

“Concreto  
asfáltico  
mejorado: SMA -  
Stone mastic  
asphalt”

Elisa María Pía Fracaro

Universidad Tecnológica  
Nacional  
Facultad Regional Concordia

---

## Contenido

|   |    |
|---|----|
| Motivación.....   | 4  |
| Resumen General .....                                     | 5  |
| Introducción .....  | 7  |
| Objetivos del Proyecto .....                              | 10 |
| Objetivo General .....                                    | 10 |
| Objetivos Específicos .....                               | 10 |
| Estructura de la Investigación .....                      | 11 |
| Introducción Teórica. Historia de las mezclas de SMA..... | 12 |
| Primeras pruebas con SMA y su seguimiento.....            | 13 |
| Uso del SMA en el mundo.....                              | 14 |
| Composición de las mezclas de SMA.....                    | 17 |
| Piedras naturales.....                                    | 18 |
| Definiciones de geología .....                            | 18 |
| Piedra natural de Alemania y Argentina .....              | 20 |
| Piedra natural procedente de Alemania .....               | 20 |
| Piedra natural de Argentina .....                         | 20 |
| Marco normativo en Alemania.....                          | 22 |
| Reglamentos técnicos para rocas.....                      | 22 |
| Marco normativo en Argentina .....                        | 24 |
| Fase empírica.....  | 31 |
| Descripción de la Metodología a utilizar .....            | 31 |
| Cribado de los áridos.....                                | 33 |
| Documentación fotográfica del proceso .....               | 38 |
| Densidad aparente de los áridos.....                      | 39 |
| Documentación fotográfica del proceso:.....               | 42 |
| Proporciones de los áridos .....                          | 43 |
| Preparación de las probetas .....                         | 52 |
| Documentación fotográfica del proceso:.....               | 61 |
| Densidad real de las probetas .....                       | 64 |
| Documentación fotográfica del proceso:.....               | 72 |
| Fabricación de las placas .....                           | 75 |
| Documentación fotográfica del proceso:.....               | 81 |
| Densidad aparente de las placas.....                      | 83 |
| Documentación fotográfica del proceso:.....               | 86 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Densidad real de los núcleos de perforación..... | 89  |
| Documentación fotográfica del proceso.....       | 91  |
| Pruebas de rigidez .....                         | 94  |
| Documentación fotográfica del proceso:.....      | 109 |
| Ensayos de fatiga.....                           | 111 |
| Dimensionamiento con PaDesTo .....               | 112 |
| Conclusión.....                                  | 124 |
| Bibliografía.....                                | 125 |

## Motivación

El tema de este proyecto surgió en el marco de la beca UTN-DAAD para jóvenes investigadores. El material Stone Mastic Asphalt SMA tiene su origen en Alemania, país en donde se realizó la investigación.

Junto con los compañeros de investigación **Nicolás Cardozo** y **Leandro Domé** conocimos la elaboración, manipulación, y testeo y junto al personal de la cátedra y de laboratorio de la Ruhr Universität Bochum (Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Lehrstuhl für Verkehrswegebau) fuimos materializando el proceso investigativo. A ellos les debo las bases de este proyecto y mi agradecimiento.

Para seguir el transcurso del proceso que funda cualquier investigación, en donde la transferencia de conocimiento y su adaptación técnico-práctica-divulgativa forma parte inseparable del mismo se debe establecer objetivos. Es el propósito de dicha presentación teórica la concreción del procedimiento investigativo, esto se logra a través del desarrollo de las operaciones experimentales, las hipótesis utilizadas y las conclusiones obtenidas. Finalmente, como meta principal su posterior vinculación, complementación y potencial aplicación en nuestro país.

El trabajo de finalización de carrera es la representación intelectual sintetizada entre la formación académica recibida durante los años de estudio y la realidad social del entorno y el ambiente, propiciándole de esta forma un valor agregado.

Es por lo anterior, que las bases de dicha presentación estarán orientadas, por medio del proceso investigativo y bajo su forma a satisfacer dicho objetivo central.

## Resumen General

Se define como Concreto Asfáltico en Caliente del tipo Stone Mastic Asphalt (SMA) a la combinación de un ligante asfáltico (convencional o modificado), agregados (incluido filler), fibras y eventualmente aditivos.

