

PAVIMENTOS DE HORMIGON VIBRADO

Por LUIS SIERRA, Ingeniero de Caminos.

El interesante tema del epígrafe, al que tanta y tan merecida atención hemos dedicado en nuestras páginas, vuelve de nuevo para dar cuenta de un ensayo llevado a cabo bajo el control de la Comisión de Revestimientos de Hormigón en un tramo de la carretera de Ajalvir a Vicálvaro, que el autor nos describe con toda claridad y detalle.

La reciente intensidad del tráfico por carretera, sobre todo en las proximidades de grandes poblaciones, ha dado lugar a la necesidad de establecer, en algunos de sus tramos, pavimentos especiales, capaces de resistir este tráfico en buenas condiciones.

Los pavimentos que se han construido en estos casos han sido siempre los adoquinados y los hormigones asfálticos que forman la capa de rodadura, y que se apoyan sobre un ciniento de hormigón. Pero el elevado coste que por metro cuadrado de pavimento tiene el adoquinado, y la escasez de materiales asfálticos en nuestro país, es lógico que condujera a estudiar la forma de acondicionar la capa de hormigón de ciniento para que pueda ser utilizada con garantía como capa de rodadura.

Con este criterio se han construido varios tramos de pavimentos de hormigón, pero los resultados obtenidos con ellos, en pocos casos, han llenado los fines que de los mismos se esperaba. Estos resultados parecían en contradicción con los obtenidos en otros países con pavimentos de esta clase, y como en los actuales momentos, en que las dificultades para construir adoquinados y hormigones asfálticos se han incrementado, surge un problema y una preocupación; y con el fin de que pueda colaborar en la resolución de este problema, se creó, por O. M. de 12 de noviembre de 1945, la Comisión de Revestimientos de Hormigón, con un cometido concreto que se resume en tres puntos fundamentales:

1.º Reunir la enseñanza adquirida con los pavimentos de hormigón construidos en nuestro país y los datos posibles de los ejecutados en el extranjero.

2.º Colaborar con los servicios dependientes de la Dirección General de Carreteras en la redacción de proyectos y ejecución de obras de esta clase; y

3.º Proponer a la Superioridad las conclusiones que se vayan adquiriendo.

Y el objeto de estos artículos es dar cuenta de un ensayo realizado bajo el control de la Comisión de Revestimientos de Hormigón.

Se eligió un tramo de la carretera de Ajalvir a Vicálvaro, de la provincia de Madrid, que tiene un gran tráfico, ya que circulan por ella los vehículos que conducen las gravas del río Jarama a Madrid, y que por contornear el aeropuerto de Barajas, actualmente

en construcción, han de utilizarla todos los servicios complementarios del aeropuerto y de sus obras.

Para la construcción del pavimento era preciso estudiar:

- 1.º La preparación de la base.
- 2.º La composición del hormigón.
- 3.º Su fabricación y puesta en obra.
- 4.º La ejecución del pavimento.
- 5.º Juntas y acabado.

De otros ensayos ya realizados, se llegó a la conclusión que los hormigones que reúnen mejores características para resistir el tráfico son los hormigones vibrados, y teniendo en cuenta las características de estos hormigones, se estimó la necesidad de mecanizar todas las operaciones, análogamente a como se realizan en otros países.

Ante las dificultades insuperables para importar la maquinaria necesaria, se decidió construirla en España, contratando la obra de tal forma, que el constructor se comprometía a poner en obra la maquinaria precisa, a juicio del Ingeniero encargado, y a realizar por su cuenta cuantas modificaciones estimara necesarias la dirección de la obra.

Preparación de la base.

Por tratarse de un pavimento rígido, es necesario que la base no sufra deformaciones que hagan trabajar al hormigón del pavimento a flexión, y, por lo tanto, en el caso de una carretera ya en uso, es necesario escarificar y consolidar su firme para darle el perfil debido, y si se trata de una obra nueva, es preciso estabilizar su explanación y prever las obras de drenaje necesarias para evitar deformaciones de la base del pavimento. Con esto no se resuelve todo, porque con el fin de evitar los agrietamientos que por retracción de fraguado y variaciones de temperatura se producen en las obras de hormigón, es necesario prever juntas de dilatación que absorban estos esfuerzos; las juntas de dilatación dejan el pavimento dividido en losas; pero para que las juntas llenen su cometido, es necesario que las losas puedan moverse libremente, y este movimiento de las losas desaparece

si ellas quedan unidas a la caja. Para evitar la unión de las losas a la caja, colocamos una capa de arena de 2 cm. de espesor entre la caja y el pavimento, y sobre la capa de arena extendemos un papel que evita que el mortero de cemento del pavimento pueda soldar éste con la caja. De esta forma se garantiza el libre movimiento de las losas y se evita su agrietamiento.

