

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

CARRETERAS

**Medios para evitar la formación de polvo
y de barro en los firmes de piedra partida.**

Ensayos verificados en los
Estados Unidos en 1907 (1)

Introducción.

Los procedimientos para evitar la formación de polvo y de barro en los firmes de piedra partida contribuyen también a su buena conservación, por cuya razón tienen mucha importancia para los Ingenieros encargados de este servicio.

Desde hace algunos años, además del alquitrán y del petróleo, se han propuesto otras varias sustancias para evitar la formación de polvo ó para disminuir los efectos del que existe sobre las carreteras, y con objeto de conocer el valor relativo de cada una de aquéllas, así como las condiciones y circunstancias en que su aplicación produce mejores resultados, la Dirección de Carreteras de los Estados Unidos ordenó la realización de una serie de ensayos con dichas sustancias, los cuales se verificaron durante el verano de 1907. Tanto por la escasez de recursos como por las dificultades que se presentaron para encontrar una carretera de condiciones convenientes para realizar en ella todos los ensayos proyectados, hubo necesidad de modificar el programa de aquéllos y de verificar éstos en tres localidades distintas. El presente trabajo es un breve resumen de los ensayos que se hicieron y de los resultados obtenidos.

ENSAYOS EN WAYLAND, MASS

Con alquitrán.

Habiendo sabido la Dirección de Carreteras que el Estado de Massachusetts iba á alquitranar una sección de la carretera de Boston, entabló negociaciones con él para realizar los ensayos en varios trozos de aquélla, llegando á un convenio, por virtud del cual el Estado citado proporcionaría los obreros y el material necesario, mientras que la Direc-

ción se encargaría del suministro de los materiales, de su empleo, así como de la inspección y vigilancia de los trabajos.

La carretera elegida para los ensayos se construyó hace unos diez años y ha sido poco atendida por lo que se refiere á su conservación; el firme está constituido con una mezcla de granito y toba. La sección en que habían de hacerse los ensayos corresponde á los distritos municipales de Weston y de Wayland y dista 26,7 kilómetros del centro de la ciudad de Boston.

La circulación de automóviles, de coches ordinarios y de carros tiene una importancia excepcional, razón por la cual el firme se encontraba en muy mal estado, tanto que en algunos sitios estaba completamente destruido; había muchas roderas, algunas hasta con 9 metros de longitud, con una latitud media de 50 centímetros y no pocos baches de superficie más ó menos parecida á la de un círculo; además, en todo el afirmado se observaban pequeñas depresiones, de las cuales eran arrastrados tan pronto como se formaban los materiales menudos producidos por la acción del tránsito. Las piedras que constituyen la capa inferior del firme aparecían sobre la superior de éste, donde se esparcían y permanecían sueltas, produciendo una superficie muy áspera y de efectos desagradables para los viajeros. Los automóviles, que circulan con mucha frecuencia, levantan, cuando el tiempo está seco, verdaderas nubes de polvo que perjudican, no sólo á la carretera, sino que también á las personas que viven cerca de ésta y á las fincas colindantes.

Se creyó que una carretera en semejante estado daría resultados más inmediatos que otra mejor conservada, por lo que se refiere al empleo de sustancias para evitar la formación de polvo y de barro, por cuya razón fué la elegida, sin dejar de reconocer por esto que el ensayo se haría en condiciones muy severas y que el coste habría de resultar más elevado que el correspondiente á un firme en estado de conservación corriente, tanto por los trabajos de reparación que había que ejecutar antes de aplicar el alquitrán, como por la mayor cantidad de éste que sería necesario emplear y por el mayor cuidado y esmero que exigía la extensión y arreglo de la capa final de recebo. Se eligieron varias secciones de la carretera antes mencionada, cuyo estado de conservación fuera próximamente el mismo, empleando en cada una de ellas una de las sustancias siguientes:

(a) Alquitrán procedente de la fabricación del gas de agua.

(1) Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos.—Dirección de Carreteras.—Circular núm. 89.—20 de Abril de 1908.

- (b) Idem íd. de la de carbón mineral.
- (c) Mezclas de las dos anteriores.
- (d) Alquitrán especial procedente del carbón mineral.

