

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE COMPACTACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

La compactación de mezclas bituminosas constituye una de las fases fundamentales del proceso de ejecución por su influencia en la resistencia e impermeabilidad de los pavimentos. Actualmente, se emplean diversos tipos de compactadores (estáticos, vibratorios, de neumáticos) y es una preocupación dominante de los Servicios de Carreteras la elección de los equipos óptimos. A tan interesante tema, dedica el autor este trabajo monográfico, apoyado en un estudio comparativo de ensayos de compactación en obra, cuyos resultados tienen un destacado valor informativo y pueden servir de confrontación a la experiencia de nuestros Ingenieros de construcción.

I. Consideraciones previas.

La evolución de la técnica de pavimentos, impuesta por el imperativo de un tráfico creciente en frecuencia, velocidad y cargas, exige revisiones periódicas con vistas a la mejora de métodos en proyecto y ejecución que aseguren una mayor calidad de la obra, lo que se traduce en una mayor duración de los tramos con buen índice de servicio y, por tanto, en una economía muy conveniente en las nunca sobradas consignaciones de la carretera.

Los tratamientos superficiales, al menos en la forma que se realizan en nuestro país (*), se prescriben para tráfico medio, o sea, para IMD de 2 000 vehículos como máximo, límite a partir del cual hay que recurrir a las mezclas bituminosas. Actualmente, en nuestra red estatal de carreteras la longitud de los tramos que pasan de 2 000 vehículos/día suman 6 500 kilómetros, y tal longitud aumenta rápidamente con el incremento de tráfico automóvil, debido al creciente grado de motorización de la población española y el importante complemento que, sobre todo en ciertos itinerarios, supone el turismo extranjero.

En la actual política de carreteras del Ministerio de Obras Públicas, se ha contemplado con carácter preferente esta circunstancia y, en un planeamiento a corto plazo, se ha previsto la mejora de firme con refuerzo de mezcla asfáltica y pavimentación de arcenes en una longitud

de 4 928 kilómetros, seleccionados por orden riguroso de su tráfico a los efectos de que se beneficie el mayor número de usuarios.

Tan bien recibida mejora que constituye el plan REDIA (Red de Itinerarios Asfálticos), a realizar en el período 1967-71, supondrá poco en longitud — un 6,3 por 100 de la de la red a cargo del Estado —, pero mucho en tráfico, ya que en los itinerarios elegidos hay gran densidad de circulación, como lo indica el que éstos canalizan el 33 por 100 del tráfico nacional y el 44 por 100 del tráfico extranjero.

Sólo la mejora planeada con el refuerzo, acondicionamiento y algunas variantes de trazado en puntos singulares, exigirá el empleo de 15 millones de toneladas de mezcla asfáltica. Tan ingente cantidad justifica la necesidad de un análisis completo de las mezclas bituminosas, para llegar a tipos normalizados de la mayor garantía por su composición y proceso de ejecución.

II. Importancia de la compactación.

Por exigencias del tráfico ha habido en los últimos años una evolución de las mezclas bituminosas que afectan a sus elementos integrantes: las propiedades reológicas del ligante y la forma y calidad del árido.

Se tiende al empleo de betunes más duros — 60-80 y 40-50, este último para climas cálidos — y áridos de machaqueo con bajo coeficiente de Los Angeles [2].

Por lo que respecta al proceso constructivo, es fundamental la compactación o densificación de la mezcla, necesaria por razones de impermeabilidad y resistencia. El pavimento debe ser

(*) En técnicas más perfeccionadas de los riegos asfálticos con especificaciones muy estrictas en la fórmula de dosificación y calidad y forma del árido, como las de las normas australianas [1], se llega a tratamientos superficiales aptos para calzadas con IMD de hasta 10 000 vehículos.

impermeable para evitar los efectos perjudiciales de la humedad, tanto sobre las capas asfálticas y granulares del firme, como sobre los suelos de la explanada en los que la imbibición reduce considerablemente su capacidad portante. Asimismo, una textura superficial cerrada protege a la mezcla contra el fenómeno de envejecimiento del ligante, que producen el oxígeno y la luz.

La impermeabilidad y protección contra el envejecimiento imponen un volumen máximo de huecos, que para la capa de rodadura se fija en las vigentes normas españolas [3] en el 5 por 100. El mínimo volumen de huecos se fija en el 3 por 100, pues es preciso contar con una compactación adicional del tráfico que puede rebajarlo al 2 ó al 1 por 100, y más no es admisible pues se producirían resudaciones de betún en los períodos cálidos, que harían el pavimento deslizante con gran peligro para el tráfico en días de lluvia.

