GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

NOTA TÉCNICA NT 02/2020

Sustitución de un betún mejorado con caucho (BC) por la combinación de un betún de penetración y un aditivo de caucho en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente

El empleo de polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos al final de su vida útil (NFVU) tanto en betunes asfálticos como en mezclas bituminosas está recogido y regulado en la actualidad por las órdenes circulares OC 21/2007 (11 de julio de 2007), OC 21bis/2009 (23 de marzo de 2009) y el Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas elaborado por el CEDEX (mayo de 2007).

En el tiempo transcurrido se han desarrollado nuevos productos que permiten la incorporación del caucho a las mezclas bituminosas de una forma sencilla, eficaz y con garantías, que solventan muchos de los problemas conocidos.

Con el fin de facilitar su empleo, se ha considerado oportuno la redacción de esta Nota Técnica en la que se definen estos nuevos aditivos, sus características, la forma de proceder a su empleo y los ensayos a realizar para poder sustituir con garantías los betunes mejorados con caucho (BC).

Este documento ha sido redactado por Julio José Vaquero García, ICCPE Jefe del Servicio de Auscultación de Firmes y Pavimentos (DGC).

Ha sido aprobado por Mª Rosario Cornejo Arribas, ICCPE Directora Técnica de la Dirección General de Carreteras con fecha 23 de octubre de 2020.

1 Formas de incorporación del caucho a las mezclas bituminosas en caliente

Como indica la OC 21/2007, siguen siendo dos las vías de incorporación de caucho a las mezclas bituminosas: las denominadas vía húmeda y vía seca.

La vía húmeda es un procedimiento que consiste en la mezcla a alta temperatura de polvo de caucho con un betún asfáltico durante el tiempo suficiente para modificar sus propiedades. Este proceso se puede realizar en centrales de fabricación de ligantes asfálticos o bien *in situ*, en la propia planta de fabricación de mezclas asfálticas, por medio de instalaciones especiales.

La vía seca, realiza la incorporación del polvo de caucho directamente a la amasadora de la central de fabricación de la mezcla bituminosa, como uno más de sus componentes. En el contacto íntimo con el betún, y con el tiempo suficiente, se produce un proceso de digestión del caucho y la mezcla adquiere sus propiedades.

Por medio de la vía húmeda se pueden obtener betunes mejorados con caucho (BC), betunes modificados con caucho (BMC) y betunes de alta viscosidad con caucho (BMAVC), a medida que los contenidos de caucho van aumentando. Dichos contenidos no se indican en la OC 21/2007 sino en el Manual del CEDEX al que remite la propia orden circular y que son, respectivamente, los siguientes intervalos: 8-12%, 12-15% y > 15%, en porcentajes en relación a la masa final del ligante con caucho.

En el momento de la redacción de la OC 21/2007 se consideraba que la vía húmeda era la forma más fiable de incorporar caucho a las mezclas bituminosas, que veían mejoradas sus propiedades de una forma técnica y económicamente viable, a la vez que se reutilizaba un residuo y se contribuía a los Planes Nacionales de Utilización de Residuos y a la obtención de soluciones más sostenibles y respetuosas con el medioambiente.

El empleo de estos ligantes puso de manifiesto la existencia de problemas derivados de su estabilidad de almacenamiento, con fenómenos de decantación de las partículas de caucho, lo que obligo a la redacción de la OC 21bis/2009. A pesar de ello, el empleo de ligantes mejorados con caucho (BC) fue disminuyendo, realizándose modificados para el cambio de estos ligantes por betunes asfálticos convencionales.

La vía seca se consideraba como una forma marginal de empleo del caucho, con mucha menos fiabilidad de que los procesos de digestión se llevasen a cabo de forma completa en la masa de la mezcla bituminosa en caliente, y por ello se limitaba su empleo a soluciones para categorías de tráfico pesado T3 y T4.

Como consecuencia de ello, esta técnica se utilizó de manera muy residual en España hasta la aparición de nuevos aditivos con polvo de caucho, cuyo empleo se ha ido extendiendo a nivel internacional.

El principio de producción de estos aditivos es muy sencillo. En una instalación industrial se mezcla el polvo de caucho con un betún asfáltico en condiciones óptimas de temperatura para que se produzca el proceso de digestión. Antes de que este proceso finalice se interrumpe y se procede a la estabilización del producto resultante para que no se aglomere y pueda seguir manejándose como un material pulverulento.