Las mezclas SMA, son mezclas bituminosas discontinuas que se utilizan para capas de rodamiento con elevada macrotextura superficial. Se hayan compuestas por un esqueleto pétreo y poseen un bajo contenido de vacíos. Debido a esto necesitan una abundante dotación de asfalto y de filler de aportación que mediante la adición de fibras evitan el escurrimiento del asfalto libre, por lo que también se las clasifica dentro de las “mezclas fibroasfálticas”.

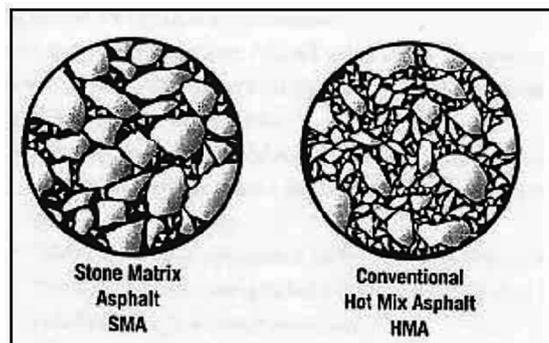


Imagen 1: SMA vs. Mezcla asfáltica convencional

Los áridos utilizados en la mezcla son de trituración, con mayor proporción relativa de agregados gruesos, materializándose la discontinuidad granulométrica entre dos tamices sucesivos, generalmente los de abertura 4,8 mm y 2,4 mm (Nº4 y Nº8, respectivamente). Por otro lado, la

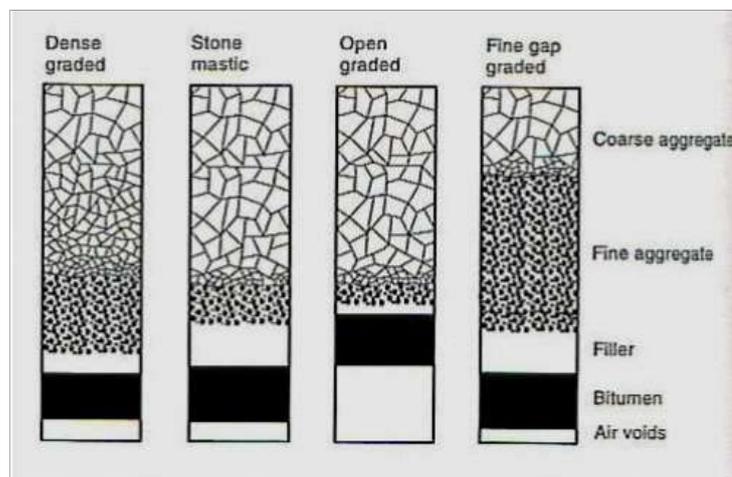


Imagen 2: Comparación de proporciones componentes

resistencia mecánica de las capas construidas con esta tecnología se debe principalmente a sus características friccionales, debido a que los áridos gruesos, al estar trabados entre sí (“interlocking”), transfieren las cargas al estrato de apoyo. Otras propiedades relevantes de estas mezclas están relacionadas con la seguridad, el confort vial y longevidad: los pavimentos SMA son resistentes al deslizamiento gracias a la gran adherencia neumático-calzada, son moderadamente fonoabsorbentes, es decir, atenúan la generación de ruido vehicular, además de ser resistentes a los ahuellamientos y

contar con un óptimo comportamiento a fatiga. Esto repercute positivamente en su **vida útil**, la cual es más prolongada respecto de los pavimentos asfálticos tradicionales, además de requerir menores trabajos de **mantenimiento** durante su tiempo en servicio.

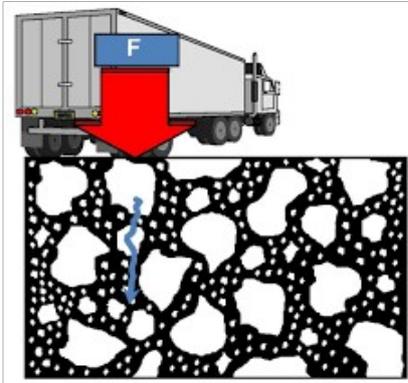


Imagen 3: Transmisión de tensiones en SMA



Imagen 4: Aspecto superficial del SMA

Es decir que la finalidad de la utilización de los Asfaltos tipo SMA es dotar a la carpeta de rodamiento de óptimas condiciones de **resistencia mecánica, macrotextura, resistencia al deslizamiento y propiedades fono absorbentes**, así también como **representar una solución sustentable para el ambiente**.

