

PLANTAS ASFALTICAS

Por TOMAS RIPA MEDRANO
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Presenta el autor una detallada información sobre plantas asfálticas, detallando cada uno de sus elementos, así como las operaciones que realizan para obtener un firme que cumpla los requisitos que se exigen en los Pliegos de Condiciones.

I. Introducción.

Las instalaciones denominadas plantas asfálticas se hacen hoy cada día más familiares en el horizonte de nuestras obras de firmes de carreteras y de pistas para aviones. Ni siquiera para el anónimo automovilista pasan desapercibidas estas instalaciones, verdaderas fábricas, cuyo producto, la mezcla o aglomerado asfáltico, tras la puesta en obra, constituye un firme de alta calidad. Se trata, como es sabido, de un firme caro de primer establecimiento; sin embargo, los costes ulteriores de conservación así como los de explotación por el usuario se reducen considerablemente respecto de los relativos a otros tipos de firmes. Un firme en mal estado ocasiona pérdidas de vidas humanas; este hecho ha movido la conciencia de las Administraciones de Carreteras; dadas las características del tráfico de hoy, se trata, por tanto, de mantener el firme en condiciones admisibles de rodadura en todo tiempo; adherencia segura de las ruedas al pavimento, aun en tiempo lluvioso; en verano, evitar que el betún refluya a la superficie que resultaría deslizante; mantener una superficie unida, sin baches ni ondulaciones, que aparte de cómoda es segura para el tráfico. En efecto, a su paso por las ondulaciones, el vehículo experimenta los efectos de la fuerza centrífuga en el plano vertical; la fuerza centrífuga disminuye la carga por rueda y, por tanto, la fuerza adherente. En estas condiciones, un frenazo puede hacer que el conductor pierda el control de su vehículo. Si la superficie de rodadura está en

buen estado, los costes de tracción para el usuario son también menores. La importancia económica de este hecho comprobado es enorme, a la vista de las cifras estadísticas del tráfico actual por carretera.

Ahora bien, los trabajos de conservación frecuentes — tales como riegos superficiales y bacheos — aparte su coste, ocasionan pérdidas de tiempo y dinero para el usuario, sobre todo en tramos de mucho tráfico.

Parece lógico, en consecuencia, el interés de las Administraciones por encontrar una solución radical al problema; esto es, un tipo de firme de alta calidad, en el sentido de su alta durabilidad para mantener durante largo tiempo las condiciones iniciales de resistencia a la deformación bajo las cargas, y características de rodadura; y esto sin necesidad de ulteriores trabajos de conservación, inconveniente principal en los firmes de inferior calidad. Sin embargo, no pocas veces, las Administraciones tienen que adoptar firmes de inferior calidad porque, desgraciadamente, las consignaciones presupuestarias no permiten abordar la solución radical.

En particular, con las mezclas o aglomerados asfálticos en caliente — si han sido correctamente proyectados y contruídos — se tienen firmes de alta calidad, si bien caros de primer establecimiento. Este hecho podría explicar por sí sólo, el agudo sentido de la responsabilidad que reflejan los Pliegos de Condiciones de las Administraciones; estos Pliegos especifican cuál es la calidad mínima exigida al firme, y los métodos para controlar esa calidad. Ahora bien, la

calidad del producto fabricado depende evidentemente de la calidad de los materiales empleados (áridos, filler, betún), de la calidad de la planta asfáltica y equipos mecánicos complementarios y de la calidad del hombre. De tal manera que las posibles segregaciones de calidad — esto es, variaciones en el tiempo — en los componentes antes citados, repercutirán en la calidad del producto acabado. Así, las segregaciones del betún asfáltico en cuanto a su penetración (medida a 25° C.), constitución físico-química, peso específico, etc., repercutirán necesariamente en la calidad de la mezcla asfáltica. Por esta razón, los Pliegos de Condiciones no se limitan, en general, a controlar solamente la calidad del producto fabricado, sino que procuran controlar también la de sus componentes para advertir, a tiempo, las posibles segregaciones y adoptar las oportunas medidas correctivas que permitan garantizar en el tiempo la constante calidad deseada para la mezcla asfáltica. Siguiendo este criterio, la Administración específica también en sus Pliegos los métodos de control para los áridos, filler, betún y planta.

2. Definición.

Plantas asfálticas para la fabricación de aglomerados asfálticos en caliente son instalaciones mecánicas que secan y calientan los áridos, los dosifican a efectos de lograr la curva granulométrica deseada, calientan y dosifican el betún, que mezclan con aquéllos juntamente con el filler o polvo rellenedor, debidamente dosificado.

Se pueden utilizar también para la preparación de aglomerados asfálticos en frío. Como es sabido, éstos se preparan a base de emulsiones o de betunes fluidificados (cut-backs); requieren una granulometría "abierta", para que el agua de la emulsión, al "romper", o los disolventes del betún, al "curar", puedan evaporarse.

3. Clasificación.

3.1. Por el proceso de mezcla.

3.1.1. Plantas de tipo continuo.

En la amasadora, los materiales dosificados entran por un extremo y son conducidos hacia el

otro, por donde salen, una vez mezclados. El proceso es continuo.

3.1.2. Plantas de tipo discontinuo.

En la amasadora, los materiales, previamente dosificados, en cantidad ponderal determinada, son sometidos al proceso de mezcla durante un tiempo dado; transcurrido éste, la amasadora vacía y una nueva amasada, en condiciones análogas, comienza de nuevo el proceso.

3.2. Por su funcionamiento.

3.2.1. Totalmente automáticas.

Un dispositivo electrónico de telemando y control de toda la instalación, permite "programar" las distintas fórmulas de mezcla, los tiempos necesarios de mezclado, etc.

Si el tablero central telerregula y controla toda la instalación por circuitos eléctricos — relais — un solo operario en el tablero, ajusta las dosificaciones, regula el tiempo de mezclado, etc.

3.2.2. Semiautomáticas.

3.2.3. Manuales.

Cada elemento de las plantas, antes citadas, generalmente puede ser puesto en marcha, ajustado y regulado en sus motores y dispositivos por intervención manual, en previsión de posibles averías en los circuitos electrónicos o eléctricos del tablero central.

3.3. Por su movilidad.

3.3.1. Fijas.

Suelen emplazarse en el centro de gravedad de grandes áreas de consumo — grandes ciudades —, para pavimentaciones urbanas y accesos de autopistas. Los gastos de montaje, desmontaje, transporte y acondicionamiento suelen ser elevados.

3.3.2. Móviles.

Cada elemento está dispuesto, en cuanto a pesos y gálibos, para poder circular por carretera, remolcado; va montado sobre bastidor de

acero electrosoldado sobre ruedas neumáticas. Las modernas plantas están equipadas de cabrestantes y medios auxiliares propios para el montaje y desmontaje de elementos, tales como elevadores de áridos, cribas vibratorias, etc. En servicio, se quitan las ruedas, apeando los elementos sobre soportes adecuados.

3.4. *Por el sistema de incorporación del betún.*

3.4.1. *Inyección de betún a presión — alta o media—, finamente pulverizado.*

Los finos, en particular el filler, adheridos a la superficie de las arenas y gravilla son barridos, lo que garantiza la adherencia del betún a las partículas gruesas. Al parecer, numerosos ensayos efectuados sobre muestras tomadas dentro de la misma amasada y en amasadas distintas revelan una baja dispersión en el contenido de aglomerante. El sistema garantiza, en principio, que la superficie total de las partículas de árido y filler sea envuelta por el betún de manera homogénea; esto es, con una película de aglomerante de espesor constante, medido en micras.

