

# COMPACTACION DE PAVIMENTOS DE HORMIGON ASFALTICO

Por MANUEL VELAZQUEZ VELAZQUEZ  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*El empleo cada vez más extenso de los aglomerados asfálticos en bases y pavimentos da gran interés a este trabajo. Se discuten en él diversas experiencias y estudios teóricos sobre la influencia de las características de las apisonadoras en el proceso de compactación, llegando a conclusiones de aplicación práctica y aclarando interesantes conceptos relacionados con el tema.*

El hormigón asfáltico en caliente se ha consagrado en los últimos años como material óptimo para la construcción de pavimentos de alta calidad. Hasta hace relativamente pocos años sus ventajas se cifraban fundamentalmente en la facilidad de construcción y de obtención de superficies de rodadura extremadamente regulares que hacían el desplazamiento de los vehículos fácil y cómodo, pero la experiencia más reciente, y especialmente el resultado de los grandes ensayos americanos de carreteras a escala natural — el WAASHO y últimamente el AASHO — han llevado a la conclusión de que las capas gruesas de aglomerado asfáltico contribuyen también de forma muy eficaz al aumento de la resistencia de la estructura del pavimento, permitiendo con ello disminuir sensiblemente su espesor total.

El hormigón asfáltico es una mezcla de áridos bien graduados, perfectamente secos y calientes, con betún asfáltico a tal temperatura que conserve fluidez suficiente durante todo el proceso de mezclado. La dosificación de betún se determina con cierta precisión mediante métodos de laboratorio.

Un pavimento satisfactorio de aglomerado asfáltico debe reunir una serie de propiedades entre las que citaremos la estabilidad, durabilidad, flexibilidad, resistencia al deslizamiento, impermeabilidad y trabajabilidad.

La estabilidad se define como la resistencia de la mezcla a la deformación bajo carga y es la carga o tensión necesaria para producir cierta deformación. La estabilidad se mide normalmente en laboratorio por la resistencia de la mezcla a compresión simple o mediante algún tipo de ensayo de compresión triaxial, y depende fundamentalmente de dos propiedades características de la mezcla: el rozamiento interno y la cohesión. El rozamiento interno depende fundamentalmente de las características de los áridos y del contacto existente entre ellos. El asfalto garantiza el mantenimiento de un buen contacto entre las partículas de los áridos si su dosificación es correcta y la compactación satisfactoria, pero puede actuar, si

la dosificación es excesiva, como agente lubricante que disminuye el rozamiento interno del conjunto.

El rozamiento interno de los áridos depende de los siguientes factores:

- 1.º Textura superficial de las partículas.
- 2.º Forma de las partículas.
- 3.º Índice de huecos.
- 4.º Tamaño de las partículas.
- 5.º Granulometría de las partículas.
- 6.º Composición mineralógica.

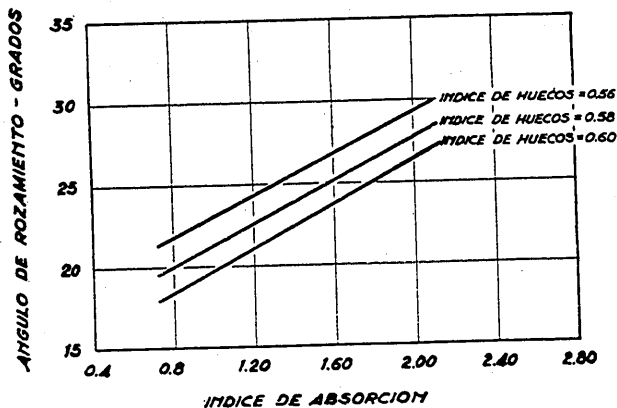


Figura 1.ª

En las curvas de la figura 1.ª, obtenidas experimentalmente en ensayos con cuentas de vidrio en cuya superficie se habían logrado diferentes grados de rugosidad por rayado, se observa la influencia de algunos de estos factores. Se ve que el rozamiento interno crece con la rugosidad de las partículas y con la compacidad de las muestras, indicada por el índice de huecos. Cuanto más densa es la granulometría más superficie de contacto existe entre las partículas y, por consiguiente, mayor es la resistencia del conjunto a la deformación.

En una mezcla asfáltica el contacto entre las partículas no depende solamente de la granulometría de

éstas, sino también del grado de compactación, ya que una mezcla no suficientemente compactada adoptará una estructura poco estable y con un rozamiento interno muy reducido, aunque posea una granulometría que potencialmente haga posible el logro de una compacidad extremada.

