

MEZCLAS BITUMINOSAS (I)

(Compactación)



Actualmente, las mezclas bituminosas constituyen la mayor parte de los pavimentos de la red viaria de los diferentes países. El fuerte crecimiento económico mundial, que se registró a partir de la década de los años 50, impulsó notablemente el transporte por carretera, hecho que, unido al continuo y acelerado desarrollo de la industria del automóvil, modificó sustancialmente el perfil de la tipología de los vehículos pesados, de las cargas totales y de la carga por eje que inciden sobre el firme.

Por JUAN F. VIGUERAS GONZALEZ (*)

Estos aspectos, entre otros, hicieron que los países más avanzados potenciaron las investigaciones en busca de nuevos materiales, técnicas constructivas, desarrollo de métodos de proyecto, dimensionamiento de firmes, etc., con el fin de dar satisfacción a las exigencias de seguridad, confort y durabilidad que la sociedad demanda, por un lado, y por otro, a optimizar el enorme costo de los recursos necesarios para desarrollar y conservar en adecuadas condiciones de viabilidad la red de carreteras de un país.

La compactación de mezclas bituminosas, materia de este artículo, ha sido objeto de investigación y tratamiento en diferentes congresos y reuniones técnicas nacionales e internacionales, lo que constituye un índice de su importancia en el comportamiento del firme en servicio.

En nuestro país, la legislación técnica sobre esta materia se desarrolla, en sus aspectos generales, en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, (PG3/ 1975), del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, complementándose, en ocasiones, con las prescripciones indicadas en el Pliego de Condiciones Particulares del Contrato.

Para las mezclas bituminosas en caliente, el artículo 542.5.6 del PG3/75 define los aspectos a cumplir en la compactación de la mezcla, así como la densidad a alcanzar, cuantificándola en un valor al menos igual al 97% de la obtenida aplicando a la fórmula de trabajo la compactación prevista en el método Marshall, o en su defecto, la que indique, debidamente justificada, el Director de las Obras.

Desde la aparición del citado Pliego, se ha registrado una gran evolución de los tipos de compactadores que configuran el tren de compactación y, fundamentalmente, se ha desarrollado espectacularmente la compactación vibratoria. Este artículo pretende dar a

conocer diferentes aspectos de la compactación en nuestro país.

Tipología y disposición de los equipos de compactación en España

En España existen, actualmente, 195 centrales de fabricación de mezclas bituminosas en caliente, con una capacidad real de producción de 20,9 millones de toneladas/año, para satisfacer una demanda anual, realizada fundamentalmente por las Administraciones Públicas, en torno a los 10 millones de toneladas.

La puesta en obra se realiza mediante extendedores, de los que existen 420 unidades.

- De neumáticos = 145 (34,5%)
- De orugas = 275 (65,5%)

Cada planta asfáltica abastece, como valor medio, a 2,2 extendedoras.

A nuestro juicio, es importante no olvidar que la primera fase de la compactación de la mezcla bituminosa se realiza justamente por el equipo de extendido, registrándose en los mismos una marcada tendencia en este sentido. Así, los equipos modernos de extendido van dotados de dispositivos mecánicos que precompactan la mezcla bituminosa hasta grados de densificación próximos al 95%. Dicha tendencia se justifica por el hecho de aprovechar al máximo la temperatura de la mezcla asfáltica, evitando su enfriamiento, que es uno de los factores determinantes para alcanzar los grados de densificación requeridos.

El parque español de equipos compactadores se eleva, actualmente, a 842 unidades, distribuidos, por su tipología, como indica el Cuadro 1.

Antiguamente, el tren de compactación estaba constituido por un elevado número de unidades, a los que se asignaban diferentes misiones, siendo

difícil, a veces, coordinar adecuadamente el equipo.