Al principio de la obra utilizamos papel especial, embreado, pero después fué sustituido por papel corriente del que se emplea para envolver, que resiste perfectamente, y que si se rompiera en algún punto, no tiene importancia, ya que el fin que se persigue es únicamente evitar la soldadura total de la losa al cimientto. Y, sin embargo, la diferencia de coste entre una clase y otra de papel es muy importante.

Al estudiar la base era necesario considerar su ancho, y éste lo fijamos teniendo en cuenta que es conveniente construir el pavimento por anchos que coincidan con una banda de circulación para permitir el tráfico por el resto de la carretera, mientras se ejecuta

la obra; pero como si establecemos un pavimento de esta clase es porque el tráfico lo exige, esta importancia del tráfico lleva aparejado que el ancho de cada banda de circulación sea de 3,50 m.

En nuestro caso fijamos dos circulaciones de 3,50 metros, y la maquinaria se construyó para estas dimensiones de caja, que por las razones expuestas serán las precisas, siempre que se haya de establecer un pavimento de esta clase.

Composición del hormigón.

El hormigón de un pavimento debe resistir perfectamente los esfuerzos de compresión, pero sobre todo debe resistir el desgaste producido por el tráfico, y con este doble fin hay que proyectarlo.

Para conseguir una elevada resistencia al desgaste debe formarse un mosaico de grava de excepcional dureza, de tal forma, que el mortero entre en la menor cantidad posible. Con el vibrado del hormigón se con-