Al alquitrán (a), cuyo aspecto era el de un aceite claro, fué suministrado por una Compañía local al precio de 8,10 francos el barril de 227 litros puesto al pie de obra; la mayor parte del alquitrán necesario para el ensayo fué enviado en un vagón-tanque y el resto hasta completar el pedido en barriles. El alquitrán (b) también fué suministrado por una Compañía local al precio de 10,80 francos el barril de 227 litros, entregado en Wayland; contenía una cantidad apreciable de brea, porque se había fabricado á una temperatura relativamente baja. El alquitrán (d) se obtuvo gratis en barriles de 227 litros, pero hubo que pagar los transportes desde Boston hasta Wayland; no contenía agua ni los aceites extremadamente volátiles del alquitrán (a), pero sí bastante brea. En el Cuadro I se consignan el peso específico y los productos de la destilación correspondientes á los cuatro alquitranes antes mencionados, expresando los resultados en volúmenes y refiriéndose las observaciones del pie al momento en que las sustancias han adquirido la temperatura del ambiente:

CUADRO I

CLASE DE ALQUITRÁN	Peso específico	Agua en la cal.	Productos destilados hasta 170° C. Aceites ligeros.	Productos destilados entre 170° C y 270° C. Aceites pesados.	Residuo por diferencia.	TOTALES
Alquitrán de gas de agua.....	1,041	2,4	(a) 21,6	(b) 52,0	(e) 24,0	100,0
Alquitrán de carbón.....	1,210	2,0	(d) 17,5	(c) 26,0	(f) 54,8	100 0
Alquitrán especial.....	1,177	0,0	(b) 12,8	(g) 47,6	(f) 39,6	100,0

(a) Producto en su mayor parte líquido.—(b) Producto completamente líquido.—(c) Brea muy frágil.—(d) Producto en su mayor parte sólido. (e) Producto sólido en una mitad.—(f) Brea dura y frágil.—(g) Producto sólido en una tercera parte.

La mano de obra de los trabajos que exigían los ensayos fué contratada á los precios corrientes, bonificados en un 15 por 100. Los precios abonados por día de ocho horas fueron los siguientes:

	Francos.
Obrero.....	8,10 á 10
Una caballería de tiro.....	16,25
Dos ídem íd.....	27
Capataz.....	16,25
Cilindro de vapor.....	65

De los dos cilindros que se emplearon, uno pertenecía al Estado, por cuya razón el gasto de éste se reducía al jornal del maquinista, 13,50 francos, y al coste del combustible. Los elementos necesarios para verificar los ensayos eran una caldera para 12 barricas con su hogar montado sobre ruedas, escobas fuertes de las que se emplean para barrer las calles, picos, palas, etc., una barredera mecánica de dos caballos y un vagón tanque para el alquitrán.

En vista del mal estado en que se encontraba el firme de

la carretera, se empezaron los trabajos por los necesarios para hacer desaparecer todos los baches y roderas, esto es, efectuando una verdadera reparación, con objeto de que la superficie del firme estuviera completamente tersa y compacta antes de aplicar el alquitrán; en algunos trozos hubo necesidad de rehacer aquél por completo. La piedra para estos trabajos se tomó de la acopiada previamente en los paseos, pero su valor se tuvo en cuenta al calcular los gastos de la reparación del firme, los cuales variaron desde 0,17 á 0,22 francos por m².

El alquitrán se aplicó durante el mes de Agosto y únicamente cuando el tiempo era caluroso y seco, en la forma que se explica á continuación, salvo ligeras excepciones que se consignarán al describir cada ensayo en particular.

Se empezaba por barrer perfectamente el firme hasta quitar por completo el polvo y toda clase de detritus y materiales menudos, procediéndose á verter el alquitrán, frío ó caliente según los casos, tan pronto como se terminaba aquella operación. La caldera y el vagón tanque tenían un tubo flexible, por medio del cual se vertía el alquitrán, el cual se esparcía sobre el firme con escobas fuertes de mango largo manejadas por obreros. Como no era posible interrumpir el tránsito por la carretera, se cubría en seguida el trozo alquitranado con una capa de gravilla menuda, evitando de esta manera que los ruedas de los automóviles se llevaran consigo el alquitrán; lo mejor hubiera sido, desde todos los puntos de vista, dejar que esta sustancia se secara por sí sola antes de restablecer el tránsito. Por último, se extiende una capa abundante de recebo que absorba el alquitrán sobrante y se pasa un cilindro de vapor de 12 toneladas el número de veces que sea necesario para que la superficie del firme resulte tersa y compacta. La gravilla se tomó de varios depósitos inmediatos á la carretera al precio de 7,65 francos, de 12 milímetros el m³; también se hizo uso de detritus procedentes de una instalación para producir piedra partida situada á 6,5 kilómetros del sitio de los ensayos, las cuales se adquirieron al precio de 6 francos la tonelada.