El resultado es un aditivo que puede incorporarse, en el momento de su uso, al ligante o a la mezcla bituminosa, de manera que el proceso de digestión se reinicia y finaliza en el transcurso de unos minutos, dando lugar a un material listo para su empleo.

Con ello, se eliminan los inconvenientes de depósitos de ligante con recirculación, decantación del caucho en serpentines de calefacción, aglomeración en tuberías, tiempos de almacenamiento, etc.

Para la producción de mezclas que deban contener caucho estos aditivos se pueden adicionar en el momento de su fabricación sin interferir en la marcha habitual de las centrales de mezclas bituminosas.

Al desaparecer las incertidumbres del porcentaje de caucho que por vía seca se va a digerir y se va a incorporar al ligante para modificarlo, el uso de esta técnica se puede extender a todas las categorías de tráfico pesado y, por tanto, puede emplearse para reemplazar el uso de betunes mejorados con caucho (BC), y puede suponer en muchos casos una mejora técnica evaluable en forma de rendimientos y calidad de ejecución de los trabajos.

En lo que sigue, se van a dar las indicaciones necesarias para el empleo de estos aditivos y los criterios para reemplazar betunes mejorados con caucho (BC) cuando esto sea necesario.

2 Cómo reemplazar un betún mejorado con caucho por la combinación de un betún de penetración y un aditivo de caucho

En cualquier obra en la que se esté utilizando un betún mejorado con caucho (BC) en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente, y en particular en aquéllas en las que se estén produciendo dificultades derivadas del empleo de este ligante (posibles bajadas en rendimientos y producciones, problemas de decantaciones y sedimentaciones, falta de homogeneidad en el ligante suministrado, etc.), es posible su sustitución por el empleo de un betún convencional y un aditivo de caucho, garantizando en todo momento que las prestaciones de la mezcla bituminosa en ambos casos sean las mismas y

cumplan con los requisitos del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de la Obra.

Para ello se han de seguir los siguientes pasos:

1. Análisis del contenido de betún mejorado con caucho definido en la fórmula de trabajo.

2. Cálculo de las dotaciones de betún de penetración y aditivo de caucho para alcanzar las mismas prestaciones en la mezcla bituminosa, de acuerdo con la fórmula de trabajo aprobada (contenido de huecos, resistencia a la deformación permanente, sensibilidad al agua, etc.).

3. Comprobación, con las dotaciones anteriores, del cumplimiento del contenido de caucho con los requisitos indicados en la OC 21/2007.

La incorporación de un aditivo de caucho viene acompañada de un aumento de la viscosidad de la mezcla. Por ello es muy recomendable realizar unas comprobaciones previas por si fuera necesario emplear un betún de penetración de partida más blando.

Por tanto, con el fin de garantizar las mismas condiciones de trabajabilidad de la mezcla al utilizar un betún mejorado con caucho (BC), y al utilizar la combinación de un betún de penetración y un aditivo de caucho, se recomienda realizar un ensayo de viscosidad dinámica según la norma UNE-EN 13302 para comparar los valores obtenidos y trabajar en rangos similares de viscosidad. Asimismo, y como referencia, se pueden efectuar otro tipo de ensayos sobre el ligante resultante de la combinación del betún de penetración y el aditivo de caucho (penetración, punto de reblandecimiento de anillo y bola, recuperación elástica, etc.).

Para ello se recomienda seguir el siguiente procedimiento para la preparación de este ligante resultante, que no será en ningún caso idéntico al que se obtenga en el proceso de fabricación, pero que sí puede darnos una idea de su comportamiento:

1. Una vez realizados los ensayos de laboratorio sobre la mezcla para obtener la fórmula de trabajo se tendrán los porcentajes sobre el peso total de la mezcla del betún de penetración (A) y del aditivo de caucho (B).

2. Se obtiene el valor de penetración (UNE-EN 1426) del betún asfáltico que se va a emplear.

3. Se procede a calentar este betún en estufa hasta una temperatura de 165ºC a 175ºC.

4. Se determina la masa necesaria de cada componente (betún asfáltico y aditivo de caucho) para constituir una muestra de 500 g, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Betún = 500\ \frac{A}{A+B}$$

$$Aditivo\ de\ caucho = 500\ \frac{B}{A+B}$$

5. Se toma la cantidad de betún correspondiente y se eleva su temperatura hasta 180ºC.

6. Una vez alcanzada la temperatura se incorpora al betún la cantidad de aditivo de caucho correspondiente y se somete al conjunto a agitación durante 5 minutos a 500 rpm.