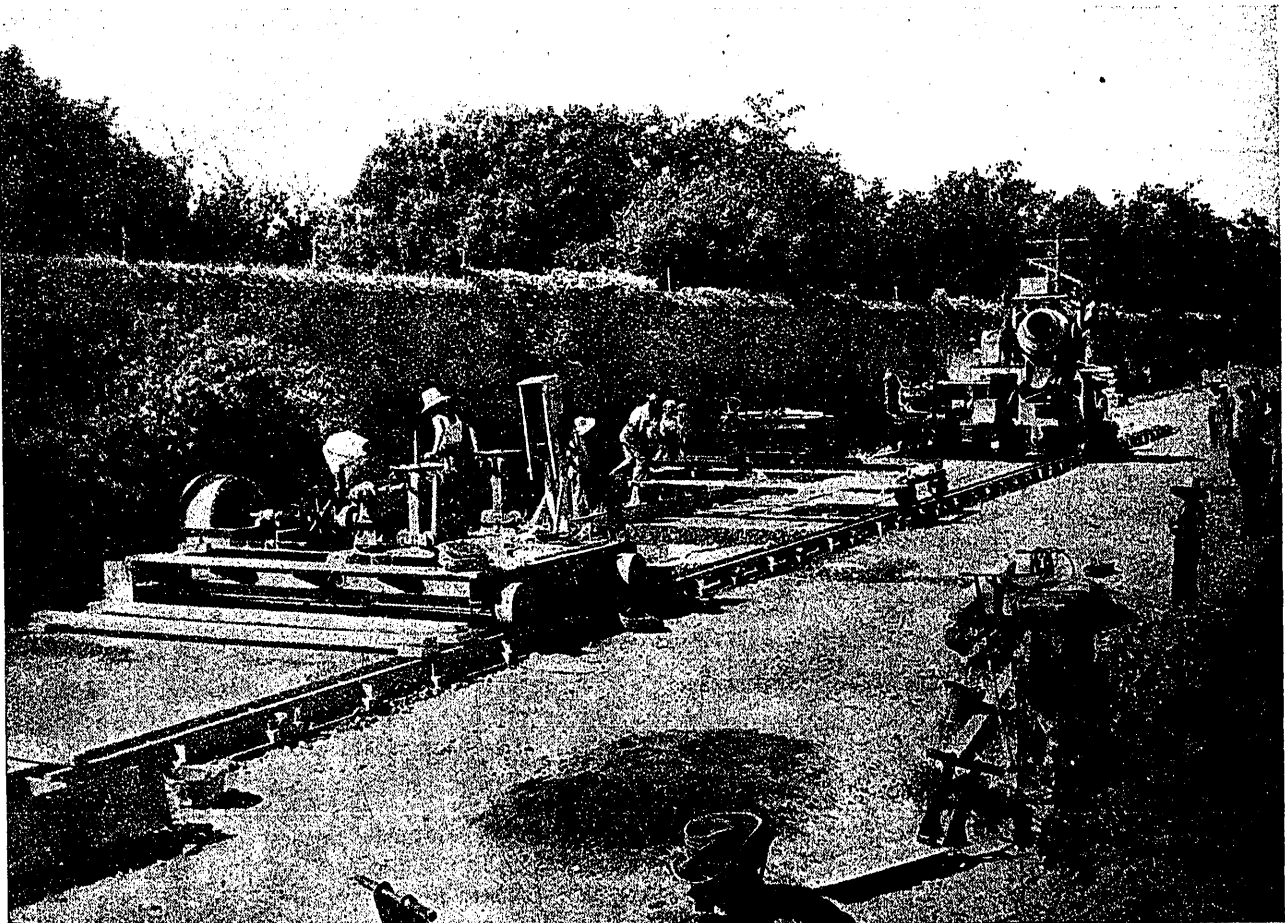


Figura 1.ª

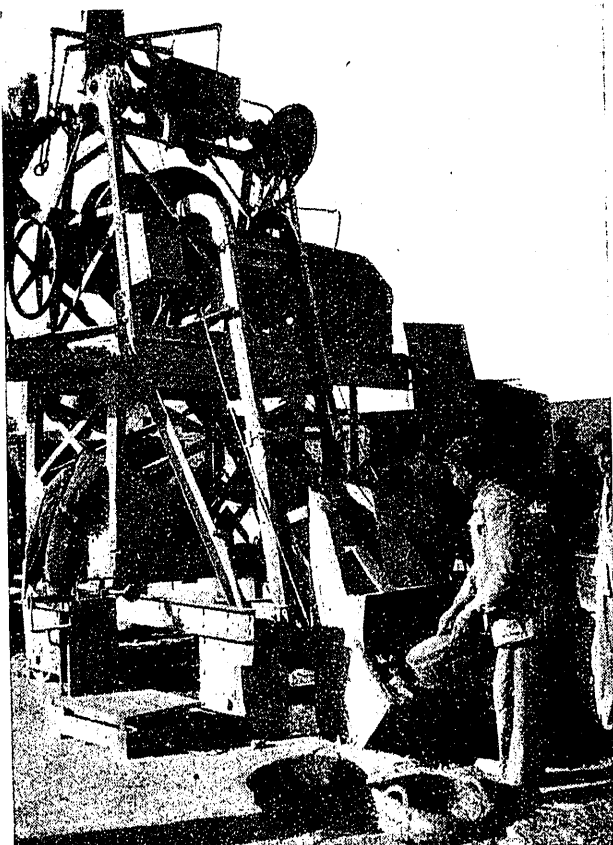


Figura 2.^a

sigue disminuir el número de huecos y el que los elementos de la grava se orienten con sus caras paralelas unas a otras, de forma que entre ellas quede la cantidad de mortero justa para unir las. Y de aquí deducimos que los elementos de la grava deben ser de forma cúbica y de tamaño casi uniforme.

Por tanto, se debe emplear una grava dura y que, al partirla, sus elementos sean aproximadamente de forma cúbica, empleando los comprendidos entre 3 y 6 cm.

Las arenas deben ser de suficiente dureza, con tamaño máximo de 3 mm., y la modulación, la correspondiente a este tamaño máximo.

Es importantísimo, en este caso, tener en cuenta la humedad de la arena. Y esto, por dos razones: la primera, porque como se utilizan hormigones con la cantidad de mortero justa para aglomerar la grava, si la arena está húmeda, como la humedad le hace aumentar extraordinariamente su volumen, los hormigones resultarían escasos de arena. Y la segunda razón es que se aumenta la cantidad de agua que ya veremos que debe de ser perfectamente controlada.

El aumento de volumen de la arena húmeda tiene tal importancia, que hemos comprobado que en una

arena de tamaño medio, un grado de humedad del 5 por 100 de agua produce un aumento de volumen de la arena del 28 por 100. Por esta razón, la arena se dosificará siempre en peso. Pero como la cantidad de agua que se añade debe ser la previamente fijada, es preciso tener en obra un dispositivo elemental que permita determinar cada día la humedad de la arena. De esta forma se garantiza no emplear hormigones escasos de arena ni con exceso de agua.

Parece innecesario decir que los cementos deben de cumplir el Pliego de Condiciones, y que las aguas no deben contener ningún elemento que reaccione con el cemento.

De lo dicho hasta aquí, ya deducimos cuál debe de ser la dosificación del hormigón. El volumen de grava y mortero debe de ser tal, que después de vibrado resulte un metro cúbico de hormigón sin huecos; la relación agua-cemento debe de ser la que nos dé la mayor resistencia.