3.4.2. *Inyección del betún a presión normal.*

Especial cuidado hay que adoptar para que las partículas de filler, al incorporarlas a la mezcla, por la humedad residual, aunque pequeña, siempre existente, no constituyan grumos que impedirían al betún envolver aquéllas como se desea.

3.5. *Por el sistema de componer la deseada granulometría.*

3.5.1. *Composición integral de la curva en caliente.*

Un sistema de cribas vibratorias clasifican el árido seco y caliente — al que previamente se ha quitado el polvo a su paso por el trommel — en varias fracciones que se almacenan en los silos correspondientes.

La dosificación posterior de los áridos debe garantizar constantemente la deseada granulometría de la mezcla. Ahora bien, se producen segregaciones en la clasificación, de manera que a un silo va a parar cierta cantidad de partículas, cuyos tamaños no corresponden a los de la fracción almacenada en dicho silo.

Hay que adoptar también precauciones para evitar que, al rebosar un silo, sus partículas contaminen los silos adyacentes. Estas instalaciones suelen disponer de un aparato alimentador en frío, que permite, regulando la salida de sus tolvas, mantener un cierto equilibrio en las cantidades de material almacenadas en caliente. Se precisa, sin embargo, de un indicador de nivel máximo que avise, a tiempo, para regular adecuadamente la alimentación en frío. Resulta, en consecuencia, que las fracciones almacenadas en cada silo deben ser sometidas, en su caso, a ensayo granulométrico para determinar el porcentaje de cada fracción a dosificar para obtener la curva granulométrica deseada. Ahora bien, con N, fracciones clasificadas, teóricamente podemos fijar sólo N-1 puntos de la curva, aparte del tamaño máximo definido por la criba del "rechazo". Para mayor garantía de que la curva así obtenida está siempre dentro del huso definido por las dos (2) curvas límites de referencia, especificadas en el Pliego, interesa evidentemente que N sea lo mayor posible. Existe, sin embargo, una limitación constructiva para el fabricante de plantas, concebidas según este principio, en cuanto al galibo y peso de la unidad integrada por cribas y silos. La clasificación de áridos y composición de toda la curva granulométrica en caliente es, en principio, inobjetable y para plantas totalmente fijas — centrales fijas — puede el usuario encargar "sobre pedido" una instalación con ocho o nueve tolvas, en caliente, que le permitirán fijar siete u ocho puntos de la curva, respectivamente, obteniendo una mezcla asfáltica de calidad. Si se trata, en cambio, de plantas móviles para trabajar en campo abierto, las limitaciones anteriores en cuanto a pesos y galibos hacen que los fabricantes de este tipo de plantas las construyan, en serie, con cuatro silos en caliente, como máximo. Ahora bien, tres o cuatro silos en caliente permiten, por dosificación, fijar solamente dos o tres puntos de la curva; número, al parecer, insuficiente para garantizar un trazado de la curva, siempre en el interior del huso antes citado, como es de desear.

3.5.2. *Composición de la curva, en frío, para las fracciones gruesas y en caliente para la fina.*

En Alemania — donde esta técnica ha tenido sus precursores — se han desarrollado y construido, en los últimos años, nuevos modelos de

plantas, concebidas en el principio siguiente: componer la deseada granulometría de la mezcla en dos partes; una, correspondiente a las fracciones gruesas (tamaño > 2 mm.), mediante dosificación volumétrica en frío; la otra, correspondiente a las arenas (tamaño ≤ 2 mm.) y fi-

vo recuperado procedente del trommel, nuevo filler a incorporar y ligante.

En efecto, las arenas (≤ 2 mm.) y finos, varían sensiblemente de volumen con el contenido de humedad — aparecen fuerzas de tensión superficial que retienen mucha humedad, du-

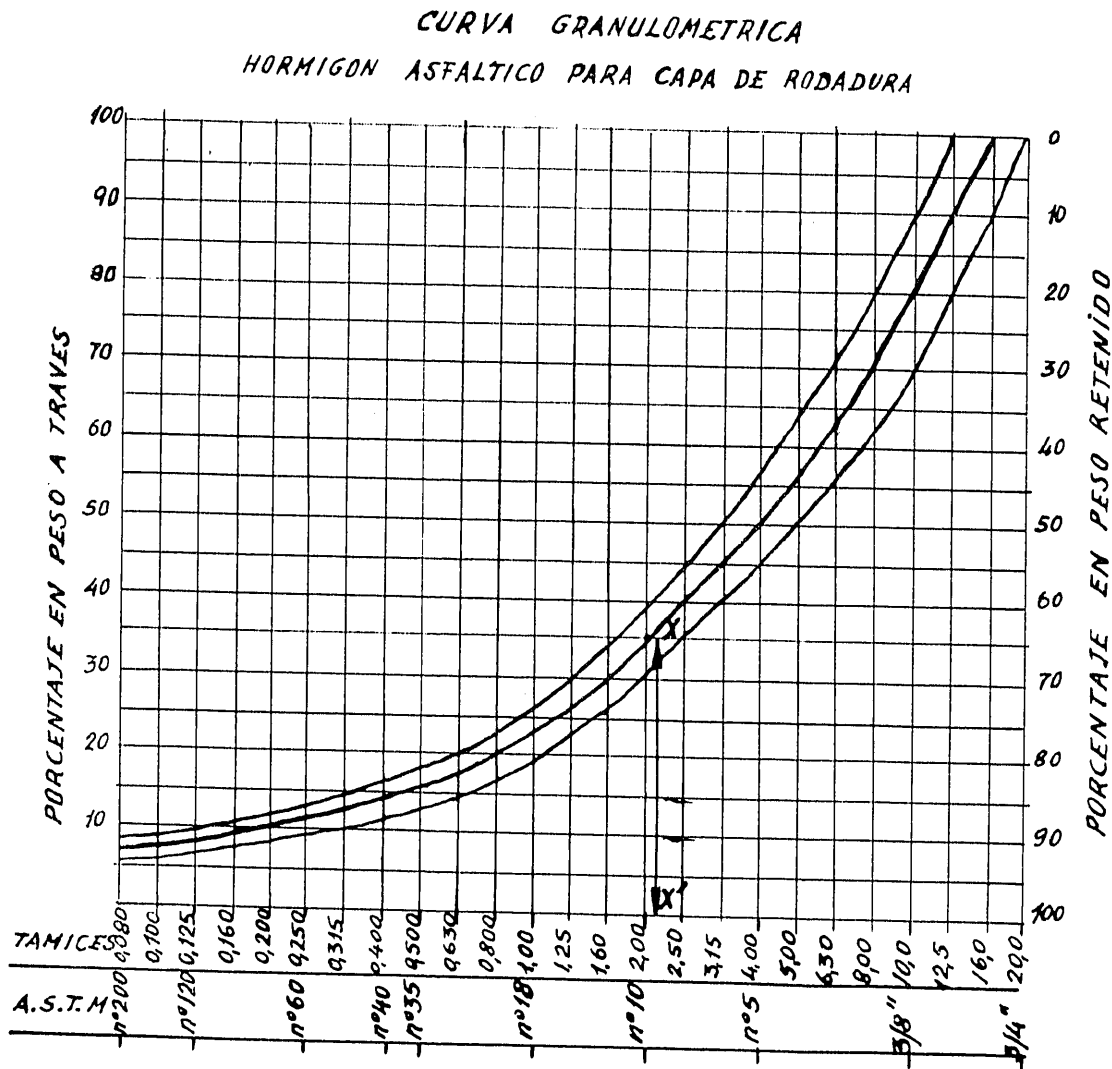


Figura 1.ª

nos, mediante clasificación en caliente y posterior dosificación por peso. Estas plantas disponen de una criba para el “rechazo” de las partículas de tamaño superior al máximo admisible y otra criba vibratoria, ampliamente dimensionada, que permite clasificar o separar correctamente la fracción gruesa (> 2 mm.) de la fina (≤ 2 mm.); en la dosificación en caliente se pesan, por tanto: arenas, fracción gruesa, pol-

rante mucho tiempo —, pero no así las fracciones gruesas (> 2 mm.).