Como hemos visto, el papel del asfalto en la modificación del rozamiento interno de las mezclas asfálticas es secundario. En cambio, la cohesión de tales mezclas depende casi por completo de la del asfalto contenido en ellas, relacionada con su viscosidad que, a su vez, depende de la temperatura a que

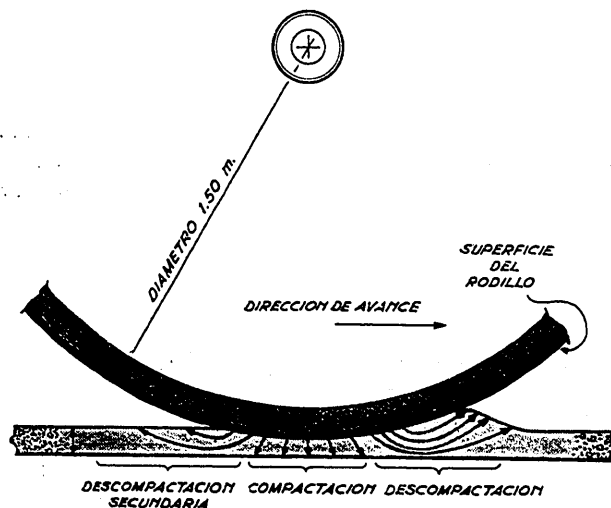


Figura 2.<sup>a</sup>

se encuentre en el pavimento y de su consistencia característica a una temperatura determinada.

La consistencia del asfalto puede no ser constante en el tiempo (a una temperatura determinada) si no se toman determinadas precauciones, ya que, especialmente en determinadas circunstancias, como, por ejemplo, en contacto con el aire y bajo el efecto de los rayos solares, envejece en un proceso que se manifiesta por un endurecimiento del material que se debe fundamentalmente a la oxidación del asfalto y la volatilización de sus componentes más ligeros.

La oxidación es fundamentalmente la reacción del asfalto con el oxígeno del aire. A temperaturas normales la reacción del oxígeno con el asfalto es un proceso lento en el que el oxígeno reacciona con el asfalto, pudiendo formarse algunos compuestos solubles que son arrastrados por el agua si se someten a la acción de ésta. La oxidación se produce con gran rapidez a temperaturas elevadas y bajo la acción de los rayos ultravioleta.

La volatilización es la evaporación de los constituyentes más ligeros del asfalto que, como sabemos, es una mezcla de hidrocarburos en la que están presentes productos de pesos moleculares muy diferen-

tes. Este proceso, como el anterior, se acelera muchísimo por la acción de las temperaturas elevadas.

El mezclado en la planta, en que el asfalto es sometido a agitación violenta en contacto con los áridos a elevada temperatura, y en condiciones en que el contacto con el aire es máximo, es el período de la vida de la mezcla en que más envejecimiento del asfalto suele producirse.

Es evidente que la durabilidad de los pavimentos de aglomerado asfáltico exige que sus propiedades físicas no sufran grandes variaciones a lo largo del tiempo. Por lo tanto, conviene que el envejecimiento del asfalto quede reducido al mínimo, asegurando la constancia en el tiempo de las propiedades de la mezcla. Durante la fabricación del aglomerado asfáltico es evidente que la estricta vigilancia de la temperatura y tiempo de mezclado puede limitar el rápido envejecimiento producido por la agitación a alta temperatura. En cuanto se refiere a la extensión y compactación de la mezcla, es evidente que el mejor medio de evitar el envejecimiento es lograr capas de la máxima compacidad, ya que de esta forma la mayor parte del asfalto contenido en ellas no estará en contacto con el aire y, por consiguiente, no podrá oxidarse ni existirá posibilidad de que se pierdan elementos volátiles de la mezcla por evaporación al no estar en contacto con la atmósfera.

Todo esto hace evidente que la adecuada compactación de los pavimentos de aglomerado asfáltico es fundamental para la obtención de pavimentos de características satisfactorias, estables y duraderas, suponiendo, naturalmente, que las características de la mezcla lo hagan posible.

Consideremos ahora el problema mecánico de la compactación de un pavimento de aglomerado asfáltico. Como sabemos, el aglomerado se distribuye normalmente mediante máquinas terminadoras que lo extienden en capas del espesor exactamente deseado y con un principio de compactación que facilita después una terminación adecuada. En este estado la mezcla no tiene estabilidad suficiente para resistir cargas, y es necesario el apisonado, operación que, en general, se inicia utilizando rodillos metálicos de llanta lisa.