Por lo que se refiere al aspecto estructural de las capas de mezcla bituminosa, observamos, en primer lugar, que la resistencia a la deformación o fluencia en las elevadas temperaturas del verano, está en razón directa del grado de compactación. Pero es más importante aún la compactación para la resistencia de la capa a flexo-tracción, que evite el agrietado del pavimento bajo las deflexiones elásticas que producen las cargas del tráfico. El módulo de rigidez, el comportamiento por efecto losa descubierto en el ensayo WASHO [4] para mezclas de alta calidad en capas de espesor superior a 6 centímetros, y la resistencia a los fenómenos de fatiga que produce la repetición de las cargas, dependen del grado de compactación obtenida.

Puede decirse que por estas consideraciones la compactación en obra tiene tanta importancia como en los pavimentos en las bases asfálticas, elementos estructurales del firme que participan sustancialmente en su resistencia y, sin embargo, por estar más alejadas de las cargas del tráfico, no puede contarse con el efecto que éste produce para una densificación adicional durante el período de servicio del firme.

Queda con ello demostrado la importancia de compactar las capas de base — lo mismo puede decirse de las capas intermedias —, en las que, si bien no hay que exigir impermeabilidad ni son tanto de temer los asientos diferenciales, hay que conseguir la resistencia mecánica que su función exige, especialmente ante la fatiga que

es causa del agrietado en “piel de cocodrilo” y posterior degradación del firme.

Por unas causas o por otras, la compactación es de destacado interés y debe tenderse a alcanzar lo antes posible la densidad especificada, que en España será del 95 por 100 de la densidad Marshall correspondiente a la fórmula de trabajo, salvo en casos especiales que quedan a juicio del ingeniero de construcción.

La compactación debe iniciarse cuando la temperatura de la mezcla no sea lo suficientemente alta para que se produzcan desplazamientos en el esqueleto mineral. La eficacia del compactado depende, a su vez, de la temperatura, por lo que hay unos límites críticos que es preciso respetar.

III. Los compactadores estáticos.

Hasta ahora la compactación de las capas de mezcla asfáltica se ha hecho generalmente con rodillos estáticos, reservándose la compactación vibratoria para pequeñas zonas no accesibles a los compactadores que suelen emplearse en pavimentos de carreteras.

En los últimos años, no obstante, en Alemania y algunos Estados americanos se han empezado a utilizar los compactadores vibratorios en algunos tramos y publicado las excelencias de sus resultados en eficacia y rendimiento, lo que ha servido de base a una incipiente polémica sobre el tema que ya ha visto la luz en la literatura técnica y ha sido objeto general de debate en la Conferencia Internacional de Bad Meinberg (Alemania Oriental), a la que hemos asistido los tres últimos años formando parte de la delegación española.

Refiriéndonos, en primer lugar, a los rodillos estáticos, se ha comprobado que, cuando de mezclas bituminosas se trata, los de neumáticos superan a los lisos de llanta metálica. Con los compactadores de neumáticos se consigue una mayor compactación, tanto en la parte superior o superficial como en la totalidad del espesor. La adaptación de las ruedas independientes a las irregularidades iniciales de la capa, evitando el efecto de puente sobre las partes sobresalientes que se da con los rodillos lisos, favorece la compactación al principio del cilindrado, lo que es decisivo por razones de temperatura.

Para la compactación con rodillos lisos se recomienda un triciclo de 12 toneladas y otro de 8 toneladas, para el acabado. Con éstos se puede llegar al 95 por 100 de la densidad Mars-

hall, si bien con poca uniformidad en la textura superficial, que no queda lo suficientemente cerrada e impermeable. Constituye esto un mayor inconveniente si la obra se hace en otoño y la temperatura no es propicia para un cierre a *posteriori* por el tráfico. Así, pues, se llega al invierno en condiciones desfavorables para resistir los efectos del agua y del hielo.

El número normal de pasadas suele ser seis como máximo, y pasar de él es contraproducente, ya que se origina un agrietado en la capa superior debido a una concentración de tensiones. Con ello, la densidad de la mezcla baja, siendo la reducción de ésta mayor cuanto mayor es el peso del rodillo.

Si se pretende alcanzar un mayor grado de compactación, del orden del 98 por 100 de la densidad Marshall, es preciso emplear compactadores de neumáticos, con los que se llega a una textura superficial cerrada y a una densidad uniforme en todo el espesor de la capa. Se necesitan menos pasadas, y como el ancho del rodillo es mayor que el de los de llanta metálica, el período de trabajo es más corto y, por tanto, la operación se hace a temperatura más alta, circunstancia muy favorable, máxime en tiempo frío, en que hay gran pérdida de calor en la mezcla.