Por eso los áridos gruesos, correctamente dosificados por volumen, en frío, acusan, después de secados y calentados, desviaciones máximas del ± 2 por 100, admisibles respecto de la deseada curva granulométrica. Observemos el diagrama de la figura 1.ª. La ordenada XX' — tanto por ciento, en peso, que pasa a través del tamiz de 2 mm. de malla — acusará varia-

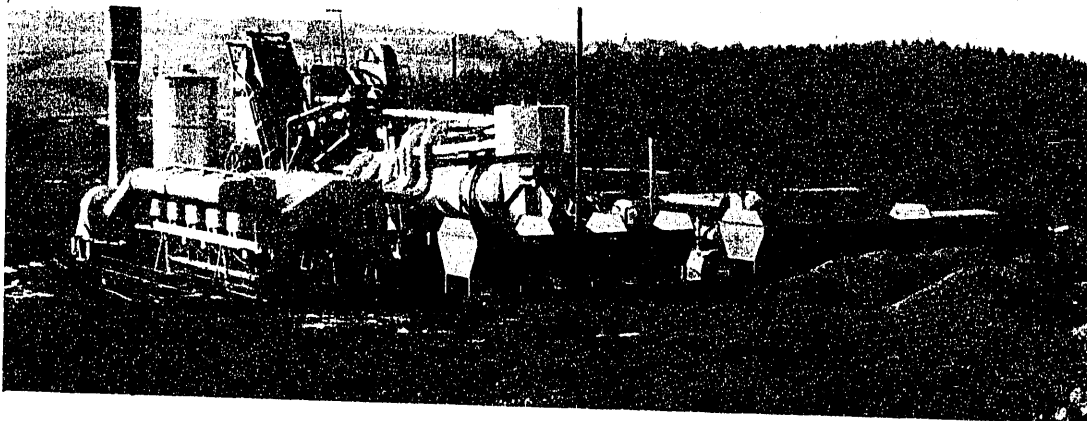
ciones sensibles, después del secado y calentamiento, por efectos de la humedad previa de las arenas y finos. La curva, en caliente, experimentará "traslaciones paralelas a sí misma". Por esto se hace necesaria la clasificación en caliente, separando las arenas de la fracción gruesa, para fijar la magnitud XX' deseada, en balanzas de precisión. Según este principio, hemos "fijado la curva", evitando las citadas traslaciones. Esta moderna concepción de planta asfáltica exige, evidentemente, un sistema de dosificación volumétrica, en frío, de alta calidad. Los aparatos dosificadores, equipados hasta con nueve tolvas, permiten trabajar con otras tantas fracciones de árido en frío, cuya dosificación correcta fijará ocho puntos de la curva deseada. Se precisan también instalaciones de clasificación, en cantera, con superficies de cribado bien dimensionadas, en buen estado de conservación y frecuencias vibratorias adecuadas, para lograr una clasificación correcta — clasificación pura — de las distintas fracciones. Cada una de éstas será, naturalmente, de granulometría estrecha, esto es, de tamaño de partículas bastante homogéneo. Las segregaciones durante la carga, transporte a la obra, descarga, acopio y manipulación serán mínimas. En el caso teórico, en que cada fracción se asimila

a un amasijo de bolas rígidas, perfectamente esféricas, de diámetros exactamente iguales entre sí, las operaciones de carga, transporte, etc., llevadas a cabo separativamente, no producirían ninguna segregación o separación de tamaños.

En cambio, las mismas operaciones, llevadas a cabo por "diámetros mezclados", producirán inevitables segregaciones del material. De ahí la necesidad de una nueva clasificación en la planta, para separar los tamaños; o bien frecuentes análisis granulométricos de recepción para fijar los porcentajes de cada tolva en los aparatos alimentadores en frío. La dosificación volumétrica en frío (la dosificación por peso arrastraría errores por el contenido variable de humedad) que pueda garantizar la correcta composición de la curva de mezcla deseada, exige, por tanto, una correcta clasificación en cantera, en un número grande de fracciones distintas, cada una de granulometría estrecha. En los cuadros adjuntos se transcriben las granulometrías de áridos para el suministro a las obras de firmes asfálticos, especificadas por la administración alemana. (Véase "Merkblatt für Körnungen aus gebrochenem Naturgestein", aprobada por el Bundesminister für Verkehr en 23 enero 1958.)

a) *Granulometrías fundamentales para firmes de carreteras:*

MATERIAL DE SIMPLE MACHAQUEO TAMICES DE ENSAYO					MATERIAL DE MACHAQUEO MULTIPLE TAMICES DE ENSAYO				
FRACCIONES		DIN 4188 mm □		DIN 1170 mm φ	FRACCIONES		DIN 4188 mm □		DIN 1170 mm φ
Arena, 0/5		— 5		— 7	Arena, 0/2		— 2		— 3
Gravilla, 5/12		5	12,5	7	15	Gravilla, 2/5		2	5
Gravilla, 12/25		12,5	25	15	30	Gravilla, 5/8		5	8
Piedra machacada, 35/55		35	55	40	65	Gravilla, 8/12		8	12, 5
Piedra machacada > 55						Gravilla, 12/25		12, 5	25
b) Granulometrías complementarias:									
Gravilla/piedra macha- cada, 12/35		12,5	35	15	40	Arena, 0/0,6		— 0,63	
Piedra machacada, 25/45		25	45	30	50	Arena, 0,6/2		0,63	2
Piedra machacada, 25/55		25	55	30	65	Gravilla, 12/18		12, 5	18
Piedra machacada, 45/65		45	65	50	75	Gravilla, 18/25		18	25



Planta asfáltica OHL-100-120 Tn/h. en la República Federal Alemana.



Planta asfáltica OHL-100-120 Tn/h. en la República Federal Alemana.

c) *Tolerancias de clasificación, en cantera, para arenas y gravillas de machaqueo:*

Fracción teórica	Porcentaje de tamaños superiores al máximo	Porcentajes de tamaños inferiores al mínimo
0 0,6	15 % hasta 2 mm.	10 %
0,6 2	15 % hasta 5 mm.	
0,6 2	15 % hasta 5 mm.	
2 5		10 %
5 8	5 %	15 %; sólo hasta 5 % por debajo de 2 mm.
8 12	5 %	20 %; sólo hasta 5 % por debajo de 5 mm.
12 18	5 %	20 %; sólo hasta 5 % por debajo de 8 mm.
12 25	5 %	20 %; sólo hasta 5 % por debajo de 8 mm.
18 25	5 %	20 %; sólo hasta 5 % por debajo de 12 mm.