7. Finalizado el mezclado y obtenido el ligante resultante se extraen las cantidades necesarias para la realización de los ensayos de caracterización correspondientes.

NOTA: Ejemplo de cómo iniciar los estudios de la fórmula de trabajo con el aditivo de caucho.

El proyecto contempla la utilización de un BC 35/50 en una mezcla bituminosa del tipo AC16 bin. El estudio de laboratorio obtuvo un contenido de ligante del 4,8% en peso sobre la mezcla. Al iniciarse los trabajos comienzan a producirse problemas de suministro y de fabricación en la planta, por lo que se estudia la sustitución de este ligante por un betún de penetración y un aditivo de caucho.

El primer paso sería la determinación del contenido de caucho en la mezcla bituminosas. Para ello, se solicitará al suministrador que declare la cantidad de caucho del ligante suministrado. En caso de no contar con esta información, se tomará como referencia el intervalo indicado en la OC 21/2007 que, por referencia directa al Manual del CEDEX, considera que para este tipo de ligantes mejorados con caucho, el contenido de éste se encuentra en el intervalo 8-12%.

Vamos a considerar que el ligante utilizado tiene un contenido del 8% de caucho. La cantidad empleada en la mezcla será de: 10% x 4,8% = 0,48% de caucho.

De acuerdo con el Documento de Idoneidad Técnica del aditivo de caucho a utilizar, éste contiene un mínimo de un 60% de caucho, siendo el resto un betún de penetración (35%) y polvo mineral calizo (5%).

Para alcanzar un contenido del 0,48% de caucho sobre la mezcla será preciso emplear un contenido de aditivo de: 0,48% / 60% = 0,80%.

Este aditivo aportará a la mezcla un 0,80 x 35% = 0,28% de ligante y un 0,04% de polvo mineral de aportación.

Los primeros tanteos para estudiar la fórmula de trabajo se hacen con los siguientes porcentajes sobre mezcla:

- Ligante de penetración: 4,3 % (4,8% - 0,48%)
- Aditivo de caucho: 0,8%

En los apartados 4 y 5 de esta Nota Técnica, se recoge información relevante para poder modificar, en su caso, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

3 Aditivos de caucho para su empleo en mezclas bituminosas en caliente

3.1 Definición

Se define como aditivo de caucho para su aplicación en obras de pavimentación al producto resultante del tratamiento específico del polvo de caucho —con partículas de tamaño no superior a ocho décimas de milímetro (≯ 0,8 mm) obtenidas del proceso de granulación y molienda de neumáticos al final de su vida útil (NFVU) a las que se han retirado sus componentes ferromagnéticos, textiles y contaminantes— para mejorar o modificar sus propiedades y facilitar su incorporación a betunes y mezclas asfálticas.

El fabricante o suministrador deberá aportar información sobre el contenido de los materiales empleados en la fabricación de este aditivo, cuyo componente principal ha de ser el caucho, para tenerlos en cuenta en el momento de su incorporación.

3.2 Características físicas

3.2.1 Densidad

El fabricante o suministrador deberá aportar información sobre la densidad aparente y densidad real del aditivo de caucho con una tolerancia de cinco centésimas de gramo por centímetro cúbico (± 0,05 g/cm^3).

3.2.2 Humedad

El contenido de humedad del aditivo de caucho debe controlarse para evitar la formación de espumas durante su empleo. Su contenido será inferior al tres por mil (< 3‰) (CEN/TS 16916).

3.2.3 Granulometría

La granulometría del aditivo de caucho, determinada de conformidad con el método de ensayo descrito en la norma UNE-EN 14243-2, deberá ajustarse al huso indicado en la Tabla 1.

Tabla 1: Granulométria del aditivo de caucho a emplear en betunes y mezclas bituminosas

Cernido ponderal acumulado (% en masa) Abertura de los tamices (mm)					
0,8	**0,71**	**0,5**	**0,25**	**0,125**	**0,063**
90-100	75-100	40-90	10-50	5-30	0-15

3.2.4 Transporte y almacenamiento

El aditivo de caucho se suministrará en camión cisterna o en sacas (big bags). En el primer caso el aditivo se almacenará en un silo específico para ello. En el caso de las sacas, éstas deberán acopiarse en almacenes ventilados, protegidas de la lluvia y del sol.

Cuando el periodo de almacenamiento sea superior a seis (> 6) meses, deberá comprobase que no se han producido aglutinaciones antes de proceder a su empleo. En caso de haberse producido, el producto deberá ser necesariamente tratado, por ejemplo, mediante un cribado por vibración, para permitir su uso correcto.

3.2.5 Recepción e identificación

Cada partida irá acompañada de un albarán y de una hoja de características del producto en los que debe figurar, al menos, la información que se indica a continuación.

El albarán contendrá explícitamente los siguientes datos:

- Nombre y dirección de la empresa suministradora.
- Fecha de fabricación y de suministro.
- Número de lote de fabricante.
- Identificación del producto y forma de suministro.
- Identificación del vehículo que lo transporta.
- Cantidad que se suministra.
- Denominación comercial, en su caso.
- Nombre y dirección del comprador y del destino.
- Referencia del pedido.

La hoja de características deberá incluir la siguiente información:

- Declaración del fabricante del contenido de caucho.
- Granulometría.
- Densidad aparente y densidad real.
- Información sobre sus componentes para poderlos tener en cuenta en la fórmula de trabajo de la mezcla bituminosa.
- Indicaciones sobre forma de incorporación en ligantes o en mezclas bituminosas.

– Otras características relevantes.

Además, se recomienda que el aditivo de caucho esté en posesión de una evaluación técnica de la idoneidad de empleo en la que se indiquen, entre otras, sus características, forma de uso, limitaciones de empleo, en su caso, y se establezca su idoneidad para ser empleado como aditivo en mezclas bituminosas en caliente y/o en ligantes hidrocarbonados.

NOTA: La evaluación técnica de la idoneidad de empleo se materializa a través de un Documento de Idoneidad Técnica (DIT), un documento de carácter voluntario que contiene una apreciación técnica favorable de la idoneidad de empleo en obra civil de materiales, sistemas o procedimientos constructivos no tradicionales o innovadores, expedido por un organismo autorizado para ello. A los efectos de esta Orden Circular se considerarán como tales los organismos pertenecientes a la UEAtc (The European Union for Technical Approval in Construction), así como los pertenecientes a la EOTA (The European Organisation for Technical Assessment).

4 Incorporación de aditivos de caucho en mezclas bituminosas en caliente

Los aditivos de caucho pueden incorporarse a las mezclas bituminosas en caliente por vía seca como uno más de sus componentes. En este caso, el ligante hidrocarbonado a emplear debe ser alguno de los recogidos en los artículos 211 y 212 del PG-3, no pudiéndose emplear para este cometido ninguno de los ligantes con caucho definidos en la OC 21/2007.

Las mezclas que podrían incorporar aditivos de caucho son las definidas en los artículos 542 y 543 del PG-3 y en el artículo 544 de la O.C. 3/2019, que han de cumplir todo lo especificado para ellas en los mencionados artículos con las particularidades que se indican a continuación.

Como el objeto de esta nota técnica es el reemplazo con éxito de un betún mejorado con caucho (BC) por la combinación de un betún de penetración y un aditivo de caucho, se limita su alcance a aquellas aplicaciones contempladas en los artículos mencionados anteriormente en las que se indica la posibilidad de emplear un betún mejorado con caucho (BC).

4.1 Tipo y composición de la mezcla

El aditivo de caucho se considerará como parte de la granulometría del árido, como si se tratase de una fracción más. Debe tenerse en cuenta su densidad, empleando para ello los valores declarados por el suministrador, dado que es muy diferente a la de los áridos.

4.2 Equipo necesario para la ejecución de las obras

4.2.1 Central de fabricación

La central de fabricación dispondrá de una tolva específica para la incorporación del aditivo de caucho por vía seca, con un sistema de dosificación ponderal con una precisión superior al tres por mil (± 3 ‰).

En centrales continuas debe evitarse que el aditivo de caucho pueda quedar bajo la influencia de la llama directa en el secador, para prevenir su eventual calcinación. Por este motivo, se incorporará por las entradas previstas para los aditivos. En el caso de contar con un sistema dinámico de pesaje, su precisión no será inferior al uno por mil (± 1‰).

4.3 Ejecución de las obras

4.3.1 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo señalará, además de lo indicado en los artículos 542 y 543 del PG-3 y en el artículo 544 de la O.C. 3/2019:

- Tipo de aditivo de caucho empleado y dotación referida a la masa de la mezcla total.
- Densidad mínima a alcanzar.
- Las prescripciones necesarias sobre la forma de incorporación y tiempo de mezclado del aditivo de caucho para asegurar su completa dispersión en la mezcla. En su caso, se indicará el tiempo de amasado en seco con los áridos antes de la incorporación del ligante.
- El tiempo estimado de amasado.
- El tiempo mínimo de digestión.
- La temperatura mínima de la mezcla al iniciar y terminar la compactación.

La temperatura máxima a la salida del mezclador podrá aumentarse en una cantidad no superior a diez grados Celsius ($\geq$ 10ºC) sobre la indicada en los artículos 542 y 543 del PG 3 y en la Orden Circular 3/2019.

El fabricante de la mezcla bituminosa con adición de caucho deberá indicar la temperatura de referencia para la compactación de las probetas, y para la fabricación, extendido y compactación de la mezcla, así como el tiempo necesario de digestión para alcanzar una adecuada interacción betún/caucho.

4.3.1.1 Tiempo de digestión

En las mezclas con adición de caucho es preciso garantizar un tiempo suficiente de contacto entre el betún y el caucho en condiciones adecuadas de temperatura.

El tiempo de digestión dependerá del tipo de aditivo de caucho utilizado y de la temperatura de fabricación de la mezcla. El fabricante de la mezcla deberá indicar con precisión este tiempo en base a los resultados de su control de producción.

A falta de experiencias previas, el tiempo de digestión se determinará mediante el ensayo de determinación de sensibilidad al agua realizado sobre probetas en las que se haya dejado transcurrir un determinado tiempo desde la fabricación de la mezcla con caucho, que se conservará en estufa a una temperatura diez grados Celsius (10ºC) inferior a la de fabricación.

El tiempo de digestión será aquel que sea necesario para que la resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras inmersión, realizado a quince grados Celsius (15 ºC) (método A de la norma UNE-EN 12697-12), sea al menos la obtenida en la fórmula de trabajo aprobada con el betún mejorado (BC). Las probetas se compactarán según la norma UNE-EN 12697-30, aplicando cincuenta (50) golpes por cara, y desmoldadas en un plazo no inferior a cuatro horas (≮4 h) para evitar su descompactación.

Los resultados de laboratorio deberán contrastarse con mezcla fabricada en central.

NOTA: Los aditivos de caucho han sido especialmente preparados para optimizar el tiempo de digestión, que suele ser muy inferior al que transcurre entre la fabricación y el extendido de la mezcla. No obstante, se ha recogido un método de comprobación por si fuera necesario emplearlo en algún momento.

4.3.2 Fabricación de la mezcla

Para la fabricación de mezclas bituminosas con adición de caucho se procederá de la siguiente forma:

- Se realizará un amasado conjunto de los áridos y el aditivo de caucho durante el tiempo necesario para alcanzar una mezcla homogénea que, en ningún caso, será inferior a cinco segundos (≮ 5 s).
- Posteriormente, se incorporará el ligante bituminoso y se procederá a amasar durante al menos treinta segundos (≮ 30 s).
- Finalmente, se incorporará el polvo mineral procediendo a amasar durante al menos veinte segundos (≮ 20 s).

4.3.3 Extensión

No podrá procederse a la descarga y extensión de ninguna mezcla con adición de caucho sin que haya transcurrido el tiempo de digestión especificado para la misma en la fórmula de trabajo.

No se admitirá la descarga ni la extensión de mezclas con adición de caucho que lleguen con una temperatura inferior a la indicada en la fórmula de trabajo, para garantizar su correcta compactación.

4.3.4 Compactación

Se emplearán líquidos antiadherentes o soluciones jabonosas para evitar la adherencia de las mezclas con adición de caucho a los compactadores. Estos productos deberán haber sido previamente aprobados por el Director de la Obra, a la vista de los resultados obtenidos en el tramo de prueba, y no deberán influir negativamente en las características y comportamiento de la capa.