Además de los trabajos propios del alquitranado hubo que hacer otros varios suplementarios, tales como el recogido y transporte á lugares convenientes del polvo extraído del afirmado, cuyo coste se cargó en la proporción conveniente á los gastos de los ensayos, así como el correspondiente á todos los demás trabajos de mayor ó menor importancia.

Se hicieron trece ensayos, cuatro con alquitrán procedente de la fabricación del gas de agua, tres con el procedente del carbón mineral, tres con mezclas de los dos anteriores y tres con alquitranes preparados de una manera especial. Á continuación se hace una descripción muy sucinta de cada uno de los ensayos, consignando sus costes respectivos y los resultados obtenidos al cabo de tres meses.

ENSAYO NÚM. 1.—Alquitrán del gas de agua.

La sección de carretera que se había de alquitranar se encontraba en bastante mal estado, con numerosos baches y roderas, por cuya razón, antes de aplicar el alquitrán, se barrió lo mejor posible y se reparó convenientemente, efectuando aquella operación antes que ésta con objeto de que las escobas no levantaran y arrastraran consigo la piedra recién empleada. El alquitrán se vertió sin calentarle previamente, esparciéndole con todo cuidado sobre la superficie del afirmado, que lo absorbió en muy poco tiempo, tanto que fué completamente inútil la capa de recebo con que se cu-

bió y sobre la cual pasó el cilindro de vapor varias veces. En vista de tal resultado, se extendió otra capa de alquitrán y la correspondiente de recebo para absorber el exceso de aquél, cilindrando á continuación, pero sin lograr que la superficie del firme quedara tersa y compacta, la cual ofrecía gran tendencia para desagregarse al paso del cilindro, es pecialmente en los sitios recién reparados; estos hechos hicieron temer que el ensayo no tuviera éxito; pero al cabo de algunos días de permitirse el tránsito se observó que mejoraba el estado general del firme, pero los baches y roderas reparados no consolidaban por completo. En tiempo húmedo apenas se formaba barro aun después de grandes lluvias, y en tiempo seco se observó que disminuía notablemente la cantidad de polvo, el cual no consolidaba por completo en el centro de la carretera, aunque adquiría la compacidad suficiente para no ser levantado por la acción del tráfico. Reconocido el firme á los tres meses de haber sido alquitranado, se apreció lo mucho que había mejorado en su estado general, así como que los baches y roderas reparados habían consolidado mucho mejor de lo que podía esperarse en los primeros días, encontrándose el firme en muy buenas condiciones y con una capa de polvo que prácticamente podía considerarse como nula.

La sección alquitranada tenía 390 metros de longitud por 3,70 metros de latitud, y recibió 4,90 litros de alquitrán por metro cuadrado, cantidad que habría sido mucho menor si el estado de conservación del firme hubiera sido mejor del que era. Los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Franco.
Mano de obra de aplicación del alquitrán.....	0,32
Alquitrán.....	0,17
Recebo.....	0,05
Reparación del firme.....	0,21
Transporte del polvo.....	0,10
Total.....	0,85

Se alquitranaron 1.420 metros cuadrados, se emplearon 7,90 metros cúbicos de piedra y se extrajeron 11,50 metros cúbicos de polvo y de materiales inservibles.

ENSAYO NÚM. 2.—Alquitrán del gas de agua.