La carga por rueda en estos rodillos oscila, normalmente, entre una y dos toneladas, pero más importancia que la carga tiene la presión de inflado, que llega como máximo a 8 Kg./cm.². Se recomienda como buena práctica el inflado gradual en las sucesivas pasadas, de modo que se adapte a la decreciente plasticidad debida al enfriamiento de la mezcla. Un rodillo de neumáticos con presión media de 5 Kg./cm.² puede compactar a la densidad antes indicada capas de 10 centímetros de espesor, a temperaturas de 85 a 65° C., en 4 ó 5 pasadas.

En casos especiales en que se especifique el 100 por 100 de la densidad Marshall, es preciso compactar a temperaturas más altas — del orden de 110° — con ruedas más pesadas y de alta presión. De todos modos, como antes se dijo, la presión debe crecer gradualmente y lo mismo debe aumentar la velocidad de marcha del compactador, generalmente de 2 a 6 Km./hora. En caso de que por la huella de las ruedas u otra causa, no tenga suficiente regularidad la superficie de rodadura, se pasará un rodillo tandem pesado.

Como espesores máximos compactados con

rodillos estáticos, citamos los siguientes datos de la experiencia americana [5]:

- Capa de 30 centímetros, con un rodillo liso triciclo, de 12 toneladas, y otro tandem de 3 ejes y 20 toneladas.
- Capa de 45 centímetros con rodillo de neumáticos, con presión de inflado creciente de 2,5 a 7,8 Kg./cm.².

Los grandes espesores tienen la ventaja de que, por la mayor cantidad de calor en la capa, se conserva mejor la temperatura durante la compactación. Respecto a los compactadores de llanta metálica para grandes espesores, se ha comprobado el inconveniente de que, en las capas con ellos compactadas, el tráfico produce un efecto de descompactación.

IV. Compactación vibratoria.

La compactación por vibración, tan eficaz para los suelos y materiales, especialmente los de poca cohesión, no es tan recomendable para mezclas asfálticas, dada la importancia que en éstas tiene la ordenación estructural para la impermeabilidad y la resistencia mecánica. Con la vibración existe el peligro de la segregación o falta de uniformidad en la granulometría continua de la mezcla. Por otra parte, tampoco existe el interés de compactar en una sola capa grandes espesores, lo que es una ventaja para terraplenes y bases granulares, ya que, aunque un firme lleve espesores importantes de mezcla asfáltica, éstos están divididos en capas de distinta composición.

No obstante, el sistema se emplea cada vez más y tiene defensores que se fundan en los resultados obtenidos, de los que informaremos al referirnos a algunos ensayos comparativos.

El peso de los rodillos vibratorios que se emplean para compactación de mezclas asfálticas, oscila entre 4 y 7 toneladas.

Una circunstancia fundamental para la compactación vibratoria es la frecuencia de vibración. Para la compactación de mezclas asfálticas las frecuencias deben ser altas, del orden de 3 000 ciclos por minuto (50 herz). En el diagrama que se acompaña puede verse el efecto de la frecuencia en la densidad alcanzada en una capa de rodadura de 5 centímetros de espesor. Las ordenadas corresponden al tanto por ciento de la densidad Marshall y las abscisas

INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA DE VIBRACION

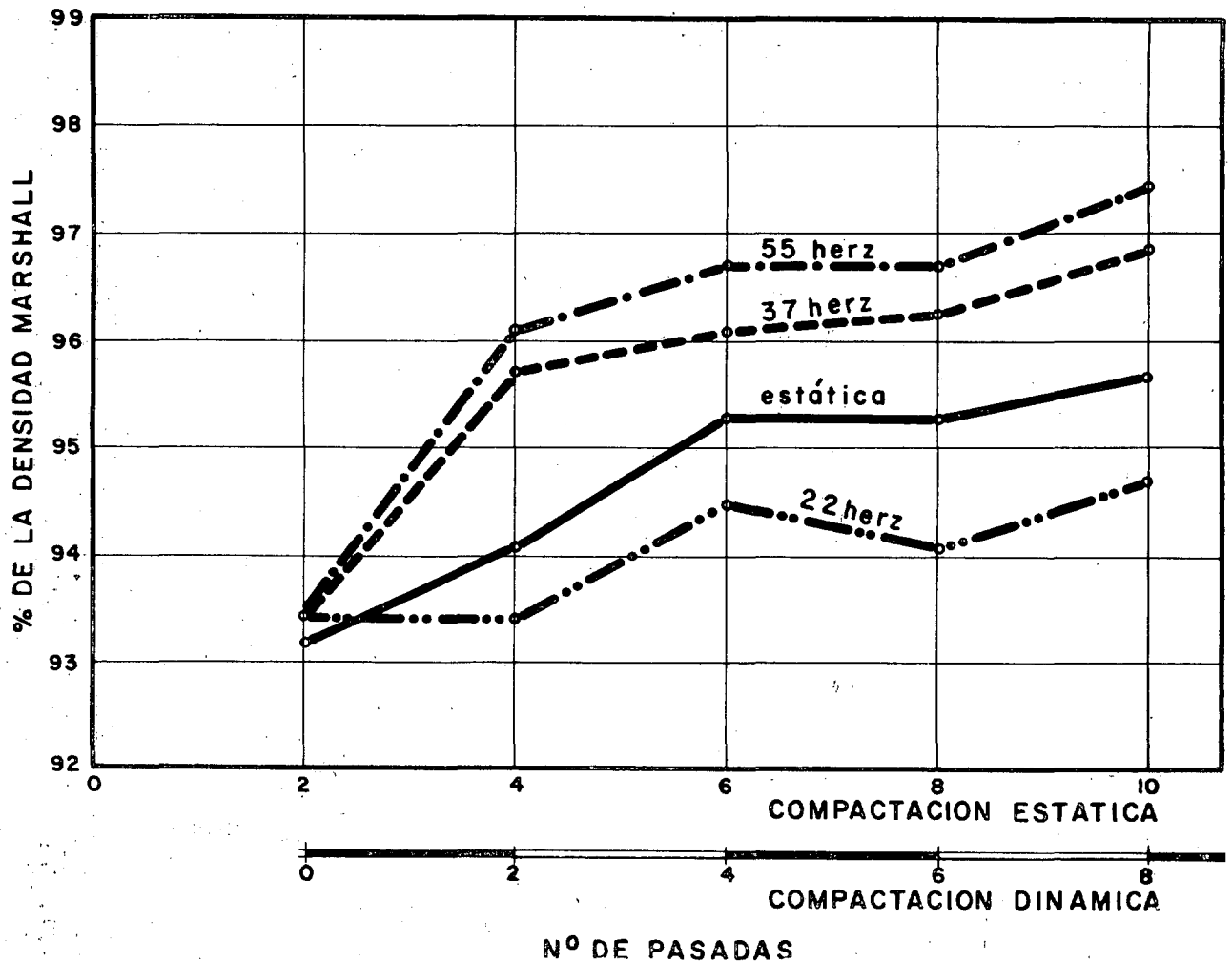


Fig. 1.ª—Las densidades obtenidas con la compactación vibratoria para un mismo número de pasadas dependen de la frecuencia. Como puede verse en el diagrama para frecuencias inferiores a 30 herz (1800 ciclos por minuto), la eficacia es inferior a la de la compactación estática.

al número de pasadas de un rodillo estático o de un rodillo vibratorio. Como se ve, para una frecuencia de 22 herz., el efecto del rodillo vibratorio es inferior al del estático; sin embargo, con frecuencias de 37 y 55 herz. se llega a incrementos del 1,4 y del 2 por 100, respectivamente, sobre la compactación obtenida con éste.

V. Ensayos comparativos.

La correlación de los resultados obtenidos con diferentes sistemas de compactación, es de difícil generalización y no pueden sentarse cri-

terios demasiado concretos, puesto que en el problema juegan diferentes factores: granulometría de la mezcla y espesor de las capas, así como dimensiones y cargas de los compactadores dentro de los de un mismo sistema.

Para un análisis comparativo completo habría que llevar a cabo una larga serie de ensayos con variación factorial de las características apuntadas, al menos de las más decisivas. En los últimos años se han llevado a cabo ensayos bastante completos con suficiente rigor y control estadístico, que han arrojado luz sobre el tema y sirven de base a una fértil discusión en la que se van perfilando conclusiones y recomendacio-

nes sobre los procesos de compactación de pavimentos y bases asfálticas. En los ensayos se consideran esencialmente los siguientes puntos:

- El grado de compactación referido a la densidad Marshall, que se obtiene con los distintos tipos de compactadores.
- El número de pasadas necesarias para alcanzar la densidad especificada.
- La temperatura más conveniente para un compactado eficaz.
- El espesor máximo que puede compactarse en buenas condiciones.

Por su valor informativo nos ha parecido oportuno exponer las condiciones y resultados de los ensayos llevados a cabo en Münster (Westfalia), bajo la dirección del ingeniero Schmidt, de la empresa Overmann [6].

La capa bituminosa a compactar tenía un espesor de 7 centímetros, con árido de 25 milímetros de tamaño máximo, que era grava de río, piedra y arena calizas y adaptada a la siguiente fórmula:

Fración gruesa, superior a 2 mm. ...	64 %
Fración fina, de 0,08 mm. a 2 mm. ...	32 %
Filler	4 %
Betún 80/100	4 %

La temperatura de extendido fue de 135 a 145° centígrados.

Se llevaron a cabo los siguientes grupos de ensayos, correspondientes a los distintos tipos de compactadores que se definen a continuación:

- Rodillo de neumático de 18 toneladas.
- Rodillo liso tandem de 6 toneladas.
- Rodillo liso triciclo de 10 toneladas.
- Rodillo vibratorio tandem de 4,6 toneladas.
- Rodillo vibratorio tandem de 6,9 toneladas.