El volumen de mortero lo fijamos de forma que las losas de hormigón se cierren después de vibradas, pero sin que refluya un exceso de mortero a la superficie, porque el exceso de mortero salta con el tráfico, formando desconchones en el pavimento. En nuestro caso, los ensayos nos llevaron a adoptar la dosificación siguiente:

1 100 litros de grava
390 litros de arena.
375 kilogramos de cemento.
142 litros de agua.

O sea, que hemos empleado una relación agua-cemento de 0,38; esta cantidad de agua resulta tan justa, que en días de verano, de elevada temperatura, teníamos que pasar a 0,39; pero siempre determinábamos la humedad de la arena para descontar el agua que contuviera y la dosificábamos en peso para tener en cuenta su aumento de volumen.

Los hormigones que así resultan son extraordinariamente secos y obligan a adoptar dispositivos de puesta en obra, de que después hablaremos. Hemos dicho que la grava deberá ser de elevada dureza y que sus elementos, después de partida, tendrán forma cúbica. En muchos casos, la grava que reúna esas condiciones tendrá un precio elevado, y entonces se puede construir el pavimento de dos capas: la superior, que ha de resistir el desgaste, con grava de las condiciones dichas, y la inferior, con piedra de la que se utiliza para macadam ordinario, debidamente dosificada.

Cuando el firme se construya en dos capas, la dosificación de cemento puede ser algo menor para la capa inferior, ya que ésta no tiene que resistir más que esfuerzos de compresión, pero no debe de ser muy distinta de la superior porque, si no, la diferencia de cargas de retracción por endurecimiento puede dar

lugar a la separación de las capas y producir agrietamientos.

En nuestro caso, que la grava que empleamos para la capa de rodadura era pórfido diabásico, con un precio de 140 pesetas el metro cúbico, dividimos el pavimento en dos capas: en la capa superior, ya hemos dicho que se han empleado 375 Kg. de cemento por metro cúbico de hormigón, y en la inferior, 325 Kg. de cemento para igual volumen, utilizando, para espesor de cada capa, la relación 2/3 entre la superior y la inferior.

Fabricación y puesta en obra.

Los hormigones que vamos a emplear, según los hemos definido, son muy poco plásticos y precisamos que las losas que con ellos se construyan queden perfectamente enrasadas y calibradas, para evitar el efecto de impacto que produce cualquier desigualdad en la superficie del pavimento, y esto nos obliga a adoptar disposiciones especiales.

En los hormigones secos y de elementos de tamaños muy distintos, tienden a separarse los elementos que los componen cuando su manipulación no es muy cuidadosa, perdiendo la homogeneidad el conjunto. Pero, además de esta homogeneidad, es preciso que la compacidad del hormigón repartido sea la misma en todos los puntos; porque si la compacidad no es la misma, aun cuando el hormigón esté perfectamente enrasado, resulta que, al comprimirlo con compresión uniforme, la falta de igual compacidad produce distinta disminución de alturas y, por tanto, desigualdades en la superficie.

Esta es la razón de que el hormigón no deba ser colocado a mano ni enrasado, de forma que pueda dar lugar a la separación de los distintos elementos, y esto nos llevó a disponer la distribución del hormigón de una manera mecánica.

En la figura 1.^a tenemos el conjunto del dispositivo empleado.

Desde luego es preciso disponer de moldes rígidos que, una vez sujetos al suelo, resulten indeformables; estos moldes llevan los carriles sobre los que se mueve toda la maquinaria y, por tanto, el calibrado de todas las dimensiones del pavimento es perfecto, con tal de que la colocación de los moldes sea correcta.

El primer carretón se mueve a mano sobre los carriles, y lleva la hormigonera y un grupo formado por un motor de gasolina y un alternador para producir energía eléctrica, porque tanto los motores de las máquinas como los vibradores son eléctricos, por su uniformidad de funcionamiento.

Los materiales se acopian a lo largo de la carretera y la hormigonera se carga por la parte posterior, como se ve en la figura 2.^a, destacando la presencia de la báscula que se debe de emplear, tanto para la arena



Figura 3.^a

como para el cemento. Para la arena, por las razones dichas al hablar de la humedad, y para el cemento, porque su dosificación por sacos resulta muy incorrecta; también es preciso cuidar el dispositivo para dosificar el agua, con el fin de que se añada la cantidad precisa, cosa bastante difícil de hacer comprender a los encargados de obra.

En la figura 3.^a vemos el detalle de este carretón, así como de los moldes-carriles y la capa de papel extendida sobre la arena.

El tiempo de amasado preciso es algo superior al de los hormigones corrientes.

