

de presa deben ser proyectados y construídos por las Confederaciones Hidrográficas.

Veamos ahora lo relativo a su explotación.

En principio, parece plausible la idea de que la energía barata sea destinada a la fabricación de abonos y a electrificación de ferrocarriles; pero no debemos engañarnos acerca del precio de la energía; puede darse el caso de tener un buen salto de pie de presa excelentemente situado en medio de una región industrial, donde la energía tendría buena salida a siete u ocho céntimos el kWh, y si se destina a la fijación del nitrógeno con el pretexto de que su precio de coste es de menos de dos céntimos, no cabe duda que la Administración perdería una cantidad anual que puede cifrarse en varios millones. No pretendemos que el Estado se convierta en competidor de la industria hidroeléctrica privada, sino que, si como subproducto de la explotación hidráulica obtiene una mercancía que alcanza un buen precio en el mercado, no parece descabellado dedicar buena parte de estos ingresos a hacer posible la ejecución del plan hidráulico. Por otra parte, ¿para qué hacer depender la explotación del salto de la creación del Sindicato de Productores, de la interconexión de centrales, de la construcción de la tan cacareada red eléctrica nacional, de la instalación de las problemáticas fábricas fijadoras del nitrógeno y del beneplácito del Ministerio de Economía?

No se olvide que se pueden atravesar períodos en que por unas razones u otras el Gobierno se muestre remiso en la concesión de créditos para nuevos trabajos, y que algunos saltos de pie de presa pueden tener una importancia económica tal que su explotación industrial podría permitir la ejecución de las obras hidráulicas con muy poco, o ningún sacrificio por parte de la Administración; si ésta se empeña en dedicar los saltos para otros fines, podría retrasarse indefinidamente la ejecución de la obra de riego y entonces nos quedaríamos sin pantano, sin riegos y sin salto de pie de presa; habríamos matado la gallina de los huevos de oro antes de nacer; en este caso, ¿para qué queríamos abonos nitrogenados

si no tendríamos tierras para regar? El dilema puede llegar a ser éste: o el salto de pie de presa es para la Confederación o no hay tal salto.

En este mismo orden de ideas, y corroborando nuestra opinión de que muchos saltos deberían incorporarse al patrimonio de las Confederaciones y ser explotados por las mismas, debemos manifestar que, en nuestro concepto, todo debe sacrificarse al riego: primero, regar; luego, ya hablaremos. La energía de algunos saltos de pie de presa podría destinarse ventajosamente a elevar aguas para ampliar la zona regable, a expropiar algunos saltos situados aguas abajo del pantano y cuyas concesiones pueden estorbar la racional utilización del embalse, y a expropiar los saltos ocupados con el remanso, como en el caso concreto citado antes; puede darse el caso de que un pantano para riego resultase caro, y, en cambio, si se pudiese contar con los ingresos de la explotación del salto a los precios del mercado, fuese posible llevar a cabo la empresa de riegos.

Es una cuestión esta que no debe resolverse con normas generales; hay que estudiar cada caso particular con miras al bien general, y no dedicar a ferrocarriles e industrias químicas más que la energía verdaderamente residual, la que no sirva para otra cosa. No debe olvidarse que el Consejo de la Energía siempre podrá contar para sus fines con la cooperación que los usuarios industriales de aguas abajo, mejorados por la regularización, están obligados a aportar, pudiendo entonces esta cooperación ser percibida en forma de fuerza barata, que se podrá destinar a aquellos fines.

Como conclusión, nos permitimos apuntar que en nuestro concepto los saltos de pie de presa deben ser siempre estudiados, proyectados y construídos por las Confederaciones, y en cuanto a su explotación deben las Confederaciones nutrirse con sus productos siempre que esto redunde en beneficio de la riqueza agrícola. Esta es la ocasión para demostrar si realmente se desea que las Confederaciones tengan vida independiente, como se viene propalando desde las altas esferas.