La sección de carretera en que se hizo este ensayo se encontraba en un estado de conservación muy parecido al de la correspondiente al ensayo anterior, y si bien era un poco mejor, los gastos de reparación por metro cuadrado fueron próximamente los mismos. El alquitrán se aplicó una sola vez, se cubrió con recebo y se cilindró, observándose, como en el ensayo núm. 1, que las partes reparadas no consolidaban por completo hasta después de permitirse el tránsito, así como que por el paso del cilindro no se producía tendencia á la desagregación. Tanto en tiempo lluvioso como seco el firme se conservó en bastante buen estado, sin formarse polvo; al cabo de una semana las dos secciones alquitranadas tenían el mismo aspecto, diferenciándose por el color, que era más claro el de la segunda que el de la primera; á los tres meses continuaba la misma situación, con el firme sin polvo, aunque no tan consolidado como el de esta última. La zona sometida á la acción del alquitrán en este segundo ensayo tenía 38 metros de longitud por 3,70 metros de latitud, y recibió 2,18 litros de aquella sustancia por metro

cuadrado. Los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Franco.
Mano de obra de aplicación del alquitrán.....	0,32
Alquitrán.....	0,06
Recebo.....	0,05
Reparación del firme.....	0,21
Transporte del polvo.....	0,10
Total.....	0,74

Se alquitranaron 140 metros cuadrados de afirmado, sobre los que se extendieron un metro cúbico de recebo y se extrajeron 1,15 metros cúbicos de polvo.

ENSAYO NÚM. 3.—Alquitrán del gas de agua.

Este ensayo tuvo por objeto adquirir algún conocimiento sobre el poder aglomerante del alquitrán, para lo cual se eligió un trozo de carretera que tuviera bastante cantidad de polvo, y sin preparación previa alguna se regó abundantemente con alquitrán, en cantidad suficiente para que todo el polvo se impregnara sin transformarse en barro; la superficie alquitranada se abrió al tránsito sin tratamiento posterior y sin cubrirla con recebo. Después de seca, su color era mucho más oscuro y el polvo y el alquitrán habían formado una mezcla compacta, sin que al cabo de dos semanas hubiera vuelto á formarse el primero. Al cabo de tres meses podía observarse una ligera capa de polvo que los automóviles levantaban á su paso, así como que el afirmado había mejorado de condiciones, pues estaba más duro por efecto, sin duda alguna, de las sustancias que permanecían en él procedentes del alquitrán después de la evaporación de los productos volátiles de este último.

La sección de carretera alquitranada tenía 91,50 metros de longitud, 4,60 de latitud y recibió 1,60 litros de alquitrán por metro cuadrado. Los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Franco.
Mano de obra.....	0,04
Materiales.....	0,06

ENSAYO NÚM. 4.—Alquitrán del gas de agua.

Para realizar este ensayo se eligió un trozo de carretera de poca longitud, cuyo estado de conservación fuera bastante bueno, aplicando el alquitrán después de bien barrido el firme para comparar los resultados de este ensayo con los correspondientes al núm. 3. Después de vertido el alquitrán á razón de 1,30 litros por metro cuadrado, se extendió perfectamente bien con escobas duras, pero no se cubrió con recebo. El aspecto exterior del firme era muy parecido al del sometido al ensayo núm. 3, aunque más duro y áspero que éste, y, por lo tanto, menos satisfactorio, resultado producido por la falta de la capa de recebo; sin embargo, al cabo de tres meses tampoco se había formado polvo.

De los ensayos se deduce que cuando se emplea el alquitrán del gas de agua es muy conveniente que el afirmado tenga algo de polvo ó se cubra con una ligera capa de recebo.

La sección ensayada tenía 45 metros de longitud y 3,70

de latitud. Los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Franco.
Mano de obra.....	0,10
Materiales.....	0,05
Transporte del polvo.....	0,10
Total.....	0,25

La superficie alquitranada tenía 167 metros cuadrados y se extrajeron 1,40 metros cúbicos de polvo y detritus.

ENSAYO NÚM. 5.—Alquitrán del carbón mineral.