La utilización masiva de la vibración que actualmente se hace en nuestro país, redujo sustancialmente el número de unidades que componían el tren compactador, como se aprecia a continuación:

Compactación de capas de rodadura

Equipo de compactación	Frecuencia de empleo
Compactador vibratorio más compactador de neumáticos.	85%
Compactador estático, de llanta metálica, más compactador de neumáticos.	15%

Como puede apreciarse, la compactación vibratoria se ha generalizado en nuestro país en los últimos años, si bien existen todavía empresas que prefieren emplear equipos estáticos de llanta metálica, para la compactación de capas de rodadura.

A unos y otros se les confía la densificación primaria o principal de la capa, actuando tras ellos un segundo compactador de neumáticos, cuya misión es la de sellado superficial y eliminación de las huellas.

Pero no en todos los casos se dispone en cabeza, esto es, tras la extendidora, la compactación vibratoria. En ocasiones algunas empresas, prefieren disponer tras el extendido el compactador de neumáticos y, después, el vibratorio, como se refleja a continuación:

Disposición de los elementos compactadores

Disposición	Frecuencia de las respuestas
Vibración "en cabeza" Compactador de neumáticos	77%
Neumáticos "en cabeza" compactación vibratoria	23%

Se aprecia que existe un porcentaje de cierta consideración de obras en las que se dispone el compactador de neu-

CUADRO 1. PARQUE ESPAÑOL DE EQUIPOS COMPACTADORES

Tipo de compactador	Número	Porcentaje
Vibratorios	268	32%
De neumáticos	320	38%
De llanta metálica	254	30%
TOTAL	842	100%



Extendidora autopropulsada de neumáticos.



Extendido, sobre una capa granular, de 8 cm. de mezcla bituminosa, mediante equipo de orugas con precompactación a 94 por 100 de la densidad Marshall.

máticos tras la extendidora, aplicando, posteriormente, la vibración.

La obtención del grado de densificación prescrito en contrato es función de diferentes variables: Tipología de la mezcla bituminosa a compactar, equipo utilizado, temperatura de la mezcla, estructura del firme y de la capa subyacente, factores climáticos, etcétera.

Al objeto de conocer el número de pasadas de los equipos compactadores, se han desglosado las efectuadas

por el compactador vibratorio y por el de neumáticos, obteniendo los siguientes resultados:

Número de pasadas del compactador vibratorio

Número de pasadas	Frecuencia de las respuestas (%)
2	30%
3	27%
4	29%
>4	14%

El número medio de pasadas es de 4, con valores extremos, recogidos de las respuestas 3 y 7.

En relación al compactador de neumáticos, los resultados obtenidos han sido los siguientes:

Número de pasadas del compactador de neumáticos

Número de pasadas	Frecuencia de las respuestas (%)
3/4	18%
4/5	18%
5/6	15%
6/7	30%
>7	19%

El número medio de pasadas de compactación de neumáticos es de 5/6, con valores mínimos y máximos de 3 y 10 respectivamente.

Los valores anteriores permiten deducir una cierta heterogeneidad en las actuaciones en materia de compactación de capas bituminosas. Es cierto que los factores que influyen en la compactación de mezclas bituminosas, citados anteriormente, imposibilitan, e incluso no hacen deseable, una normativa más concreta en el número de pasadas del equipo compactador, pero es importante un estudio minucioso del número adecuado en cada obra.

Temperatura de inicio de la compactación

Se ahorquillan las temperaturas de inicio de la compactación entre 120 y 160 °C, de acuerdo con la siguiente distribución:

Temperatura (°C)	Frecuencia de las respuestas
120 - 130	32%
130 - 140	24%
140 - 150	24%
>150	20%

Se obtiene, como valor medio, 140 °C, con extremos, como se ha citado, de 120 °C y 160 °C.

La temperatura de puesta en obra está íntimamente relacionada con la temperatura de fabricación, cuya regulación se hace en función de la penetración del betún.

Los valores superiores, obtenidos en las respuestas inducen a pensar en las dificultades para conseguir el porcentaje de compactación exigido en los pliegos, lo que conlleva a las empresas a forzar la temperatura de fabricación, con los riesgos de oxidación del ligante, puesto de manifiesto, posteriormente, en los bajos valores de penetración del betún obtenidos en los ensayos de recuperación.

