estática de 135 kg/cm² aplicada a razón de 5 mm/min y secadas con caloventilador hasta peso constante, es una forma aceptable de medir la calidad de la mezcla a los efectos de prever su comportamiento en servicio.

Si bien el tipo de mezcla y la forma de compactación de las probetas se apartan de lo preceptuado por el método Marshall, la experiencia ha demostrado que el moldeo realizado en la forma sugerida reproduce con bastante aproximación las condiciones logradas en campaña; por consiguiente una vez secada la probeta de laboratorio se juzga lícito aplicar el citado método para medir el esfuerzo bajo el cual el material compactado inicia la fluencia plástica en condiciones normalizadas de tiempo y temperatura.

Se consideran capacitadas para admitir un tránsito medio a las 48 horas de compactadas, las carpetas cuyas probetas de proyecto curadas, arrojen valores de "Estabilidad Marshall" superiores a 350 kg y fluencia comprendida entre 10 y 16 centésimos de pulgada.

Los agregados silíceos no son del todo apropiados para utilizar en este tipo de mezclas si no se les incorpora una cierta cantidad de material de trituración que mejore la fricción interna.

Numerosos ensayos triaxiales realizados con los tres tipos de mezclas estudiadas y con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica han arrojado resultados cuyos promedio indicamos en la tabla VII.

Los valores de cohesión (c) y de fricción interna (ϕ) consignados, nos permiten prever un buen comportamiento para mezclas elaboradas con agregados de trituración, y ratifican el criterio ya expresado de mejorar aquellas características intrínsecas cuando se utilicen agregados naturales.

T A B L A VII.

Mezclas con agregado:	Granítico		Cuarcítico		Natural (silíceo)	
	ϕ (°)	c (lib./pulg. ²)	ϕ (°)	c (lib./pulg. ²)	ϕ (°)	c (lib./pulg. ²)
Emulsión super- estable (%)						
7	34	40	40	40	27	20
8	34	40	39	43	26	22
9	32	42	39	45	24	22

TECNICAS CONSTRUCTIVAS

Dijimos al comienzo de este trabajo que el empleo de mezclas preparadas en frío con emulsión asfáltica ofrecía ventajas económicas. Mucho se ha escrito al respecto y no insistiremos con consideraciones ya expresadas por otros autores, simplemente recordaremos que es evidente que al no ser necesaria la planta asfáltica se reduce notablemente el costo unitario de la mezcla, contribuyendo también en tal sentido, el hecho de que el personal y el resto del equipo necesario son también menores.

Esto hace que este tipo de carpeta sea muy aconsejable cuando razones económicas o de volumen de obra lo requieran, y el tipo e intensidad del tránsito lo permitan.

Técnicamente, diremos que la elaboración de la mezcla es sencilla, y si no se dispone de planta con mezcladora a paletas puede recurrirse a hormigoneras comunes, preferiblemente con inversión de marcha para facilitar la descarga del material.

En caso de emplearse hormigonera conviene disponer los agregados pétreos gruesos y finos, en semicírculo en torno a la misma, de manera tal que la distancia de carga no pase de los 6 metros.

Debe disponerse también de un regulador automático de agua y un regulador manual de emulsión.

El personal mínimo requerido para elaborar la mezcla en obrador, puede ser el siguiente: cuatro ayudantes para carga y transporte de áridos, un ayudante para la incorporación de cal o filler y un maquinista.

Completan el personal, dos choferes para el transporte de la mezcla al terreno, un motoniveladorista, dos peones para colaborar en la distribución, un maquinista para aplanadora y uno para rodillo neumático.

La técnica a seguir para fabricar y colocar la mezcla

puede resumirse así:

Se vuelcan los inertes a la hormigonera, y luego de un breve mezclado en seco se les incorpora el agua; a continuación, una vez humedecidos se adiciona a los áridos la emulsión asfáltica.

El tiempo de mezclado depende del equipo empleado, oscilando en general entre 30 segundos y un minuto.

En virtud de que las mezclas conviene elaborarlas con una consistencia más bien seca, es conveniente el empleo de hormigoneras con inversión de marcha, de lo contrario es probable que haya que ayudar al material con pala o rastrillo para su descarga al camión.

En el caso de utilizarse mezcladoras con doble eje a paletas, podrá trabajarse con la humedad que surge de la aplicación de la Tabla II para la granulometría adoptada.

Si se emplean hormigoneras comunes puede ser necesario incrementar dicha humedad hasta un 10 % para compensar posibles pérdidas y por ser el mezclado menos enérgico.

Totalizada la carga del camión, el mismo traslada la mezcla a la cancha y mediante simple vuelco (luego que la inclinación de la caja alcanza aproximadamente un ángulo de 60°) se deposita el material en el sitio indicado, debiendo quedar la caja absolutamente limpia.

El ciclo se repite (utilizando 2 camiones) hasta completar los montones necesarios para el tramo a pavimentar.

Completada la descarga del material se procede a su desparramo con motoniveladora, ya que su consistencia lo permite, corriéndolo en la misma forma que si se tratase de un suelo y distribuyéndolo en todo el ancho de la calzada.