Para verificar este ensayo se eligió un trozo de carretera cuyo afirmado tenía bastantes roderas y baches, los cuales, después de bien barrido aquél, se repararon con todo esmero. El alquitrán se calentaba hasta 82° C en una caldera montada sobre ruedas provista de un tubo especial para verterle sobre el firme y arrastrada por dos caballerías; á la caldera seguían cuatro obreros con escobas fuertes, cuya misión era extender el alquitrán mientras que el capataz regulaba y dirigía la salida de aquel líquido é inspeccionaba el trabajo. En un principio se tendieron cuerdas para alinear con toda exactitud los límites de la zona que se alquitranaba; pero al poco tiempo dejaron de usarse, porque los obreros conservaban muy bien la línea á la vista nada más. Sobre el afirmado, y tan pronto como se había vertido el alquitrán, se extendía una capa de recebo que se cilindraba el mismo día hasta que la superficie quedaba consolidada y tersa, efecto difícil de conseguir en los baches y roderas reparados, los cuales siempre manifestaban tendencia á desagregarse y á adherirse á las ruedas del cilindro. Al cabo de una semana de verificarse el tránsito, los automóviles levantaban una ligera nube de polvo; pero á los tres meses podía considerarse que el afirmado no tenía polvo; su aspecto era muy parecido al de un pavimento de asfalto, exceptuando los baches y roderas reparadas que estaban algo ásperos; las aguas de lluvia escurrían perfectamente á las cunetas y el firme secaba muy pronto.

La sección alquitranada tenía 45 metros de longitud, 4,60 de latitud y recibió 3,25 litros de alquitrán por metro cuadrado. Los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Franco.
Mano de obra de aplicación del alquitrán.....	0,40
Alquitrán.....	0,16
Recebo.....	0,05
Reparación del firme.....	0,17
Transporte del polvo.....	0,07
Total.....	0,85

Se alquitranaron 209 metros cuadrados, se emplearon 1,50 metros cúbicos de piedra y se extrajeron 1,90 metros cúbicos de polvo.

ENSAYO NÚM. 6.—Alquitrán del carbón mineral.

Este ensayo se hizo en una forma completamente análoga al anterior, con la diferencia de que se empezó por verter una pequeña cantidad de alquitrán frío, que no fué absorbido por el firme ni fué posible extenderle sobre éste con las escobas, hecho que confirmó la necesidad de calentar el alquitrán á una temperatura superior de 63° C; empleado así,

dió resultados tan satisfactorios como en el ensayo núm. 5, pero con una dosis por metro cuadrado mayor que la de éste; tanto en uno como en otro, ni los baches ni las roderas repasadas consolidaron por completo. La sección de carretera alquitranada tenía 183 metros de longitud por 4,60 de ancho y recibió 3,80 litros de alquitrán por metro cuadrado. Los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Franco.
Mano de obra de aplicación del alquitrán.....	0,36
Alquitrán.....	0,18
Recebo.....	0,06
Reparación del firme.....	0,17
Transporte del polvo.....	0,07
Total.....	0,84

Se extrajeron 6,90 metros cúbicos de polvo, se emplearon 6,10 metros cúbicos de piedra y se alquitranaron 836 metros cuadrados.

ENSAYO NÚM. 7.—Alquitrán del carbón mineral.

Con objeto de obtener los mejores resultados posibles, este ensayo se hizo sobre un trozo de carretera sin baches ni roderas, aunque con la superficie del firme bastante áspera por efecto del desgaste. No se hizo trabajo alguno de reparación, se barrió perfectamente como en los dos ensayos anteriores, se vertió el alquitrán á la temperatura de 90° C y se extendió con escobas fuertes; terminada esta operación se echó una capa de gravilla, sobre la cual se pasó el cilindro de vapor varias veces. Al cabo de algún tiempo la carretera estaba algo polvorienta, y á los tres meses su aspecto era bastante mejor que el de las secciones correspondientes á los dos ensayos anteriores, aunque no tan parecido al de los pavimentos de asfalto; por lo que respecta al polvo, podía considerarse como que no le había.

La sección alquitranada tenía 137,25 metros por 3,65 metros de latitud y recibió 2,15 litros de alquitrán por metro cuadrado. Los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Franco.
Mano de obra de aplicación del alquitrán.....	0,29
Alquitrán.....	0,11
Recebo.....	0,09
Transporte del polvo.....	0,08
Total.....	0,57

Se extrajeron 4,10 metros cúbicos de polvo, se alquitranaron 500 metros cuadrados y se emplearon 6,10 metros cuadrados de recebo.

ENSAYO NÚM. 8.—Alquitrán del gas de agua y del carbón mineral.