Por el contrario, los valores inferiores (120 °C) parecen demasiado bajos, aunque los factores externos, principalmente la intensidad del viento, y el espesor de la capa, juegan un papel decisivo en la obtención del grado de compactación exigido, de tal forma que en ausencia de viento y con espesores de capa no demasiado críticos es posible conseguir las densificaciones propuestas, a la temperatura mencionada.

En definitiva, la elección adecuada del equipo de compactación en función de la tipología de la mezcla a compactar, de la rigidez del soporte y de la temperatura externa e intensidad del viento, determinarán la temperatura idónea del inicio de la compactación, como un compromiso entre temperaturas bajas, que harían inútil el esfuerzo en compactación, y temperaturas altas, que provocarían arrollamientos de la capa, adherencia de la mezcla a los neumáticos, etcétera.

Porcentaje de compactación obtenido y causas de las dificultades en conseguir los valores exigidos en el contrato

Las respuestas obtenidas en la investigación realizada permitieron elaborar la síntesis que aparece en el Cuadro 2.

Se ha puesto de manifiesto, con cierta intensidad, la dificultad en conseguir el porcentaje de compactación exigido.



Extendido y compactación de un refuerzo de 12 cm. de espesor mediante vibración.

Las obras en las que se ha presentado esta problemática están ubicadas en diferentes zonas, climatológicamente distintas, y en ellas se ha empleado, para la compactación de la capa de rodadura, un tren formado por un compactador vibratorio, como compactador primario, seguido de un rodillo de neumáticos. El número de pasadas del equipo se sitúa entre 3/5 para el vibratorio y 4/6 para el compactador de neumáticos. La temperatura de inicio de la compactación se sitúa entre los 135 y 140 °C. El porcentaje de respuestas expresando dificultad en alcanzar el grado de densificación requerido se eleva al 38%.

Este hecho hizo profundizar en las posibles causas que originaban la problemática citada, encontrándose las siguientes:

— Deformabilidades e irregularidades de la capa o soporte subyacente.

- Tipología de la mezcla que, en general, en nuestro país son agrias, con elevada relación filler/betún, altos contenidos de esqueleto mineral con fuerte rozamiento interno y escaso porcentaje de ligante.
- Aspectos climáticos, entre los que cabe destacar la existencia de viento, cuyo efecto sobre capas de espesor débil origina su rápido enfriamiento.
- Errores en la determinación de la densidad, de forma que los valores obtenidos no son, en numerosas ocasiones, representativos del tramo, bien por la inadecuada elección de los puntos de ensayo, por un mal tratamiento de los datos obtenidos o por errónea ejecución de los ensayos de laboratorio, hecho que no puede catalogarse como atípico o poco frecuente.

Cada una de las causas citadas puede ser suficiente para inducir o motivar las dificultades manifestadas para alcanzar la densificación exigida. En estos casos deben analizarse a fondo los orígenes de tales dificultades y adoptar las soluciones más adecuadas ya que, de otra forma, forzar la energía de compactación con el único objetivo de alcanzar a toda costa una de las prescripciones del contrato puede motivar un fuerte deterioro de la calidad de la mezcla y, posiblemente, su ruina en un tiempo más o menos breve.

CUADRO 2. GRADO DE COMPACTACION

Espesor de capa	Porcentaje medio de compactación (%)	Intervalos	Porcentaje de valores inferiores al:	
			96%	95%
4 - 5 cm.	96,8	96 - 97,6%	24%	7%
8 - 10 cm.	97,3	96,5 - 98,1%	43%	17%

En el caso de capas débiles en espesor, y sobre todo, si no existe una buena regularización de la capa soporte, se producen con determinada frecuencia arrastres y segregaciones de la mezcla, que originan puntos singulares, cuyo tratamiento, a efectos de determinación de la densidad, debe ser diferenciado, para evitar la distorsión que originaría la inclusión de dichos valores en la determinación del porcentaje medio de compactación de un tramo.