En los momentos iniciales del apisonado la mezcla se encuentra a una temperatura bastante elevada y su resistencia a la deformación es pequeña. Cuando se emplea un rodillo excesivamente pesado, se producen delante y detrás de él deformaciones por cortadura, que producen expansiones de la mezcla, y que dan lugar a una descompactación. Bajo un rodillo en movimiento podemos imaginarnos que se produce una situación como la indicada en la figura 2.<sup>a</sup>, que representa un fenómeno semejante al desplazamiento de una onda de pequeña altura que se desplaza a lo largo del pavimento. Durante el proceso de apisonado la temperatura de la mezcla va bajando y la importancia de los fenómenos de descompactación que

puedan haberse producido va disminuyendo hasta que se llega a un estado de equilibrio en el que se establece la densidad final de la mezcla bajo los efectos del apisonado.

Son numerosos los factores que intervienen en este fenómeno y el discutir su conjunto formando la teo-

$V_a$  (% vol)

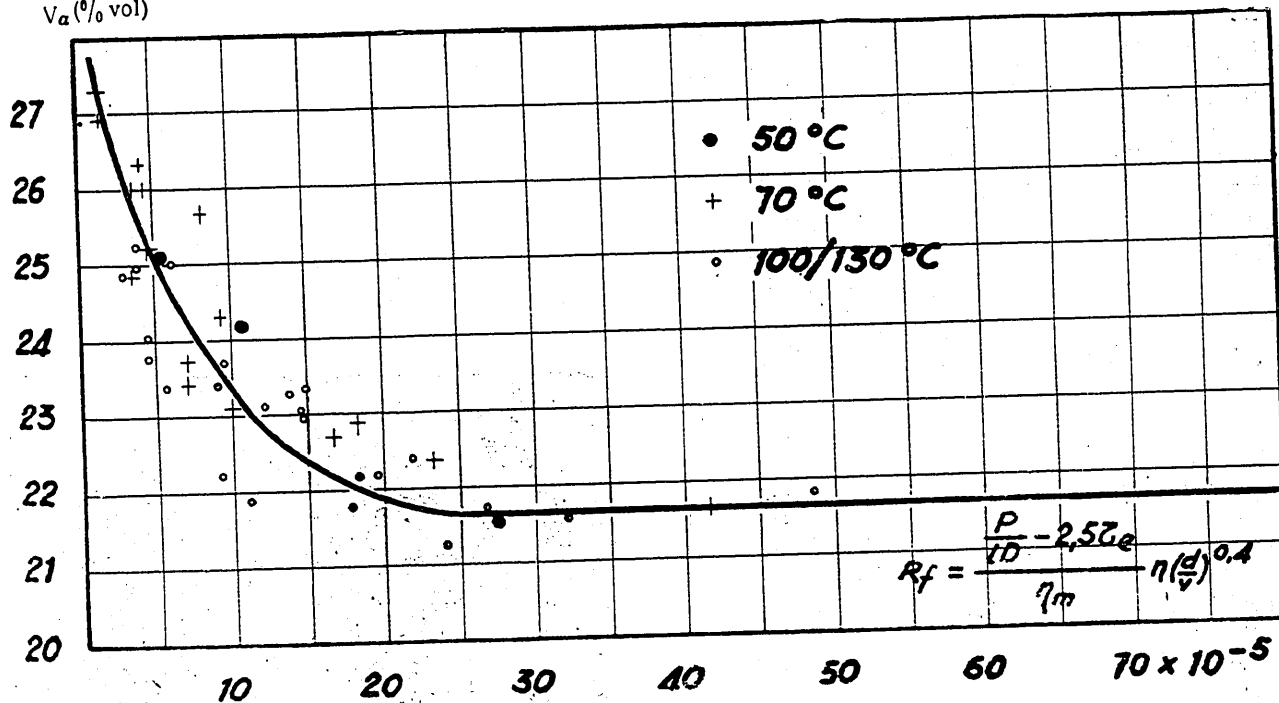


Figura 3.<sup>a</sup>

ría coherente es tarea que presenta bastantes dificultades. Es evidente que existe una estabilidad característica de la mezcla que permite que se produzca la máxima compactación bajo el efecto de un determinado número de pasadas de un rodillo de peso y dimensiones determinados. Una mezcla puede ser tan estable que un determinado rodillo no produzca efecto alguno de compactación, o en el extremo opuesto la estabilidad puede ser tan baja que el mismo rodillo se hunda en la mezcla y haga imposible por completo el llegar a obtener una superficie lisa.