Una sección de carretera cuyo firme tenía muchos baches y roderas fué sometida al mismo tratamiento que la correspondiente al ensayo núm. 2; ahora bien, como en el mismo día que se vertió el alquitrán no se pudo extender el recebo, y al siguiente era ya tarde, se aplicó alquitrán del carbón mineral en la misma forma que en el ensayo núm. 5, extendiendo sobre él una capa de recebo que se cilindró. Á los tres meses se reconoció el estado del firme, en el cual no se observaba la influencia que podía tener el alquitrán del gas de agua.

La sección alquitranada tenía 76,25 metros de longitud por 4,70 metros de latitud, y recibió 1,60 litros del primer alquitrán por metro cuadrado y 3,25 litros del segundo. Los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Francos.
Mano de obra de aplicación del alquitrán.....	0,38
Alquitrán.....	0,21
Recebo.....	0 07
Reparación del firme.....	0,47
Transporte del polvo.....	0,07
Total.....	0,90

Se extrajeron 3 metros cúbicos de polvo, se alquitranaron 348 metros cuadrados de firme y se emplearon 3,05 metros cúbicos de piedra.

ENSAYO NÚM. 9.—*Alquitrán del gas de agua y del carbón mineral.*

Puesto que el alquitrán del carbón mineral no se puede emplear satisfactoriamente en frío, se pensó que éste mezclado con el del gas de agua formaría un producto que se podría aplicar sin calentar y extender sobre el firme en mejores condiciones que el segundo alquitrán, por efecto de la mayor densidad de la mezcla. Se eligió para hacer el ensayo una sección de carretera cuyo firme, aunque áspero, no tenía baches ni roderas, el cual, después de bien barrido, fué tratado con una mezcla en frío de partes iguales de los dos alquitranes, que se extendía con escobas fuertes y se cubrió con una capa de recebo; la mezcla no tenía la densidad necesaria para que la superficie del firme adquiriera la compacidad y uniformidad convenientes desde el primer momento, pero después de cilindrada adquirió las condiciones de un buen pavimento para peatones y caballerías sin aumentar en lo más mínimo su resistencia á la tracción. Al cabo de tres meses apenas había polvo y el desgaste había disminuído.

La sección alquitranada tenía 171 metros cúbicos de longitud por 4,60 de latitud, y recibió 2,15 litros de mezcla por metro cuadrado.

Los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Francos.
Mano de obra de aplicación del alquitrán.....	0,20
Alquitrán.....	0,10
Recebo.....	0,03
Transporte del polvo.....	0,07
Total.....	0,42

Se extrajeron 6,50 metros cúbicos de polvo, se alquitranaron 780 metros cuadrados y se emplearon 6,10 metros cúbicos de recebo.

ENSAYO NÚM. 10.—*Alquitrán del gas de agua y del carbón mineral.*

Sobre un trozo de carretera de condiciones muy análogas al correspondiente al ensayo anterior, por lo que se refiere á su estado de conservación, se aplicó una mezcla formada con cinco partes de alquitrán del carbón mineral y cuatro del procedente del gas de agua, en la dosis de 2,70 litros por metro cuadrado, sobre la cual se extendió una capa de gravilla. El resultado de este ensayo no fué satisfactorio,

puesto que el firme se mantuvo en estado polvoriento durante bastante tiempo, y aunque su situación mejoró á los tres meses, sin embargo, no podía compararse, ni con mucho, con el del ensayo núm. 9.

La sección alquitranada tenía 305 metros de longitud por 4,60 de latitud; los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Francos.
Mano de obra.....	0,24
Alquitrán.....	0,11
Gravilla.....	0,03
Extracción del polvo y detritus.....	0,07
Total.....	0,47

Se extrajeron 11,50 metros cúbicos de polvo y detritus, se alquitranaron 1.390 metros cuadrados de firme y se emplearon 9,20 metros cúbicos de piedra.

ENSAYO NÚM. 11.—*Alquitrán especial.*

Este ensayo se verificó sobre un trozo de firme con mucho bombo, áspero, pero sin baches, el cual, después de bien barrido, recibió una mezcla de alquitrán del carbón mineral con el del gas de agua, con trementina y con otras sustancias á la temperatura de 93° C, sobre la cual se extendió una capa de gravilla menuda que se cilindró una ó dos veces, obteniéndose un firme parecido al pavimento de asfalto, sin polvo y que á los tres meses podía compararse muy favorablemente con el correspondiente á los ensayos anteriores; la superficie de aquél era dura y elástica y ofrecía menos resistencia á la tracción que la de estos últimos.