Los ensayos realizados fueron los siguientes:

1. Rodillo de neumáticos.

1.1. Con cuatro pasadas del rodillo de 18 toneladas, precedidas de dos del estático tandem, de 6 toneladas, y una pasada del triciclo para acabado, se obtuvo una densidad del 98,23 por 100 de la Marshall.

1.2. Lo mismo que en el ensayo anterior, pero aumentando a siete el número de pasadas del rodillo de neumáticos, se llegó a una densidad del 99,55.

1.3. Lo mismo que los ensayos anteriores, en las pasadas de los rodillos lisos, pero dando diez con el de neumáticos, la densidad fue del 100,67 por 100.



Fig. 2.ª — Empleo de un rodillo de neumáticos y otro vibratorio en la compactación de la capa de rodadura de una autopista alemana.

1.4. Se suprimió el preapisonado y el acabado, o sea, que sólo se dieron las diez pasadas de rodillo neumático, la densidad alcanzada fue del 98,51 por 100. Hay que tener en cuenta que la temperatura al iniciar el apisonado era de 55° centígrados.

1.5. Se dieron previamente seis pasadas con el rodillo tándem liso, siete con el rodillo de neumáticos y una pasada final con el rodillo triciclo. Se llegó a una densidad del 100,55 por 100.

2. Rodillos lisos.

2.1. Con dos pasadas del rodillo tándem previamente y cuatro pasadas del triciclo se alcanzó una densidad del 99,52 por 100.

2.2. Lo mismo que en el ensayo anterior, pero aumentando a siete el número de pasadas del rodillo triciclo; la densidad fue de 100,72 por 100.

2.3. En este ensayo se dieron diez pasadas con el rodillo de tres ruedas, llegando a una densidad del 98,59 por 100 que es la mínima del grupo. Hay que tener en cuenta que la temperatura fue más baja que en los otros casos, pues se inició la compactación cuando la mezcla estaba a 66° C.

2.4. Se llegó hasta quince pasadas del rodillo de tres ruedas para ver si se conseguía un aumento sensible de la densidad; la alcanzada fue del 100,68 por 100.

3. Rodillo vibratorio de 4,6 toneladas.

3.1. Con dos pasadas de rodillo tándem y dos pasadas con el vibratorio, sin acabado con rodillo estático, la densidad fue del 99,63 por 100.

3.2. Lo mismo que el ensayo anterior, pero con tres pasadas del rodillo vibratorio, la densidad fue ligeramente inferior, 99,39 por 100.

3.3. Lo mismo, pero aumentando a cuatro el número de pasadas. La densidad alcanzada fue ligeramente inferior a las anteriores.

3.4. La única diferencia respecto al ensayo 3.1. fue la utilización del rodillo de tres ruedas para el planchado final. Se llegó a una densidad de 101,05 por 100.

4. Rodillo vibratorio de 6,9 toneladas.

Los procesos de compactación respecto al número de pasadas y rodillos lisos para preapi-

sonado y acabado fue análogo a los descritos para el rodillo vibratorio ligero. Las densidades obtenidas presentaron un incremento prácticamente despreciable, no obstante, en lo que se mejoró notablemente fue en la regularidad superficial.

De los resultados expuestos se deduce que para los rodillos neumáticos —con acabado de rodillo liso— la densidad aumenta con el número de pasadas. Respecto a los rodillos lisos se ve que con siete pasadas se alcanzaron resultados satisfactorios.

Los ensayos de compactación vibratoria han puesto de manifiesto que con dos o, a lo sumo, tres pasadas se llega a densidades que requerirían más tiempo con los rodillos estáticos. El período de compactación es, pues, más corto y ésta se hace, por tanto, a temperatura más alta.

Se realizaron también ensayos en una capa de 18 cm. de espesor, poniéndose de manifiesto que con el mismo proceso de preapisonado, compactado —con los rodillos vibratorios citados— y planchado final, se obtuvieron densidades satisfactorias con tres o cuatro pasadas de éstos. Para ello fueron precisas temperaturas más altas. La compactación se inició a 125° C. y terminó a 100° C.

Para formar criterio en este análisis comparativo de los sistemas de compactación, consideramos interesante otro ensayo realizado posteriormente en Limburg (Holanda) [7], que ilustra especialmente sobre las características de permeabilidad, textura superficial y uniformidad de densidad que se consiguen con los diversos tipos de compactadores.

El ensayo se hizo en dos tramos de 60 m., divididos a su vez en tres subtramos, uno para cada tipo de rodillo; con la reducida longitud se buscaba una homogeneidad de la mezcla para que no hubiera variaciones en su estructura que falsearan los resultados obtenidos.