J. CRUAÑAS
Ingeniero de Caminos

Un método para determinar las dosificaciones del hormigón asfáltico

Por estimarlo de interés para los numerosos lectores de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, relacionados con estos asuntos, me decido a distraer brevemente su atención, exponiéndoles el método preconizado por M. Hubert, ingeniero francés, especialista en firmes asfálticos, para determinar en cada caso particular las dosificaciones más convenientes para el hormigón asfáltico.

De todos es conocida la gran importancia del problema, pues aparte de la mala calidad de los productos empleados, o de la defectuosa elaboración del hormigón asfáltico, gran parte de los fracasos de esta clase de firmes han sido motivados por sus mal determinadas dosificaciones.

Aunque solamente fuese por la claridad con que

determina las funciones que en el interior del hormigón asfáltico han de desempeñar cada uno de sus elementos, resultaría interesante el conocimiento de este método.

Empezando por ocuparnos del cemento asfáltico (Asphalt cement, o A. C. de ingleses y americanos), elemento básico de esta clase de firmes, nos encontramos en primer lugar con el delicado problema de la determinación de sus grados de penetración, o sea, de la plasticidad adecuada al clima y lugar en que se ha de emplear.

Físicamente ha de actuar el cemento asfáltico al ligar entre sí los diversos elementos pétreos, grava, arena y polvo llenador (*filler* de ingleses y americanos), que, junto con aquél, constituyen el hormi-

gón asfáltico, y, por tanto, sus propiedades físicas han de ser las únicas realmente interesantes. Su composición y propiedades químicas, nos indicarán el grado de inalterabilidad de sus propiedades físicas.

Siendo la función principal del cemento asfáltico el ligar entre sí los elementos pétreos constitutivos del hormigón asfáltico, es indudable que la más importante de sus cualidades físicas ha de ser su adherencia con aquéllos que, a su vez, depende de su plasticidad, o sea, de sus grados de penetración.

El primer problema que, por tanto, se presenta es el de la determinación de los grados de penetración del cemento asfáltico para conseguir que, como se

pondientes a otro betún asfáltico de cualquier naturaleza o procedencia.

Por ser de todos conocidos y por no extenderse demasiado, no se describen los métodos y aparatos denominados de la bola y el anillo, del cubo (Hutchinson), de Kraemer-Sarnow, etc., etc., con que se determinan las temperaturas de fusión, reblandecimiento y congelación correspondientes a cada penetración, o sean, los puntos de las curvas análogas a las de la figura 1.^a

Fijadas con estas curvas a la vista la penetración más conveniente, o sea, las proporciones en que se han de mezclar el betún asfáltico con el aceite flui-