\*\*\*

El más completo estudio teórico realizado sobre la compactación de los pavimentos de mezclas asfálticas es probablemente el realizado por Nijboer, que resumimos a continuación.

Las magnitudes que intervienen en el proceso del apisonado son:

- $P$  = peso de la apisonadora (Kg.).
- $l$  = longitud del rodillo (cm.).
- $D$  = diámetro del rodillo (cm.).

- $n$  = número de pasadas de la apisonadora.
- $v$  = velocidad de avance de la apisonadora.
- $d$  = espesor de la capa apisonada.
- $\varphi_e$  = ángulo de rozamiento interno.
- $\tau_e$  = consistencia inicial de la mezcla (Kg./cm.<sup>2</sup>).
- $\eta_m$  = viscosidad de masa de la mezcla (Poisies).

Por análisis dimensional se llega a la conclusión de que puede emplearse como índice característico del proceso de apisonado la magnitud:

$$R_f = \frac{\frac{P}{lD} - C\tau_e}{\eta_m} n \left(\frac{d}{v}\right)^{0,4}$$

que se llama índice de apisonado,  $R_f$ .

Entre  $R_f$  y el porcentaje de huecos de la mezcla,  $V$ , o de los áridos,  $V_a$ , puede establecerse una relación de la forma  $R_f = f(V)$  ó  $R_f = f(V_a)$ . Si  $\frac{P}{lD} < C\tau_e$ , no se produce fluencia de la muestra, y, por consiguiente, esta condición define los límites de las condiciones elásticas.

Si  $\frac{P}{lD} > C\tau_e$ , se produce fluencia y pueden presentarse dos situaciones distintas según que  $V$  ó  $V_a$  se mantengan constantes o varíen. El caso en el que el porcentaje de huecos se mantenga constante se produce cuando se trata de mezclas en las que se ha alcanzado el máximo estado de compactación posible

con la maquinaria empleada, y el caso en que este porcentaje varía corresponde a mezclas en proceso de compactación.

Nijboer limita su estudio al caso de mezclas y apisonadoras dimensionadas de tal forma que el proceso de compactación es irreversible, es decir, en que se consiguen densidades continuamente crecientes o cons-

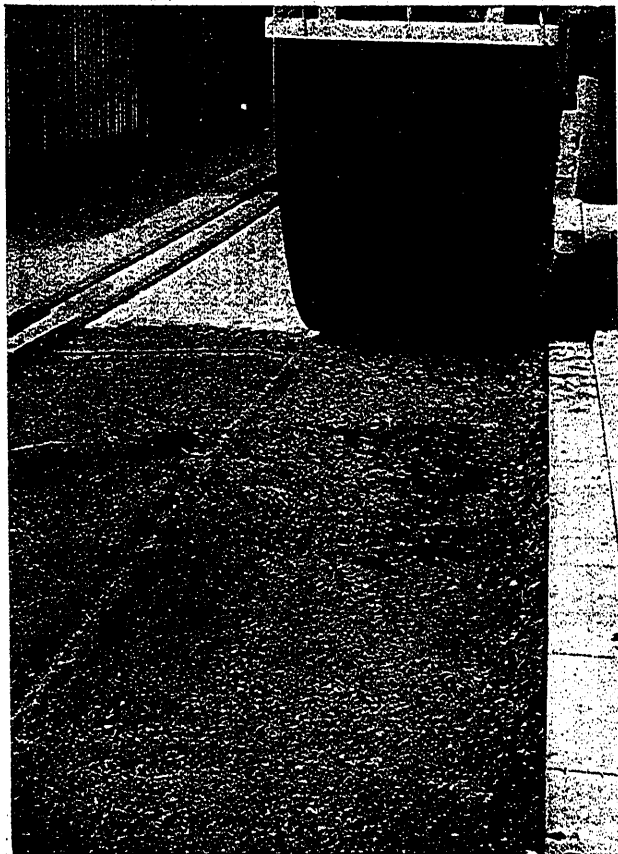


Figura 4.ª

tantes, pero nunca decrecientes, aunque, como antes hemos indicado de pasada y más adelante confirmaremos, en determinadas circunstancias este fenómeno puede producirse.

La exactitud de esta teoría se comprobó experimentalmente obteniendo curvas que dan  $V_a$  ó  $V$ , en función de  $R_f$ , para distintas mezclas en condiciones diferentes. En la figura 3.ª se dan las curvas obtenidas para una mezcla de tipo arena-asfalto a diversas temperaturas.

Nijboer define también una constante de la apisonadora, cuyo valor es:

$$\frac{P}{lDv^{0.4}} = R_c;$$

que sirve para caracterizar los rodillos de llanta lisa.