Terminado el amasado, se vierte la mezcla directamente a la tolva distribuidora, que forma el segundo carretón, de la manera indicada en la figura 4.^a, sin que pueda producirse la separación de los distintos elementos que componen el hormigón.

Esta tolva va provista de una compuerta de cierre para que el hormigón no salga hasta que llega al punto donde ha de verter. El carretón sobre el que va montada la tolva se mueve sobre los carriles empujado por dos hombres, y mediante el accionamiento de un

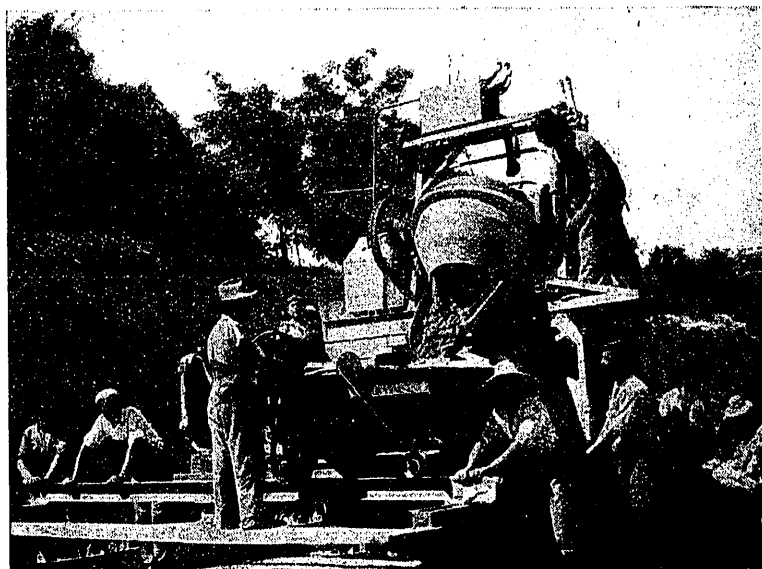


Figura 4.^a

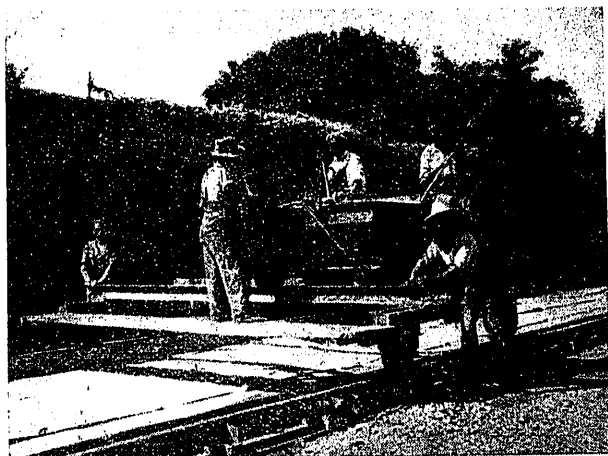


Figura 5.ª

volante con cadena, la tolva tiene un desplazamiento transversal (fig. 5.ª) sobre su propio carretón.

De esta forma, llevado el carretón al punto de vertido y abierta la tolva, cae el hormigón, y al desplazarse la tolva transversalmente sobre su carretón, extiende una faja de hormigón, se mueve el carretón sobre los carriles y se extiende otra faja, y así sucesivamente hasta terminar el hormigón de la tolva. La boca de salida de la tolva lleva un tubo telescópico que se acciona desde arriba y que, según a la altura que se coloca, permite enrasar la capa de hormigón, y claro es que, cuando el pavimento se hace en dos capas, esta regulación de nivel permite enrasar cada una a su altura.

En la figura 6.ª vemos la capa de hormigón extendida con la tolva.

Con esta distribución mecánica, el hormigón re-



Figura 6.ª

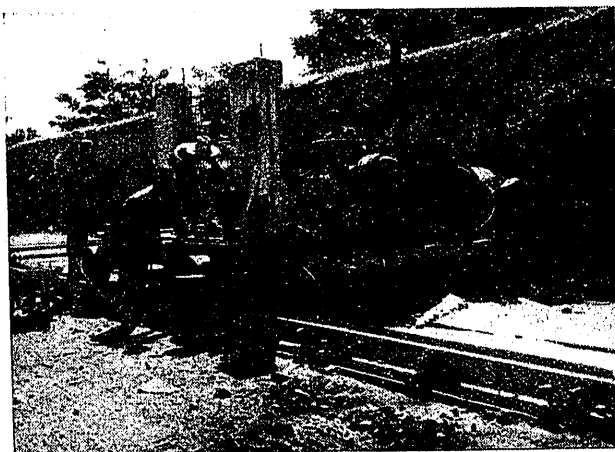


Figura 7.ª

sulta enrasado perfectamente homogéneo y su compacidad es la misma en todos los puntos.

Ejecución del pavimento.

Después de distribuido el hormigón es necesario vibrarlo de forma que resulte ya en sus dimensiones definitivas, y en este punto, el problema representa gran complejidad porque tiene varias incógnitas que son: peso de la regla vibradora, frecuencia de la vibración y amplitud de la misma.

Utilizando vibradores eléctricos, que no son más que una masa descentrada acoplada al eje del motor, conseguimos la amplitud de vibración por la excentricidad de la masa, y la frecuencia, por su número de revoluciones.

La frecuencia más conveniente es de 5 000 vibra-

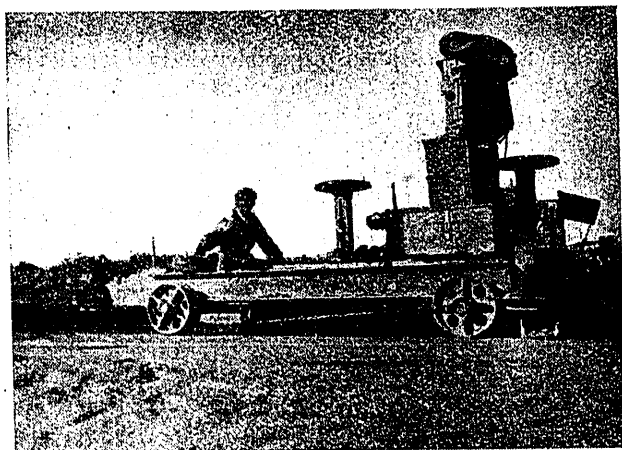


Figura 8.ª

ciones por minuto; esta cifra, fijada por analogía con las experiencias de otros países, nos resolvió una de las incógnitas, y en los ensayos preliminares vimos que con una regla pesada conseguíamos mejor y más rápidamente el cierre de la losa que con una regla ligera. Entendiendo por cierre de una losa cuando el mortero refluye lo suficiente para envolver la grava. Pero al realizarlo en carretera, la regla pesada tenía dos inconvenientes: uno, que si bien comprimía y vibraba perfectamente el hormigón, la masa plástica ya vibrada se elevaba detrás de la regla y daba lugar a ondulaciones en la superficie, y otro, que la gran amplitud de vibración precisa para producir la de la regla pesada era causa de la rotura de los ejes de las masas excéntricas. Este resultado nos llevó a dividir en dos partes la compresión del pavimento, y se consiguió con el dispositivo representado en las figuras 7.^a y 8.^a.

La base del procedimiento consiste en dar una compresión previa al hormigón, e igual en todos sus puntos, y de este modo, con una regla ligera, se consigue rápidamente el cierre de la losa y su perfecta vibración.

Las dos reglas van montadas sobre un carretón. Este carretón se mueve con un motor eléctrico sobre los carriles y su velocidad es regulable. Las reglas van colgadas por cables, y su altura de trabajo se regula con dos volantes que accionan los cables de suspensión.

En la figura 7.^a vemos la regla de compresión previa. Esta regla pesa 2 000 kilogramos y, mediante una excéntrica, tiene un movimiento de masaje sobre la capa de hormigón.

Como al extender el hormigón con la tolva se hace con una altura de la capa algo superior a la de trabajo de la regla de masaje, al moverse avanzando el carretón, la regla arrastra el sobrante y comprime



Figura 9.^a

el hormigón, quedando perfectamente enrasado y comprimido.

La regla vibradora va colocada en la parte posterior del carretón, y al vibrar la masa, termina de comprimir el hormigón, quedando el pavimento perfectamente enrasado.

En la figura 8.^a se aprecia la altura del pavimento después de cada una de las operaciones descritas, y un ensayo previo nos indica los niveles a que ha de quedar la capa de hormigón al ser extendida por la tolva distribuidora, para que, después de comprimida con la regla de masaje, la regla vibradora la termine a la dimensión deseada, y, una vez fijados los niveles, todo el pavimento tiene exactamente las mismas dimensiones.

De esta forma se consigue un pavimento perfectamente enrasado, formado por una masa de hormigón homogénea, vibrada y de superficie rugosa.

Cuando, después de pasar el tren de vibrado, la losa no se cierra en algún punto, se termina con una

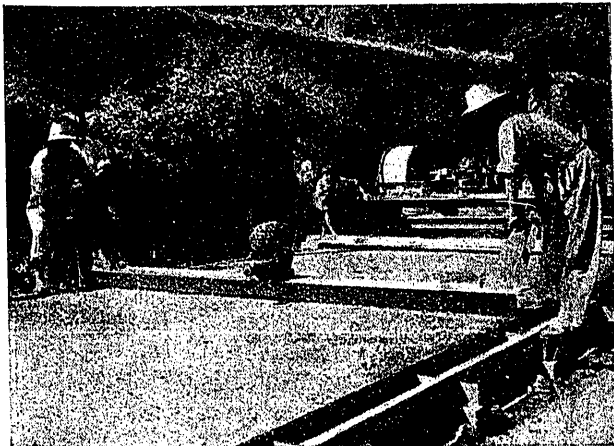


Figura 10.

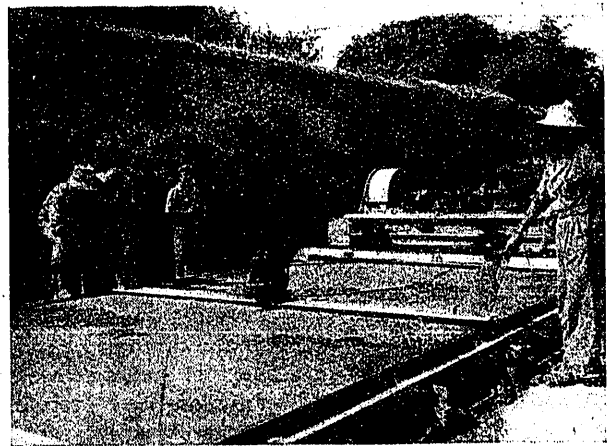


Figura 11.



Figura 12.

regla vibradora portátil, como se indica en la figura 9.^a.

Ya hemos dicho que la maquinaria se ha preparado para construir bandas de pavimento de 3,50 m. de anchura que corresponden a una circulación de tráfico. Así, para construir la primera banda se colocan los moldes-carril a los dos lados. Cuando ya se ha construido una banda, para construir la contigua es suficiente colocar el molde de un lado, y la banda construida forma el otro molde. Para esto, las ruedas de un lado de los carretones llevan la pestaña de sujeción al carril, y las del otro lado, son rodillos que pueden apoyar sobre el carril o sobre el pavimento ya construido.

Juntas y acabado.

Es innecesario destacar la importancia de las juntas en un pavimento de hormigón, tanto por su necesidad para absorber los esfuerzos producidos por la retracción de endurecimiento y las variaciones de temperatura, como por representar el punto débil para el uso del pavimento. En nuestro ensayo, uno de los problemas que nos crearon mayores preocupaciones fué la manera de construir las juntas.

Al principio de la obra, después de colocar los moldes-carril, situábamos otros moldes transversales que limitaban las dimensiones de la losa, y la construíamos, pero tanto a la entrada de la maquinaria en la losa como a su final, se producían arrastres del hormigón que hacían que la parte más delicada y la que precisaba más perfecto enrase fuera la que resultaba más defectuosa; se ensayaron varias disposiciones, todas con poco éxito, y en vista de este resultado, decidimos hacer el pavimento de una manera continua, y una vez terminada la vibración y antes de que el cemento empezara a fraguar, cortar las juntas. Este procedimiento nos dió el resultado apetecido, y el dispositivo empleado fué el siguiente:

Utilizamos una regla metálica y de sección en T,

con un vibrador en el centro, como se ve en las figuras 10 y 11. Esta regla se coloca sobre el hormigón vibrado, en el punto donde se quiere construir la junta, y al funcionar el vibrador, el alma de la T se incrusta en la masa y, al llegar al final, las alas de la cabeza quedan sobre la superficie; de esta forma, la junta, que es el punto débil, queda reforzada y vibrada en su interior y las losas contiguas perfectamente enrasadas.

Teníamos la dificultad de que al retirar la regla, si no se hacía cuidadosamente, como el hormigón estaba blando, si tropezaba con uno de los lados, daba lugar a imperfecciones, y esto se resolvió montando la regla sobre un carretón y con un dispositivo mecánico de elevación, como se indica en la figura 12, y así se consiguió el obtener las juntas limpias y enrasadas. Y se aprovecha este carretón de la regla para, en su parte posterior, colocar los obreros que manejan la regla portátil para el acabado de algún punto que pueda resultar no bien terminado, como se ve en la figura 13.

Terminado el pavimento, se cubría con una capa de tierra de 5 cm. de espesor, que se regaba frecuentemente durante veinticuatro horas.

Las dimensiones de las losas deben ser tales que garanticen su libre movimiento, y en nuestro caso se han construido de 6 m. de longitud y normales al eje de la carretera.

La junta central se ha hecho construyendo las dos bandas a tope, y hasta el momento después de las heladas del invierno no se ha abierto la junta longitudinal.

El espesor de las juntas es de 8 mm., que se han rellenado con un mortero asfáltico de 100 Kg. de betún por metro cúbico de arena, añadiendo previamente al betún un 5 por 100 de aceite de caucho.

La conservación del pavimento de hormigón no

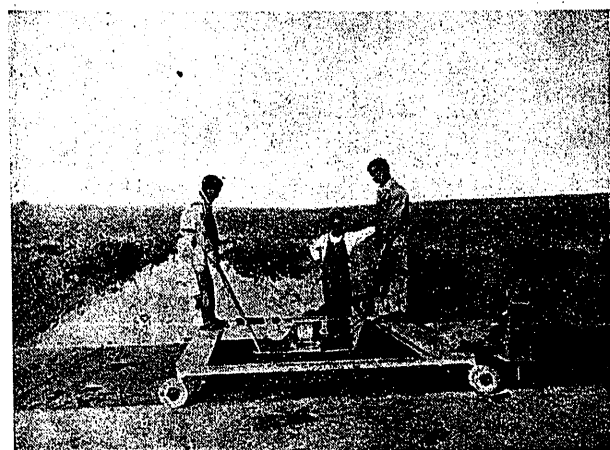


Figura 13.

tiene más cuidado que el de las juntas, y a este efecto, el peón encargado de este tramo de carretera tiene los materiales y herramientas precisas, tanto para proceder al relleno de las juntas cuando se abran, como para cortar el exceso de mortero cuando se cierren.

Actualmente, el pavimento reúne las condiciones deseadas; el tiempo y el tráfico nos dirán si hemos acertado.

Las figuras 14 y 15 nos muestran el pavimento ya construido en una banda y terminado, sin los paseos y cunetas, pudiendo apreciarse su rugosidad, que le hace antideslizante.

No estaría completo este resumen si no hiciésemos algunas indicaciones relacionadas con el coste del pavimento y rendimiento de la maquinaria.

Con la maquinaria descrita se pueden construir diariamente 70 metros lineales de una banda de pavimento, que representan 250 metros cuadrados, y el coste de ejecución por metro cuadrado, teniendo en cuenta interés, amortización y conservación de la ma-

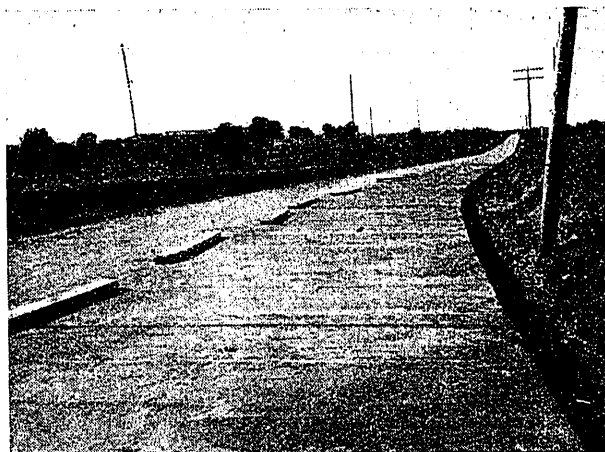


Figura 15.

quinaria, gasolina, obreros y cargas sociales, juntas, papel y acabado, es de 25,00 pesetas.

De forma que si al coste de los materiales acopiados a lo largo de la carretera se suman las 25,00 pesetas por metro cuadrado de la ejecución, se obtiene el precio del pavimento.

Así, para un precio medio de grava de 80,00 pesetas el metro cúbico (porque si es mucho más cara, pueden hacerse dos capas, con grava de precio más bajo la inferior), un precio de 30 pesetas el metro cúbico de arena y de 350 pesetas la tonelada de cemento puesta en obra, el coste de los materiales de un metro cúbico de hormigón será:

1'100 litros de grava, a 80,00 ptas.	88,00
390 litros de arena, a 30,00 ptas.	11,70
375 Kg. de cemento, a 350,000 ptas.	131,25
	230,95

Empleando por metro cuadrado de pavimento un quinto de metro cúbico, resulta:

$$\frac{230,95}{5} = 46,19 \text{ ptas., valor de los materiales.}$$

$$25,00 \text{ ptas., ejecución del pavimento.}$$

$$71,19 \text{ ptas.}$$

O sea que el precio de 71 pesetas por metro cuadrado es el que resulta para el pavimento de hormigón vibrado completamente terminado, que, comparado con las 110 pesetas que vale el metro cuadrado de adoquinado, representa una economía importante, digna de tenerse en cuenta.



Figura 14.