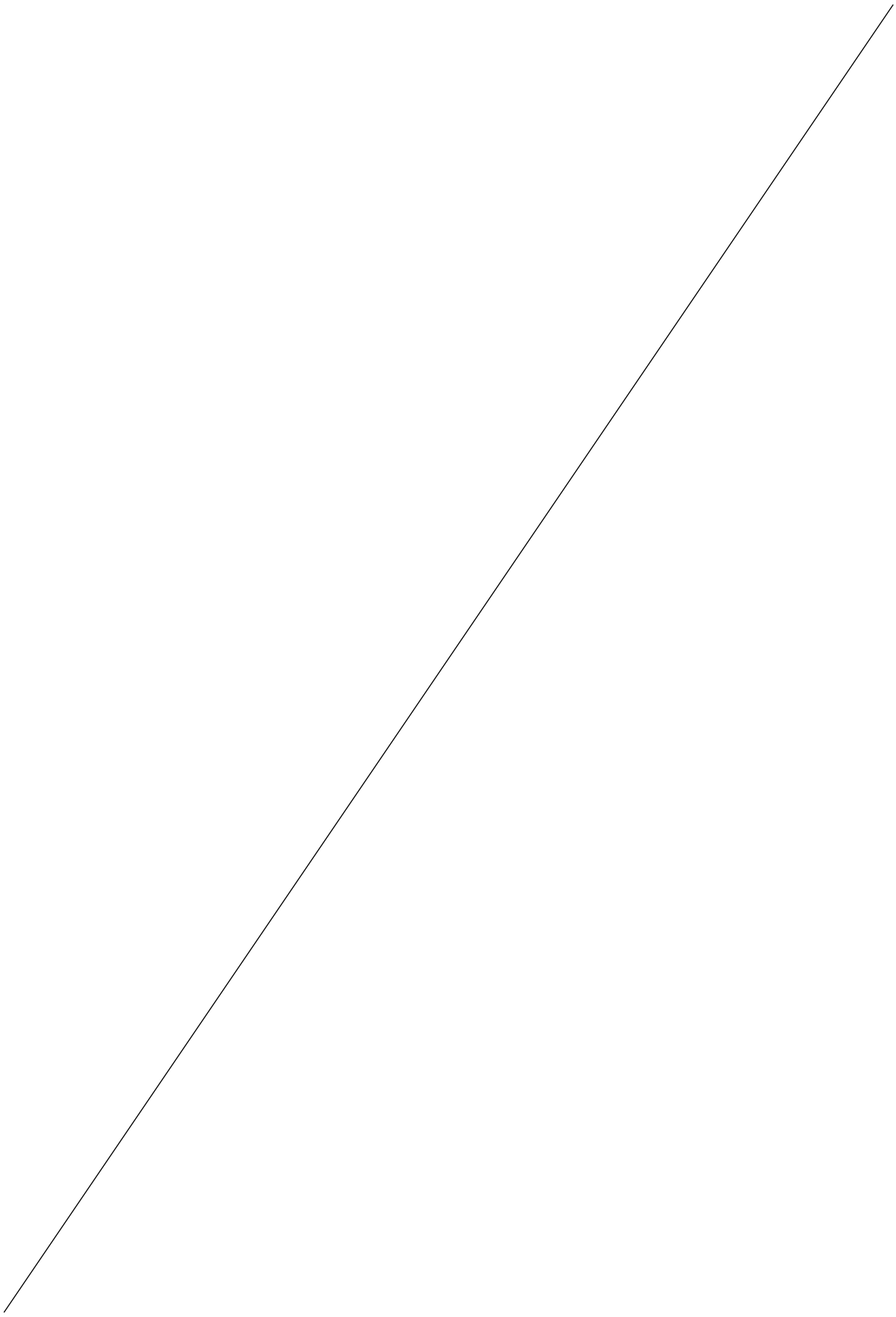
4.4 Control de ejecución

4.4.1 Fabricación

Se realizará un registro de los contenidos de aditivo de caucho incorporados a la mezcla. Dichos registros deberán proceder de los sistemas implantados en la central de fabricación y se entregarán, firmados por persona física con responsabilidad, a la Dirección de la Obra como parte del control de calidad.

En centrales de mezcla continua se calibrará diariamente el flujo de la cinta suministradora de aditivo de caucho, deteniéndola cargada y recogiendo y pesando el material existente en una longitud elegida.

4.5 Limitaciones de la ejecución

La ejecución de mezclas bituminosas con caucho se realizará siempre bajo condiciones climáticas favorables, entendiendo como tales aquellas en las que el riesgo de que se produzcan precipitaciones, heladas o situaciones de temperaturas inferiores a diez grados Celsius (< 10ºC) es muy reducido, y por tanto su afección al extendido y compactación es también reducida, permitiendo disponer del tiempo suficiente para poder ejecutar la unidad de obra dentro del intervalo de temperaturas indicado en la fórmula de trabajo.

Antes de proceder a la ejecución deberá comprobarse que la superficie sobre la que se va a efectuar el extendido ha alcanzado una temperatura superior a diez grados Celsius (> 10ºC).