Asimismo, en capas de pequeño espesor, frecuentemente empleadas en nuestro país, la presencia de viento es un factor decisivo, y a veces no considerado suficientemente, para adecuar los equipos compactadores que deben densificar la capa en el más corto tiempo posible. De otra forma, la energía empleada no conseguirá su finalidad, produciéndose, aparte de un mayor coste de la operación, que por otra parte será inútil, la alterabilidad de las características y de la calidad de la mezcla.

Puede observarse que si el espesor de la capa a compactar se incrementa, manteniendo su tipología, las respuestas obtenidas ponen claramente de manifiesto un aumento del grado de densificación, conseguido con el mismo equipo, formado por un compactador vibratorio y uno de neumáticos.

Para capas de espesor alrededor de 7-8 cm., el porcentaje medio de compactación se eleva a 97,3%, frente a 96,7% obtenido en capas más delgadas (4-5 cm.). Asimismo, se evidencia un mayor grado de homogeneidad en la compactación de esas capas de mayor espesor, evaluada por una menor desviación típica de los resultados con respecto a la media.

De los resultados obtenidos se extrae la conclusión de la importancia que tiene el espesor a compactar, hasta el punto de que cuando desciende por debajo de ciertos límites condiciona fuertemente los valores de la densificación obtenida. Este espesor límite depende de una serie de factores, como son el tipo y características de la mezcla a compactar, de la rigidez y estado geométrico del apoyo y las condiciones climáticas.

Defectos observados por el empleo de la compactación vibratoria

Como se ha comentado, el uso de elementos vibratorios es el sistema

habitualmente empleado en nuestro país para la compactación de capas bituminosas.

En la encuesta realizada, el 74% de las empresas han manifestado observar distintos tipos de defectos en la capa si el número de pasadas de los compactadores vibratorios es excesivo.

La tipología de los defectos ha sido la siguiente:

Defectos observados por exceso del número de pasadas del equipo vibratorio

Tipo de defecto	Frecuencia de la observación
Agrietamientos de la capa	100%
Desplazamientos y deformaciones de la mezcla	30%
Rotura de áridos	20%
Descompactaciones de la capa	15%

Se ha recogido, por otra parte, la impresión de los técnicos de las empresas constructoras sobre la influencia que el uso de los compactadores

vibratorios ejerce sobre la regularidad superficial del pavimento, característica que, como es conocido, afecta fundamentalmente a la comodidad y seguridad del usuario.

Efecto	Frecuencia de las respuestas
Mejora de la regularidad	32%
Empeora la regularidad	32%
No influye	36%

Puede apreciarse que las respuestas se distribuyen en, aproximadamente, 1/3 para cada una de las posibilidades. Es evidente que los hábitos o formas de ejecutar la compactación vibratoria presentan una decisiva influencia sobre esta característica.

Asimismo influye decisivamente la regularidad de la capa subyacente.

Síntesis del panorama europeo sobre compactación de mezclas bituminosas.

La compactación de mezclas bituminosas define una parte de la puesta en

Compactador autopulsado con vibración en ambos rodillos.



obra que ha sido objeto de estudio profundo en los diversos países europeos, exponiéndose la síntesis del estado actual de la técnica en sucesivos congresos de carreteras que se han celebrado en los últimos años.

Se observa que la práctica generalidad de las Administraciones de carreteras especifican en sus pliegos un intervalo, definido por los límites máximo y mínimo, en el que se han de mover los huecos de mezcla resultante de su dosificación mediante el método Marshall y, posteriormente, se exige una densidad de compactación en obra expresada mediante una relación porcentual con la correspondiente Marshall. En definitiva, se trata de que la mezcla en servicio contenga un porcentaje de huecos en torno a un valor que se define como un compromiso para satisfacer aquellas características de la capa asfáltica que resultarían inadecuadas con contenidos bajos de huecos y aquellas otras que quedarían perjudicadas con porcentajes altos.

Las exigencias relativas al aspecto mencionado figuran, para diferentes países, en el Cuadro 3.