Las capas compactadas fueron una base asfáltica (0/35 mm.) de 12 cm. de espesor y una "capa intermedia" (0/25 mm.) de 4 cm. de espesor. Las características esenciales de ambas mezclas, son las siguientes:

	Base	Capa intermedia
Fracción fina, inferior a 2 mm.	27 %	21 %
Filler	4,9 %	2,9 %
Betún 60/80	3,7 %	4,0 %
Volumen de huecos	4,9 %	6,8 %
Estabilidad Marshall	715 Kg.	580 Kg.

Se extendieron estas capas asfálticas sobre una base de grava-cemento.

Los rodillos que se emplearon en la compactación fueron los siguientes:

- Rodillo de neumáticos de 16,5 Tn. (carga por rueda, 2,35 Tn.); ancho, de 1,96 m., y presión de inflado, 7 Kg./cm.².
- Rodillo vibratorio tándem de 4,3 Tn. y 1,10 metros de ancho, con presión lineal sobre la generatriz 14,5 Kg./cm. en el eje anterior y 25 Kg./cm. en el eje posterior. La frecuencia de vibración fue de 47 herz definida como la óptima en experiencias previas sobre las mezclas adoptadas para el ensayo.
- Rodillo estático triciclo de 12 Tn. y 1,90 metros de ancho, con presión lineal de 39,2 y 64,5 Kg./cm. para los ejes anterior y posterior.

Tanto el rodillo de neumáticos como el vibratorio eran precedidos de dos pasadas de un estático liso de 4,3 Tn. —era el mismo compactador vibratorio funcionando sin vibración— con la mezcla a una temperatura de 120° C.

El número de pasadas, velocidades y temperaturas de compactación fueron las siguientes para los distintos rodillos:

Rodillo de neumáticos. — 5 pasadas a 8,5 kilómetros/h. con temperatura de 100° C. para la base y 85° C. para la capa intermedia.

Rodillo vibratorio. — 4 pasadas a 3,6 Km./h. con temperatura de 80 a 85° C. Al cambiar el sentido de la marcha se suspendía la vibración para evitar deformaciones en la capa.

Rodillo estático liso. — 6 pasadas a 3,6 kilómetros/h. con temperatura de 120 a 130° C.

Los mejores resultados para la mezcla correspondiente a la capa de base se obtuvieron con el rodillo de neumáticos, llegándose al 100 por 100 de la densidad Marshall. Con la compactación vibratoria se obtuvo el 99 por 100 y con el rodillo liso el 97,5 por 100.

Respecto a la textura superficial se vio que la obtenida con el rodillo de neumáticos era muy lisa y uniforme. El rodillo vibratorio produjo una superficie más irregular, con falta de finos en algunas zonas. La textura más abierta fue desde luego la que se obtuvo con el rodillo liso. La apreciación visual de la superficie coincidió con el resultado de las pruebas de permeabilidad que figura en el adjunto gráfico.

Se consiguió mayor impermeabilidad con la compactación del rodillo de neumáticos, la filtración fue de 10,5 cm.³/hora para una superficie de 100 cm.², o sea, prácticamente impermeable. Para los rodillos vibratorios y liso fue de 66 y 644 cm.³/h., respectivamente.

Esto comprueba que con el rodillo de neumáticos se ordena mejor el esqueleto mineral de la mezcla y se llega a una mayor colmatación de huecos y sellado superficial. Parece que con ello no será en general preciso el paso de un rodillo liso para el acabado.

Respecto al rendimiento de los distintos equipos en el ensayo holandés que comentamos, se concluyó que la superficie compactada en la unidad de tiempo es superior al triple de la que compacta el rodillo vibratorio. Así, pues, para una planta asfáltica de la misma producción se precisaría el doble número de compactadores por lo menos.

El análisis económico, considerando gastos de funcionamiento y amortización de equipos, puso de manifiesto que el compactador de neumáticos rinde el doble que el vibratorio por el mismo precio, a lo que une la citada ventaja de una superficie más cerrada que evita los perjudiciales efectos del agua y del hielo. El rodillo liso es como ya se ha visto el que dio peor resultado.

Se refiere lo expuesto a la capa de base. En los ensayos de la capa intermedia el comportamiento entre el rodillo de neumáticos y el vibratorio presentó menos diferencias, especialmente en la densidad obtenida. No obstante, el rendimiento de compactación del primero fue superior, estimándose aproximadamente en el doble, de acuerdo con los tiempos invertidos.

Informaremos para terminar sobre la experiencia obtenida en Petersburg (Virginia), con motivo de un tramo de 17 Km. de autopista de intenso tráfico que requería el empleo de 100 000 toneladas de mezcla bituminosa [8]. El espesor del firme asfáltico era de 23 cm. integrado por una base de 15 cm. y capas intermedia y de rodadura de 4 cm. cada una.