La sección alquitranada tenía 61 metros de longitud por 3,70 metros de latitud, y recibió 2,15 litros de mezcla por metro cuadrado. Los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Francos.
Mano de obra.....	0,30
Mezcla.....	0,17
Gravilla.....	0,11
Extracción del polvo y detritus.....	0,09
Total.....	0,67

Se extrajeron 1,80 metros cúbicos de polvo y detritus, se alquitranaron 223 metros cuadrados y se emplearon 4,2 metros cúbicos de piedra.

ENSAYO NÚM. 12.—*Alquitrán especial.*

Para realizar este ensayo se eligió un pequeño trozo de carretera, cuyo firme se encontraba en un estado tan malo que hubo necesidad de rehacer la capa superior, sobre la cual, después de cilindrada, se extendió gravilla menuda que también se cilindró. El alquitrán especial se vertió á la temperatura de 103° C, por medio de baldes, sin extenderle con escobas fuertes, siendo muy grande la cantidad absorbida por el firme, el cual se volvió á cilindrar después de echar la capa de recebo hasta consolidarle por completo. El aspecto de la superficie de aquél era muy bueno, sin observarse cantidad apreciable de polvo; al cabo de tres meses mejoró más aún, pero existían algunas manchas sin consolidar y ásperas, á través de las cuales había pasado el alquitrán hasta la caja del firme; en cuanto á polvo, podía considerarse que no le había. El ensayo demostró lo caro del pro-

cedimiento, sobre todo en relación con los resultados obtenidos.

La sección alquitranada tenía 23 metros de longitud por 3,70 metros de latitud, y recibió 8,15 litros de alquitrán por metro cuadrado. Los gastos por metro cuadrado fueron los siguientes:

	Francos
Mano de obra	0,96
Alquitrán	0,60
Recebo	0,21
Reparación (sin incluir la gravilla)	0,21
Extracción del polvo y detritus	0 08
Total	2,06

Se extrajeron 0,50 metros cúbicos de polvo y detritus, se emplearon 3 metros cúbicos de piedra y se alquitranaron 84 metros cuadrados.—Ω.

(Se continuará.)

TEORÍA DE LAS LÍNEAS DE INFLUENCIA

PARA EL CÁLCULO DE LOS PUENTES METÁLICOS

(CONCLUSIÓN)

1.º *Sección B, comprendida entre los focos.—Momento flector máximo positivo.*—Ya hemos visto que este máximo tiene lugar cuando el tren carga el tramo en el cual está la sección; para determinarlo se dibuja en papel transparente el diseño del tren, marcando en él perfectamente las verticales de los ejes. Este diseño se superpone al dibujo de la línea de influencia en el tramo en que está la sección (fig. 18) de manera que ocupe diversas posiciones; midiendo en cada una las ordenadas de la línea de influencia en los puntos donde graviten las ruedas del tren se tienen los valores $\Sigma P y$ y se ve en qué posición es mayor. Parece á primera vista que son necesarios muchos tanteos, pero no es así,

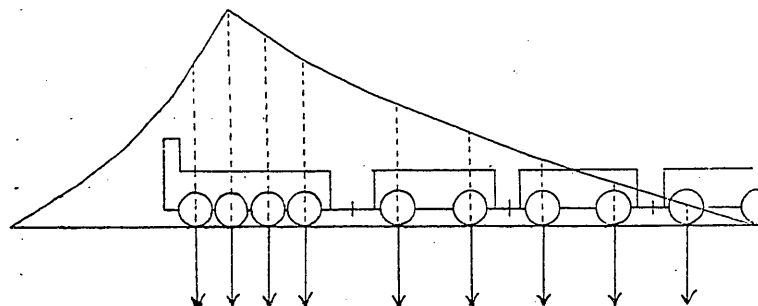


Fig. 18.

si se tiene cuidado de que siempre los ejes más pesados del tren caigan en la zona de curva de ordenadas mayores; además el número de tanteos se reduce también, teniendo en cuenta el siguiente teorema.