Factores que Influyen en la compactación

En los diferentes países europeos, los estudios realizados han permitido

definir una serie de factores que influyen, a veces decisivamente, en la compactabilidad de las capas asfálticas. Tales factores, sintetizados, son los siguientes:

- Espesor de la capa a compactar.
- Rigidez del soporte o capa subyacente.
- Regularidad superficial de la capa subyacente.
- Temperatura de extendido y compactación.
- Aspectos climáticos.

En todos los países se considera de primordial influencia, para la compactabilidad, el espesor de la capa, y ello por un doble motivo:

- En capas delgadas, el enfriamiento de la mezcla asfáltica se produce rápidamente, haciendo por consiguiente ineficaz la pasada de los equipos compactadores.
- Asimismo, en estas capas se producen una fuerte reducción de la densidad media, por lo que se prescriben los espesores mínimos.

En referencia a la influencia de la rigidez del soporte sobre la compactación, es tanto mayor cuanto más agria sea la mezcla asfáltica a compactar, o cuanto más débil sea su espesor, ya que, en ambos casos, la energía de

compactación aplicada se disipa en deformar el soporte.

La mala regularidad superficial de la capa subyacente se traduce, por una parte, en irregularidades superficiales de la capa extendida, ocasionando un perfil longitudinal incorrecto, y por otra parte, en heterogeneidades de la densidad.

Por último, para evitar la negativa influencia de las bajas temperaturas de extendido sobre la densificación de la mezcla, se exigen los siguientes valores mínimos:

Penetración del betún	Temperatura mínima de extendido
B 40/50	130 - 140 °C
B 60/70	125 - 135 °C
B 80/100	120 - 130 °C

Debemos hacer notar que, en nuestro país, las mezclas asfálticas habitualmente utilizadas son más agrias que en otros países europeos y, por otra parte, los espesores en capas de refuerzo son muy escasos, por lo que las temperaturas mínimas mencionadas es conveniente incrementarlas del orden de 5°-10 °C, con los cuidados precisos para evitar la oxidación del ligante en la fabricación de la mezcla.

Equipos compactadores empleados para la compactación de capas bituminosas agrias

Las mezclas bituminosas agrias, caracterizadas por pobre contenido en ligante, alta relación filler/betún y elevado contenido en esqueleto mineral, son difíciles de compactar. El panorama europeo, en cuanto a los trenes de compactación empleados, indica una masiva utilización de equipos vibratorios, cuya eficacia es superior a los rodillos lisos estáticos.

Así, en Italia se emplean combinación de rodillos de neumáticos con carga y presión de inflado muy altas y rodillos vibrantes o mixtos.

En Francia se recomienda el empleo de rodillos vibrantes en cabeza con frecuencia y amplitud de vibración elevada y carga por generatriz del orden de 25-30 kg/cm.

En Bélgica, la Administración de carreteras admite un solo compactador, si es vibratorio y con las siguientes características:

CUADRO 3

País	Porcentaje huecos en mezcla ensayo Marshall		% Huecos mezcla tras compactac.		Porcentaje mínimo compactación exigido
	Capa de rodadura	Capa intermedia	Capa de rodadura	Capa intermedia	
Francia	5 - 9	6 - 10	3	4	
Alemania	1 - 4 (3 - 5)*	2 - 7 (5 - 7)*	Marshall + (2 - 3%)	Marshall + (2 - 3%)	98 97 (capas delgadas)
Italia	4 - 5 (5 - 7)*	—	5 - 7 (7 - 8)*	—	
Bélgica	No exigido	No exigido	2 - 5	2 - 6	98 95 (valores indiv.)
Holanda	4 6	7	1 - 5 (1 - 7)*	8	98
España	3 - 6 (3 - 5)*	3 - 8 (3 - 6)*	6 - 9 (6 - 8)*	6 - 11 (6 - 9)*	97

* Exigencias para tráfico pesado.

- Peso total superior a 10 toneladas.
- Frecuencia superior a 33 Hz.
- Peso por generatriz superior a 25 kg/cm.

En Suiza se ha observado que en mezclas agrias únicamente los rodillos vibratorios son capaces de conseguir el 98% de compactación exigido en los Pliegos, necesiéndose 6-8 pasadas del equipo para compactar capas bituminosas de 10 cm. de espesor.

Los rodillos vibrantes se emplean con amplitud de 0,4-0,8 mm., frecuencia de 42 Hz, peso total de 10 toneladas y 29 kg/cm. de relación peso/generatriz.

Otros aspectos de la compactación vibratoria

Existe una opinión generalizada acerca de que con los compactadores de neumáticos exclusivamente no es posible conseguir el mismo grado de densificación que con los equipos vibratorios. En cambio, en numerosos países se manifiesta que con rodillos estáticos de llanta metálica, pesados, la densificación alcanzada si se prolonga el tiempo de compactación es sensiblemente igual a la obtenida por vibración, aunque con éstos la velocidad de densificación es más rápida que con los primeros.

Asimismo, la eficacia de la compactación es decisiva en mezclas agrias o en climas fríos, ya que se reduce el tiempo de compactación.

En la mayor parte de los países se prefieren los vibrantes-tándem, por su mayor eficacia, reducción del riesgo de fisuración longitudinal y reducción del posible riesgo de arrollamientos de la mezcla.

Se considera asimismo que el perfil transversal de la carretera obtenido por equipos vibratorios es mejor.

Por último, las características más idóneas para un compactador vibratorio a utilizar en capas agrias son las siguientes:

- Peso total: mínimo, 8 toneladas.
- Relación Peso/generatriz: máximo, 35 kg/cm.
- Frecuencia: mínimo, 33 Hz.

(Países tales como España, Italia, Francia, Alemania, Holanda o Bélgica, recomiendan frecuencias de 40 a 50 Hz,



Extendido de la capa de rodadura en una autopista mediante dos equipos en paralelo. Compactación por rodillo mixto de neumático y cilindro vibratorio.



Rodillo con vibración independiente en ambos cilindros, autopropulsado y de 7,5 toneladas de peso total.

para capas delgadas (<5 cm.) o poco manejables).

- Amplitud: 0,3-0,5 mm. en mezclas manejables. 0,8 mm. para mezclas agrias.
- Velocidad: 4-5 km/hora.
- Número de pasadas: variable.

Problemática de la compactación vibratoria

La rápida introducción de los equipos vibratorios en la última década

para la compactación de capas bituminosas, motivada por la necesidad de incrementar las necesidades de compactación para evitar, entre otros problemas, la postcompactación del fuerte tráfico pesado y la inestabilidad de las mezclas, ha ocasionado un amplio debate entre sus partidarios y sus detractores que señalaban la posible problemática siguiente:

- Rotura de áridos en capas delgadas o bien con áridos blandos. Para su corrección deben limitarse el número de pasadas en vibración y reducir

el momento de excentricidad de los compactadores.

- Deficiencias de la regularidad superficial.
- Ascenso del mortero y, fundamentalmente, del ligante a la superficie.
- Fisuración, especialmente transversal, debido a un exceso de vibración, a una velocidad de compactación elevada, a una temperatura incorrecta, o a la compactación de capas delgadas (5 cm.) sobre otras subyacentes muy rígidas.
- Disminución de la rugosidad superficial, motivada por ascenso del mortero a la superficie. Para corregir este problema algunos países como Francia, obligan al empleo de un compactador de neumáticos tras el vibratorio.

Síntesis de las características que debe reunir un compactador vibratorio

En función de la tipología de la mezcla a compactar, agria o manejable, y del espesor de la capa, las características intrínsecas del compactador vibratorio (frecuencia, peso por generatriz, amplitud) y sus características de empleo (velocidad y número de pasadas en vibración), pueden sintetizarse de la manera que indica el Cuadro 4.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el transcurso de los últimos años, se ha generalizado de forma masiva el empleo de elementos vibratorios para la compactación de las capas asfálticas. Ello ha introducido importantes modificaciones en la composición del parque español, compuesto actualmente por 842 unidades, de las que 268 son vibratorias, 320 de neumáticos y 254 estáticos de llanta metálica, ascendiendo su valor, a coste de reposición, a 5.500 millones de pesetas.

El equipo medio de fabricación y extendido está compuesto por una planta asfáltica, 2 extendedoras y 4 compactadores.

En la compactación de capas bituminosas, se utiliza masivamente la compactación vibratoria, siendo el tren de compactación más habitual el formado por un vibratorio, actuando, generalmente, detrás de la extendidora, al

CUADRO 4. CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR UN COMPACTADOR VIBRATORIO

Tipo de mezcla	Agria			Manejable		
Espesor (cm.)	>7	5 - 7	3 - 5	>7	5 - 7	3 - 5
Frecuencia (Hz)	>4	>4	>4	>4	>4	>4
Amplitud (mm.)	0,6 - 0,8	0,6 - 0,8	0,6 - 98	0,4 - 98	0,3 - 0,5	0,3 - 0,5
Peso/Generatriz (kg/cm.)	20 - 35	20 - 35	20 - 35	10 - 25	10 - 25	10 - 25
Velocidad (km/h.)	3 - 5	3 - 5	3 - 5	4 - 6	4 - 6	4 - 6
Número máximo de pasadas en vibración	10	8	6	8	5	5

que se le asigna la compactación principal, y un compactador de neumáticos para el sellado de la superficie y eliminación de huellas.

La compactación constituye una operación de valor económico porcentualmente escaso, representando entre un 3 y 5% del coste final del proceso de fabricación y puesta en obra de la mezcla asfáltica. Su correcta ejecución es importante en el futuro comportamiento de la capa en servicio.

Se observa una clara tendencia de los fabricantes de extendedoras hacia la fabricación de máquinas de extensión con dispositivos que confieran un importante grado de densificación de la mezcla bituminosa.

Así, es habitual en los equipos de extensión modernos obtener densificación de la mezcla extendida en torno al 95%.

Se observa una fuerte dificultad en alcanzar el porcentaje de compactación exigido en contrato, lo que conlleva heterogeneidades en actuación en materia de compactación en lo referente al número de pasadas del equipo, en general elevado, y a la temperatura de inicio de la compactación.

Estas dificultades son debidas, en general, al débil espesor de la capa a compactar, sobre todo en el caso de los refuerzos; a deformabilidades e irregularidades de la capa subyacente; a la tipología agria de la mezcla y a un proceso, a veces no correcto, de determinación de la densidad alcanzada. En un esfuerzo por lograr la densificación exigida en los Pliegos, se fuerza a

veces la temperatura de fabricación o el número de pasadas en vibración.

En estos casos se deben analizar a fondo los orígenes de tales dificultades y adoptar las soluciones más adecuadas ya que, de otra forma, forzar la energía de compactación con el único objetivo de alcanzar a toda costa una de las prescripciones del contrato puede motivar un fuerte deterioro de la calidad de la mezcla, y posiblemente su ruina, siendo preferible un compromiso entre los diferentes índices de calidad a conseguir.

En el caso de capas asfálticas más gruesas el grado de densificación obtenido es más elevado que para capas de 5 cm. obteniéndose, como valor medio, un 97,3% frente al 96,8% resultante para capas de rodadura o de refuerzos de 5 cm. Parece, por consiguiente, importante la influencia del espesor, en el campo de los valores citados, para conseguir la densificación exigida en contrato.

En el caso de carreteras para tráfico no importantes, el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG3/75) define que la densidad Marshall de referencia sea la obtenida sometiendo a las probetas en laboratorio a una energía de compactación de 50 golpes por cada cara, en lugar de los 75 empleados para el proyecto de mezclas bituminosas destinadas a tráfico pesado. Esta prescripción raramente se utiliza, lo que se traduce, a veces, en un deterioro importante de la calidad de la mezcla.

(*) Juan F. Viguera es Dr. Ingeniero de Caminos y Director Gerente de ASEFMA (Asociación de Fabricantes de Mezclas Asfálticas).