Respetando las anteriores especificaciones, la nueva técnica (dosificación volumétrica en frío para fracciones gruesas, clasificación en caliente y dosificación ulterior por peso) ha logrado resultados excelentes, en cuanto a la calidad constante de la mezcla asfáltica, por una parte, y en cuanto a los rendimientos alcanzados por la planta, por otra, al suprimir, en gran parte, los inconvenientes del cribado en caliente.

3.5.3. *Composición integral de la curva, en frío.*

Compone toda la curva por dosificación volumétrica en frío; prescinde totalmente de la clasificación en caliente; los rendimientos alcanzados por la planta son excelentes; sin embargo, en capas superficiales o de rodadura de granulometría muy cuidada y donde la dosificación de los finos, a efectos de superficie específica y dosis de betún, ha de ser también muy cuidada, el sistema introduce errores, por la humedad previa de las arenas y finos. En capas inferiores, no tan cuidadas, la mezcla así obtenida puede, en principio, ser aceptada. Hay que tener presente, en efecto, las siguientes cifras en cuanto a órdenes de magnitud de la superficie específica (o superficie total de las partículas por tonelada de mezcla) para cada componente del aglomerado, en caliente, en el que el filler se dosifica entre el 5 y 10 por 100 en peso y las arenas entre el 20 y 80 por 100.

Filler, 0/0,08 mm.	S.000 m. ² /Tn.
Arenas, 0,08/2 mm.	800 »
Gravilla restante > 2 mm.	20-30 »

A la vista de las cifras anteriores se comprende la importancia — sobre todo para capas de rodadura — de la dosificación correcta de los finos (arenas y filler), a efectos de la dosis de betún.

4. Elementos fundamentales.

4.1. *Alimentador de áridos en frío.*

Al regular los porcentajes fijados para cada tolva (generalmente de 2 a 4 tolvas), el alimentador de áridos en frío debe permitir, en principio, un proceso de secado y calentamiento de la piedra uniforme y, sobre todo, un cribado en caliente correcto, manteniendo asimismo una cierta proporción entre las distintas fracciones clasificadas en los respectivos silos, en caliente. Una correcta alimentación en frío tiene una importancia muy grande en cuanto a rendimientos obtenidos por la planta — así como consecuentemente por los vehículos de transporte y la maquinaria de extendido y compactación de la mezcla — y en cuanto a constancia de calidad del aglomerado asfáltico.

En efecto, las calorías suministradas por el mechero en el trommel — aparte las pérdidas térmicas a través de la chapa — se consumen principalmente en evaporar el agua — más adelante veremos cómo varía el rendimiento del trommel en función del grado de humedad — y en calentar después los áridos hasta la temperatura deseada; temperatura que debe mantenerse constante, salvo las tolerancias admisibles. Como es sabido, las arenas y finos, por las fuerzas de tensión superficial debidas a su gran superficie específica, son aquella fracción que mayor porcentaje de humedad contienen, humedad que además “procuran” retener y conservar durante largo tiempo. En definitiva, a igualdad de peso, arenas y finos, cuesta más de secar y calentar, tanto en dinero como en tiempo. De tal forma, que áridos con un cierto porcentaje de arcilla plástica adherida por humedad, deben permanecer en el trommel durante más

tiempo si queremos extraer la humedad de los finos y lograr la temperatura deseada para las piedras. En tales condiciones, con el mechero de fuel o de gas a pleno rendimiento, el caudal de áridos a través del trommel y en consecuencia el rendimiento, puede acusar bajas considerables. Interesa, por tanto, que el alimentador en frío esté provisto de un dispositivo eficaz — ¿vibración? — que evite el efecto “arco” en la o las tolvas de arenas. En caso contrario, el caudal de arenas que pasa al trommel varía bruscamente, de manera que, al disminuir aquél, disminuye también la cantidad de agua a evaporar; disminuyen las calorías necesarias para tal fin y aumentan, por tanto, las calorías residuales para el calentamiento de los áridos; éstos, en consecuencia, se sobrecalientan. Si el caudal de arenas, tras el efecto arco, aumenta bruscamente, los áridos se enfrían. Se hace necesaria una vigilancia estrecha sobre la temperatura de la piedra, a la salida del trommel, para regular la marcha del mechero. Pero además, un aumento brusco de la cantidad de arenas sobre las cribas vibratorias da lugar a una clasificación incorrecta por formación del “carry-over”. En efecto, las partículas gruesas “se llevan encima” a las de arena y finos, porque éstas últimas no han encontrado la posibilidad de atravesar la criba, dado que la superficie de cribado ha resultado insuficiente para la “punta” de arenas. Este es un punto delicado en la clasificación en caliente. Surge la necesidad entonces de controlar la composición granulométrica del contenido de cada silo; a la vista de los resultados del ensayo de muestras, se deben introducir las oportunas correcciones en la dosificación en caliente, sea volumétrica, sea por peso, para que la curva granulométrica preestablecida se mantenga dentro de las máximas tolerancias admitidas por las especificaciones. Por otra parte, la segregación de tamaños, debida a la carga, transporte, descarga, acopio y manipulación de áridos se refleja inevitablemente en la clasificación y almacenaje en caliente. De manera que, de un momento para otro, el material de un silo puede rebosar y en cambio, otro u otros se quedan vacíos. En el primer caso, hay pérdida de calorías y de dinero; en el segundo caso, cuando un silo se vacía, los adyacentes se enfrían. Si aquél tarda en llenarse, hay peligro, sobre todo en tiempo frío, que la temperatura en los adyacentes baje

por debajo de la admisible. Habría que proceder al vaciado de éstos, con las consiguientes pérdidas de calorías, dinero y rendimiento. Sin llegar a estos extremos, las variaciones de nivel en los silos pueden introducir posibles errores en una dosificación volumétrica. Se precisan, en consecuencia, indicadores de nivel máximo y mínimo que avisen para corregir los porcentajes de cada tolva del alimentador. Por desgracia, la corrección efectuada — como demuestra la experiencia — no ofrece muchas garantías, dado que nuevas segregaciones de tamaño desequilibrarán, una vez más, la clasificación y almacenaje en caliente; una nueva corrección de la alimentación en frío se hace entonces necesaria, y así sucesivamente.

Hay que adoptar cuidados especiales en el control. Entre tanto, la baja de rendimiento de la planta es notoria, sobre todo para el contratista. Lo mismo se puede decir de la garantía de calidad de la mezcla asfáltica desde el punto de vista de la Administración. Hay que reconocer, una vez más, los puntos delicados de la clasificación y dosificación en caliente.

4.2. Dosificador volumétrico en frío.

No debe confundirse con el alimentador en frío.