Debido al tamaño del árido, el pliego de condiciones de la obra exigía la compactación de la base en tres capas. También se especificaba que la capa de rodadura se extendiera en dos capas, a los efectos de obtener la máxima regularidad superficial del pavimento. Se emplearon al principio de la obra un rodillo triciclo de 10 Tn. y otro tándem de 8-12 Tn. Pero con ellos

PERMEABILIDAD DEL PAVIMENTO PARA DIVERSOS SISTEMAS DE COMPACTACION

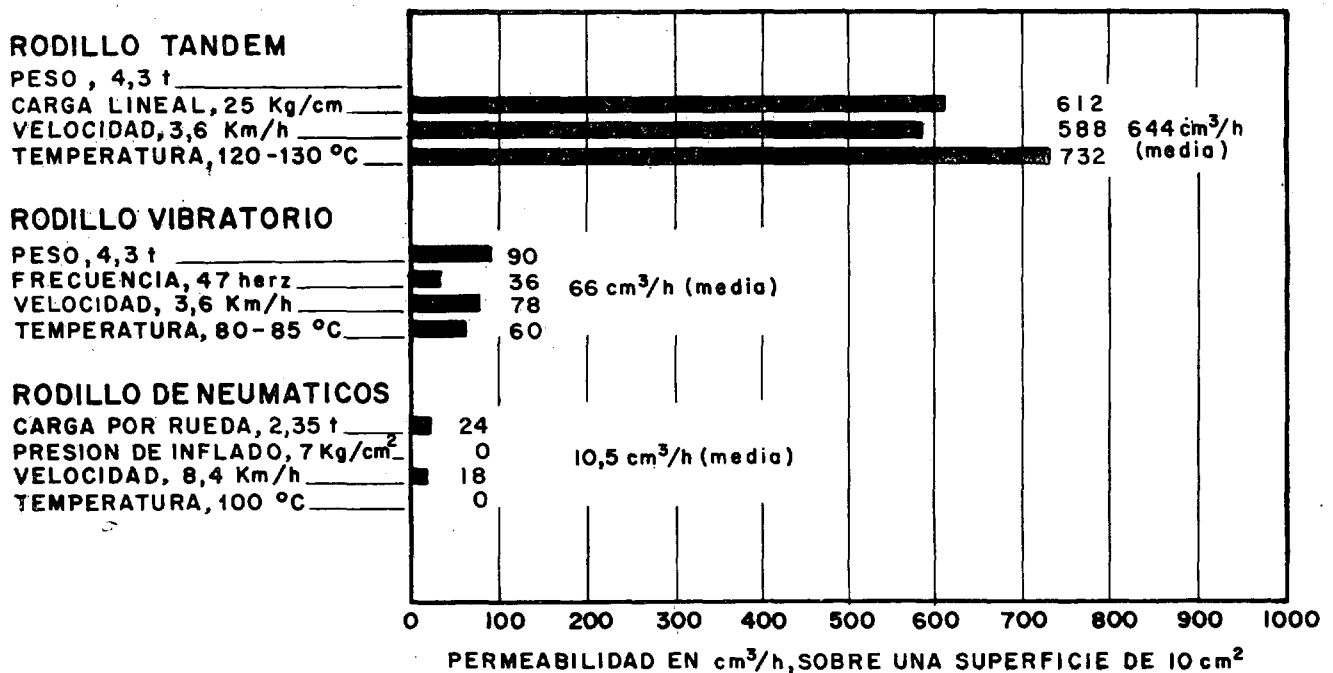


Fig. 3.^a—El sistema de compactación influye en la ordenación estructural de la mezcla y, por tanto, en la textura superficial de la capa que determina su grado de impermeabilidad. En la figura puede verse cómo varía la permeabilidad del pavimento con el tipo de compactador.

sólo se obtuvo una densidad del 83 por 100 de la Marshall, inferior al 85 por 100 exigido.

En consecuencia, buscando mayor compactación se utilizó un rodillo de neumáticos de 10 toneladas y 9 ruedas, juntamente con los dos

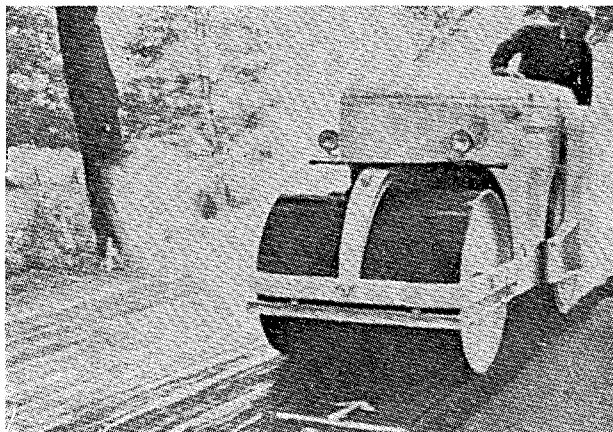


Fig. 4.^a—Compactador vibratorio de 4,6 toneladas en uno de los tramos del primer ensayo descrito.

anteriores. Se llegó así a densidades admisibles del 85 y 86 por 100, pero se presentó otro problema. Las huellas que dejaban las ruedas traseras del rodillo triciclo en las primeras pasadas, cuando la mezcla estaba más caliente, no se borraban con el cilindrado posterior.