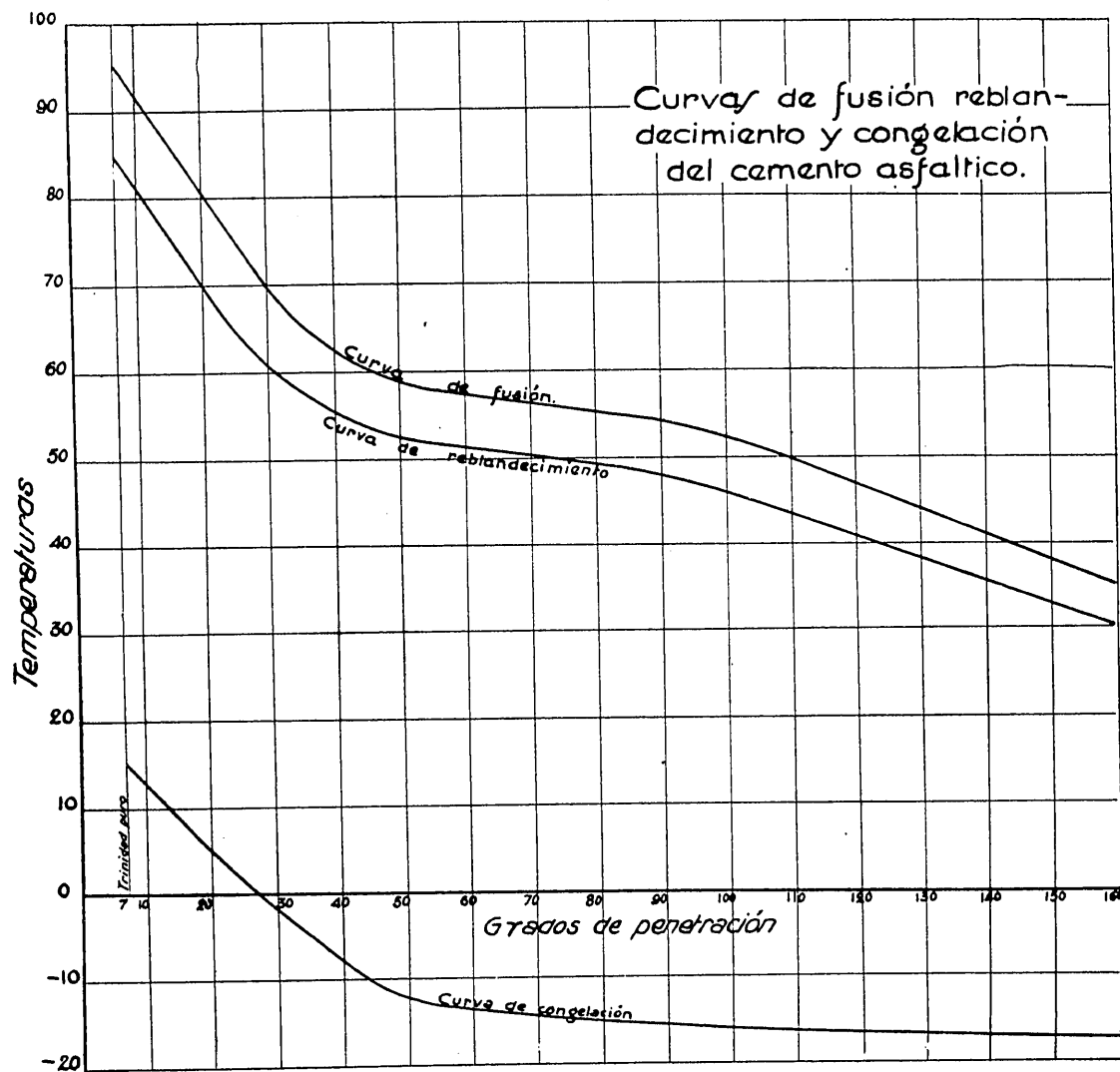


Fig 1.^a

ha indicado anteriormente, resulte adecuado al lugar y clima en que se ha de emplear.

Mediante curvas de congelación y reblandecimiento análogas a las de la figura 1.^a, con sólo conocer las temperaturas extremas que ha de sufrir el firme, se puede determinar racionalmente la penetración más conveniente en cada caso, teniendo presente que las temperaturas extremas no han de llegar nunca a reblandecer el cemento asfáltico empleado ni a hacerlo quebradizo por congelación.

Las curvas de la figura 1.^a se refieren al asfalto de Trinidad, fluidificado con proporciones crecientes de aceite; pero del mismo modo que estas curvas se pueden determinar experimentalmente las corres-

pondientes para constituir el cemento asfáltico, tratemos a su vez de dosificarlo dentro del hormigón, de modo que produzca la máxima adherencia entre los elementos pétreos que ha de unir.

Como parece lógico suponer, experimentalmente se comprueba que la adherencia proporcionada por el cemento asfáltico depende, en gran parte, del espesor de la capa que une entre sí a los diversos elementos pétreos.

M. Hubert determina el espesor de la capa que produce la máxima adherencia, empezando por dibujar, con el auxilio de la balanza de Michaelis, las curvas de variación de la adherencia en función del espesor de la capa de cemento asfáltico, análogas a la de la

figura 2.^a y que constituyen la base principal de su método de determinación de las dosificaciones del hormigón asfáltico.

Para dibujar estas curvas se comienza por labrar en la piedra objeto del experimento probetas de la misma forma y dimensiones de las empleadas

Determinadas la penetración y el espesor de la capa de cemento asfáltico más convenientes, ocupémonos de la arena, cuya naturaleza, forma y condiciones de limpieza óptimas son de todos conocidas.