Un dosificador volumétrico (la dosificación por peso arrastraría errores debido al contenido variable de humedad) suele trabajar con cinco a nueve tolvas distintas con otras tantas fracciones de árido clasificado. Si el árido ha sido correctamente clasificado en cantera, con las debidas superficies de cribado en función del rendimiento de la instalación, así como frecuencias vibratorias adecuadas en un número suficientemente alto de fracciones distintas, cada una, en consecuencia, de granulometría estrecha, las posibilidades de segregación de tamaños se reducen a su mínima expresión. Si el dosificador volumétrico está equipado de un dispositivo seguro, bien calibrado, para el ajuste correcto del porcentaje necesario de cada tolva, entonces se puede componer, en frío, como hemos visto, la deseada curva granulométrica de los áridos mezclados, curva que será correcta, dentro de las tolerancias admisibles, tras el secado y calentamiento, para la fracción gruesa, cuyas variaciones volumétricas por el contenido previo de humedad son despreciables. Para la

fracción fina, sobre todo en capas de rodadura, la clasificación en caliente se hace necesaria, como hemos visto, para posterior dosificación. Por otra parte, los finos adheridos por humedad a las partículas gruesas y arenas contenidas en los huecos dejados por aquéllas, tampoco influyen en la dosificación volumétrica de los gruesos; los finos serán extraídos, a su vez, por los ciclones desde el trommel de secado y las arenas serán clasificadas en caliente y separadas de la fracción gruesa. Se trata, en consecuencia, de lograr la clasificación correcta, en cantera, de los tamaños de gravillas, dentro de unas tolerancias admisibles en cuanto a tamaños inferiores al mínimo y superiores al máximo para cada fracción clasificada. Fuera de estas tolerancias, el sistema exige un control de recepción de granulometrías para corregir convenientemente los porcentajes a dosificar, a la vista de los resultados del análisis. Naturalmente, al cargar las tolvas del alimentador o del dosificador, aquéllas no deben rebosar para evitar intercontaminaciones; un flujo uniforme de salida exige que el nivel del silo no quede por debajo de la mitad. El rendimiento del dosificador se puede regular en proporción 1 : 5, de acuerdo con la mayor o menor humedad de la piedra y consiguiente rendimiento del secador. Así, un dosificador de 120 Tn./hora puede ser regulado, por lo general, entre 25 y 120 Tn./hora. El dispositivo regulador puede ser vibratorio, flujo por gravedad, por rasero de accionamiento electro-hidráulico, etc. Una cinta transportadora recoge el material a la salida de las tolvas; otra cinta elevadora lo conduce al trommel secador; también se emplean elevadores de cangilones.

4.3. *Trommel secador.*

Cilindro giratorio de palastros de acero cuyo eje está inclinado unos 2° respecto de la horizontal, donde los áridos son secados y calentados a la temperatura deseada, salvo tolerancias admisibles. Por un extremo entran los áridos en frío que avanzan paulatinamente en movimiento helicoidal a lo largo del cilindro; en el otro extremo se halla el mechero o quemador de fuel o gas; a su salida los áridos secos deben presentar la temperatura deseada; un termostato permite controlar ésta. El elemento sensible debe estar protegido a efectos de la posible abrasión por la piedra — especialmente pórfidos y cuarcitas —, pero si la coraza protectora es dema-

siado gruesa, la lectura de temperaturas viene desfasada. Lo mismo ocurre por acumulación de polvo sobre el elemento sensible del termostato; éste debe ser periódicamente contrastado. El control de temperaturas en el trommel es de una importancia grande; áridos sobrecalentados pueden quemar el betún en el amasado, perdiendo éste sus cualidades adhesivas; áridos por debajo de la temperatura apropiada dificultan la envuelta de las partículas por el aglomerante; en la superficie de contacto aparecen tensiones térmicas debidas a la diferencia de temperaturas. La superficie lateral del cilindro lleva montadas unas canaletas longitudinales que recogen el árido en la parte inferior y lo elevan para dejarlo caer después en forma de una "cortina" homogénea que es atravesada por la llama del mechero y los gases calientes de la combustión. Estos comunican sus calorías a la piedra antes de salir por la chimenea. El aprovechamiento térmico es mayor.

No obstante, hay pérdidas por transmisión del calor a través de la chapa, en función del espesor aislante y, sobre todo, del gradiente de temperaturas o diferencia entre la temperatura interior y la del medio ambiente. Aire, vapor de agua, gases de la combustión y partículas residuales de polvo muy fino, no recuperadas en los ciclones, escapan con calorías por la chimenea.

Una gran parte del calor suministrado por el mechero se emplea en evaporar el agua. El calor de vaporización del agua es, en efecto, elevado; 1 gramo de agua absorbe 536,5 calorías para su vaporización a 100° C. En estado de vapor, las moléculas de agua absorben nuevas calorías, aumentando su energía cinética y su temperatura media. El rendimiento del secador, y por tanto de la planta, depende fundamentalmente del contenido de humedad de los áridos.

Véase el diagrama de la figura 2.^a adjunta. Se suele definir como rendimiento "nominal" de una planta el correspondiente a una humedad de áridos del 5 al 7 por 100, 6 por 100 como media. Cuando el contenido de humedad aumenta por encima de este valor, el rendimiento baja aproximadamente a 45°. El porcentaje de humedad es mucho mayor en las fracciones finas. Por esto es aconsejable cubrir los acopios de arenas en zonas de alta pluviosidad; se logran notables economías de fuel y de dinero; se mejora además el rendimiento horario de la

planta; la fracción 0-5 mm. puede retener hasta un 15 por 100 de humedad. Otra parte de las calorías producidas por la combustión del fuel o del gas se utiliza en calentar los áridos; según su naturaleza, varía el calor específico, esto es,

de una alimentación uniforme en frío; un exceso de arenas, tras el efecto "arco", enfría los áridos; un cierto porcentaje de finos — arcilla plástica cargada de humedad — obligará a prolongar el tiempo de secado, dado que los finos,

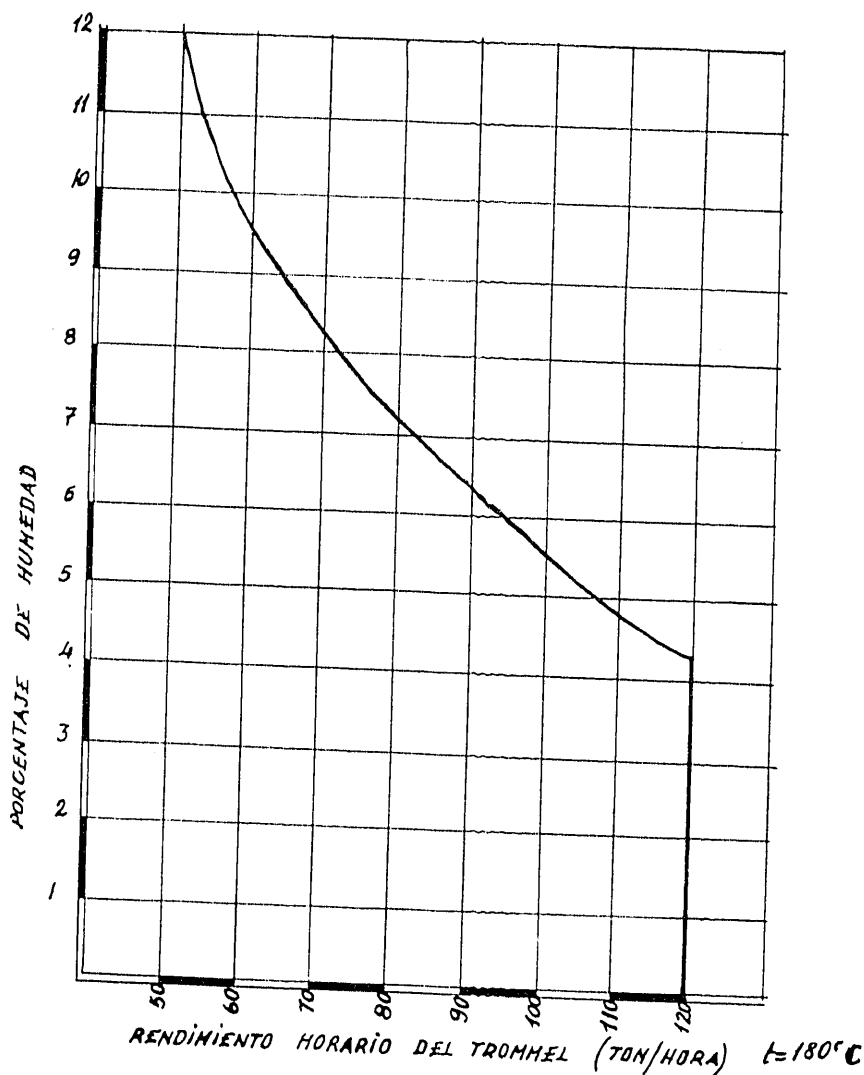


Figura 2.ª

las calorías necesarias para elevar en 1° C. la temperatura de 1 kilo de piedra.