El momento flector máximo positivo en una sección comprendida entre los focos siempre tiene lugar cuando uno de los ejes cae sobre la sección.—En efecto, la expresión de este máximo viene dada por la fórmula (c)

$$\frac{dM}{d\lambda} = II F'_3(\lambda) + \frac{I}{2} F'_2(\lambda) + \Sigma P_2$$

observemos que al variar λ de una manera continua $\frac{dM}{d\lambda}$ varía también con continuidad (siempre que ΣP_2 permanezca constante, es decir, que ningún eje pase por la sección B), creciente ó decreciente según el signo de $\frac{d^2M}{d\lambda^2}$; pero como $\frac{d^2M}{d\lambda^2}$

$= II F''_3(\lambda)$, y $F''_3(\lambda)$ representa la recta correspondiente del diagrama de las z , que está precisamente en el tramo que contiene la sección, cuya recta tiene negativas todas sus ordenadas y por lo tanto la función $\frac{d^2M}{d\lambda^2}$ será siempre negativa y la $\frac{dM}{d\lambda}$ decreciente, por lo que mientras permanezca continua no podrá pasar por ningún máximo, y solamente al perder su continuidad, ó sea el variar ΣP_2 , será cuando podría tener un valor que sea máximo.

Repitiendo cuanto se ha dicho respecto á la sección B, ó un cierto número de secciones del mismo tramo (comprendidas entre los focos), y llevando sobre las verticales respectivas magnitudes lineales proporcionales á los momentos flectores máximos positivos, se obtendrá la curva de los expresados máximos.

2.º *Sección B, comprendida entre los focos.—Momento flector máximo negativo.*—Sabido es que este máximo aparece al estar el tren en uno de los tramos contiguos al que contiene la sección estando aquél en disposición de entrar en dicho tramo. Situado el tren en el segundo tramo (fig. 13), producirá en el tercero momentos flectores determinados en cada sección, por una recta que pasa constantemente por el foco de la derecha cualquiera que sea la posición del tren, de manera que cuando éste ocupe precisamente el sitio que ocasione el máximo momento flector negativo en la sección B, lo producirá también en todas las de-

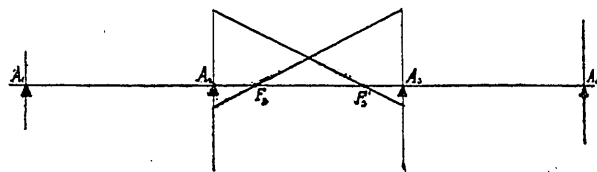


Fig. 19.

más del tramo comprendidas entre los focos, y, en consecuencia, la línea de los máximos negativos será una recta que pasa por el foco de la derecha del tramo, que recibe el nombre de *recta límite de primera especie*. Para dibujar esta recta conocemos desde luego un punto que es el foco; nos basta solamente hallar otro que se determinará por tanteos análogamente al caso anterior.

La posición del tren que ocasione los máximos negativos puede obtenerse también analíticamente igualando á cero $\frac{dM}{d\lambda}$ en las fórmulas (d)

$$II F'_1(\lambda) + \frac{I}{2} F''_1(\lambda) = 0,$$

pero como $\frac{I}{II} = r^2$ siendo r el radio de giro, la fórmula anterior se convierte en la siguiente:

$$(a) \dots F'_1(\lambda) + \frac{r^2}{2} F''_1(\lambda) = 0$$

$$F'_1(\lambda) = F'_1(0) + F''_1(0)\lambda + \frac{1}{2} F'''_1(0)\lambda^2.$$

Estas fórmulas son independientes del origen de coordenadas que se tome; vamos á suponer que este sea el foco de la izquierda del segundo tramo, entonces la ecuación de la recta correspondiente del diagrama de las z será $z = mx$, y por tanto

$$F''_1(\lambda) = -\frac{6m}{l^2}$$

$$F'_1(\lambda) = -\frac{6m}{l^2}\lambda$$

$$F_1(\lambda) = \frac{3m}{l^2}\lambda^2 + H$$

$$F_1(\lambda) = -\frac{m}{l^2}\lambda^2 + Hx + H'$$