Un árido ideal ha de estar constituido por granos bastante gruesos cuyos huecos se rellenen con otros granos de dimensiones gradualmente decrecientes, de modo que no lleguen a dejar entre sí más que el espacio estrictamente necesario para la película bituminosa de espesor óptimo que los ha de ligar.

Dicho de otro modo: la composición granulométrica ideal no ha de ser la que reduzca al mínimo el porcentaje de huecos, sino la que, aun aumentando el número de éstos, reduzca en lo posible las dimensiones de cada uno de ellos a fin de que, como tantas veces se ha repetido, la película de espesor óptimo de cemento asfáltico que ha de envolver los granos sea suficiente para llenar los huecos.

Los numerosos experimentos del ingeniero americano Clifford Richardson le han permitido determinar que las composiciones granulométricas más convenientes son las que se indican en el siguiente cuadro:

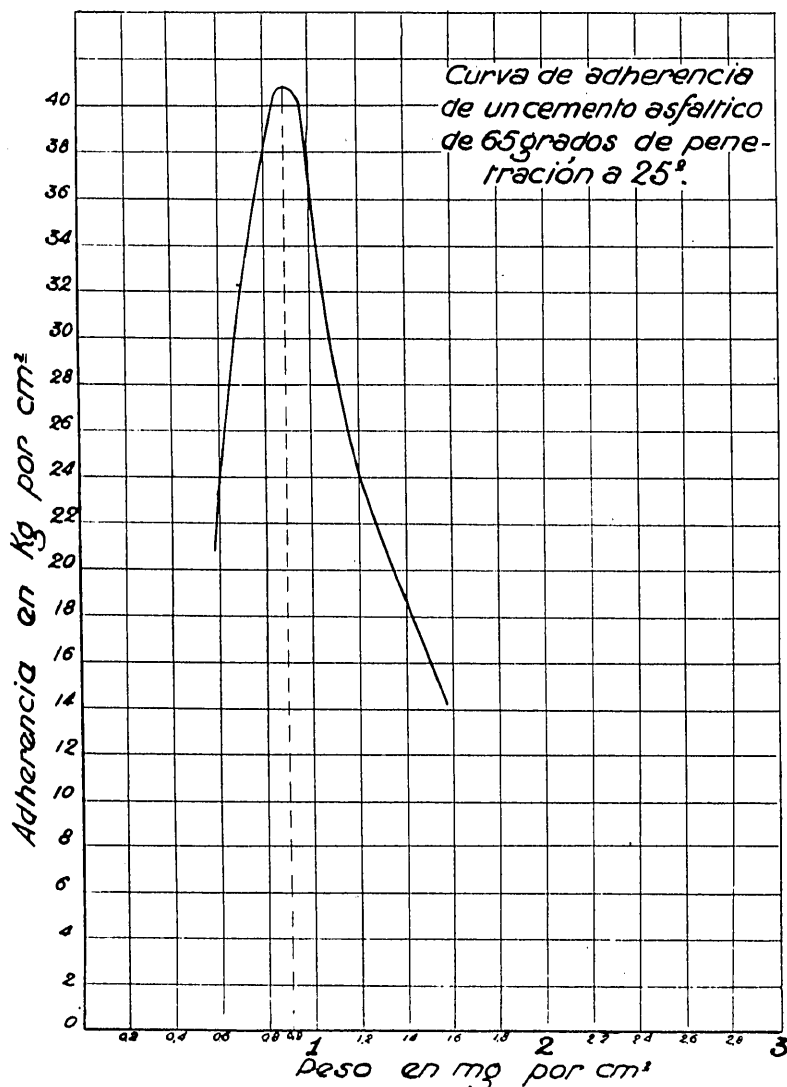


Fig. 2.^a

en las pruebas corrientes de tracción, y después de cortarlas cuidadosamente, según un plano normal a su máxima dimensión, se unen en caliente mediante cantidades variables de cemento asfáltico, teniendo mucho cuidado de que las superficies que se sueldan queden perfectamente paralelas, con el fin de que la capa de cemento resulte de espesor constante.