Por tanto, la temperatura final deseada influye también en el rendimiento del trommel. El diagrama adjunto se refiere a temperatura final de 180° C.

El secado y calentamiento de la piedra es un proceso térmico que ha de ser correcto, si queremos lograr uniformidad de temperaturas y rendimiento; antes hemos visto ya la importancia

por su gran superficie específica, retienen fuertemente la humedad. Para aumentar el tiempo de secado, se disminuye el ángulo de inclinación del trommel y se regula su velocidad de giro y la disposición de las canaletas interiores. A la vez será preciso posiblemente que el quemador funcione a pleno rendimiento. El diámetro interior y longitud útil del cilindro determinan también el tiempo de permanencia de las piedras en el interior de aquél.

El rendimiento intrínseco del secador depende del proceso de la combustión. Una combustión completa requiere una correcta proporción oxígeno-combustible. El carbono se combina con el oxígeno y da anhídrido carbónico (CO_2) si la combustión es completa; si es incompleta, se forma el monóxido de carbono (CO); la reacción es ahora menos exotérmica y de menos calorías que en el caso anterior. Es, por tanto, fundamental que la planta esté equipada de un soplante y una bomba alimentadora de fuel, con una correcta dosificación aire-combustible, que permitan su ajuste y regulación, en su caso. Por otra parte, el aspirador, equipado de motor propio, crea un "tiro" en el sentido longitudinal del trommel que arrastra las partículas del combustible y alarga la llama del mechero según el eje.

El aspirador extrae además el polvo del trommel para su recuperación en los ciclones y aprovechamiento posterior.

El soplante "atomiza" el fuel; otras plantas utilizan vapor para este fin. La pulverización del fuel contribuye evidentemente a una combustión más completa y mayor aprovechamiento térmico. Cuando sale humo negro por la chimenea es señal de que parte del fuel escapa sin quemar. Entonces hay que disminuir el caudal de la bomba alimentadora o aumentar el rendimiento del soplante o ambas cosas a la vez; en definitiva, regular la correcta dosificación aire-combustible.

Si el fuel escapa sin quemar o "a medio" quemar (combustión incompleta con formación de CO), los costes de explotación aumentan. Por otra parte, se puede depositar una capa de aceite sobre la superficie del árido en perjuicio de la calidad del aglomerado. El monóxido de carbono — nocivo y aun venenoso en determinadas proporciones — puede resultar molesto en las inmediaciones de la planta; ello da origen a veces a reclamación del vecindario cuando se trabaja en los accesos a poblaciones.

El poder calorífico del combustible depende de su grado de pureza. El rendimiento del quemador de fuel será satisfactorio usando el fuel de la viscosidad adecuada. En resumen: el rendimiento del trommel secador es función principalmente del contenido de humedad de los áridos, especialmente de los finos. Cuando la humedad aumenta, hay que regular la llama del mechero; esto puede hacerse hasta un cierto límite, a partir del cual hay que disminuir el

caudal de la alimentación del secador. Si la instalación de clasificación en caliente y la capacidad de la mezcladora lo permiten, pueden usarse con áridos excesivamente húmedos, 2 trommels en paralelo; si el problema está en los finos y en el tiempo de secado, los trommels se disponen en tándem; esta solución permite, en principio, mantener constante el rendimiento de la planta. Repetimos una vez más la importancia grande del control de temperaturas. Las plantas modernas permiten la lectura de temperaturas en el tablero central; el encendido y apagado del mechero, así como la regulación de su llama, tienen lugar, a distancia, desde el mismo tablero central.

Por último, una regulación incorrecta de la llama — conviene sea delgada y alargada — puede ocasionar zonas de sobrecalentamiento y deformaciones por tensiones térmicas en las paredes del cilindro, así como solicitaciones excesivas en otras partes del trommel; esto podría dar lugar a inmovilizaciones largas de la instalación, si otro trommel análogo no está disponible. Un fabricante consciente de la importancia de estos detalles, construye el trommel por esto, con un espesor de chapa bien dimensionado en previsión de la citada eventualidad. El peso total del cilindro es un índice del espesor de sus paredes.

4.4. *Extractor y colector de polvo.*

4.4.1. *Por vía seca.*

Un aspirador potente crea un "tiro" longitudinal que extrae el polvo del trommel secador, de las cribas vibrantes y de la mezcladora; el tiro arrastra las partículas del combustible y alarga la llama del mechero.

Las partículas de polvo con movimiento en torbellino, atraviesan los ciclones, donde se depositan. Un tornillo sin fin extrae el polvo depositado, a través de válvula-esclusa pendular y lo conduce, generalmente, a un depósito regulador, con rebosaderos, perfectamente aislado de las humedades. Otro tornillo sin fin, por último, conduce el polvo recuperado a las básculas para su dosificación como filler o polvo relleno. Del polvo extraído puede ser filler el 30 por 100 (partículas finísimas que atraviesan el tamiz 200); el resto son finos hasta tamaños del 0,6-1 mm. Se deben efectuar análisis granulométricos del pol-

vo recuperado para determinar qué porcentaje contiene de filler.

En caso preciso, se debe añadir filler nuevo — cemento — de su silo correspondiente. El contenido de polvo en el metro cúbico de aire aspirado es muy variable; de 50 a 400 gramos/metro cúbico. Interesa una vez más la correcta alimentación del trommel a efectos, sobre todo, de finos, para que los ciclones trabajen con altos rendimientos. Un exceso de finos y polvo sobrecarga los ciclones y su rendimiento baja, porque una parte importante del polvo no se deposita y escapa por la chimenea; pérdida de calorías y de filler. Precisamente las partículas de polvo más finas son las que escapan. En condiciones normales los ciclones, bien proyectados y contruidos, logran rendimientos del orden del 95 por 100. El trommel secador dispone de una válvula regulable que permite la entrada de más o menos aire fresco; se pretende que el contenido de polvo, en el metro cúbico de aire aspirado a través de los ciclones, permanezca prácticamente constante; en tales condiciones se logran altos rendimientos y economías. No hay que olvidar que el motor del aspirador es quizá el de mayor potencia instalada en la planta. Otras medidas importantes son: las juntas de tuberías o conductos de aire deben ser perfectamente estancas utilizando, por ejemplo, empaquetadura de asbesto; la válvula-esclusa a la salida del polvo, en los ciclones, debe funcionar con seguridad; por un funcionamiento defectuoso puede entrar indebidamente aire fresco y el rendimiento del aspirador baja.

4.4.2. *Por vía húmeda.*

Por ordenanzas municipales, el contratista, a veces, se ve obligado a instalar la extracción de polvo por vía húmeda trabajando con su planta en el interior o accesos a poblaciones. El aspirador consume, en este caso, alrededor del 15 por 100 más de potencia, por las pérdidas de carga a través de la torre, conectada en serie detrás de los ciclones.

Hay distintos sistemas pero, en general, la corriente de aire penetra por la parte inferior de la torre y, en un movimiento ascensional, es sometida a sucesivas duchas de agua que retienen el polvo en forma de lodo.

4.5. *Clasificación y dosificación en caliente.*

Un elevador de áridos — generalmente de cangilones — recoge el material seco y caliente

a la salida del trommel y lo eleva a la instalación de cribas. El elevador debe ser herméticamente cerrado, para evitar humedades y pérdidas de calor.

La criba del "rechazo" fija el tamaño máximo de árido, especificado en el proyecto. Las cribas vibratorias clasifican el árido en las fracciones deseadas. La superficie de cribado debe estar bien dimensionada respecto del rendimiento máximo del trommel. Hemos visto antes que, por defectuosa alimentación en frío, las cribas pueden sobrecargarse y la clasificación es impura o incorrecta. Debajo de las cribas están los silos; éstos deben ir provistos de rehosaderos; se evita así el posible deterioro de las cribas al entrar en contacto con el material en exceso. No obstante, con una dosificación volumétrica — plantas de tipo continuo — debe estudiarse el efecto de la vibración sobre el caudal calibrado de las tolvas.

La eficiencia y rendimiento de las cribas depende de: carga unitaria de material (o kilos de árido a cribar por metro cuadrado de criba), frecuencia vibratoria, inclinación, estado de sequedad del material, estado de limpieza de las cribas, estado de conservación de las mismas, diámetro de los hilos, forma y luz interior de la malla. Si partículas de árido quedan retenidas en la malla, la superficie efectiva de cribado disminuye y el peligro de "carry-over" aumenta. Debe procederse, por tanto, a la limpieza de cribas. Si hay hilos rotos, la abertura de malla aumenta y partículas gruesas atraviesan indebidamente la criba. En el silo correspondiente habrá un cierto porcentaje de partículas de tamaño superior al máximo de la fracción clasificada. Se debe proceder al análisis granulométrico del silo y corregir, en su caso, la dosificación posterior. La distribución del material debe ser uniforme en todo el ancho de la criba; éstas deben mantenerse tensas; cuando la instalación vibra, es indicio de falta de tensión en aquéllas.

Los silos disponen, en general, de cartelas para evitar los ángulos de 90°; si no, las partículas más finas, dentro de cada silo, tienden a acumularse en los rincones; cuando el nivel de áridos baja, de los rincones se desprende, de golpe, una cantidad grande de partículas finas que alcanzan la amasadora; la mezcla varía de composición. Sobre todo con tiempo frío y al comienzo de la jornada, el vapor del aire y el vapor residual del trommel se condensa en las paredes del silo; esto puede aglutinar partículas de polvo

y finos, adheridos a las paredes del silo; cuando se desprenden, las amasadas pueden presentar exceso de finos.

Antes hemos visto la importancia de una correcta alimentación en frío a efectos de un correcto almacenaje en caliente. Las salidas de rebosaderos deben estar libres en todo tiempo; los silos deben ser perfectamente estancos para evitar intercontaminaciones de las fracciones clasificadas. Para la toma de muestras, los silos deben tener dispositivos adecuados para que aquéllas sean realmente representativas; en una sección vertical longitudinal aparece siempre cierta segregación de tamaños dentro de cada silo; en la dirección del flujo de material sobre las cribas, las partículas más finas atraviesan la criba antes que las más gruesas dentro de cada fracción. Por esta razón, la toma de muestras de cada silo ha de hacerse con cuidado, para que las muestras sean realmente representativas de la granulometría del silo. En una planta asfáltica moderna las tolvas de descarga abren y cierran por sistema electro-hidráulico o de aceite a presión. El sistema consta de motor que acciona una bomba rotativa de determinado caudal; la bomba impulsa un flujo de aceite que a través de tuberías rígidas y flexibles penetra en el cilindro; la energía cinética de aquél se transforma en energía de presión sobre el pistón, cuya biela acciona el mecanismo de apertura y cierre. El circuito de aceite requiere el depósito correspondiente, manómetro de control de presiones y filtro del aceite normalmente de tipo magnético para retener las finísimas partículas metálicas procedentes del desgaste por fricción de pistón y camisas del cilindro. El filtro, sobre todo con instalaciones nuevas, requiere periódicas limpiezas y cambio de aceite. En plantas de funcionamiento automático el accionamiento de las tolvas de descarga tiene lugar, a distancia, desde el tablero central. La dosificación en caliente puede hacerse por volumen o por peso.

El primer sistema — para plantas de tipo continuo — requiere el calibrado previo de las aberturas de tolva. El fabricante mismo suele suministrar el diagrama-abertura de tolva-peso de material en la unidad de tiempo. El diagrama se dibuja por puntos, calibrando cada tolva para distintas aberturas y pesando la cantidad de áridos suministrada en la unidad de tiempo o en una revolución completa del alimentador. Los dispositivos de alimentación continua

de asfaltos, áridos y filler — por tornillo sin fin — interconectados para ajustar la proporción de cada componente de acuerdo con la mezcla proyectada. Con distintas aberturas de tolva, en cada silo, el dispositivo, bien calibrado, ha de ser seguro y ha de mantener el ajuste correcto en el tiempo. Puede hacerse necesario el control correspondiente para comprobar el calibrado.

En la dosificación gravimétrica — plantas de tipo discontinuo —, las fracciones de áridos en caliente, el polvo recuperado y el filler nuevo — a incorporar también en su caso — se pesan en balanzas de precisión en las proporciones y cantidades necesarias para obtener una amasada completa. El betún se dosifica también por volumen o por peso. Interesa mantener constante la temperatura del aglomerante; en caso contrario, la viscosidad varía y la dosificación volumétrica puede ser errónea; a igualdad de temperatura, aparecen desgraciadamente segregaciones en la viscosidad del betún, incluso para partidas de la misma procedencia. Las modernas plantas calientan el betún automáticamente; es decir, una vez ajustada la temperatura, un termostato en conexión directa con válvula reguladora permite el paso de mayor o menor caudal de aceite térmico que, a través del serpentín de tubos, transmite sus calorías al betún del tanque. Las tuberías de conducción a la amasadora deben estar bien aisladas por razones de economía térmica y calorifugadas por “camisa” de circulación de aceite caliente que permita mantener constante la temperatura deseada a la entrada de la mezcladora.

Periódicamente la exactitud y sensibilidad de las balanzas suele ser comprobada por la Administración misma con una serie de pesas standard. Otras veces el trabajo se encomienda a un organismo oficialmente reconocido. El error máximo observado deberá ser inferior a las tolerancias del Pliego (0,5 por 100 para aglomerados en caliente). Con plantas muy amortizadas — con muchas horas de servicio — el control, en general, se hace muy estrecho y frecuente, incluso varias veces al día. Importante es también la corrección de tara; al vaciar el recipiente de pesado el indicador de la esfera debe volver a la posición “cero”; en caso contrario, es que partículas de polvo y filler, probablemente, han quedado adheridas a las paredes de aquél.

A menos que la planta esté dispuesta para descarga simultánea de todos los silos, interesa comenzar la descarga por el silo de la fracción más gruesa para terminar por el polvo y filler. Con esta medida, la descarga de fondo del recipiente, una vez alcanzado el peso deseado, asegura que las partículas más gruesas se depositen en el fondo de la amasadora y que sean recogidas y batidas por las palas agitadoras, aun cuando sea relativamente grande el desgaste de éstas y de las paredes de la mezcladora; la tolerancia deberá ser, sin embargo, inferior a la máxima (en general, se suelen especificar la mitad de la máxima dimensión del árido). Inmediatamente después de la descarga en la amasadora, al tablero central es dada automáticamente la orden de una nueva pesada y así sucesivamente. Naturalmente en el tablero central han sido previamente ajustados y sincronizados los tiempos necesarios de pesada, amasado y vaivén del *skip* que eleva la mezcla asfáltica, a cada amasada, hasta el silo regulador; las tolvas de éste descargan sobre los vehículos de transporte. La apertura y cierre suele hacerse hoy por dispositivo electrohidráulico o mecanismo de aceite a presión.

5. Mezcladora.

Normalmente las mezcladoras de dos (2) ejes, que giran en sentido contrario, provistas de palas agitadoras han desplazado totalmente a las antiguas amasadoras de un solo eje. La disposición de las palas y su forma es estudiada de manera que el árido y betún sean batidos circularmente, pero además les imprimen un cierto movimiento longitudinal; son las modernas amasadoras por "turbulencia" de plantas discontinuas que, en principio, permiten un mezclado homogéneo.

En las amasadoras de tipo continuo, el movimiento, según el eje, permite impulsar a los componentes de la mezcla hacia la descarga. Para lograr eficiencia de mezclado en relación con el rendimiento de la instalación, se puede ajustar el caudal de salida regulando la abertura de la compuerta, con lo que se regula el tiempo de permanencia de los materiales en la amasadora y la profundidad de la masa. Las palas agitadoras no deben estar totalmente sumergidas en la masa. También se puede regular la orientación de las palas para retardar

el movimiento longitudinal y aumentar el tiempo de mezclado. Este se mide por el cociente entre la capacidad en kilogramos de la amasadora y la producción en kilogramos/segundo. El tiempo obtenido, en segundos, debe ser estrictamente necesario para lograr uniformidad u homogeneidad de la mezcla; prolongar más allá el tiempo de mezclado es perjudicial. A temperaturas elevadas (170° - 180° C.), el betún asfáltico en película delgada en torno a las partículas de árido y polvo, se oxida en contacto con el aire; los capas de aire se interponen siempre entre las partículas de árido, más o menos envueltas por el aglomerante, durante el proceso del amasado. En cambio, durante su almacenaje en el silo regulador, transporte en la caja del camión y puesta en obra, apenas encuentra el aire posibilidad de interponerse entre las piedras y arenas, ya envueltas por el betún; en servicio, dado el pequeño índice de huecos residuales de una mezcla asfáltica en caliente (del orden del 2 al 5 por 100), el peligro de oxidación, envejecimiento o endurecimiento del ligante, es prácticamente nulo. La durabilidad del pavimento, así construido, esto es, la permanencia de sus características iniciales en el transcurso del tiempo debe ser alta; esto es principio fundamental de la técnica de aglomerados en caliente.

Es interesante, por tanto, dedicar especial atención al tiempo de amasado; efectuada la prueba de extracción del betún por disolución en tetracloruro de carbono y centrifugación, en una serie de probetas extraídas del firme se puede evaluar la pérdida porcentual de la penetración de aquél, respecto de la inicial; del ensayo debe deducirse la relación entre la pérdida porcentual de penetración (endurecimiento del betún) y el tiempo de amasado. En una planta discontinua, una amasada de 1 250 Kg. en $t = 30$ segundos se puede considerar hoy cifra record. Desde luego, el tiempo de mezclado necesario para lograr uniformidad u homogeneidad de mezcla es función del porcentaje de betún de la misma. Asimismo, el rendimiento de la instalación es función del tiempo de mezclado. Una planta discontinua inyecta el betún, finamente pulverizado, a presión media de 8 atmósferas. Hay plantas que inyectan a presión alta. Otras incorporan el betún a presión normal.

La inyección de betún, finamente pulverizado, logra un barrido del polvo adherido a la

superficie de arena y gravilla; éstas son también envueltas por el aglomerante; los posibles grumos que forma el filler, por la humedad residual, son asimismo disueltos por el chorro de betún pulverizado. Esta técnica ha logrado excelentes resultados; dentro de una misma amasada y en amasadas distintas, el ensayo de muestras ha revelado muy bajas dispersiones en cuanto al contenido de betún.

Se trata, en definitiva, que el betún envuelva homogéneamente todas las partículas sólidas —gruesas y finas— con una delgada película de espesor constante, logrando además homogeneidad granulométrica; esto es, una distribución homogénea en cuanto a gradación de tamaños del árido.

La velocidad de giro y la forma, número y disposición relativa de las palas agitadoras, influyen en la eficiencia de la mezcladora. Las plantas automáticas permiten ajustar y regular el tiempo óptimo de mezclado en el tablero central. La amasadora descarga, generalmente, sobre un *skip* elevador que lo vierte en el silo regulador. Sin *skip*, ni silo, el ciclo del transporte debe estar ampliamente dimensionado y, en general, uno o dos camiones de reserva para el caso de averías o dificultades del transporte.

Las paredes interiores de la amasadora y las palas agitadoras están revestidas de chapas de acero duro, resistente a la abrasión, fácilmente intercambiables. Con rocas muy duras, sobre todo, el consumo de recambios es grande. La amasadora, así como el silo regulador, están debidamente aislados, e incluso, con "camisa" de circulación de aceite caliente.

El tablero suele disponer de contador de amasadas.

6. Preparación del aglomerante.

Para calentar el betún no suele usarse ya la caldera de vapor por su escaso rendimiento térmico.

La calefacción puede ser: directa —por mechero (de fuel o de gas) o indirecta— circula-

ción de aceite caliente a través de un haz o serpentín de tubos. Un generador de aceite caliente —quemador de fuel con bomba alimentadora y motor correspondiente— dispone de un calderín con indicador de nivel, manómetro y bomba de circulación de aceite térmico que transmite sus calorías al betún. Algunos Pliegos de Condiciones exigen hoy textualmente la calefacción indirecta; sus ventajas son: calentamiento uniforme del betún, sin puntos de sobrecalentamiento ni peligro consiguiente de quemar el betún.

Si el tanque está equipado de un termostato en conexión con válvula que regula la admisión de aceite caliente, la temperatura deseada, como hemos visto, se mantiene automáticamente constante, sin necesidad de la intervención de ningún operario.

Otras importantes ventajas: la vida del tanque se prolonga porque no inciden directamente las llamas; con un solo quemador de fuel se puede distribuir aceite caliente a varios tanques a la vez; con mechero de calefacción directa, cada tanque exigiría su propio quemador; consumos de fuel bajos y sistema más económico que la calefacción directa o por vapor.

Es muy importante instalar termómetros de control que deben ser periódicamente comprobados, sobre todo en el punto de incorporación del betún a la amasadora. El circuito de retorno del aglomerante evitará el contacto de éste con el aire; los extremos de tubería deben quedar siempre sumergidos bajo el nivel del aglomerante en el tanque, en todo tiempo, para evitar la oxidación.

Los tanques de betún deben estar, por lo menos, aislados térmicamente y a ser posible, calorifugados por circulación de aceite térmico, al igual que bombas de circulación y tuberías.

7. Elementos complementarios.

Silo para almacenaje a granel de filler nuevo (cemento, polvo calizo), bien aislado de la humedad; tanque o tanques de fuel-oil.