Las sucesivas idas y vueltas de la motoniveladora, van compactando en cierto modo el material en capas, corrigiéndose en gran parte las imperfecciones de la base.

Es imprescindible la colocación de testigos para la vigilancia de espesores, así como también la labor de dos peones para la limpieza de bordes y complemento del trabajo de la moto a fin de corregir alguna imperfección en puntos poco acce-

sibles.

Terminada la distribución, operación que puede realizarse en medio día, la carpeta debe quedar totalmente conformada y compactada en parte; en ese momento comenzará su trabajo la aplanadora, debiendo la mezcla tener una humedad residual del 50 % al 60 % de la total.

En esas condiciones el material es perfectamente amasable e irá cerrando en forma homogénea. No obstante, en algunas zonas de acuerdo a como haya sido distribuída, puede dificultarse o demorarse el cierre de la mezcla, dando la impresión de falta de mortero. Para solucionar este problema, es conveniente incrementar durante la compactación, el humedecimiento de los cilindros de la aplanadora, notándose un refluir hacia la superficie de la carpeta que llena los huecos existentes.

Es conveniente no efectuar más de 4 ó 5 pasadas iniciales con la aplanadora por cuanto un refluir excesivo de la mezcla puede provocar una película de partículas finas que por no estar totalmente cortada la emulsión, puede desprenderse o levantarse; además un sellado prematuro de la superficie dificultaría el secado.

Debe suspenderse la compactación entre 6 y 8 horas y luego continuarse con un enérgico cilindrado de aplanadora y rodillo neumático combinados, durante 4 horas, a reducida velocidad.

Al cabo de dicho período es muy probable que la carpeta no denote ya más la acción de los elementos de compactación, pudiendo en tal caso ser librada al tránsito sin ningún inconveniente.

A continuación se hace una breve reseña de las características particulares de algunas obras donde se han ejecutado carpetas de concreto asfáltico en frío, bajo el procedimiento que se sugiere en este informe.

1.- Pavimento urbano de la localidad de Pellegrini (Prov. Bs. As.)

Equipo

1 Hormigonera de 350 l (25 r.p.m.)
1 Tractocargador
2 Camiones volcadores
1 Motoniveladora
1 Aplanadora 8 t'
1 Tractor con rodillo neumático
Elementos varios

Personal

Obrador 5 cargadores
1 maquinista
1 ayudante

Camino Distribución 1 motoniveladorista
2 ayudantes

Compactación 1 maquinista (aplanadora)
1 maquinista (rodillo neumático)

Dosificación de la mezcla

Binden granítico (9-19)..... 35 %
Binden granítico (3-9)..... 15 %
Arena silíceo (argentina)..... 9 %
Arena de médanos..... 6 %
Arena granítica..... 32 %
Cal hidráulica..... 3 %

Granulometría final de la mezcla de inertes

Pasa Tamiz 1/2"	3/8"	1/4"	n° 4	n° 10	n° 40	n° 80	n° 200	
(%).....	100	85,0	64,3	58,4	42,2	23,1	9,4	4,2

Agua para el mezclado

3,8 % del peso de inertes

Emulsión bituminosa superestable EBL₂ (8 % del peso de inertes)

Resultados promedio de probetas moldeadas con 135 kg/cm² luego de perder el 50 % de la humedad total; secadas en estufa a 60°C hasta peso constante y ensayadas por el método Marshall luego de permanecer sumergidas en agua a 60°C durante 45 minutos.

Peso específico (g/cm ³).....	2,30
Estabilidad Marshall (kg).....	450
Fluencia (0,01").....	11
Vacíos (%).....	7

Producción y construcción

La producción alcanza aproximadamente 4,5 m³ por hora (10 000 kg/h).

El bajo rendimiento, que se estima en un 50 % de lo normal, se debió a dificultades en la descarga del material por su adherencia a las paredes de la hormigonera. Contando con una máquina adecuada de descarga por inversión podría elevarse el rendimiento al teórico.

La descarga del material para pavimentar cuadras de 120 m de largo por 11 m de ancho (incluido bocacalles) se completó en medio día.

La distribución del material con motoniveladora se realizó en un plazo de 2 horas.

Conformada la calle se hicieron 5 pasadas de aplanadora de 8 t' sobre toda la superficie. (La mezcla tenía en ese momento entre el 60 y el 50 % de la humedad total).

Al día siguiente se continuó con un enérgico cilindrado de aplanadora y rodillo neumático combinados durante 4 h al cabo de las cuales se libró inmediatamente al tránsito.

Observaciones

Estando distribuída la mezcla en montones para toda una cuadra, se produjo una lluvia de 60 mm no habiéndose alterado en absoluto dicha mezcla.

En otra oportunidad una precipitación de regular intensidad caída durante la distribución y compactación no ocasionó lavado en el material, pudiéndose finalizar las tareas sin ningún inconveniente.

2.- Pavimento urbano en la ciudad de Tres Arroyos (Prov. Bs. As.)