A la vista de tal inconveniente se propuso a la Administración el empleo de un rodillo vibratorio. Se disponía en obra de uno de 6 Tn. utilizado para la base granular y con éste se llevaron a cabo ensayos previos con diferente número de pasadas, velocidad de marcha y frecuencia de vibración. Se llegó así a la solución óptima en las condiciones siguientes:

- Una primera pasada con el rodillo de 6 toneladas funcionando como estático.
- Dos pasadas del mismo rodillo con vibración de 40 herz.
- Una pasada de acabado con el rodillo liso tándem de 8-12 Tn.

En el ensayo se vio que una tercera pasada

con el rodillo vibratorio producía segregaciones y fisuraciones en la mezcla. La velocidad era del orden de 4 Km./h.

De acuerdo con el proceso indicado se realizó toda la compactación; se llegó a densidades de 85,5 a 87,5 por 100 de la Marshall y se eliminó el problema de las huellas del cilindrado previo.

VI. Conclusión.

Los ensayos descritos en el presente trabajo no arrojan una luz definitiva sobre los procesos de compactación de mezclas bituminosas. Aún es pronto para formular radicalmente unas recomendaciones categóricas sobre el tema, pero estimamos que esta información será útil para que el ingeniero de construcción confronte los resultados expuestos con la experiencia propia, o tenga en cuenta los equipos empleados para sus obras futuras.

Una conclusión clara es la inferioridad de los rodillos lisos estáticos frente a los de neumáticos o vibratorios. Estos últimos pueden ser muy eficaces con frecuencias adaptadas al tipo de mezcla y un número crítico de pasadas, sin que sean de temer segregaciones en el árido con acumulación de mortero en la parte superior de la capa.

En la realidad será desde luego importante la disponibilidad de equipos, pero, en todo caso, debe existir la inquietud de llegar a una buena compactación con el mejor aprovechamiento de éstos. Para ello serán de destacado interés los ensayos previos en pequeños tramos testigos, en los que se defina el sistema óptimo y el proceso que deba adoptarse en obra para llegar a las necesarias condiciones de densidad e impermeabilidad, sin olvidar el rendimiento de los compactadores y los costes resultantes, que son un factor decisivo para la elección.

Las mezclas asfálticas son unidades de obra

muy caras que deben ejecutarse con la máxima perfección, de modo que ofrezcan una gran comodidad al tráfico, juntamente con una rugosidad superficial que evite el peligro de deslizamiento y una impermeabilidad que impida los efectos perjudiciales del agua y del hielo, cualidades que deberán conservarse a lo largo del período de servicio previsto para el pavimento.

El gran volumen de mezclas bituminosas que exigirá el ensanche y refuerzo de firme en nuestros itinerarios principales, así como los pavimentos de las planeadas autopistas, ofrecerá un amplio campo de experimentación en el que se fijarán criterios y se perfilarán normas para la compactación óptima de estas mezclas, aprovechando la experiencia de todos, conocida a través de fértiles intercambios de formación.

Referencias.

1. *Principles and practice of bituminous surfacing*. National Association of Australian State Roads Authorities. Sidney. New South Wales, 1965.
2. O. Llamazares: "Refuerzo de firmes flexibles con capas de mezcla asfáltica". *Revista de Obras Públicas*. Febrero 1967.
3. *Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes*. Dirección General de Carreteras. Febrero 1965.
4. "The WASHO Road Test". *Special Report*, 22, 1965.
5. "La compactación de mezclas asfálticas". *Boletín de Información núm. 48 del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo*. Agosto 1966.
6. J. Schmidt: *Vibrations-und Gummiradwalzen im bituminösen Strassenbau*. Comunicación presentada en la XI Conferencia Internacional de Bad Meinberg. Febrero 1965.
7. K. Banaschek y F. Fischer: "Vergleichende Verdichtung bituminöser Belage mit Gummiradwalzen, Vibrationswalzen und statischen Walzen". *Strasse und Autobahn*. Mayo 1966.
8. V. Parks, III: *Use of vibration in construction of stone an asphalt bases*. Comunicación presentada en la XII Conferencia Internacional de Bad Meinberg. Febrero 1966.