## Introducción

Las tradicionales mezclas asfálticas, que se utilizan como capa superior en las carreteras están sujetas a la creciente demanda de transporte, influenciadas por los agentes atmosféricos, las altas y bajas temperaturas y el uso de materiales inadecuados. Estos factores pueden causar un deterioro considerable en el pavimento, como las deformaciones plásticas permanentes causadas por la aparición de surcos y formación de grietas debido a de la fatiga o el envejecimiento.

Estas circunstancias generan una gran incertidumbre al conducir por los caminos afectados, además de manifestar una reducción de la fricción y deformación ondulante, traduciéndose en mayores costos operativos.

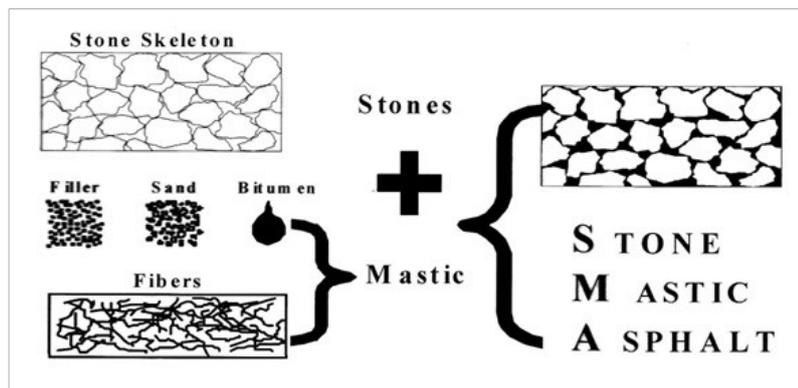


Imagen 5: Elementos componentes

El sistema discontinuo de mezclas de graduación SMA (stone mastic asphalt), se presenta como una solución a estos inconvenientes. Este tipo de mezclas asfálticas, se encuentran especialmente modificadas debido a un alto contenido de áridos gruesos y betún. Las cavidades en la matriz de la estructura se rellenan con asfalto y otros materiales llamados rellenos "filler", los cuales proporcionan cohesión y adhesión.

Este tipo de mezclas poseen un alto contenido de aditivos -al menos un 70%, lo cual permite aumentar la fricción entre las partículas después de la compactación.

La utilización de mezclas SMA presentan las siguientes ventajas.

**Elevado índice de fricción / seguridad:** En condiciones de lluvia o humedad generan mayor contacto entre el neumático y el pavimento, proporcionando más seguridad que las mezclas convencionales.

**Disminución de ruido:** Cuando los neumáticos de los autos circulan sobre un camino hecho a partir de una mezcla convencional, una serie de burbujas de aire que se comprimen dan origen a un tronido que resulta del "bombeo" de aire hacia el suelo. Por tener una textura superficial rugosa, las superficies SMA provocan menos ruido aumentando la confortabilidad de tránsito.

**Disminución de proyección de agua:** Cuando circulan sobre superficies mojadas, el frente de los neumáticos de los autos genera una aglomeración de líquido. Una mezcla SMA deriva una cierta cantidad del líquido a las oquedades de la superficie. Esto genera que se pulverice menos agua y que el neumático proyecte hasta 60% menos de la que lanzaría sobre una mezcla más lisa.

**Mejor drenaje superficial:** Un drenaje superficial deficiente genera una lámina de agua continua sobre el pavimento. Las mezclas SMA, al mejorar el drenaje, minimizan el acuaplaneo.

**Impermeabilidad:** Las mezclas SMA actúan de manera de impedir la entrada de líquidos.

**Mayor durabilidad:** Debido a una mejor cohesión, a su impermeabilidad y a su alto contenido de asfalto, la mezcla SMA es mucho más durable que cualquier otra.

**Bajo mantenimiento:** Si una mezcla convencional requiere una rehabilitación cada 8 o 10 años, una mezcla SMA puede alcanzar 20 años sin necesidad de tratamiento alguno. Esto significa una vida útil hasta 150% más larga.

**Resistencia a la rodadura:** Gracias a la granulometría con alto contenido de agregado grueso, se logra el denominado contacto piedra contra piedra, lo cual hace que las mezclas SMA sean sumamente estables.

**Mejora de la visibilidad del señalamiento horizontal:** Gracias a su elevada macrotextura, el señalamiento horizontal –el balizamiento- se logra un mayor contraste.