Se someten hasta su enfriamiento a una presión de 5 kgs/cm² (aproximada a la que sufre el firme durante el cilindrado) y se procede a su ruptura.

Determinadas las cargas de ruptura, y por diferencias de pesos antes y después del colaje, el peso de cemento asfáltico por unidad de superficie, se dibujan por puntos las curvas análogas a la figura 2.^a, que siempre tienen un máximo muy pronunciado correspondiente al espesor de la máxima adherencia, probando claramente que, en contra de lo que sucede en los hormigones hidráulicos, en las asfálticos es tan perjudicial el exceso como el defecto de cemento.

Número de mallas del tamiz por pulgada lineal	Separación en mm entre las mallas	Porcentaje en peso de los granos que pasan por cada tamiz y son retenidos por el siguiente	
		Circulación pesada	Circulación media
10	1,85	5	10
20	0,85	8	10
30	0,496	10	15
40	0,374	13	15
50	0,28	30	30
80	0,17	17	10
100	0,14	17	10
200	0,0665	0	0

Obtenida, bien mecánicamente, o, mejor aún, mediante mezclas en proporciones determinadas de arenas naturales, una composición granulométrica aproximada a la ideal, determinemos la cantidad de cemento asfáltico necesario para recubrir cada grano de arena con una capa del espesor óptimo antes obtenido.

Conocida la composición granulométrica, se puede calcular, aproximadamente, la superficie de la arena, determinando su densidad real, suponiendo un diámetro medio a los granos retenidos en cada uno de los tamices utilizados para determinar aquella composición, y suponiendo, además, que todos los granos son perfectamente esféricos o cúbicos.

Más sencillo, e indudablemente más exacto, es el método seguido por M. Hubert, que empieza por tallar en una piedra de la misma naturaleza que la arena (puede muy bien utilizarse un grano grueso de la misma) un cubo o forma geométrica cualquiera, cuya superficie se pueda fácilmente medir.

Después de pesada cuidadosamente se sumerge durante una hora en ácido fluorhídrico o clorhídrico normal, según la naturaleza silícea o caliza de la muestra, y se determina la pérdida de peso experimentada por unidad de superficie.

Acto seguido se repite la operación con un peso determinado de arena y, mediante una sencilla división, obtenemos la superficie buscada.

Con todo esto hemos fijado las proporciones en que se ha de mezclar la arena con el cemento asfáltico para conseguir que la capa que recubra a los granos tenga el espesor óptimo.

Si mezclamos íntimamente en caliente y en las proporciones fijadas la arena con el cemento asfáltico y llenamos con esta mezcla un molde; si después de comprimida, también a razón de 5 kgs/cm², y después de enfriada y sacada del molde pesamos la probeta obtenida y calculamos las partes que de este peso corresponden a la arena y al cemento asfáltico; si, conocidas sus densidades reales respectivas, calculamos a su vez los volúmenes correspondientes a la arena y al cemento y los sumamos, obtenemos un volumen siempre inferior al de la probeta y cuya diferencia con el de aquélla nos determinará el volumen de huecos contenidos en su interior.

La existencia de estos huecos nos prueba la necesidad de rellenarlos con un árido más fino y, a su vez, envuelto por su correspondiente capa de cemento asfáltico.

No es posible rellenar estos huecos, como corrientemente se hace en el hormigón de cemento portland, con un sencillo aumento en la dosificación de cemento, pues como la curva de la figura 2.^a palpablemente prueba, y siendo las dimensiones de los huecos superiores al espesor óptimo de la capa adherente (de otro modo no existiría hueco alguno), poco aumentaría la débil resistencia proporcionada por los relativamente escasos y distantes puntos de contacto al rellenar de modo tan absurdo los huecos.

Mucho más racional es rellenarlos con un polvo llenador (*filler*), a su vez envuelto en la capa correspondiente de cemento asfáltico del espesor óptimo que le corresponda.

Tanto para la determinación de este espesor como para la de la superficie del *filler*, se siguen los mismos métodos explicados para la arena.

Si rehiciésemos otra probeta análoga a la de la arena y cemento asfáltico, pero esta vez con las proporciones determinadas para la arena, polvo llenador y sus correspondientes capas adherentes óptimas de cemento asfáltico, comprobaríamos que la suma de los volúmenes correspondientes a la arena, *filler* y cemento, totalizan el de la probeta. No queda ya, por tanto, hueco alguno en el mortero así dosificado.

Este resultado era de prever, pues siendo así que el espesor óptimo de la capa adherente, determinado por la curva de la figura 2.^a, es de $\frac{0,009}{1,4} = 0,0065$

milímetros, o sea, aproximadamente, diez veces menor que la mínima dimensión de 0,0665 mm de los menores granos de la arena, es lógico que el cemento asfáltico, en la proporción determinada para cubrir los granos de aquélla con el referido espesor, deje en su interior una gran proporción de huecos.

Constituido, en cambio, el polvo llenador (cemento portland o polvo de caliza) por una gran propor-

ción de granos de dimensiones inferiores al repetido espesor óptimo de la capa de cemento asfáltico, se comprende que, al ser recubierto por ésta, no quede hueco alguno.

Hasta ahora hemos conseguido dosificar racionalmente un mortero asfáltico que, indudablemente, puede resistir perfectamente cualquier tráfico, como lo prueba el hecho de que, casi sin adición alguna de piedra pequeña (un 3,2 por 100 de piedra de 30 mm como máximo), lo emplean los ingleses en la capa de rodadura de 2,5 cm de espesor (*topping*) de los hormigones en dos capas.

Por razones de economía y también porque las piedras son mucho más resistentes que el mortero asfáltico se adicionan aquéllas a éste, constituyendo los hormigones asfálticos, que se extienden en capas de espesores superiores al arriba indicado.

Estos espesores suelen variar corrientemente entre 3,5 cm y 7,5 cm en los hormigones de una capa, y dependen del tráfico que han de sufrir y de la rigidez del cimiento que los ha de soportar.

Como límite máximo del tamaño de las piedras se puede indicar que es conveniente que en el espesor de la capa quepan como mínimo dos o tres piedras de la máxima dimensión.

Para conseguir que la estabilidad estática del árido sea la máxima posible, es conveniente que lo mismo entre la arena y el polvo llenador no haya saltos bruscos de tamaño entre las menores piedras y los granos de arena más gruesos.

Como mínimo, el mortero asfáltico debe de rellenar los huecos de las piedras, pero en los hormigones asfálticos no se llega generalmente a alcanzar este límite, dosificándose con un exceso de mortero.

No debe de olvidarse, al determinar la dosificación definitiva, que lo mismo que la arena y el polvo llenador la piedra que junto con el mortero ha de constituir el hormigón asfáltico ha de envolverse, a su vez, en la capa de cemento asfáltico del espesor óptimo correspondiente.

Hasta aquí M. Hubert, con algunas consideraciones que me ha sugerido su método para determinar las dosificaciones del hormigón asfáltico. Como he indicado al principio, creo que aunque solamente fuese por la claridad con que determina las funciones que cada uno de los elementos constitutivos del hormigón asfáltico desempeña dentro de su masa, resultaría interesante su conocimiento. Pero aún hay más: estimo que la determinación de las curvas de adherencia análogas a la de la figura 2.^a, correspondientes a diversas penetraciones obtenidas, bien al variar las temperaturas de experimentación, o bien al variar las proporciones de betún asfáltico y aceite fluidificante, pueden conducir a resultados de gran interés.

Careciendo, por estar dedicado en la actualidad a otras actividades, de laboratorio donde realizar esas experiencias, tengo el gusto de ofrecerme, particularmente, desde las acogedoras columnas de la REVISTA, a cualquiera de mis compañeros que, ocupándose de estos asuntos, disponga de los medios adecuados para efectuar esta interesante experimentación.

Ramón IRIBARREN
Ingeniero de Caminos