Del estudio de la maquinaria producida por di-

versos fabricantes se llega a la conclusión de que la constante  $R_c$  tiene los siguientes valores medios, correspondientes siempre a rodillos no motrices:

Peso aplicado al rodillo en Tm.	Constante $R_c$ (cm. Kg. seg.)
4	0,061
6	0,064
8	0,068
10	0,073
12	0,078
14	0,084
16	0,091
20	0,104

La constante  $R_c$  es un índice de la eficacia de la acción de apisonado ejercida por un aparato de compactación y, como puede verse, es proporcional al peso e inversamente proporcional a la longitud del rodillo,

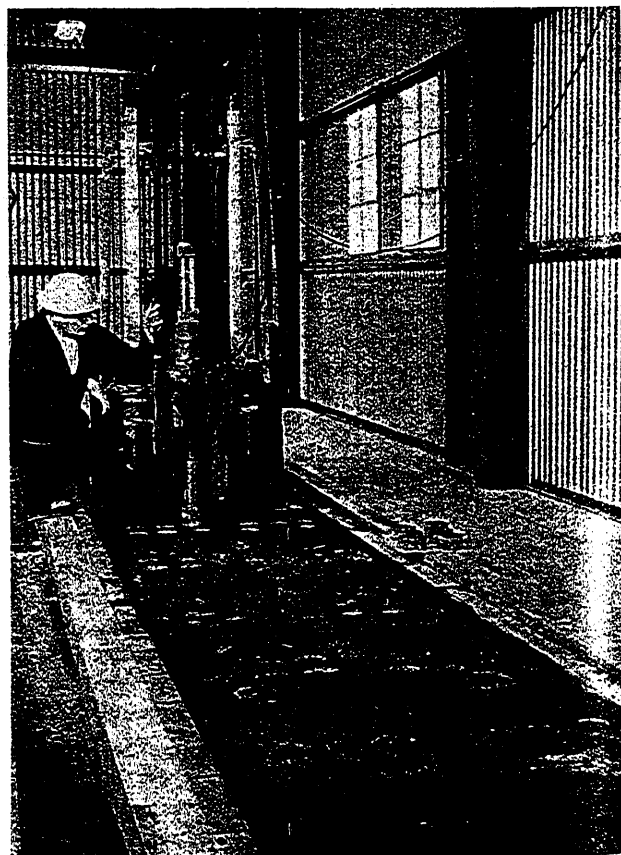


Figura 5.ª

a su diámetro y aproximadamente a la raíz cuadrada de la velocidad de avance.

Nijboer no considera en su estudio la posibilidad de que el esfuerzo de compactación aplicado sea excesivo para la estabilidad de la mezcla que se trabaja, con el consiguiente riesgo de que la apisonadora pro-

duzca un efecto de descompactación en lugar del deseado, y fija como temperatura máxima de compactación exclusivamente la impuesta por las consideraciones prácticas normales que impiden un sobrecalentamiento excesivo de los áridos antes de descargarlos en el mezclador y exigen normalmente algún tiempo

En los gráficos siguientes resumimos los datos más interesantes obtenidos en estos ensayos.

En el primero (fig. 6.<sup>a</sup>) se relaciona el número de pasadas de apisonadora con la densidad obtenida para apisonadoras de diversas características.

La conclusión a que se llegó es que para apisona-

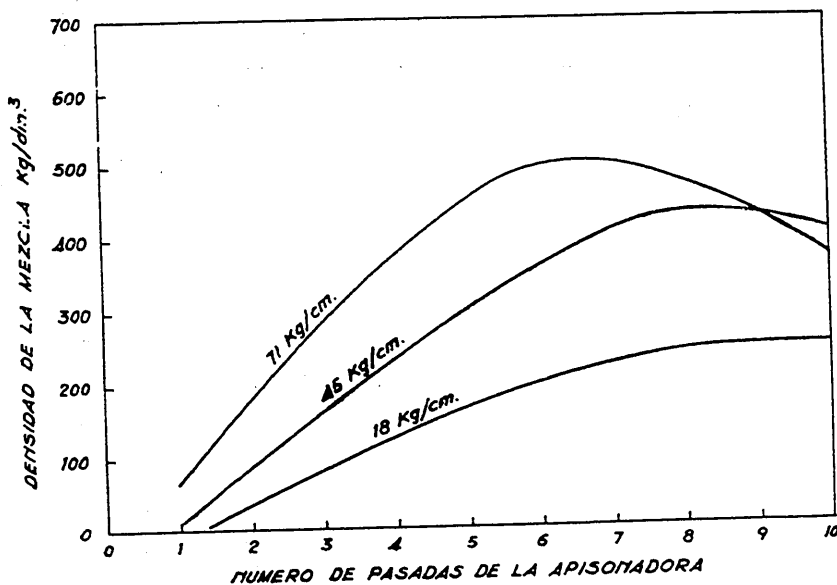


Figura 6.<sup>a</sup>

para transporte y extendido de la mezcla antes de la entrada en acción de los dispositivos de compactación, consideraciones que le llevan a establecer que las temperaturas de compactación están comprendidas normalmente entre 80 y 120° C.

\* \* \*

En estudios americanos más recientes se tienen en cuenta los fenómenos de descompactación, estudiando la conveniencia de variar de determinadas circunstancias la cohesión propia de la mezcla con objeto de que pueda tolerar la acción de un determinado equipo de compactación. Es un hecho bien conocido que con determinadas mezclas es necesario esperar a que se haya producido un leve enfriamiento antes de que las apisonadoras disponibles puedan actuar sobre ellas de una manera eficaz.

Otros medios de aumentar la cohesión son modificar la naturaleza del asfalto o, solución mucho más práctica en la mayor parte de las ocasiones, modificar las características del filler o la proporción de éste utilizada.

La California Research Corporation ha realizado ensayos de laboratorio de construcción de pavimentos de hormigón asfáltico a escala natural, de los que se ven algunos aspectos en las figuras 4.<sup>a</sup> y 5.<sup>a</sup>, y en los que se estudió especialmente la influencia de diversos factores en el proceso de compactación.

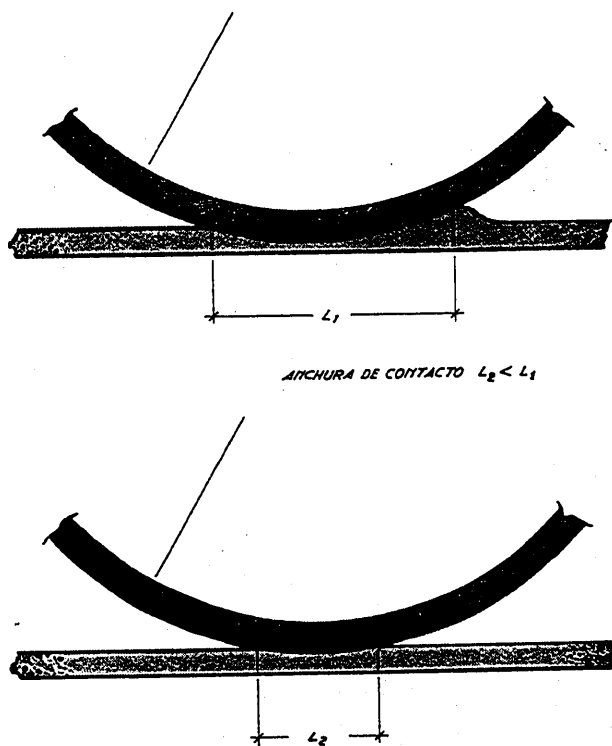


Figura 7.<sup>a</sup>

doras de determinado peso, después de cierto número de pasadas se alcanza una densidad máxima que no puede superarse aunque el número de pasadas aumente; pero este exceso de compactación tampoco produce efectos perjudiciales. Para apisonadoras de mayor peso por centímetro de llanta la densidad crece con el número de pasadas hasta llegar a deter-

minado límite, pasado el cual empieza a disminuir al aumentar el número de pasadas. En este fenómeno influye, evidentemente, el enfriamiento de la mezcla, que hace que, si bien ésta al principio era capaz, bajo el efecto del apisonado, de deformaciones plásticas que conducían a un aumento de densidad por reajuste de la disposición de las partículas sólidas, más ade-

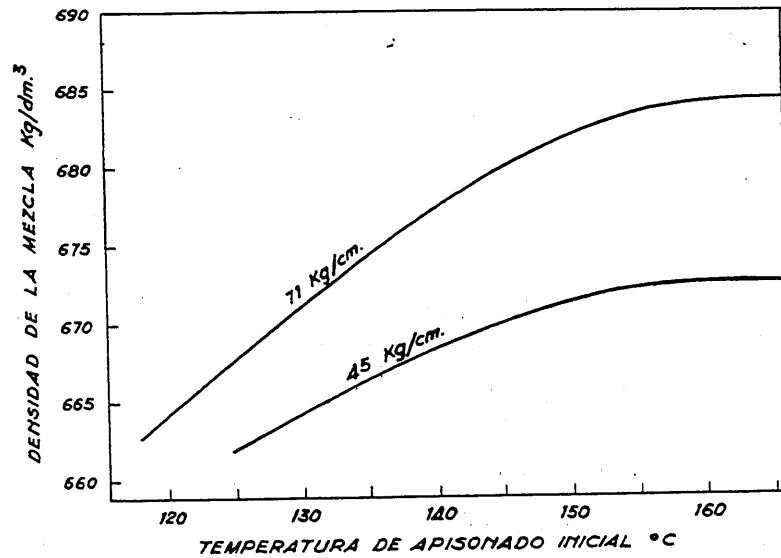


Figura 8.ª

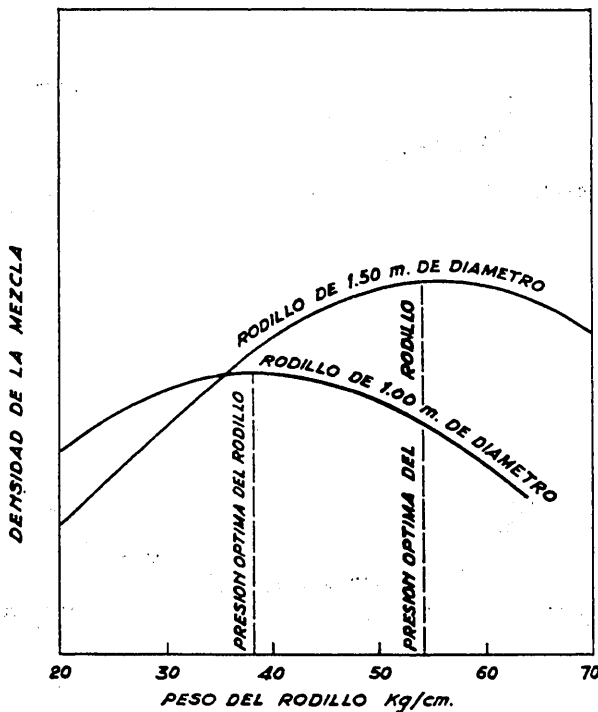


Figura 9.ª

lante, al aumentar la viscosidad del ligante (conjunto filler-betún) por enfriamiento, pierde tal facultad sin haber alcanzado una resistencia a los esfuerzos cortantes suficiente para absorber elásticamente las deformaciones impuestas por el peso del cilindro apisonador.

También influye en este fenómeno, sin duda, el aumento de las tensiones efectivas impuestas al pavimento por el apisonado al disminuir la superficie de contacto, como se indica en la figura 7.ª.

En la figura 8.ª se aprecia el efecto de la temperatura de la mezcla en el proceso de compactación.

En el gráfico de la figura 9.ª se relaciona el peso de apisonadora en Kg./cm. l. de llanta con la densidad obtenida en el pavimento para dos diámetros diferentes de rodillo apisonador.

Se aprecia en el gráfico que a cada diámetro del cilindro corresponde un peso característico óptimo, con el que se obtiene la máxima densidad posible. En condiciones reales no es posible alcanzar nunca estas densidades máximas, ya que sería grande el peligro de iniciar el descenso por la rama de la curva correspondiente a la descompactación que aunque sea pequeña, va acompañada por fenómenos indeseables de agrietamiento que disminuyen peligrosamente la impermeabilidad del tapiz.

Los dos gráficos siguientes pretenden dar una

orientación práctica sobre las características óptimas de las apisonadoras a utilizar en la compactación de capas de aglomerado asfáltico. El primero (fig. 10) relaciona la estabilidad (según el método de Hveem) con el peso/m. l. de llanta óptimo de la apisonadora, y da un margen de variación para esta última magnitud dentro del que debe resolverse por estimación teniendo en cuenta el espesor de la capa a apisonar y el diámetro del rodillo de la apisonadora.

En el otro gráfico (fig. 11) se relaciona el espesor de la capa a apisonar con el peso característico óptimo de la apisonadora, dejando también un margen de variación que permite tener en cuenta el diámetro del rodillo y la estabilidad de la mezcla.

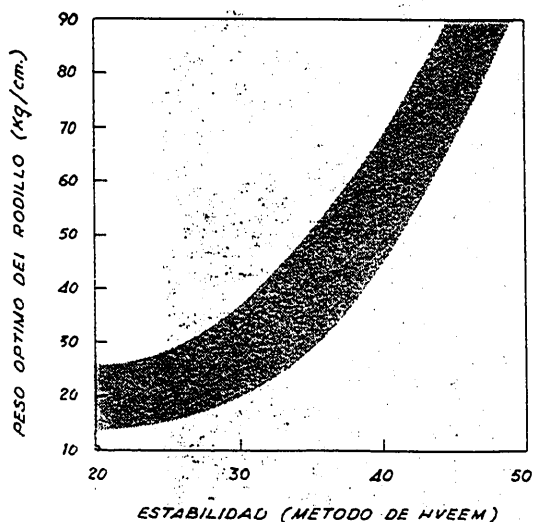


Figura 10.

Como hemos visto, existe un límite superior para las densidades que pueden conseguirse utilizando rodillos de llanta rígida, debido fundamentalmente a una descompactación de la capa superior que se produce como consecuencia de los valores excesivos que alcanzan las tensiones cortantes al aumentar la rigidez de la capa de mezcla. En el gráfico de la figura 12 se indican las densidades de diversas rebanadas de una mezcla asfáltica compactada en exceso de esta forma, y se observa a partir del fondo un incremento gradual de la densidad hasta que, al llegar a cierta distancia de la superficie, esta densidad empieza a disminuir, lo que debe atribuirse al agrietamiento producido por exceso de rigidez. La compactación con neumáticos permite corregir estos defectos, aumentando aún más la densidad superficial, ya que con tal tipo de apisonadoras son las dimensiones de la huella de la llanta sobre el pavimento las que varían, manteniéndose sensiblemente constante, dentro de ciertos límites, la presión de contacto, susceptible de una regulación satisfactoria de acuerdo con las características de la mezcla que se compacta. Ello explica por

que en algunos casos puede resultar aconsejable la utilización de apisonadoras de llanta neumática como final de la compactación de las capas intermedias de

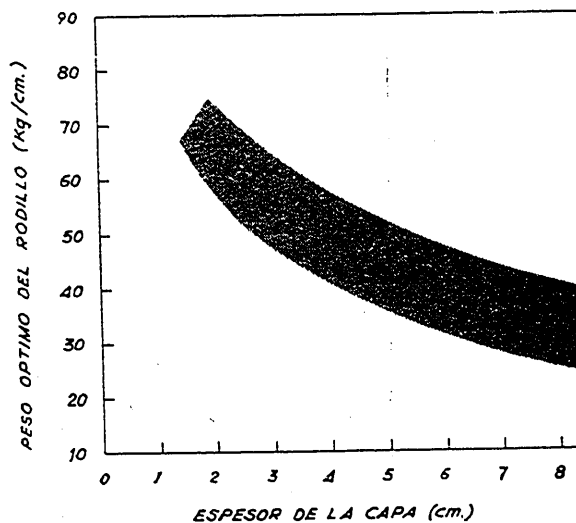


Figura 11.

la estructura del pavimento, ya que con ellas no solamente se logra cerrar de forma eficaz la capa superficial del aglomerado, sino que se elimina una serie de

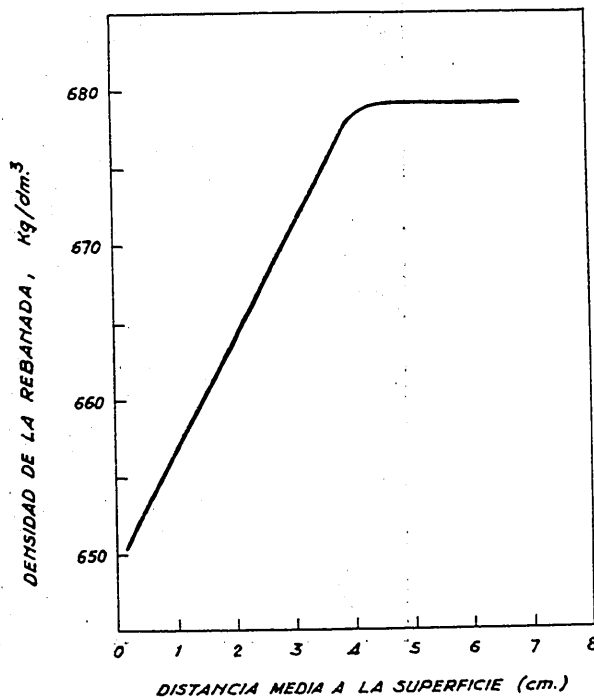


Figura 12.

microfisuras que, por disminuir la cohesión de las capas, pueden tener quizá mayor importancia precisamente en las más alejadas de la superficie.