Equipo

1 Hormigonera de 500 l (Capacidad útil 350 litros)
1 Pala mecánica
1 Topadora
1 Motoniveladora
2 Camiones volcadores
1 Aplanadora de 3,5 t'
1 Aplanadora de 10 t'
Elementos varios

Personal utilizado

Obrador 3 cargadores (con carretillas)
1 maquinista
1 ayudante

Cancha Distribución 4 peones
1 capataz

Compactación 1 maquinista (aplanadora pequeña)
1 maquinista (aplanadora 10 t')

Dosificación de la mezcla

Granza granítica..... 78 %
Arena silíceas..... 20 %
Cal hidráulica..... 2 %

Graunulometria final de la mezcla de inertes

Pasa Tamiz	1/2"	1/4"	n° 4	n° 10	n° 40	n° 80	n° 200
(%).....	100	72	61	36	14	7	4

Agua para el mezclado

3,7 % del peso de inertes

Emulsión bituminosa superestable EBL₂ 9 %

Resultados promedio de probetas moldeadas en las mismas condiciones de la Obra Pellegrini

Peso específico (g/cm ³).....	2,24
Estabilidad Marshall (kg).....	400
Fluencia (0,01").....	13
Vacíos (%).....	8,5

Producción y construcción

La producción fue aproximadamente de 4,5 m³/h, que para una jornada de trabajo de 8 horas equivale a una superficie pavimentada de 500 m² (la mezcla fue distribuida en un espesor de 7 cm, que por posterior compactación quedó reducido al espesor proyectado de 5 cm).

Cabe mencionar que con el mismo personal de cancha podría haberse pavimentado una superficie de alrededor de 800 m² diarios con sólo aumentar la producción de mezcla, pero ello no fue posible por las mismas razones señaladas en la obra anterior.

El ancho de calle es de 9 m y se pavimentó por media calzada.

Los camiones volcaron directamente sobre la base (tosca mejorada con cemento) y se distribuyó la mezcla pasando un gálibo de madera dura que permitió conformar la misma en una capa de espesor uniforme de 7 cm. Este gálibo asimismo originó por vibración un primer acomodamiento del material.

En períodos de temperatura media variable entre 20 y 25°C,

se inició la compactación a las 24 horas de distribuída la mezcla con el rodillo de 2,5 t', cuando aquélla conservaba aproximadamente el 50 % de la humedad total incorporada. Cabe señalar que la humedad ambiente en esa época osciló entre 50 y 70 %.

Transcurridas otras 24 horas se entró con el rodillo de 10 t' observándose que 5 ó 6 pasadas del mismo eran suficientes para lograr una adecuada densificación de la mezcla. Ensayos posteriores demostraron que a las 72 horas de distribuída la mezcla había perdido alrededor de 95 % de la humedad total.

El librado al tránsito, una vez finalizada la compactación, no ofreció ningún inconveniente, y fue posible observar que aún el tránsito de camiones con acoplado no afectaron a la carpeta recientemente construída.

Creemos importante destacar que en épocas menos propicias para este tipo de trabajo, con temperaturas medias comprendidas entre 10-18°C, la deshidratación de la mezcla se demoró, por lo que fue necesario esperar alrededor de 48 horas a partir de la distribución del material, para poder iniciar la compactación.

Por otra parte se ha observado que la lluvia no perjudicó sensiblemente a la mezcla recién distribuída ya que solamente provocó un lavado superficial que desapareció luego por el posterior trabajo de cilindrado.

Las mezclas empleadas en las capas de rodamiento de los pavimentos urbanos de las localidades Saldungaray y 30 de Agosto, ubicadas en la Provincia de Buenos Aires, fueron también estudiadas por el L.E.M.I.T. y encuadradas dentro de los lineamientos establecidos en el presente trabajo.

La ejecución de dichas carpetas se realizó en forma similar a la ya descrita para la obra de la localidad de Pellegrini; observándose hasta el presente un comportamiento satisfactorio.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Bitumen und Asphalt-taschen-buch (Arbeitsgemeinschaft der Bitumen Industrie) - Hamburg.
- 2) Temme H.- Gestein im Strassenbau (1963).
- 3) Expecificación sobre construcción de calles y caminos con emulsión bituminosa. Fachverband der Kaltasphaltindustrie, Alemania Occidental.
- 4) British Standards, 2545 - Recommendations for the use of bitumen emulsion (anionics) for roads.
- 5) Asphalt Institute, U.S.A. - Constructions Specifications.

Agradecimiento.- Los autores agradecen la colaboración del Ing. Felix J. C. Hicke, quien tuvo a su cargo la preparación de las probetas utilizadas en los ensayos.

Nota.- Este trabajo fue presentado al Simposio de Pesquisas Rodoviarías, Río de Janeiro, julio de 1967, y una comunicación posterior a la XV Reunión del Asfalto, Mar del Plata, 1968.

El Ingeniero Civil Oscar Luis Ciafardo, coautor del mismo, pertenece al Departamento Pavimentos Urbanos de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires.