



MEMORIA DESCRIPTIVA.

que forma parte integrante de la Patente de invención por "un sistema de pavimentación de calles y firmes de vías por medio del hormigón blindado", solicitada a favor de Don Gregorio Barrios y Sánchez, residente en Albacete.

- - - - -

La presente solicitud de Patente de invención, tiene por objeto adquirir el derecho reconocido por la ley a propiedad y explotación exclusiva durante veinte años en España, de un sistema ^{de} "pavimentación de calles y firmes de vías por medio del hormigón blindado, cuya invención clara y sucintamente se describe en la presente memoria y planos que la acompañan para su mejor comprensión, formando parte de la misma las descripciones publicadas por el inventor en los años 1923 y 1924 en sus libros dando a conocer la "Teoría y Práctica de los Firmes de Hormigón Blindado" que al efecto se acompañan.

DEFINICION.-En principio está constituido el "Hormigón Blindado" por un macizo de hormigón de espesor variable, calculado de tal suerte que con las mayores cargas que circulen por la vía, el suelo sobre que se asienta trabaje normalmente, esto es, dentro del límite práctico de su resistencia a la compresión. Sobre este macizo de hormigón construido al modo ordinario se colocan elementos de dureza, tenacidad, resistencia a la compresión con forma y tamaño tales, que resista a las cargas de los mayores vehículos y se coloquen de tal modo que transmita a la capa de hormigón sobre que se asienta y al mortero que envuelve y une estos elementos, presiones inferiores a los de resistencia a la compresión de las mezclas. En una palabra estos elementos, que constituyen la superficie de la vía, han de recibir las acciones directas de los vehículos y defienden (blindaje) al macizo de hormigón. De aquí el nombre de "Blindado" que damos al sistema, puesto que esta palabra tiene la acepción general de pro-

teger o defender lo que cubre bajo su masa.



De lo dicho se desprende que la capa inferior es de repartición de presiones sobre el terreno, y la capa superior es repartición de presiones sobre la capa inferior de hormigón y sobre su aglomerante; de repartición de esfuerzos tangenciales sobre este aglomerante; es la que resiste los choques de los vehículos y los desgastes de la rodadura; en una palabra la que defiende de todas las acciones.


Es un firme que desea responder a los principios de la Mecánica aplicada y ser calculado y construido cual piden éstos. Para conseguirlo necesitamos conocer cuales son las acciones que experimentan los firmes.

CARACTER DE ORIGINALIDAD DE ESTA PATENTE: La característica de originalidad de este firme o pavimento es que puede considerarse como el primer firme o pavimento de vía cuyos elementos y dimensiones se determinan y responden en absoluto a los principios de la Mecánica aplicada.

FORMA Y CONSTITUCION DEL HORMIGON BLINDADO: Las páginas 11 a la 21 de mi libro o monografía Teoría y Práctica de los Firmes de Hormigón Blindado referido contienen la descripción, modo de cálculo, planos y esquemas del referido firme con piedra de canto rodado. Los dispositivos son exactamente igual para el blindado con piedra machacada salvo el cálculo de los elementos que es como se describen en mi libro Teoría y Práctica del Hormigón Blindado 2°. Parte publicada en 1924 y que acompaño a esta Memoria.

ANTIGÜEDAD DEL INVENTO: Las primeras aplicaciones de esta idea o este modo de pavimentación, fueron ejecutados en Junio de 1921 en la carretera de Albacete a Jaén hectometro tres del kilometro 1 y precisamente como concepción teórica por creer el que suscribe que el hormigón en masa que se emplea en América que estaba ejecutando no podía dar buen resultado en tramos sometidos a tráficos pesados mixtos de tracción animal y mecánica por no responder a los principios de la Mecánica aplicada.

Tiene, por tanto, en dicha fecha originalidad absoluta en la idea y sin que posteriormente la haya aplicado nadie más



que él que suscribe o con los principios sentados por el que suscribe.

Los libros Teoría y Práctica del Hormigón Blindado publicados en 1923 y 1924 que acompaño me relevan de extender más esta Memoria pues ellos contienen todos los elementos de dispositivos y cálculos tanto descriptivos como gráficos.

N O T A.

La Patente de invención propia y nueva que a tenor de los artos. 12 y 14 de la vigente Ley de Propiedad Industrial se solicita por veinte años en España, recaerá pués, sobre "un sistema de pavimentación de calles y firmes de vías por medio del hormigón blindado" reivindicando al efecto la definición de los extremos que la constituyen consignados en el cuerpo de esta Memoria y sucintamente explicadas en los adjuntos ejemplares de teoría y Práctica de los Firmes de Hormigón Blindado" redactados por el inventor, acompañando asimismo planos reglamentarios para la mejor comprensión de la absoluta originalidad de este invento.

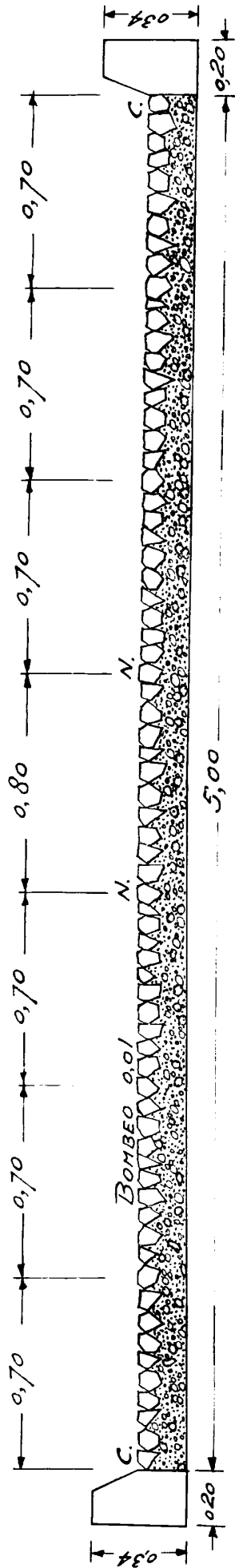
Madrid, 27 de Enero de 1925. = Entre líneas = de = Vale =
P.P. de D. Gregorio Barrios y Sanchez

Luis Reinos

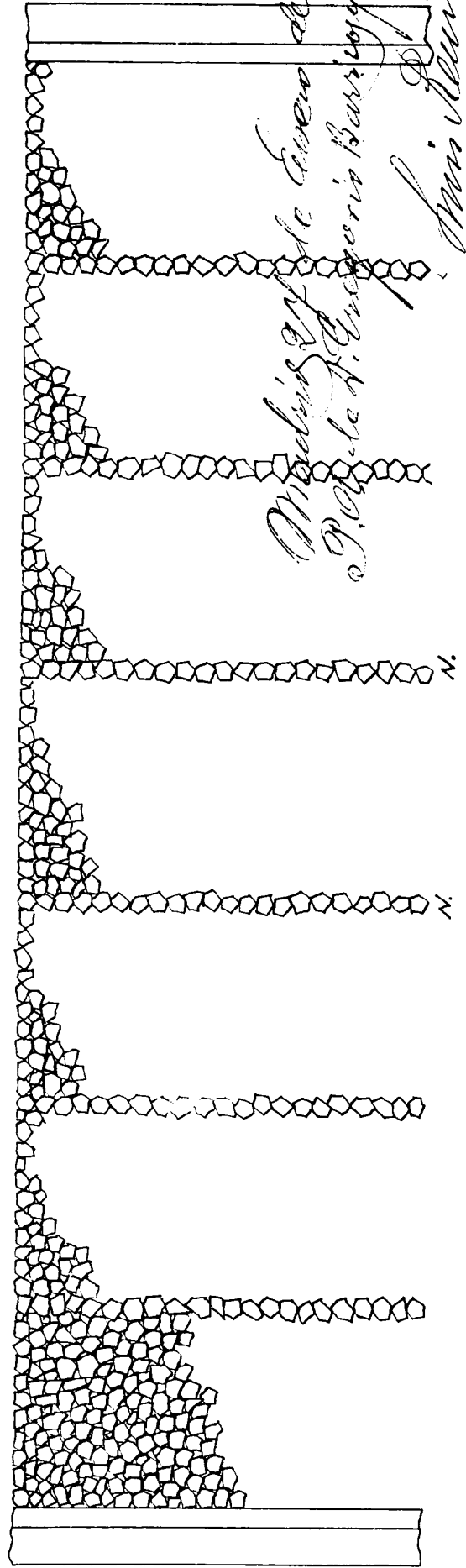
... PAVIMENTO DE HORMIGON BLINDADO CON PIEDRA MACHACADA.

Escala 1:20

... SECCIÓN ...



... PLANTA ...



Madrid, 27 de Enero de 1923
 P. de la A. Gregorio Barris, 209 Seneca

M. J. Barris

TEORIA Y PRÁCTICA

de

LOS FIRMES DE HORMICÓN BLINDADO

por

Gregorio Barrios Sánchez

INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

PRIMERA PARTE

AÑO 1923

Para el canto de 7 cm. hemos de suponer apoyada la rueda en un solo canto y resultaría $d=6+7+7=20$

$$p = \frac{3.000}{\pi \frac{20^2}{4}} = 9 \text{ kgs por cm}^2.$$

Estos cálculos, nos dicen, que el canto mínimo para esta clase de tráfico no debe ser menor de 4 centímetros de diámetro.

Nos enseñan también estos cálculos, que la mezcla de 250 kilogramos de cemento por metro cúbico de hormigón es suficiente para el espesor de 4 a 5 centímetros con coraza de cantos de 4 centímetros. Que para coraza de mayor espesor, o clasificaciones de arenas o cementos especiales, (tipo cemento fundido, por ejemplo), podemos reducir la dosificación de cemento.

Yo, sin embargo, no aconsejo reducir extraordinariamente, pues deben tenerse en cuenta las acciones de choque, y especialmente, que con los años se reduce el espesor de la coraza y conviene que la de cimentación sea de duración indefinida.

Condiciones de resistencia del mortero de unión de los cantos de la coraza

Hemos dicho, que el mortero que une los elementos de la coraza es de 400 a 500 kilogramos de cemento por metro cúbico de arena, esto es, de condiciones para sufrir cargas unitarias prácticas a la compresión, de 40 a 50 kilogramos por centímetro cuadrado ($\frac{1}{5}$ a $\frac{1}{4}$ de la de rotura).

La masa de mortero que aloja y sufre inmediata-

TEORIA Y PRÁCTICA

DE

LOS FIRMES DE HORMIGÓN BLINDADO

fímetros. En España abunda este tipo de vehículo en la generalidad de las provincias. El tipo de carro de dos ruedas puede asegurarse que es el de transporte más usado en un 99 % de los casos; las llantas varían entre 4 y 7 centímetros para pesos (peso propio y sobre-carga) de 3 a 6 toneladas.

Cálculo de la coraza

Las dimensiones mínimas de los cantos que constituyen el blindaje se deducen según expresa el siguiente cálculo:

Un carro de 6 toneladas con llantas de 7 centímetros produciría los efectos siguientes: Si el canto es de 4 centímetros de diámetro, la llanta se apoyaría sobre los dos elementos a la vez en todos los sentidos. Supuesto que la presión se reparte según una línea a 45°, tendremos en la base de asiento de la coraza, o sea en la capa subyacente, repartida la presión de los 3.000 kilogramos de peso de la rueda, en una superficie dada por el círculo de diámetro $4 + 4 + 4 = 12 = d$ cuya área es $\frac{\pi d^2}{4} = 113 \text{ cm}^2$.

La presión unitaria es de $\frac{3.000}{113} = 26 \text{ kgs. por cm}^2$.

Para el canto de 5 cm. de diámetro $d = 5 + 5 + 5 = 15$ $p = \frac{3.000}{\frac{\pi 15^2}{4}} = 17 \text{ kgs. por cm}^2$.

Para el canto de 6 cm. $p = \frac{3.000}{\frac{\pi 18^2}{4}} = 12 \text{ kgs. por cm}^2$.

calcule de suerte que no refluya más de un centímetro por encima del diámetro mayor de los cantos, esto es, más de un centímetro del plano medio de la coraza.

Debe procurarse también, que la capa inferior, tenga su superficie lo más perfecta posible según líneas de rasantes, a cuyo efecto se pondrán puntos de rasantes fijados con niveletas, del mismo modo que se hace en una explanación bien ejecutada.

Una vez igualado un tramo, se rellenan los intersticios que quedan con una lechada de mortero rico de igual composición hasta dejar la superficie lisa.

Mejor que con lechada de hormigón resulta haciendo el relleno de los huecos de la cara superior con asfalto, pues el coeficiente de adherencia aumenta, y, además, la elasticidad del asfalto le hace menos quebradizo.

Con este sistema, tanto la lechada de cemento portland como la de asfalto, no tienen los inconvenientes que en otros sistemas, pues ni el mortero ni el asfalto de la cara superior han de sufrir las grandes cargas; como veremos después, éstas, las soportan los cantos rodados y la masa de mortero inferior que los aloja. Por esta razón, es fundamental que los cantos del cuarzo, diabasa, etc., las piedras de dureza y tenacidad especial que constituyen la coraza, estén lo más próximas posible.

Cálculo de los firmes blindados

Las cargas máximas por compresión y esfuerzo cortante las producen en los firmes los carros de dos ruedas de 6 toneladas sobre un eje y llantas de 6 cen-

TEORIA Y PRÁCTICA

de

LOS FIRMES DE HORMIGÓN BLINDADO

por

Gregorio Barrios Sánchez

INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



Gregorio Barrios

ALBACETE
IMPRESA Y LIBRERÍA DE ELISEO RUIZ
(SUCESOR DE SEBASTIÁN RUIZ LÓPEZ)
1923

villas de clasificaciones graduales, la cantidad de cemento puede reducirse. El objeto es obtener un macizo cuya resistencia a la compresión admita 16 a 25 kilogramos por centímetro cuadrado como carga normal.

El espesor de esta capa estará determinado por el cálculo según las reglas que después explicaremos.

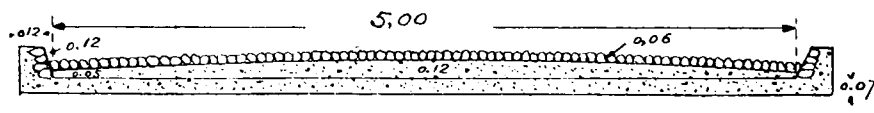
Blindaje

Estando la capa inferior fresca, esto es, con un endurecimiento de principio de fraguado, se coloca sobre ella el blindaje o coraza.

Para formar éste, se tienden las maestras en líneas longitudinales separadas de 60 a 80 centímetros. Estas se construyen con canto de 5 a 7 centímetros sobre mortero rico, de tal suerte que su cara superior queda recta según una cuerda tendida. Al efecto, se clava un clavo para sujetar la cuerda por un extremo, y por el otro se sujeta a otro clavo o con una piedra haciéndola pasar sobre un dado de madera de la altura que ha de tener la capa.

Formadas las maestras se rellenan los espacios intermedios con cantos de cuarzo, de 4 a 7 centímetros de diámetro, colocados sobre mortero rico de la misma composición que el de las maestras. Este mortero está formado por 400 a 500 kilogramos de cemento por metro cúbico de arena. Se comprimen los cantos rodados de cuarzo con pisón de ancha base 0'30 a 0'40, hasta que quede igualada la superficie con las líneas de las maestras. Un reglón colocado sobre éstas se corre sobre ellas para comprobar la buena colocación.

Debe procurarse, que la masa de mortero rico se



superficie, pues ya hemos visto que en la línea de contacto de la llanta la presión excede de 500 kilogramos por centímetro de anchura y como dá la circunstancia que las llantas son en gran número de sección transversal elípticas o circulares, no es aventurado suponer que dicho valor 500 alcanza ciertamente la compresión por centímetro cuadrado en algún punto. Esta presión está dentro del valor de pulverización del hormigón en la superficie. Efectivamente no tardó un mes en producirse el fenómeno en el ensayo practicado. Pero cuando ensayé el hormigón, sistema americano, se me ocurrió la idea del blindaje y lo ejecuté en dos metros de los cien metros ensayados. El resultado respondió a la concepción mecánica; pues se defendió, y, después de dos años, es lo único que acusa una gran duración. El éxito me animó a extender los ensayos, y cada vez es mayor y más grande el éxito alcanzado y mayor mi decisión, puesto que he visto que toda su ejecución y resultado responde a los sencillos principios de cálculo que voy a exponer.

coste que puede considerarse como máximo para que la obra tenga un rendimiento financiero determinado y cumpla un fin social, político y militar.

Del enunciado del problema general del Ingeniero proyectista-constructor y de los elementos expresados, se deriva naturalmente la especie de que no se puede decir que un firme determinado es malo y que tal otro es mejor. Será el mejor para una vía determinada el que cumpla mejor los fines expresados.

Y puesto que la enseñanza de los fracasos es tan importante, mejor dicho, es mayor que la enseñanza de los éxitos, voy a exponer a la consideración de mis compañeros los fracasos en el ejercicio de mi carrera y los éxitos alcanzados, con firmes nuevos, sean ajenos, sean míos en totalidad o en parte. Pero la relación de hechos escueta, sin crítica ni análisis, nada nos enseñaría por cuya razón me permito anotar las causas del fracaso y juzgar qué haría si tuviera libertad de acción.

Cargas máximas que soportan los firmes.-- Por las carreteras de España circulan en gran número carros de dos ruedas con llantas de 6 centímetros y peso de 6.000 kilogramos. Quedan cuatro años durante los cuales seguirán circulando con el mismo peso, pues, en carreteras de perfiles con pequeñas pendientes, cuatro caballerías arrastran bien dicha carga.

Máxima compresión.-- Esta llanta es la que origina sobre el firme mayor presión, pues se eleva a $\frac{6.000}{2 \times 6} = 500$ kgs, por centímetro de llanta. Esta presión no la resisten la generalidad de las calizas del tipo de las del Mioceno y aún las del Cretáceo. De consiguiente, todo firme formado con ellas en vías

con tráfico pesado tendrá que durar poco tiempo en buenas condiciones, especialmente con el bombeo reglamentario del 2°.

Máximo esfuerzo tangencial.--El carruaje de tracción animal origina poco esfuerzo tangencial, y, desde luego, el que producen las caballerías con sus cascos es mucho menor que el producido por los camiones.

(Cuatro caballerías tienen aproximadamente $16 \times 75 = 1.200 \text{ cm}^2$) de superficie de contacto en la tracción del carro de 6 toneladas en condiciones normales.

El camión cuyo peso sea 6 toneladas y marcha de 30 kilómetros por hora (autobús de viajeros, y camiones de carga) originan esfuerzos tangenciales muy elevados que oscilan entre 350 y 450 kilogramos por rueda para aceleraciones de 3 a 4 kilómetros por 1".

Sin recurrir a cálculos complicados podemos observar el fenómeno que produce este esfuerzo tangencial tan elevado (mucho mayor en los patinajes y frenazos bruscos). El fenómeno observado es que los productos del macadam triturado son arrojados y levantados del firme.

Consecuencias.--Resulta, por tanto, que la acción conjunta de la circulación de carruajes pesados y camiones, origina la pulverización rápida (si es caliza) del firme y la deformación (si es silíceo) originando como consecuencia la imposibilidad de tener el firme en buenas condiciones de viabilidad.

Se deduce para el macadam en carreteras de gran tráfico aquella sentencia que don Blas Sorribas y Bastarán expresa en su «Memoria sobre los procedimientos modernos para la pavimentación de las carreteras» y que expresa así: *“Y aún disponiendo del crédito necesario para ello, no sería tampoco*

posible realizar una buena conservación por lo costosísima y deficiente,,.

Mi experiencia confirma esta sentencia: En las carreteras de Cuenca a Albacete, con macadam caliza del Mioceno, un firme no dura tres meses en regular estado con tráfico de 600 a 1.000 carros de 2 a 6 toneladas y unos 28 a 30 camiones automóviles diarios. En otras carreteras de tráfico análogo, duran de 4 a 6 meses. Con macadam silíceo dura 6 meses con la superficie regular; claro es que la piedra silíceo dura sin desgaste y fractura algunos años; pero la superficie está bacheada en gran manera. He visto la imposibilidad, como expresa el señor Sorribas, de mantener un firme de macadam, en carreteras de regular tráfico en buenas condiciones para la circulación de vehículos de gran velocidad, cualquiera que sea la clase de piedra, cuando concurren carruajes pesados de dos ruedas, llanta estrecha y vehículos rápidos.

Convencido de que así debe suceder porque la estructura del macadam es tal que su aglutinación no es suficiente para resistir el valor del esfuerzo tangencial de los vehículos mecánicos, me decidí a ensayar el firme de hormigón sistema americano, con el convencimiento de que tampoco daría resultado.

Firmes de hormigón sistema americano

El sistema de hormigón de cemento portland satisface las condiciones mecánicas en cuanto a los esfuerzos tangenciales; pero con los carros que circulan por las vías españolas no resiste los de compresión en su

superficie el máximo coeficiente de tracción y la mayor suavidad posible para el tráfico.

Modo de constituir el firme experimentado con éxito, por el autor

El ejecutado por el que suscribe está formado de una losa de hormigón de espesor variable de 6 a 16 centímetros (según la clase de terreno sobre que se asienta) y la coraza de canto rodado de cuarzo común de 4 a 7 centímetros de diámetro, sumergidos en un mortero de portland de 400 a 500 kilogramos de cemento por metro cúbico cuya masa cubre el canto rodado hasta un centímetro por encima del diámetro mayor del canto.

La red de alveolos que se forman entre los cantos en la parte superior, se rellenan bien con mortero rico de cemento, bien con asfalto u otro cemento según el coeficiente de tracción que se desea obtener.

Ejecución de este tipo de hormigón blindado

Si el terreno tiene resistencia a la compresión superior a 3,5 kilogramos por centímetro cuadrado (tal sucede en las vías que han tenido firmes en circulación), se le dá el bombeo reglamentario (1 a 2 %), se extiende sobre él una capa de hormigón de cemento portland de espesor uniforme formado por 800 litros de grava o gravilla, 400 de arena y 250 kilogramos de cemento. Claro está que la mezcla expresada es solo un tipo; pues si pueden obtenerse arenas y gra-



I

Nihil novum sub solem.

El firme de "*hormigón blindado*," no viene como una novedad absoluta sin enlace ni relación con ningún otro. Es nacido del estudio de los fracasos del hormigón americano, de los empedrados de población y de los asfaltos de nuestra patria.

Lo que sí pretendo con este trabajo, es que se estudien los firmes bajo un principio mecánico en cuanto hace relación con los esfuerzos habidos en él, tanto cuanto se relaciona con las cargas que soporta, como sobre el suelo que sustenta, cuanto hace relación con el aspecto mercantil, rendimiento y comodidad. Esto, si no es novedad, se le parece, pues acostumbrados a ver en el macadam, universalmente adoptado, un macizo obtenido sobre datos de la experiencia, nos olvidamos que el problema de un buen firme tiene en ingeniería el mismo valor que el de construcción de las obras de fábrica, esto es, "*dado en una localidad determinada, una clase de terreno de cimentación, y unos materiales; conocidas las cargas que ha de soportar la construcción, y el objeto a que está*

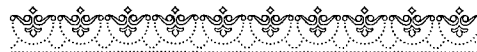
destinada la obra, determinar la disposición más adecuada y elegir los materiales más convenientes para que dentro de la máxima economía, la obra que se ejecute responda al fin para que está destinada, y resista las cargas y desgaste normal en el uso a que se destina.,.

Este problema, que cuidadosamente hemos estudiado los Ingenieros al tratarse de obras de fábrica, ha sido totalmente abandonado cuando se trataba del humilde macizo que constituye el firme por donde han de rodar los vehiculos. De esta falta de estudio, y quizá de la inexistencia de estímulo ha nacido el fracaso tan sentido estos últimos años. Pero el automóvil y el camión de tracción mecánica nos impulsan a pensar en la necesidad de que seamos no simples practicones sino también Ingenieros, no solo para el estudio de obras de fábrica, sino para los firmes que más directamente les afectan y sienten en su estructura interna, en sus vísceras, pudiéramos denominar, cuando transitan por firmes mal estudiados y peor ejecutados.

Elementos que intervienen en el cálculo de un firme

Los elementos de juicio que el Ingeniero debe tener presente en el estudio de un firme son:

- a) El terreno de sustentación.
- b) Las cargas que ha de soportar y formas de repartición de éstas.
- c) Coeficiente de tracción necesario y conveniente por la naturaleza e intensidad del tráfico.
- d) Materiales de que se dispone en relación al



Hormigón blindado

Denomino «firme de hormigón blindado» el constituido por un macizo de hormigón de portland (análogo al americano) protegido en su superficie por un blindaje construido con elementos de dureza y tenacidad suficiente para resistir las distintas acciones del tráfico pesado y rápido.

Son características sustanciales de esta coraza o blindaje:

1.º Estar formado por elementos cuya dureza y tenacidad permite resistir por 25 a 50 años el desgaste producido por el tráfico de mil carruajes diarios por lo menos.

2.º Repartir sobre la capa inferior o cimiento de hormigón las presiones del tráfico, de tal suerte que este trabaje dentro de las cargas unitarias prácticas que precisen la constitución de sus mezclas.

3.º Hacer que dichos elementos de la coraza resistan las mayores acciones tangenciales de los vehiculos pesados rápidos, y permitan a la vez adaptarle el mastic o masa más adecuada para obtener en su

mente la acción transmitida por los cantos, está constituida por superficies cóncavas, que para el cálculo debemos suponer sean esferas. El canto de 4 centímetros se sienta sobre una semi-esfera de área (aproximada a enteros) de 25 cm². El alveolo correspondiente al canto de 5 centímetros tiene 39 centímetros cuadrados. El de 6 centímetros, 56 centímetros cuadrados; el de 7 centímetros, 76 centímetros cuadrados.

Si suponemos que el canto transmite por igual la presión al alveolo, la masa de mortero sufrirá las presiones siguientes: (para la rueda de 3.000 kilogramos).

$$\left. \begin{array}{l} \text{Cantos de diámetro} \\ d=4 \text{ cm; } p=\frac{3.000}{2 \times 25}=60 \text{ kgs. por cm}^2 \\ d=5 \text{ cm; } p=\frac{3.000}{2 \times 39}=38 \text{ id.} \\ d=6 \text{ cm; } p=\frac{3.000}{2 \times 56}=25 \text{ id.} \\ d=7 \text{ cm; } p=\frac{3.000}{4 \times 76}=39 \text{ id.} \end{array} \right\}$$

Porque de 4 a 6 centímetros, son por lo menos dos los cantos, y por tanto los alveolos que sufren la presión. En realidad podíamos suponer 4 los cantos que sufren los apoyos simultáneos de las llantas, pues los carros que llevan los pesos expresados tienen ruedas de dos metros de diámetro. Sin embargo, como están con frecuencia curvadas transversalmente, he supuesto la hipótesis del apoyo intenso en dos cantos.

Este cálculo nos aconseja también no descender de cuatro centímetros en los diámetros de los cantos.

La dimensión máxima está determinada por la

suavidad en los movimientos; la observación nos aconseja no exceder de 7 a 8 centímetros. El razonamiento nos hace prever también este límite, pues si dibujamos la rueda de dos metros y las esferas de 4 a 7 centímetros en contacto, veremos como el paso de una a otra no permite que el choque tenga lugar, porque el radio de giro es inapreciable; pero al aproximarse a 10 centímetros va tomando valores que permiten a la rueda en su descenso dar sobre los cantos golpes destructores. Lo que destruye los firmes rápidamente es el trabajo de choque. Mientras un firme no está deformado puede resistir el desgaste normal por rodadura, y su duración está determinada por el de la dureza de la piedra y por la frecuentación; desde el momento que un firme está bacheado, con muy poca frecuentación su duración es muy reducida, si los vehículos son de gran peso y dos ruedas, pues el martilleo de éstas pulveriza toda clase de piedras o las hunde en la explanación durante los temporales que es cuando ésta pierde sus condiciones de resistencia.

Condiciones de trabajo de la masa que rellena los huecos de la coraza situados sobre el plano diametral

La masa, bien de mortero, bien de asfalto que rellena los huecos entre los cantos desde el plano diametral hasta la cara superior, tendrá por finalidad mecánica aumentar la adherencia, esto es, proporcionar coeficiente de tracción más favorable posible, suavizar el paso de un elemento a otro de la coraza para evitar los choques y transmitir a los elementos de

la coraza los esfuerzos tangenciales. Como finalidad preservatriz o conservadora evitar la penetración de las aguas, que al helarse originan el levante y destrucción de la coraza.

Veamos que forma adopta dicha masa, de relleno. Haciendo que la masa de asiento se eleve solo un centímetro sobre el plano diametral, nos quedarán entre los cantos y la superficie unos huecos parecidos a una malla o red con entrantes similares a troncos de pirámides triangulares, cuyas caras son trapecios esféricos. El relleno será pues, una malla con clavos entrantes en forma de troncos de pirámide triangulares cuyas caras son trapecios esféricos.

Las mayores acciones tangenciales que sufren las vías las proporcionan los vehículos de gran velocidad y peso al producirse las aceleraciones, frenazos o patinajes. Este esfuerzo tangencial dado por la fórmula $E_t = f_1 - (P + p) f_2 - p M \frac{dv}{dt}$ alcanza para $\frac{dv}{dt}$

(aceleración del coche) de 3,5 a 4 kms. por 1", valores de $E_t = 400$ a 500 kgs. para cada rueda en rampas moderadas del 3 ‰ y automotores de 6 toneladas y velocidad de 30 kilómetros por hora.

Podemos considerar este esfuerzo tangencial como normalmente máximo, y al cual deben resistir las masas situadas en la superficie, y los elementos que la contienen. Este esfuerzo tangencial es el que algunos denominan succión, porque aparentemente parece que así se produce al observar como son arrancados los elementos de un afirmado y arrojados a distancia y sobre los guardabarros.

Los camiones que producen estos esfuerzos tangenciales máximos tienen las llantas de gomas macizas y ancho de 20 centímetros en cada rueda, y por

Freguero Banno

Supongamos un tramo de 30 kilómetros o sea una jornada de carro.

Coste con macadam calizo

Reparación 30 kilómetros a 25.000 ptas.	750.000
Conservación anual a 400 m. c. por kilómetro = 30 × 400 × 21 = 252.000 pesetas equivalente a un capital de . . .	5.040.000
Suma.	5.790.000

Ni con este valor se mantendría tersa la superficie con macadam y precisaría reparación cada tres años.

Coste con hormigón blindado

Reparación con blindaje 30 × 63.000 . . .	1.890.000
Conservación 800 × 30 = 24.000 pesetas equivalente a un capital de	480.000
Suma.	2.370.000

Por esta vía circulan más de mil carruajes diarios, con una carga superior a 1.000 toneladas. Tendremos, por tanto, un transporte superior a 1.000 × 30 × 360 = 10.800.000 toneladas-kilómetros. El coste de éstos sería:

Sobre vía de macadam en regular estado

10.800.000 × 0,45 = 4.860.000 ptas.

Sobre vía de macadam en mal estado

10.800.000 × 0,75 = 8.100.000 ptas.

Sobre vía de hormigón blindado

10.800.000 × 0,25 ptas. = 2.700.000 ptas.

Los números anteriores nos hacen ver que si bien de primer establecimiento parecen más elevados los

$$R=0,50 \left\{ \begin{array}{l} \text{Para } c=4 \text{ cm. flecha}=0,002. \\ \text{Para } c=5 \text{ cm. flecha}=0,0038. \\ \text{Para } c=6 \text{ cm. flecha}=0,005. \\ \text{Para } c=7 \text{ cm. flecha}=0,007. \end{array} \right.$$

Por esto decíamos, que la masa de relleno formaba una malla con clavos de penetración, que tenía muy buenas condiciones, para que por su forma y solidez resistiera los esfuerzos tangenciales sin desgaste apreciable. Por esto decíamos y repetimos insistentemente, que esta masa puede ser asfalto-cauchotado, o cualquier otra que dé las mejores condiciones a la tracción, pues por su protección admirable ha de resistir bien, y por la pequeñez de la masa ha de ser económica.

El cálculo anterior prueba que las deformaciones producidas por el desgaste del cemento o asfalto entre los cantos no pueden alcanzar mayor profundidad de dos a siete milímetros para cantos de 4 a 7 centímetros y radios de rueda de 0,50 metros. Teniendo presente que los cantos no se rompen ni se levantan normalmente, sino que se desgastarán muy poco y gradualmente, se deduce para este firme un éxito que la experiencia ha de confirmar. (No debemos olvidar que los cantos que constituyen la coraza han de ser de tenacidad y dureza del tipo de las cuarcitas, cuarzo común, dioritas, diabasas, pórfidos).

mentario del 2^o%, solo circulación muy reducida permite su buena conservación.

En caso de firme silíceo, el gasto de conservación por kilómetro es elevado de 1.500 a 3.500 pesetas por kilómetro en carreteras de regular tráfico, no por razón del desgaste del material, sino por razón del trabajo de escarificación y consolidación considerable que exige para restablecer la forma de la superficie continuamente alterada por los esfuerzos tangenciales de los autocamiones, automóviles de gran velocidad y carros de gran porte.

El firme de hormigón blindado permite mantenerse con un gasto medio de conservación de 800 pesetas por kilómetro contando con las de renovación de la capa superior, aun siendo el tráfico de 1000 vehículos diarios.

Coste del transporte

Comparación entre el de macadam y el de hormigón blindado.—En la carretera de Cuenca a Albacete, existen explotaciones en las que se conoce el coste de la tonelada-kilómetro según el estado de la carretera. En tiempo normal con el macadam en buen estado, el coste se eleva a 0,45 pesetas-kilómetro. En tiempo de lluvias alcanza hasta 0,75 pesetas si el temporal persiste.

Con el hormigón blindado el coste de la tonelada kilómetro desciende entre 0,20 y 0,30 pesetas por tonelada-kilómetro, cualquiera que sea el estado de humedad.

A primera vista impresiona el coste de construcción de un firme blindado, pero el análisis de los fenómenos que hemos referido nos lleva a las consideraciones siguientes en cuanto influyen en la riqueza nacional.

Dedúcese del cálculo anterior que para el macadam de cuarzo, el coste era en este caso el mismo que el de firme de hormigón blindado. El resultado obtenido con este firme es de duración en cuanto al desgaste; pero en verano se disgrega y se cubre de baches, siendo costosa su reparación por las dificultades de consolidación. Al cabo de un año, la circulación sobre este firme es dura y molesta por la trepidación del vehículo rápido.

He calificado de coste directo el de ejecución material de un firme; pero precisa que los Ingenieros estudiemos el problema, no como cajeros del Estado, sino con el prisma de creadores de riqueza nacional. En este sentido, tienen a veces más importancia que los gastos directos del Estado, los indirectos del mismo o de sus ciudadanos, los que al fin pagan ambos.

Son gastos indirectos, variables con el tipo de firme, los de conservación del mismo, los de destrucción o desgaste de carruajes, los dependientes del coeficiente de tracción.

Gastos de conservación

El de macadam calizo del Mioceno o Cretaceo, en el caso referido y en todos los de esta provincia en los que circulan más de 400 carruajes pesados y camiones automóviles, es tan elevado, que desde luego es inadmisibile. (Ya hemos indicado que equivale a un firme anual).

Este tipo de firme se defiende algo (un año o dos) en buenas condiciones, cuando el tráfico se hace con vehículos de poco peso por centímetro de llanta y al bombeo se le dá un 5 al 6 %. Con el bombeo regla-



III

Precio que alcanza el firme de hormigón blindado

Sobre esto tengo experiencia en obras por Administración y por contrata. Por tanto, puedo dar valores reales en los que se incluyen todos los gastos.

Obras por contrata.

Cuenca a Albacete, kilómetros 151 al 153.

Precio del metro cuadrado hecha la baja de subasta: 12,65 pesetas comprendidos los bordillos y 11,13 ptas. sin bordillo.

Cuenca a Albacete kilómetros	{	154—155=pts. 15,06 m ² y 13,56 pts. sin bordillo.
		156—157= » 14,75 » y 13,25 » sin id.
		157—160= » 15,30 » y 13,80 » sin id.
		161—162= » 16,90 » y 15,40 » sin id.

El precio del cemento es a 135 pesetas tonelada para las cuatro primeras y 150 pesetas para la última.

La piedra costaba de 13 a 15 pesetas la de las primeras capas, y 20 a 25 para la coraza de las cuatro primeras; la última costaba a 50 pesetas la de la coraza y 21 la de las capas inferiores.

El precio dicho es con tres capas que tienen los espesores siguientes:

1.ª capa: Losa de 10 centímetros de espesor uniforme con hormigón de 125 kilogramos por metro cúbico.

2.ª capa: Bombeada con 5,5 centímetros en los mordientes y 12 en el centro con 250 kilogramos de cemento por metro cúbico.

3.ª capa: *Coraza* de 6 centímetros de espesor uniforme con mortero de 500 kilogramos por metro cúbico.

Suprimida la capa inferior, puesto que basta la segunda en general, resultaría por metro cuadrado de ejecución, entre 8,50 pesetas y 11,75 pesetas, aún lavada la piedra a distancia relativamente grande (14 kilómetros para la de cemento y 15 a 36 la de coraza en estos casos reseñados).

Comparación entre el coste de hormigón blindado y el de macadam

Para poder comparar dos firmes, debe tenerse presente, su coste directo, sus gastos de conservación anual, el desgaste que originan en los vehículos que transitan por ellos, el coste de la tonelada kilómetro y viajero-kilómetro producido por las condiciones de la vía, esto es, sin tener para nada en cuenta los generales de empresa.

Gasto directo.--En el kilómetro 160 de la carretera de Cuenca a Albacete ejecutado hoy totalmente de hormigón blindado, ejecuté dos hectómetros con firme completo de macadam con caliza del Mioceno,

única que existe a 60 kilómetros de dicho punto, y de lo mejor de dicha constitución geológica. Los dichos dos hectómetros estaban situados entre otros de hormigón blindado. El empleo y consolidación con máquina de 10 toneladas tuvo lugar en Junio. En Noviembre del mismo año, cuando aparecieron las lluvias algo intensas, pudo apreciarse que el firme estaba totalmente pulverizado. Sabido es, que estos firmes de caliza cuando se han pulverizado y tienen una ligera humedad parece que están regulares y hasta buenos, si se apisonan e igualan; pero durante el riguroso estío aparecen convertidos en polvo que se convierte en barro durante las lluvias. El macadam no había durado seis meses; el blindaje estaba intacto, sin desgaste apreciable.

El coste del macadam es de $21 \times 1225 \text{ m}^3 = 25.725$ pesetas por kilómetro o sea $\frac{25.725}{5000} = 5,14$ pesetas por metro cuadrado.

El coste de ejecución es mitad que el blindado, pero precisaría dos firmes al año por lo menos de macadam para tener la vía, no más que regular para el tránsito.

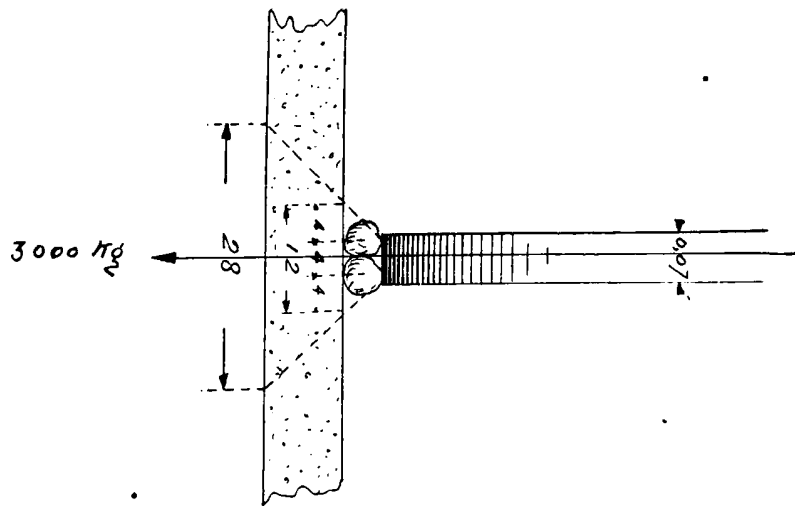
Comparación con macadam silíceo

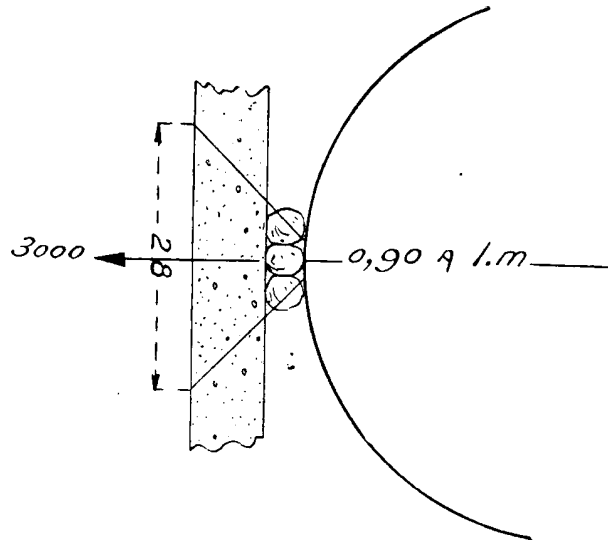
El cuarzo común de condiciones para admitir la machaca, está situado a 35 kilómetros de dicho kilómetro. La machaca cuesta 6,50 pesetas y el empleo 7. Sumado el transporte, que importa 44 pesetas, tendremos un coste por metro cúbico de 57,50 pesetas, o sea, $\frac{70.437}{5} = 14,08$ pesetas por metro cuadrado.

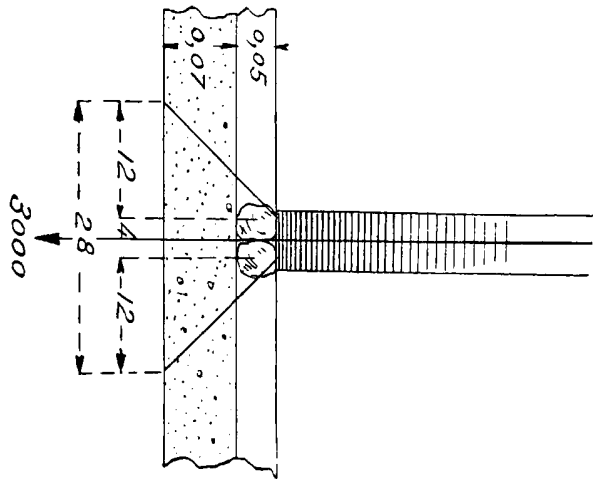
Carretera de Cuenca - Alpacete



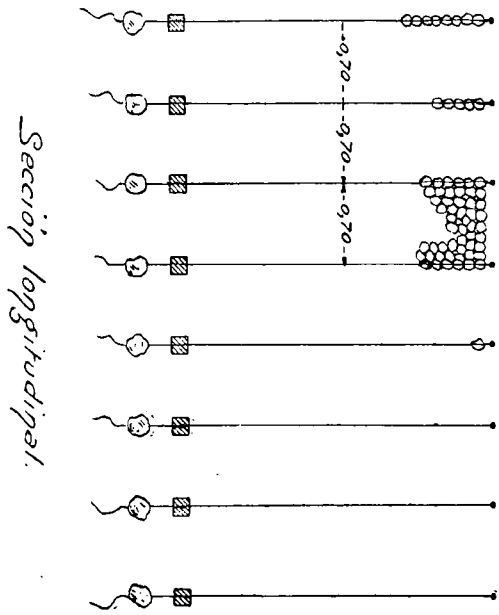
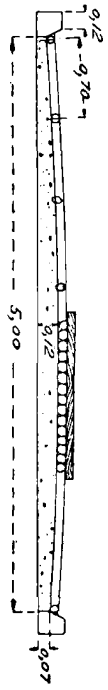
FIRME DE "MACADAM" A LOS SEIS MESES DE REPARADO



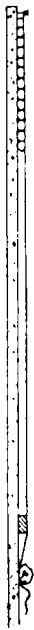




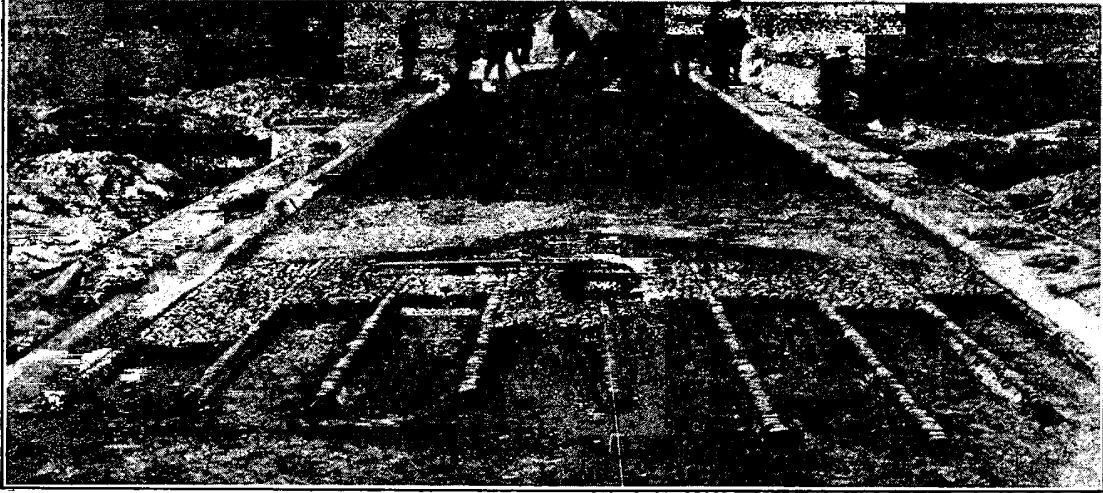
Secció transversal.



Secció longitudinal.

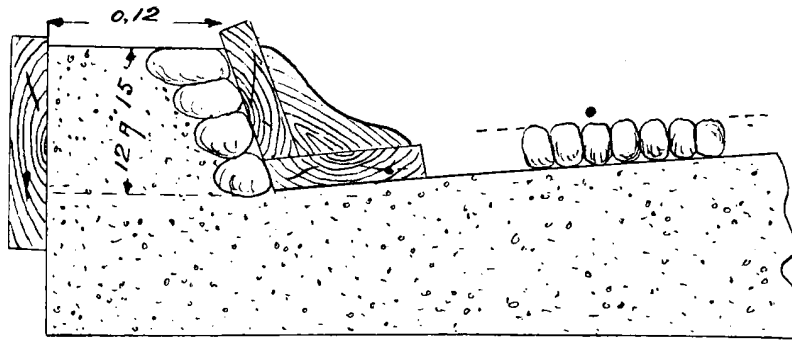


Carretera de Albacete a Murcia

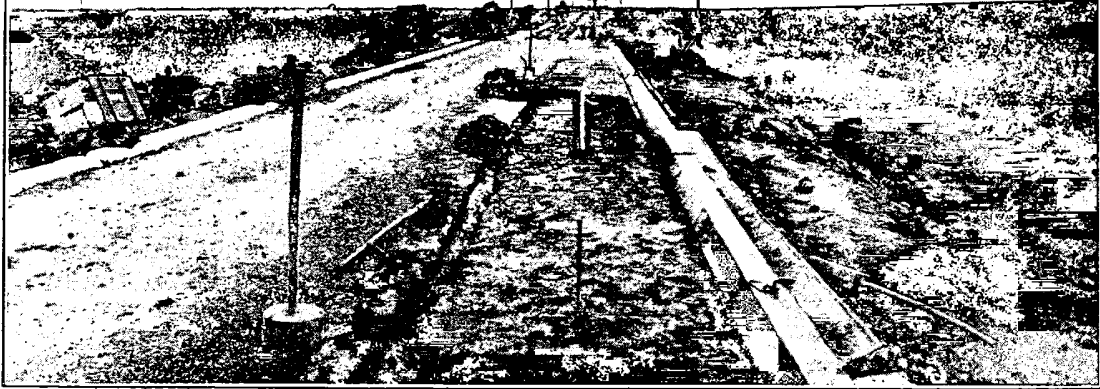


CONSTRUCCIÓN DEL HORMIGÓN BLINDADO CON 2 CAPAS

CONSTRUCCION DEL BORDILLO

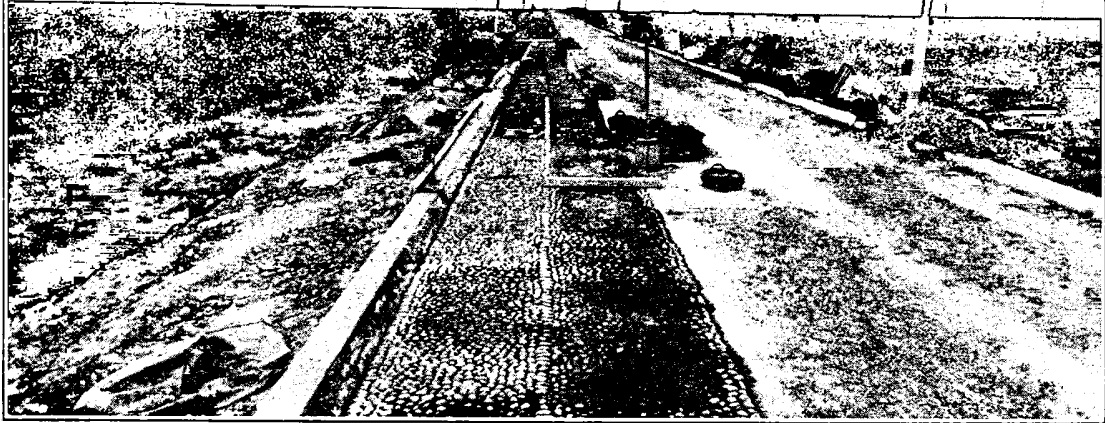


Carretera de Cuenca - Albacete - Kmº 162 -



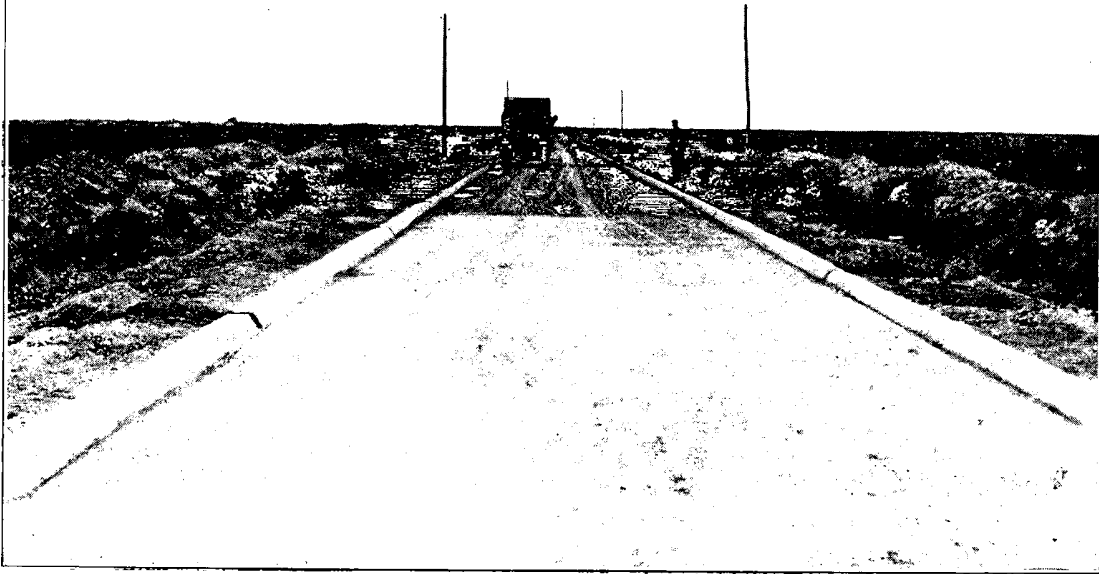
CONSTRUCCIÓN DEL HORMIGÓN BLINDADO CON 3 CAPAS

Carretera de Cuenca - Albacete - Kmº 562.



CONSTRUCCIÓN DEL HORMIGÓN "BLINDADO" CON 3 CAPAS

Carretera de Cuenca-Albacete - Km: 160 -



FIRME DE HORMIGÓN BLINDADO A LOS 18 MESES

TEORIA Y PRÁCTICA

de

LOS FIRMES DE HORMIGÓN BLINDADO

por

Gregorio Barrios Sánchez

INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SEGUNDA PARTE

AÑO 1924



Definición

En principio está constituido el «Hormigón Blindado» por un macizo de hormigón de espesor variable, calculado de tal suerte que con las mayores cargas que circulen por la vía, el suelo sobre que se asienta trabaje normalmente, esto es, dentro del límite práctico de su resistencia a la compresión. Sobre este macizo de hormigón construido al modo ordinario se colocan elementos materiales de dureza, tenacidad, resistencia a la compresión con forma y tamaño tales, que resista a las cargas de los mayores vehículos y se coloquen de tal modo, que transmita a la capa de hormigón sobre que se asienta y al mortero que envuelve y une estos elementos, presiones inferiores a los de resistencia a la compresión de las mezclas. En una palabra, estos elementos, que constituyen la superficie de la vía, han de recibir las acciones directas de los vehículos y defendan (blindaje) al macizo de hormigón. De aquí el nombre de «Blindado» que damos al sistema, puesto que esta palabra tiene la acepción general de proteger o defender lo que cubre bajo su masa.

De lo dicho se desprende que la capa inferior es de repartición de presiones sobre el terreno, y la capa superior es de repartición de presiones sobre la capa inferior de hormigón y sobre su aglomerante; de repartición de esfuerzos tangenciales sobre este aglomerante; es la que resiste los choques de los vehículos y los desgastes de la rodadura; en una palabra, la que defiende de todas las acciones.

Es un firme que desea responder a los principios de la Mecánica aplicada y ser calculado y construido cual piden éstos. Para conseguirlo necesitamos conocer cuales son las acciones que experimentan los firmes.

Han transcurrido más de tres años que vengo comprobando el firme que denominé «Hormigón Blindado» y cada vez estoy más convencido de que responde a dos puntos de vista fundamentales:

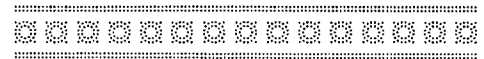
1.º A los principios más elementales de la Mecánica aplicada.

2.º A los de economía, porque puede considerarse como un firme intermedio entre el adoquinado y el macadam con un coste en muchos casos menos de la mitad que éste, satisfaciendo a un tráfico grande, pudiendo emplearse en pendientes a que no puede aplicarse aquel.

3.º Que si se encuentra un material bituminoso en condiciones económicas, (y esto lo vislumbro en los ensayos practicados) que proteja la superficie de la acción de choque, podrá conseguirse en los tramos de poca pendiente una duración indefinida, con un coste de conservación y renovación por bajo de cualquier otro sistema conocido, con una superficie de rodadura inmejorable en tramos de gran tráfico.

Estas consideraciones me han movido a poner a disposición del personal de Obras Públicas y de los amantes de estos asuntos, la segunda parte de la «Teoría y práctica del hormigón blindado».

de dimensiones menores que los mínimos deducidos, hacen sufrir al mortero quebrantamientos y disgregaciones que no sufren con los de dimensión normal. Se quiere confundir y considerar el hormigón blindado en cuanto al resultado como un hormigón en masa de mayor coste por su modo de ejecución. Es un error que el tiempo se encargará de aclarar. Pero mientras el tiempo, gran curador de pasiones y errores, deshace el entuerto, muchos millones se habrán perdido por el Estado. Si hubiera algún apasionado del hormigón en masa que saliera a la palestra no tendría inconveniente en lanzar este reto: En una carretera de tráfico intenso, con circulación de carros pesados de 2 a 6 toneladas sobre un eje, camiones pesados, en un número comprendido entre 600 y 1.500 y equivalentes al actual sistema entre 2.000 y 3.000 colleras diarias, se establecería un kilómetro de blindado y otro de hormigón en masa. Al cabo de los tres años han de resistir los dos sistemas igualmente, tener igual desgaste, dar el mismo movimiento medido con aparato adecuado en el mismo vehículo y el mismo gasto de conservación habida cuenta del interés de amortización de uno y otro sistema. Pues bien, si mi sistema de hormigón blindado con piedra machacada, o canto rodado (a elección mía, según la localidad), no resulta muy superior y exento de las grietas, una de las causas de la muerte de hormigón en masa, pierdo a favor del Estado el sueldo e indemnizaciones de los tres o cuatro años de duración del ensayo. Si por el contrario, es cierta la superioridad del blindado, pierdo mi Ingeniero contrincante el sueldo. Así queda más pronto desblindado el error, que ambos teníamos, en beneficio general del Estado, de los Municipios y personal encargado de estos servicios.



II

Acciones

Un carruaje, tirado por caballerías, hace experimentar al firme las acciones siguientes:

- 1.^a Presión de las llantas de las ruedas.
- 2.^a Choque de éstas motivado por las desigualdades de la superficie.
- 3.^a Presión de los cascos de las caballerías al ejercer el tiro.
- 4.^a Choque de los cascos de las caballerías durante el trote.
- 5.^a Esfuerzo tangencial de los cascos de las caballerías en los arranques y tiro.

Los vehículos de tracción mecánica hacen experimentar al firme las acciones siguientes:

- 1.^a Presión de las llantas.
- 2.^a Choques motivados por las desigualdades de la superficie.
- 3.^a Esfuerzo tangencial producido por las ruedas motoras.

Las acciones que nos interesan son las máximas de unos u otros vehículos que transitan por las vías.

Presiones

De estas acciones, la presión ejercida por los carros es mayor que la ejercida por los camiones en las carreteras españolas de las provincias llanas situadas al Sur de los Pirineos; puesto que los camiones de 12 toneladas, dan 4.000 kilogramos en cada rueda trasera con 20 centímetros de ancho de llanta o sea 200 kilogramos por centímetro de generatriz. Los carros de 6 toneladas tienen 6 a 7 centímetros de llanta, dan $\frac{3.000}{6} = 500$ kilogramos por centímetros

de generatriz o sea muy superior a la del camión.

Cumpliendo el Reglamento de llantas, que ha de regir desde 1926, un vehículo de 2 caballerías puede transportar en las carreteras llanas 2.500 a 3.000 kilogramos, que con los 8 centímetros de llantas reglamentarias producirá $\frac{1.500}{8} = 187$ kilogramos por centímetro de llanta.

Observando las huellas de los vehículos, y teniendo presente la elasticidad de la goma del camión se deduce que se reparte en 6 a 10 centímetros de ancho la banda de presiones. La rigidez de la llanta de hierro del carro hará que se reparta la presión en zona que parece no pasará de 3 centímetros en firmes tersos e indestructibles. Se ve claramente por la observación de las huellas y por el razonamiento, que la presión máxima es la originada por el carro de llanta de hierro, o sea, los de tracción animal en la actualidad.

El cálculo habrá de hacerse para resistir a la presión de las llantas de hierro de los carros. Si nos ate-

PRÓLOGO

No satisface al hombre constituir con sus conocimientos un simple catálogo, análogo al de una propaganda comercial.

Para quedar convencido de que su ciencia o arte es algo más que una relación de hechos que bastaría consignar en un papel, busca siempre las causas o relaciones entre las leyes generales de la naturaleza y los fenómenos que observa e impresionan sus sentidos. Cuando no encuentra la causa, inventa hipótesis que sustituyan aquella para establecer el cordón umbilical por el que se alimenta la esperanza de llegar a la causa verdadera.

No está mi espíritu tan alejado del común sentir, que haya dejado de cumplir este modo del ser humano. En tal sentido se desarrolló la primera parte de «Teoría y práctica del hormigón blindado» y sigo haciéndolo en esta segunda parte, cuyo objeto es ampliar los estudios al blindaje con piedra machacada.

Las hipótesis sustentadas para el cálculo, si no son verdaderas, se parecen; pues en más de tres años que vengo comprobándolas, he visto que los elementos

nemos a la realidad, las superficies de contacto se reducen a un círculo o elipse pequeños, que podemos suponer un punto cuando la llanta está curvada en los bordes. Y como es un hecho real, que todo el mundo habrá podido comprobar, que en algunas provincias como la de Albacete, más del 90 por 100 de los vehículos pesados tienen llanta cuyos bordes son curvados, resultará, que para asegurarnos una aproximación al hecho real, debe fundarse el cálculo en el apoyo de la rueda sobre una sección pequeña, elíptica o circular, o mejor en un punto de cada elemento del blindaje. En caso de llanta plana, y superficie de vía tersa y plana, sería la de contacto un rectángulo; pero haremos los cálculos en la hipótesis más desfavorable, que es lo que exigen las aplicaciones prácticas.

Elementos del blindaje

Los elementos del blindaje más económicos son cantos rodados o machacados de cuarcitas, granito, diabasa, dioritas, aplitas, basalto, calizas azuladas, y en general, elementos de gran dureza y tenacidad.

Supongamos que el blindaje está constituido con elementos de canto rodado. En esta hipótesis podemos suponer esférico el elemento, pues en realidad suele ser el caso más desfavorable de la forma redondeada; porque generalmente los cantos tienen forma algo aplanada en alguna de las zonas. En este caso la llanta del carro monta sobre el canto esférico y cae sobre el siguiente produciendo los efectos siguientes:

COMPRESIÓN

Sobre la base de sustentación de blindado, o sea, sobre la capa de hormigón, se experimentará con el paso de la rueda de 3.000 kilogramos, (supuesta la repartición de presiones a 45°), la compresión. (Fig. 1.ª)

$$p = \frac{3000}{\pi d^2}$$

Para el diámetro del canto $d=7$ cm. $p=19$ kilogramos por cm^2 , para $d=4$ cm., $p=60$ kgs.

Para que un hormigón, en la capa de repartición, trabaje a carga práctica de 40 kilogramos como máximo, el diámetro mínimo del canto protector, de blindaje, debe ser

$$d = \sqrt{\frac{3000}{\pi p}} = \sqrt{\frac{2000}{40 \times 3,14}} = 48 \text{ mm.}$$

TEORIA Y PRÁCTICA

de

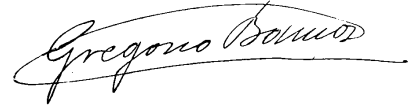
LOS FIRMES DE HORMIGÓN BLINDADO

por

Gregorio Barrios Sánchez

INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SEGUNDA PARTE



ALBACETE.—TIPOGRAFIA DE ELISEO RUIZ
(SUCESOR DE SEBASTIÁN RUIZ LÓPEZ)
1924



Caso de blindaje con piedra machacada

Esta tendrá forma poliédrica aproximada a la forma inscribible en la del canto rodado, o sea en la esférica, o se aproximará a la forma de cuña de gran ángulo. Estos dos tipos son los que pueden servir de base al cálculo y a la construcción del blindado; pues los cantos rodados que tienen forma lenticular, o las cuñas de ángulo muy reducido, deben desecharse.

Forma poliédrica.—Si se supone la repartición a 45° , como en el caso del canto rodado esférico, hallaremos los mismos valores para los cantos de diámetro igual a la esfera inscrita en el poliedro, si la rueda se apoya en una arista o en un vértice; pero si se apoya en una cara, la línea o faja de apoyo se extiende en mayor contacto.

Hemos observado al ejecutar el blindado, que los cantos de forma poliédrica tienen tendencia a situar una de sus caras en la superficie al efectuar el apisonado, si el peón ha tenido el cuidado de darle una posición conveniente a la piedra.

Podemos suponer, en caso de canto de forma po-

liédrica, que las líneas de repartición de presiones a 45° tienen su arranque en las aristas de la cara de superficie o en los límites de contacto de la llanta.

Estos límites, según se observa en las huellas, parece ser un círculo de 3 centímetros de diámetro en las llantas curvadas en los bordes, y un rectángulo de 3 centímetros de ancho y largo igual al ancho de llanta en las que son bien cilíndricas, que denominamos planas. Supondremos para el cálculo la hipótesis más desfavorable, o sea, la de que el contacto es un círculo de 3 centímetros de diámetro.

La presión unitaria sobre la base del blindado (capa de repartición de presiones) será con esta hipótesis. (Fig. 2).

$$p = \frac{3000}{\pi (h + 1,5)^2}$$

en la que p es la presión unitaria y h la altura del elemento.

La altura mínima h del canto poliédrico, para un hormigón de la capa inferior, cuya carga práctica máxima deba ser 40 kilogramos, se halla (en el supuesto de llanta algo redondeada que se apoye solo 3 centímetros) en la siguiente expresión:

$$h = \frac{3\pi p + \sqrt{(3\pi p)^2 + 4\pi p \times 2717,4}}{2\pi p} = 34 \text{ mm.}$$

deducida de la ecuación

$$\pi (h + 1,5)^2 p = P = 3000 \text{ kgs.}$$

El valor mínimo $h = 34$ mm. nos enseña, que la forma plana de la cara superior de la piedra, permite el

TEORIA Y PRÁCTICA

DE

LOS FIRMES DE HORMIGÓN BLINDADO

empleo de elementos más pequeños para el blindaje, y, por tanto, hacen pavimentos de movimientos más suaves.

También nos enseña la ecuación anterior, que podemos escribir con el carácter de generalidad bajo la forma

$$\pi p (h + e)^2 = P,$$

que a medida que aumenta el radio e del círculo de contacto, la dimensión h del elemento de blindaje puede ser menor. De aquí nace la aspiración de revestir el blindaje de un material elástico de poco coste que amortigüe la acción de choque y que aumente la superficie de contacto para conseguir un firme de duración indefinida.

Forma de cuña.—Supongamos que el elemento de blindaje tiene forma de cuña, uno de cuyos diedros está clavado en el mortero, y, por tanto, sus caras apoyadas en éste; que la cara opuesta está en la superficie y recibe normalmente la presión de las cargas. (Fig. 3).

Supongamos que el elemento-cuña no tiene adherencia con el mortero, con cuya hipótesis estamos en el caso más desfavorable, que puede ocurrir rara vez. Denominemos f al coeficiente de rozamiento de la piedra sobre el mortero, α el ángulo de la cabeza con el lado, α_1 el ángulo de la cuña, b ancho de la cabeza, h la altura, l el lado, m la longitud.

El peso P de la rueda transmite a las caras de contacto sobre el mortero los valores de la presión total

$$Q = \frac{P}{2 (\cos \alpha + f \operatorname{sen} \alpha)}$$

Gregorio Bostuoz

y la presión unitaria $p = \frac{Q}{l m}$;

y poniendo en lugar de Q su valor

$$p = \frac{P}{2 l m (\cos \alpha + f \sin \alpha)}$$

Sustituyendo $\cos \alpha = \frac{b}{2 t}$ y

$$\sin \alpha = \frac{h}{l}$$

en la fórmula anterior resultará, después de reducciones y simplificaciones,

$$p = \frac{P}{m b + 2 f m h}; \text{ de la que deducimos}$$

$$\text{para } \left\{ \begin{array}{l} m=b=h=4 \text{ cm} \\ P=3000 \text{ kgs.} \\ f=0,75 \end{array} \right\} p=75 \text{ kgs. por cm}^2$$

$$\text{para } \left\{ \begin{array}{l} m=b=h=5 \text{ cm} \\ P=3000 \text{ kgs.} \\ f=0,75 \end{array} \right\} p=49,6 \text{ kgs. por cm}^2$$

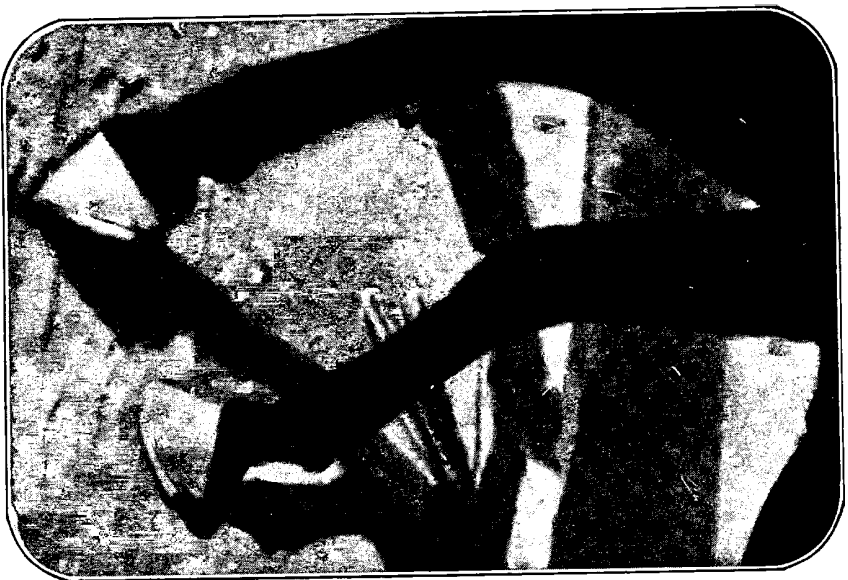
El valor mínimo de la cuña de dimensiones $m=b=h$, sumergida en mortero que resista 60 kilogramos por cm^2 , que es el de la capa de blindaje, está dado por la fórmula (que resulta de despejar b en la anterior),

riente en los silíceos, dando lugar al arranque de sus elementos por los tiros de las caballerías.

Razón de los huecos entre los elementos del blindaje.—La necesidad que tienen las caballerías de desarrollar el expresado esfuerzo tangencial, mejor dicho, la necesidad que tiene el animal de encontrar punto de apoyo en el firme de la vía para desarrollar el esfuerzo tangencial expresado, que equilibra el de tracción, es el que origina la conveniencia de que los elementos del blindaje no estén formados por superficies concertadas con juntas yustapuestas. El canto rodado tiene forma adecuada para que la corona o red de mallas que forma el cemento que rellena los huecos, tenga dimensiones convenientes para la adherencia de las caballerías sin que puedan resentirse los movimientos de los vehículos de viajeros.

Con la piedra machacada debe tenerse cuidado de dejar huecos o juntas de 1 a 2 centímetros entre ellas en la superficie. Generalmente la piedra tiende a partirse en formas poliédricas (de cuña o troncos de pirámide). En el caso de forma de cuña conviene armonizar la conveniencia de dar una cara plana en la superficie con dejar entre ellas los huecos de junta expresados. Parece racional poner las piedras como expresa la figura 7, esto es, la arista de cuña abajo; las caras de arriba dejando huecos triangulares, o sea, tocando a las piedras contiguas con una de las aristas o dos vértices. Es fundamental que la masa de mortero del blindaje refluya de abajo arriba hasta la superficie, esto es, que casi no precise lechada, o ésta sea solo un enlucido. Pues bien, sea la forma de cuña, sea la de tronco de pirámide, la condición anterior nos hace ver la conveniencia de que la cara mayor sea la que se ponga en la superficie para que el mor-





MANOS DELANTERAS EN POSICIÓN DE ARRANQUE

$\frac{380}{120} = 3,17$ kilogramos por cm^2 y el esfuerzo tan-

gencial $\frac{180}{120} = 1,5$. Pero éste alcanza en el arranque

valores muy superiores, porque aumenta el esfuerzo de la caballería y disminuye la superficie de apoyo, puesto que, como expresa la fotografía, el casco apoya solo en el canto o arista delantera.

El firme de hormigón blindado permite al animal clavar el casco 3 a 5 mm. que es el desgaste que se produce alrededor de cada elemento de canto rodado y de canto machacado. (Fig. 6).

El círculo exterior de la herradura de este tipo tiene de diámetro 11 centímetros; la flecha de 7 mm., que permitiría penetrar en la junta de las piedras del blindado, corresponde a un arco que subtiende cuerda de

$$c = 2 \sqrt{F(2r - F)} = 2 \sqrt{0,007(0,110 - 0,007)} = 5,7 \text{ cm.}$$

El área correspondiente a este arco está expresada en valor aproximado por

$$A = \frac{2}{3} c F = \frac{2}{3} \times 5,7 \times 07 = 2,66 \text{ cm}^2$$

Al esfuerzo tangencial de 180 kilogramos que desarrola el animal resultaría, aun repartidas por igual

en las cuatro patas, $\frac{180}{2,66 \times 4} = 16,9$ kilogramos por

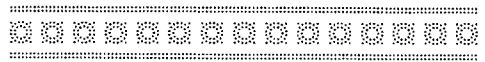
cm^2 . Este valor de la acción tangencial es pequeño para el blindado; pero es muy grande para el macadam cuyo aglutinante no resiste con el recebo co-

$$b = \sqrt{\frac{p}{(1 + 2f)p}}, \text{ en la que}$$

$$\text{para } \left\{ \begin{array}{l} p = 500 \text{ kgs.} \\ f = 0,75 \\ p = 60 \text{ kgs. por cm}^2 \end{array} \right\} b = 45 \text{ mm.}$$

valor muy aproximado al canto rodado mínimo, hallado para el blindaje para ruedas de llanta redondeada.

De las fórmulas anteriores se deduce así mismo, que deben desecharse como elementos de blindaje las cuñas de ángulo muy reducido y los cantos rodados de forma lenticular.



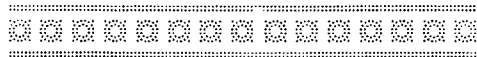
Acciones de las caballerías

Las fotografías adjuntas nos manifiestan la posición que toma la caballería al hacer el arranque, que es cuando adquiere el máximo valor su acción sobre el firme. La caballería, cuyo tiro sorprende la fotografía, pesa 380 kilogramos con aparejos; arrancó ella sola, en la posición que se fotografía, un carro de dos ruedas con peso propio 1.320 kilogramos y carga de yeso de 4.780, o sea, 6.100 kilogramos en total. El ensayo se hizo sobre hormigón blindado y sobre macadam silíceo de cuarzo común en tramos horizontales. En el blindado arrancó y marchó al primer empuje, sin el esfuerzo extraordinario y anormal que hubo de realizar para arrancar al tercer intento en el macadam.

La caballería, durante el arranque, clava o intenta clavar el corte del casco, tanea y hace el primer esfuerzo con pata trasera y delantera mientras las otras dos las tiene sentadas totalmente. La superficie de cada herradura de este tipo de caballerías es de unos 60 cm², de suerte que el peso transmitido es de



PATAS TRASERAS EN POSICIÓN DE ARRANQUE



Acción de choque

Al pasar la rueda de un elemento a otro del blindaje produce un choque, cuyo valor depende de la forma y distancia de aquellos; puesto que, como analizaremos después, conviene que existan estos huecos entre los elementos de la superficie para formar esta reticular con el fin de obtener el máximo de adherencia para las caballerías y ruedas tractoras de los vehículos mecánicos.

Cuando el blindaje está constituido con canto rodado, los huecos se forman naturalmente en la superficie.

En blindajes constituidos por piedra machacada, que tome la forma poliédrica, también se forman los huecos o sea la forma reticular, porque al tocarse las piedras, sus caras, que tienen menor lado o diagonal que el poliedro, han de dejar necesariamente huecos, aun poniendo las piedras en contacto, cosa que es sustancial hacer siempre en todo blindaje.

En caso de que la piedra se parta en forma de cuña, podría hacerse un pavimento de superficie concer-

tada, pero esto no se aconseja como sistema general; porque con piedras duras se hace resbaladizo al pulimentarse con el tránsito, disminuyendo con ello el coeficiente de tracción. En este caso, de piedra en forma de cuña, conviene que las caras cuadrangulares o triangulares, que quedan en la superficie, se unan formando malla reticular. (Fig. 4).

de piedra machacada es menos sonoro que el de cantos rodados, y, por consiguiente, más adecuado a las necesidades de las poblaciones. En las vías fuera de población será la economía y duración la que debe presidir en la elección.

En el kilómetro 226, hectómetros 8 y 9, de la carretera de Ocaña a Alicante, tenemos una demostración patente de lo que nos demuestra el cálculo y razonamientos precedentes. El tramo a que nos referimos tiene 0,045 de pendiente, lo construimos hace más de un año, con canto rodado en parte y piedra machacada en el resto. Es frecuente la circulación de toda clase de vehículos, de suerte que, en breve tiempo, puede hacerse la observación del aumento de ruido al pasar del tramo de blindado con piedra machacada, que es de basalto, al blindado con canto rodado, que es de cuarzo común.

Se observa, así mismo, en dicho tramo, que los animales encuentran seguridad en la adherencia de sus herraduras sobre los blindajes, tanto de piedra de canto rodado como de machacada.

El ruido sobre el blindaje de canto machacado es tan reducido, que se aproxima al que se produciría sobre un macadam perfecto.

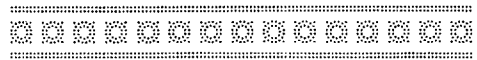
varios elementos de blindaje, tanto en sentido longitudinal como transversal, el apoyo o contacto se mantiene siempre según el plano de rasante de la vía o sea paralelo a la traslación del vehículo.

Las ruedas de carro serán las únicas que den componente horizontal de choque, porque su llanta es estrecha y no tiene mayor zona que la ocupada por un elemento.

La componente horizontal de la acción de choque es mayor en el canto rodado que en los blindados de piedra machacada, puesto que el obstáculo para producir el choque se presenta según la tangente del arco de cuerda x (pag. 23) en la rueda de radio R y elemento de calibre d . En el canto rodado la inclinación de la tangente es mayor a medida que crece d y disminuye R . En el blindaje con elementos de piedra machacada depende en su mayor parte de la junta, pues más del 90 % de aquellos tienen forma de cuña más o menos truncada.

Del análisis que precede se deduce la conveniencia de reducir la junta lo más posible. De consiguiente, en tramos horizontales pueden ponerse casi a tope los elementos de forma de cuña, y en tramos en pendiente debe reducirse la junta a lo suficiente para que la adherencia de las caballerías produzca el mayor coeficiente de tracción. Esta separación entre los elementos-cuñas puede ser un cm. hasta 5 % de pendiente y dos cm. máximo en los de pendiente superior a 0,03.

El ruido más o menos agudo, más o menos intenso, producido por los vehículos en los pavimentos, depende de la clase de material y de la acción de choque. Del análisis precedente, concordante con la experiencia, se deduce, que el blindaje con elementos



✓

Choque sobre los elementos de blindaje

Dibujemos la rueda y los elementos de blindaje en escalas distintas para que se vea claro (fig. 5). Al pasar del elemento e_1 al e_2 el choque será producido por la caída del punto b de la rueda, $a b'$. Como el hormigón se ha de desgastar entre b y b' , porque el mortero no resiste la presión de las ruedas, y las motoras de los camiones y automóviles limpian y proyectan todo lo movedizo, necesariamente ha de quedar el hueco $a b'$. La rueda rodará desde el contacto a sobre el elemento e_1 apoyándose sobre la superficie de éste, y después dará el golpe en b' , punto del elemento e_2 . La distancia que separa los puntos $a' b'$ en que la rueda toca a la vez los dos elementos, se determina uniendo los centros de éstos con el centro de la rueda. Denominando x esta distancia $a' b'$, hallaremos su valor en la expresión

$$\frac{x}{d} = \frac{R}{R + \frac{d}{2}}$$

siendo R radio de la rueda y d diámetro del elemento.

Para $d=7$ centímetros y rueda $R=90$ centímetros

$$x = \frac{7 \times 90}{90 + 3,5} = 6,7 \text{ centímetros.}$$

La caída está dada con bastante aproximación por la flecha F del arco cuya cuerda es d o sea

$$F = R - \frac{R}{R + \frac{d}{2}} \sqrt{\frac{2R^2 + d^2 + 2Rd}{2}}$$

y aproximadamente en función de x por

$$F = R - \frac{x}{d} \sqrt{\frac{2R^2 + d^2 + 2Rd}{2}}$$

La gravedad origina en esta caída una componente vertical cuya velocidad es por 1°,

$$V_1 = \sqrt{2gF}$$

Esta velocidad compuesta con la traslación V_2 del carruaje nos daría la resultante con la que habremos de calcular el efecto de choque. Pero lo que nos interesa en este análisis es el valor comparativo del choque en caso de piedra machacada y de canto rodado.

Por de pronto vemos el gran interés en que disminuya x , por varios conceptos perjudicial, pero sin hacerlo desaparecer, pues por otro concepto es conveniente que no descienda de un límite fijado por los elementos de las herraduras de las caballerías.

El canto rodado de 7 cm. da para $F=0,0006$, un valor aproximado, en rueda $R=0,90$.

La velocidad V_1 debida a esta altura es

$$V_1 = \sqrt{2gF} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,0006} = 0,1085 \text{ m}$$

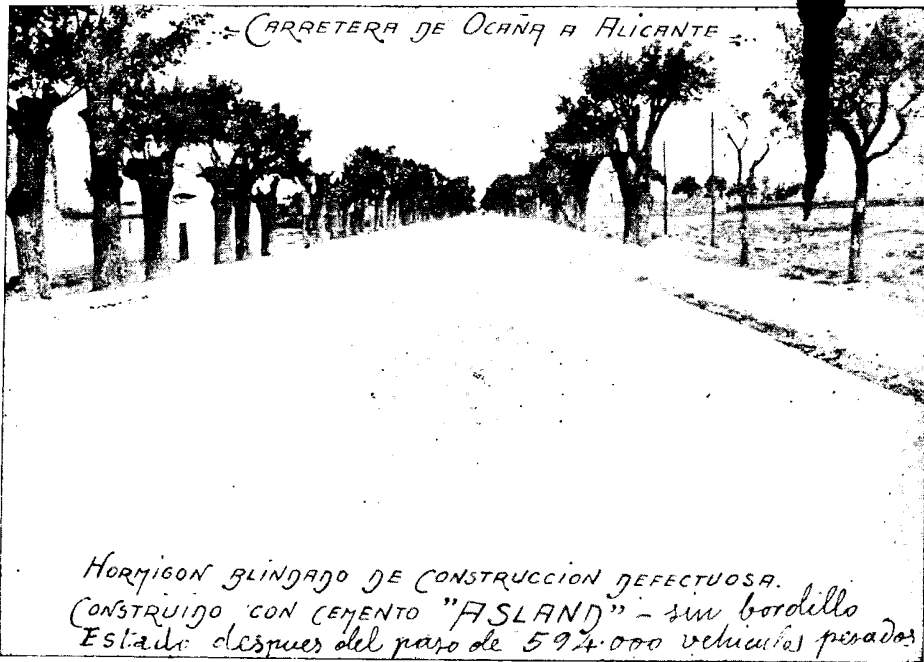
por segundo.

El choque correspondiente a esta velocidad da una componente vertical, para 3.000 kgs. de peso en la rueda, $Mv_1^2 - Mv^2 = 3000 \times 0,1085^2 = 3000 \times 0,11772 = 353,16$.

Si la piedra del blindaje fuera machacada y del mismo diámetro ($d=7$ centímetros) el hueco x se reducirá a unos dos centímetros y la flecha del arco, o sea la caída, se reduce a 0,00005 como máximo. La componente vertical del choque se reduce a $Mv_1^2 = 3000 \times 0,001176 = 3,13 \text{ kgm}^2$, o sea, undécima parte del producido con el canto rodado.

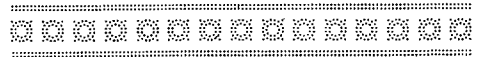
La acción del choque calculada es superior a la que producen los camiones, pues aun contando que la rueda de menor diámetro originaría una F mayor si fuera estrecha como la del carro; resulta que su anchura hará que se apoye en varios elementos a la vez, y no dejan descender a los huecos que están en su línea. Los muelles también amortiguan dicho efecto.

La componente horizontal de la acción de choque depende de la masa, de la velocidad de traslación del vehículo al mismo tiempo que de la posición del obstáculo. La circunstancia de ser los camiones y automóviles de llantas más anchas que los 7 cm., que es la máxima dimensión de los elementos de blindaje, nos permite asegurar que aquellos no encuentran obstáculos en éste, que les origine motivos de acción de choque. La razón es que al montar a la vez sobre



CARRETERA DE OCAÑA A ALICANTE

HORMIGON BLINDADO DE CONSTRUCCION DEFECTUOSA.
CONSTRUIDO CON CEMENTO "ASLAND" - sin bordillo
Estado despues del paso de 594.000 vehiculos pesados



Cálculo para llantas reglamentarias

Los cálculos y modos de construcción de firmes que hemos descrito, se refieren a los diferentes blindajes convenientes y necesarios para sufrir cargas unitarias de carruajes con llantas anormales por su forma y anchura.

Desde el momento que los carruajes tengan la llanta reglamentaria, el firme sufrirá cargas unitarias mucho más pequeñas, y los medios de defensa (blindaje), tienen una amplitud mayor. Estudiemos las acciones unitarias máximas en este caso y analicemos el modo de defensa.

Con el reglamento vigente es el carro de dos ruedas el que producirá las mayores presiones unitarias y de choque en vías de perfiles llanos, por lo cual interesa examinemos para éstas los fenómenos que se producirán y los modos de construcción. En vías de perfil llano, con suaves pendientes y curvas amplias, dos caballerías (tipo caballos y mulos grandes o vacuno) pueden arrastrar en pequeños trayectos 4 toneladas, comprendido el peso del carro, en vehículos de

Gregorio Barrios

dos ruedas. Siendo 8 cm. la anchura de la llanta reglamentaria, resultará $\frac{2000}{8} = 250$ kgs. por cm. de llanta la presión sobre el firme.

A esta presión parece que han de resistir los hormigones ricos de cemento portland. En efecto, de cualquier modo que se suponga constituido el hormigón, siempre que los elementos del árido sean gravas o gravillas de 2 cm. de dimensión mínima, y 7 centímetros máxima, ocurrirá el fenómeno como describimos a continuación en el caso más desfavorable. Si empleamos gravas y gravillas clasificadas para obtener la mayor compacidad en el hormigón de la capa superior (siempre supongo dos capas por lo menos, una inferior de repartición y otra superior de desgaste), ocurrirá necesariamente que entre los elementos *A* y *B* de 4 a 7 cm. de diámetro se coloquen otros de 2 cm., o menores, para formar la superficie (Fig. 8). Si la llanta es curvada tocará uno o dos elementos; éstos reciben y transmiten una presión superior a la carga de rotura del mortero de cemento, y, al pulverizarse, quedan sueltos los elementos del árido, los cuales serán removidos por las ruedas de los camiones; proyectando éstos los elementos pequeños, originan el bache de lado o boca *A B*. Este es suficientemente grande para dar un valor de choque que produce el quebrantamiento del cemento que aglutina los elementos *A* y *B*, agrandando el bache. Otras veces no toma el valor de *A B* longitud bastante para quebrantar el aglutinante de *A* y *B*; pero resultará un bachecito en el es-

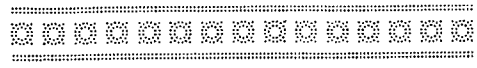
NOTA.— Pruebas realizadas por el que suscribe permite asegurar que una caballería arrancaba y marchaba en horizontal sobre firme blindado tirando de carro con 6 toneladas de peso total.

poliédrica aproximada a la esférica y una cuña, el hueco conveniente se deduce necesariamente al ponerlas en contacto. Por tanto, la orden puede ser ponerlas juntas como para el canto rodado.

Tan pequeño número de ideas para el obrero, permite hacer el blindaje más sencillo de lo que se creen los que solo lo conocen por mis publicaciones.

La terminación de cada tarea debe hacerse completa y en un plano vertical. Al efecto se coloca un tablón con su cara vertical, sujeto con unas piedras, o cualquier otro medio, por la parte opuesta al lado de blindaje; se termina la operación junto a este tablón, acuñando los elementos hasta que formen una línea recta. Del mismo modo se hace la operación lateralmente, cuando los blindajes se ejecutan en dos mitades del ancho de vía.

El modo de ejecución del blindaje con piedra machacada es el mismo que el descrito en la primera parte de «Teoría y práctica del Hormigón blindado», en la que hacemos la descripción para el canto rodado en el epígrafe «Blindaje».



Cálculo para llantas reglamentarias

Los cálculos y modos de construcción de firmes que hemos descrito, se refieren a los diferentes blindajes convenientes y necesarios para sufrir cargas unitarias de carruajes con llantas anormales por su forma y anchura.

Desde el momento que los carruajes tengan la llanta reglamentaria, el firme sufrirá cargas unitarias mucho más pequeñas, y los medios de defensa (blindaje), tienen una amplitud mayor. Estudiemos las acciones unitarias máximas en este caso y analicemos el modo de defensa.

Con el reglamento vigente es el carro de dos ruedas el que producirá las mayores presiones unitarias y de choque en vías de perfiles llanos, por lo cual interesa examinemos para éstas los fenómenos que se producirán y los modos de construcción. En vías de perfil llano, con suaves pendientes y curvas amplias, dos caballerías (tipo caballos y mulos grandes o vacuno) pueden arrastrar en pequeños trayectos 4 toneladas, comprendido el peso del carro, en vehículos de

8
Gregorio Balmori

metro cuadrado, en función del jornal-hora j_p de peón ordinario, puede expresarse por

$$c = \alpha j_p + 0,20 \alpha j_p = 1,20 \alpha j_p$$

en cuya expresión, el primer término hace relación a la ejecución material y el segundo comprende los gastos generales.

El coeficiente α , variable con las condiciones del obrero, con los obstáculos que ofrezca la circulación y con el tamaño de los elementos del blindaje, oscila entre 4 y 4,4 para el blindaje con piedra machacada, y entre 3,60 y 4 con elementos de canto rodado.

A medida que el tamaño del canto disminuye, aumenta el coste de su colocación, de suerte que, el coeficiente superior corresponde al tamaño menor y a las circunstancias más desfavorables de circulación y obrero.

El coste de la mano de obra precedente, supone los materiales al pié de obra. No comprende el alumbrado y vigilancia nocturna.

El repicado, igualación, y extracción de productos de la caja son tan variables, que no pueden calcularse y condensarse en fórmulas y coeficientes, pero están limitados en muchos casos a un relleno con productos de escarificación y su apisonado.

Si el terreno es de tal naturaleza que exige una tercera capa de hormigón en la parte inferior, ésta será de hormigón pobre, cuyo coste de mano de obra por metro cuadrado puede expresarse por

$$c_1 = e [20 j_p + 5 j_a] ,$$

en la cual e es el espesor en metro de la capa, j_p jornal-hora del obrero y j_a jornal-hora del albañil.

Bordillo.—Aunque la experiencia me demuestra que el bordillo no es absolutamente preciso, porque resiste bien el blindaje sin él, juzgo que el aumento de coste que origina, produce un elevado interés, por cuanto disminuye el coste de conservación de paseos y limita la zona de circulación, produciendo el efecto de parecer más ancha la vía. En efecto, el bordillo, con las maestras longitudinales, dividen la vía en zonas de líneas paralelas, producen el efecto visual de carriladas, y los animales de tiro, al colocarse entre dos de estas líneas, siguen sin apartarse de ellas. De este modo consigue el carretero que los carros vayan siempre por su derecha sin esfuerzo por su parte, cosa imposible de conseguir si no existen estas líneas directrices.

Por esta razón, no aconsejo hacer desaparecer este efecto de visualidad de carrilada de las maestras longitudinales, sino por el contrario, disponer su ordenación, distribución y aspecto de tal suerte, que las zonas en que se divida la vía, sean las convenientes a las de circulación de los carruajes y automóviles. Ellas indicarán claramente la prudente o imprudente actuación de los conductores de automóviles, cuando cruzan con otros vehículos a gran velocidad.

El coste del metro lineal c_1 , de mano de obra del bordillo blindado, puede expresarse en función del jornal-hora del peón ordinario j_p y del jornal-hora j_a del albañil por la fórmula

$$c_1 = 1,20 [2 \Sigma j_p + \Sigma j_a]$$

en la que el coeficiente Σ varía entre 0,50 y 0,70.

Coste de la mano de obra

Reduciré el estudio al hormigón blindado con 15 cm. de espesor total, porque éste será suficiente en la generalidad de los casos, en razón a que se aproxima la fecha en la que los carros adoptarán la llanta reglamentaria, y, por consiguiente, los cálculos precedentes tienen un margen previsor, conveniente ante la tendencia lógica de aumentar la carga.

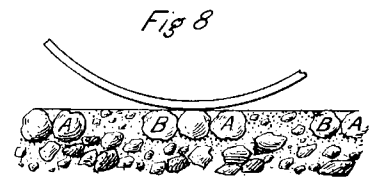
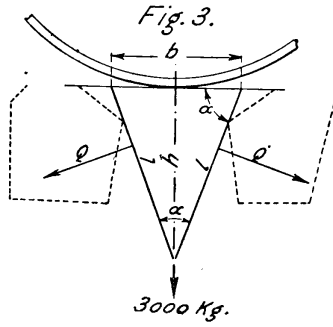
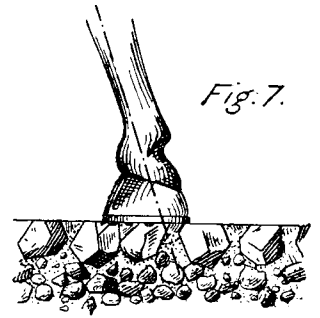
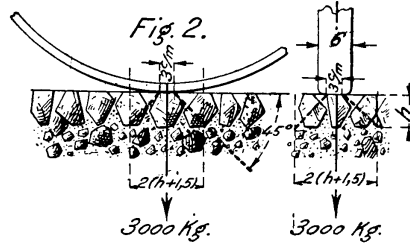
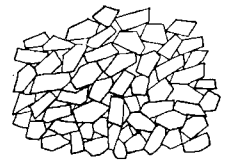
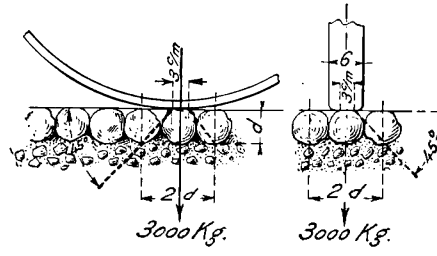
Dichos 15 cm. de espesor se distribuyen: en una capa inferior de repartición de presiones de 8 a 9 centímetros de gruesa, formada con hormigón constituido con 800 litros de grava o gravilla, 400 litros de arena, y 200 a 250 kgs. de cemento portland artificial; otra capa superior de blindaje, de espesor 6 a 7 cm., constituida con elementos de 5 a 7 cm. de calibre, sumergidos en mortero constituido por 400 a 500 kgs. de cemento portland artificial en un metro cúbico de arena.

Organizada una cuadrilla, que puede estar constituida por 12 a 14 hombres a las órdenes de un capataz, ejecutarán una cantidad de obra, cuyo coste *c* por

Gregorio Banno

Fig. 1. Lámina 1^a.

Fig. 4.



produciendo de esta manera rasantes puras en todo el ancho de la vía. Insisto, por consiguiente, en la conveniencia de hacer maestras longitudinales según las rasantes de la vía.

Otras observaciones dignas de tenerse en cuenta en el blindaje.—La masa de mortero conviene que tenga consistencia normal. La masa muy fluída tiene el inconveniente de que al hacerse el apisonado no puedan dejarse puras las rasantes, porque el peón que lleva el pisón, al pisar, producirá baches iniciales. Debe hacerse el descenso de los elementos del blindaje por virtud de un apisonado enérgico, de tal suerte, que al pisar sobre ellos, en la proximidad de su situación definitiva, no desciendan bajo el peso del hombre encargado de apisonar.

El operario encargado del pisón debe ser el más inteligente y cuidadoso, del que depende en gran parte la pureza de la ejecución. Por lo demás, con un capataz inteligente todos los peones son capaces de poner elementos de blindaje, puesto que es muy pequeño el número de ideas que han de adquirir para su obra.

Con el canto rodado el peón que pone elementos solo necesita dos ideas en su mente, cuales son: poner juntos los cantos y no poner cantos de forma lenticular.

Con la piedra machacada el peón que pone elementos de blindaje solo necesita tres ideas: poner cara en la superficie o sea no poner puntas ni cortes, desechar las lajas o piedras de menos de dos dedos, dejar huecos de medio dedo.

En realidad esta última no precisa, porque es difícil que le vengan a la mano varias cuñas seguidas, y desde el momento que están juntas dos piedras, una

pacio *A B*, que es algo molesto. Cuando el número de estos bacheitos es grande, resulta molestísimo el tránsito por las repetidas sacudidas, aun no tomando valor considerable.

Si la llanta es plana y de ancho reglamentario, la presión unitaria será $\frac{2000}{(8+4)(4)} = \frac{2000}{48} = 41$ kilogramos por cm.^2 (Fig. 9); cuyo valor está comprendido dentro del coeficiente práctico de trabajo del mortero de cemento aglutinante. Esto quiere decir, que donde las llantas sean planas y ancho reglamentario, el hormigón ordinario resistirá, siempre que los elementos-gravas del árido sean piedras duras y tenaces de 2 cm. de diámetro para mezclas de cemento portland aglutinante de 300 a 400 kgs. por m. c. de arena.

Blindado en caso de llantas reglamentarias.—¿Quiere significar, que desde el momento que los carruajes tengan llantas reglamentarias no precisarían los firmes de hormigón blindado, puesto que los de hormigón americano con piedras duras y tenaces son suficientes?

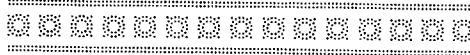
Esto es lo que se deduce del cálculo matemático expresado, y éste, a su vez, nos explica por qué en América ha dado resultado el hormigón. Pero si observamos que las deficiencias observadas en el hormigón americano desaparecen totalmente en el hormigón blindado, se comprende que, por el contrario, no debe hacerse en general firme de hormigón sin la protección del blindaje. En efecto, en el hormigón en masa se presentan grietas que son el origen de su muerte; en el blindado no se presentan grietas.

En segundo lugar, la colocación de los elementos del árido, incluso por tamaños regulares, según las

reglas del cálculo expresadas, tienen perfecta adaptación en el hormigón blindado; pero en el hormigón en masa no solo no se colocarán los elementos del árido en la superficie, según sus tamaños, y en líneas rectas de rasante, sino que casi con seguridad se formarán zonas en las que el árido grueso se agrupe en puntos determinados y el mortero se agrupe en otros de la superficie en la forma descrita y en la que expresa la fig. 8.

Con ésta a la vista, expresión de la realidad pura, se comprende que las zonas *A B* de la superficie, formada por elementos áridos pequeños, al sufrir los golpes de choque de los cascos de las caballerías al trote, y bajo la presión de los carros, se pulverizarán; porque las presiones son próximas al límite, o superiores a la carga de rotura; se forman en tiempo relativamente corto los nidos o baches *A B*, los altos *BA*, y, como consecuencia, una superficie de rodadura molesta para el tránsito ligero, con motivos de producción de repetidas sacudidas (choques) destructores del firme y de los carruajes, tanto pesados como ligeros.

Experiencia.—En 300 m. de la Carretera de Albacete a Jaen, kilómetro 1, ejecutado por administración y en la de Ocaña a Alicante, estos fenómenos se han comprobado totalmente. La característica fundamental del hormigón blindado es precisamente evitar estos efectos con la defensa de la superficie, poniendo los elementos en contacto íntimo, con dimensiones adecuadas a las cargas que han de transmitir al mortero, y tangentes a las rasantes de la vía. (Fig. 10). En tercer lugar, es digno de tenerse en cuenta la facilidad de conservación del blindado y la dificultad en el firme de hormigón en masa.

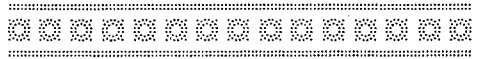


X

Blindajes defectuosos

En el curso de mis investigaciones he realizado blindajes defectuosos, que conviene conozcan los profesionales para que no caigan en la tentación. El grabado «Blindaje defectuoso», que acompaña a esta obra, tiene más de tres años, ha sufrido el paso de más de 400.000 carros de transporte y resiste perfectamente sin desgaste apreciable; pero la rodadura sobre él es algo molesta. La razón está en su modo de ejecución cuyo análisis interesa: la ejecución se hizo poniendo maestras transversales cada tres metros, haciendo el relleno del espacio intermedio y apisonando, guiados por una regla que se apoyaba en las maestras. Tan gran distancia entre éstas imposibilita hacer puras las rasantes; porque el que lleva el pisón tiene los puntos de referencia muy alejados y necesariamente produce altos y bajos, o sea, los bacheos iniciales que se ven en el grabado. Por esta causa se sustituyeron por maestras longitudinales separadas 60 a 70 cm., con la cual el pisón de 30 a 40 cm. de ancho tiene punto de referencia y apoyo inmediato,

rendimiento de la vía como instrumento de economía nacional. El firme blindado, por su construcción económica, está al alcance del erario del Estado y de muchos municipios. Por la estructura de sus elementos y el estudio detallado de las herraduras de las caballerías que circulan (Lámina 3), permite obtener el máximo coeficiente de tracción en las pendientes, que son los puntos críticos de rendimiento de una vía. El hormigón blindado es aplicable a las máximas pendientes normales en las vías, circunstancia que le hace de una aplicación general, lo que no han conseguido los adoquinados y asfaltados ni ningún otro firme especial.



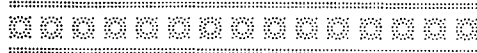
VIII

Conservación

Conservación del hormigón en masa.—En los firmes de hormigón sistema americano, el número de espacios *A B*, o sea, el número de baches que se forman, es considerable con el tiempo; su profundidad tan variable como los elementos que lo integran. De aquí nace la dificultad considerable de reintegrar la superficie a sus líneas de rasante rectas y puras, y como consecuencia, el firme, al cabo de un tiempo más o menos largo, dependiente de la naturaleza del tráfico, está formado por una superficie de molesta circulación; porque sus baches, aun pequeños, no se pueden sortear por lo numerosos. La desaparición de tan gran número de baches es difícil de ejecutar con esmero.

Conservación del hormigón blindado.—En el hormigón blindado los baches que se forman, siempre por defecto de construcción, son un pequeño número; tan destacados y concretos que hacen sumamente fácil la conservación. Es más, no llega a formarse el bache si el peón encargado es un poco cuidadoso. Los baches se forman por lo expresado en

el cálculo: bien la masa de cemento se hizo mal y el mortero no alcanzó el coeficiente de resistencia a la presión o al choque; bien los elementos del blindaje son de calibre menor que lo que exige el cálculo y transmite al mortero presiones de pulverización; bien el elemento es malo, tiene pelos, es quebradizo; bien la masa de blindaje no fué suficiente para refluir de abajo arriba y quedaron los elementos mal aglutinados desde su fondo hasta por encima de su plano diametral; no resiste, en una palabra. En todos los casos citados, que son los únicos observados, el bache, mejor dicho, lo que podrá ser bache, se forma quebrantándose el mortero; los elementos quedan allí sueltos, no salen, forman como un macadam medianamente apisonado, los vehículos no sienten el efecto de bache, sino el efecto de faltarles el sólido punto de apoyo que distingue al blindado. Siendo los elementos del blindaje de dimensiones determinadas de 4 a 7 centímetros, el quebrantamiento alcanza una cantidad concreta que es de 5 a 8 cm., esto es, poco más que el grueso del elemento de blindaje si nace de su mala calidad, o falto de dimensiones; bien alcanza la profundidad de la capa de blindaje, si depende de la mala calidad del elemento, o del mortero que lo aglutina. De todas suertes, está tan bien limitado en su profundidad, como en su superficie, la iniciación del bache, que para su reparación, el peón hace fácilmente lo siguiente: saca los elementos sueltos del blindaje, cuyo mortero aglutinante esté quebrantado; repica el fondo y tantea los bordes por si el mal se extiende algo más de lo descubierto por el tránsito; entre tanto, si le acompaña otro peón, prepara los materiales necesarios para la reparación, que pueden ser solo arena y cemento fundido, o éstos y elementos de blindaje,



1X

Aplicaciones

El blindado con piedra machacada abre un horizonte muy amplio a las pavimentaciones de poblaciones de 2.º, 3.º y 4.º orden y calles en pendiente de las de primer orden; pues pudiendo hacerlo hasta con calizas duras, azuladas o negras de las épocas primaria y secundaria, pueden obtenerse en muchos casos pavimentos de mitad o menos del precio de los adoquinados con iguales condiciones de tersura, menor sonoridad y mayor coeficiente de tracción.

El hormigón blindado ha de resolver el problema de los pavimentos de carreteras. En efecto, la mayor parte de las provincias tienen de un 5 a un 20 % de kilómetros en los que «no es posible hacer una buena conservación por lo costosa y deficiente» (frase de don Blas Sorribas, Jefe de Barcelona) con el firme macadam. Ni el empleo del adoquinado, ni el del asfalto, resuelven el problema por su coste elevado; porque en las pendientes resbalan las caballerías, en tiempo lluvioso patinan los camiones, disminuye enormemente el coeficiente de tracción, y, por tanto, el

bles ventajas, si puede elegirse piedra que no se pulimente, porque pueden calcularse los tamaños de machaca y los intersticios de las mismas en el blindado, adecuados a la naturaleza de las herraduras de las caballerías de tiro, de tal suerte, que éstas encontrarían una superficie de adherencia que les permita el esfuerzo máximo.

4.º En la pavimentación de poblaciones es preferible la piedra machacada, porque es casi insonora.

si los que se han sacado del bache son de mala calidad; repicado el bache y formando un mortero de 400 a 500 kgs. de cemento fundido por metro cúbico de arena, se procede a blindar el bache, apisonándolo hasta que queden los elementos del blindaje tangentes a la rasante. Para comprobar esto el peón irá provisto de una regla, que colocará longitudinalmente en todas posiciones del bache, o transversalmente apoyada en las maestras con el fin de comprobar: *que ningún elemento del blindaje queda saliente, ni hundido, sino tangente a la regla, que será la de la rasante.*

En esta operación, como en la del blindaje, es fundamental que el mortero refluya de abajo arriba hasta rellenar todos los huecos; pues la lechada con que se termina la operación solo debe servir de enlucido, y, por si quedó falto de masa algún hueco superficial. Una vez terminado el bache se le rodea de un poco de arena de la que ha de reservarse para estas operaciones de conservación, con el fin de que los vehículos respeten el paso sobre aquel. A las veinticuatro horas se retira la arena para reservarla para otras operaciones, o se la extiende si no aprovecha, con lo cual el tránsito queda libre en toda la anchura. Estos pequeños hormigueros (este aspecto suelen presentar) no molestan al tránsito, pues si el peón es cuidadoso no deben dejarse que los baches alcancen 20 cm. y los hormigueros 50 a 60 cm. de diámetro. Desde luego se observa en la descripción hecha, que es indispensable, en la conservación, el empleo del cemento fundido u otro cemento que se invente, que adquiera rápidamente las condiciones de resistencia y estabilidad debida. Claro está que la aspiración sería que aún fuera mayor, que en el cemento fundido actual, la adquisición de condiciones mecánicas; con ello

desaparecería toda molestia, aunque la actual es ya pequeña.

Resumen del análisis comparativo entre el firme de hormigón en masa y el blindado.—

El estudio que acabamos de hacer, que avala la experiencia y consolida el raciocinio, nos dice, que en todos los casos debe preferirse el hormigón blindado al hormigón en masa; porque el coste difiere muy poco en ambos; porque la duración de la bondad de la superficie puede ser permanente en el blindado con solo atención ligera, y desaparece en absoluto, al cabo de cierto tiempo, con el sistema de hormigón en masa, cubriéndose de innumerables bacheitos de difícil corrección; porque la conservación es tan sencilla en el sistema de hormigón blindado, que no es comparable a ella ni aún la del macadam; porque la formación de baches o destrucción en el blindaje tiene explicación matemática y precisa en cuanto a sus causas y, por tanto, encuéntrase el remedio concreto; por último, porque teniendo un capataz o peón atentos a la observación de los quebrantamientos, no llegan a formarse nunca verdaderos baches, y, por tanto, no se producen molestias al tránsito en el hormigón blindado (algunos elementos o grupos de elementos del blindaje se han mantenido quince días y un mes con el mortero quebrantado y no han salido de sus asientos y, por tanto, no han formado verdadero bache; claro está que este descuido, que está bien para hacer observaciones, no debe imitarse en una buena conservación).

Ventajas e inconvenientes de cada blindaje.—

Aunque la cuestión económica es la que decidirá en general sobre el empleo del canto rodado o la piedra machacada para el blindaje del hormigón, conviene conocer las ventajas e inconvenientes de cada uno

con relación al otro para elegir, según sus propiedades, en los casos en que aquella no sea lo fundamental.

Del análisis que hemos hecho y de la observación de los blindados con canto rodado y piedra machacada, que hemos ejecutado, parece deducirse lo siguiente:

1.º Los blindados con piedra machacada tienen sobre los de canto rodado la ventaja de mayor suavidad en los movimientos de los vehículos, disminuyendo hasta el mayor extremo $\left(\frac{1}{11}\right)$, los efectos destructores de choque, cuya circunstancia permite el empleo de piedras de menor tenacidad.

2.º Los blindados con piedra machacada tienen sobre los de canto rodado el inconveniente de su colocación, puesto que es preciso no dejar vértices de la piedra machacada en la superficie. Estos vértices, si la piedra es muy dura (pedernales, cuarcitas, etc.) y se parten según aristas y vértices muy vivos, pueden originar cortes en las cubiertas de caucho de los vehículos. En general, las piedras, al apisonarlas, tienden a dar cara plana en la superficie si la masa de la capa inferior está con consistencia normal. Puede corregirse el defecto de los picos repasando y quitando los salientes con una maltellina, operación poco costosa porque son muy poco numerosos. Con el canto rodado no tiene necesidad el capataz encargado de vigilar este defecto. (Es notable, al decir de los usuarios de camiones, lo que aumentó la duración de cubiertas y muelles con el blindaje de los 13 kilómetros que tenemos en la carretera de Cuenca-Albacete al disminuir los baches del macadam que antes existía).

3.º En las pendientes elevadas puede tener nota-

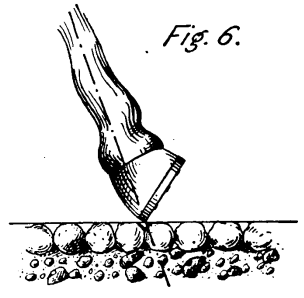
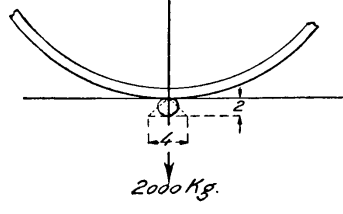
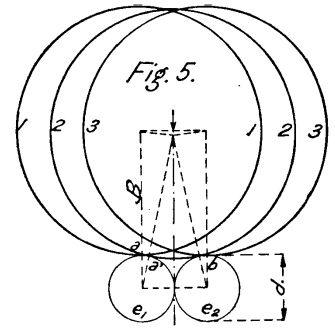


Fig. 9

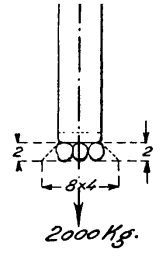


Fig. 10.