*Imagen 6: Macrotextura de una carpeta de SMA*

A continuación, a modo de sintetización de lo expuesto y orientación de las actividades investigativas a desarrollar se esquematizará en un cuadro las Fortalezas y Oportunidades que determinan esta clase de estudio, lo cual permitirá definir los objetivos de la investigación.

| Fortalezas   | Oportunidades  |
|--|--|
| Estudiar un material desde su país de origen, el cual ha demostrado incrementar las cualidades técnicas-operativas respecto a las mezclas tradicionales. | Analizar un material que aún no ha sido utilizado de manera generalizada en nuestro país.                                    |
| Conocer la reglamentación existente sobre su utilización en las normas alemanas.   | Encontrar similitudes que permitan la experimentación y obtención de resultados con materiales disponibles en ambas regiones |
| Conocer la situación actual de los pavimentos en donde se aplicó la tecnología en cuestión.  | Conocer la situación normativa para este tipo de materiales en nuestro país.   |
| Estudiar los modelos de cálculo utilizados para el dimensionamiento estructural de los pavimentos ejecutados con este material.                          | Obtener conclusiones que faciliten la implementación de un material con prestaciones superiores en nuestra región.           |

Del diagrama anterior podemos inferir que la posibilidad de investigar este tipo de material cuenta con fortalezas provistas desde el conocimiento que ya se tiene sobre el mismo, en especial desde su país de origen, en donde se aplica desde hace varias décadas, contando con un marco regulatorio.

Las Oportunidades están delineadas a partir de la poca utilización que ha tenido en nuestro país, y por el hecho de poder analizar variaciones de la mezcla con recursos de nuestra Región.

Bajo lo descrito en las páginas anteriores, podemos obtener las características de la investigación a realizar y sus objetivos.

## Objetivos del Proyecto

### Objetivo General

- Estudiar el tipo de mezcla SMA como material que represente una solución alternativa a las mezclas tradicionales, con prestaciones técnicas superiores, menor costo económico y mayor sustentabilidad ambiental.

### Objetivos Específicos

- Estudiar la normalización existente para este tipo de material, en su país de origen y en nuestro país.
- Proponer una composición estructural para su posterior ensayo.
- Ejecución de ensayos de las muestras establecidas.
- Análisis de los resultados obtenidos y elaboración de conclusiones.

## Estructura de la Investigación

Este proyecto incluye una primera fase teórica de investigación y luego se desarrolla la segunda fase, la empírica.

En la primera fase, se recopilará información bibliográfica que estará centrada en conocer el grado de conocimiento general sobre el material. Se estudiarán las normativas vigentes que regulan su aplicación, y se conocerá el grado de alcance de su uso y estudio.

En la fase experimental, mediante instrumentos y técnicas empleadas en Alemania se analizarán las muestras propuestas, que contendrán en composición materiales disponibles en nuestra Región. Además, se ampliará las apreciaciones realizadas en la primera parte del proyecto, en los aspectos concernientes a la normativa alemana, mediante extensiones teóricas definidas en cada proceso del método experimental utilizado.

## Introducción Teórica. Historia de las mezclas de SMA

El SMA fue desarrollado en Alemania. Se utilizó por primera vez en la ciudad de Wilhemshaven en el año 1968, en donde 250 km<sup>2</sup> fueron pavimentados con mezclas de SMA.

El objetivo del desarrollo de este compuesto era responder a los problemas observados en las carreteras de este país, en la primera mitad de la década, debido al uso de neumáticos con clavos. Este tipo de neumáticos era utilizado para mejorar la seguridad vial en carreteras alteradas por la presencia de nieve en invierno. Con el paso de los años los neumáticos con clavos provocaron un grave deterioro de la superficie de la carretera y un empobrecimiento estructural.

Como resultado de estos incidentes, tanto los equipos de construcción de carreteras como los propios medios de mantenimiento se centraron en la reparación de las deformaciones existentes por los medios habituales, regulando la calzada con hormigón y extendiendo posteriormente la capa de aglomerado asfáltico. A pesar de estas mejoras y mantenimiento, el mismo problema se repetía los sucesivos inviernos.

De la diversidad de métodos de reparación utilizados para hacer frente a estos inconvenientes, se encontró que sólo uno resultaba exitoso y duradero: Éste consistía en el uso de un tratamiento llamado "masilla". Con este método, tanto los surcos como las zonas irregulares de la superficie se rellenaban con masilla bituminosa caliente.

A pesar de los beneficios de la medida, el procedimiento contaba con la desventaja de ser demasiado costoso debido al trabajo manual, además de no ser óptimo para aplicar a grandes superficies.

El ingeniero Gerhard Zichner, director de los laboratorios centrales de Strabag Bau Ag, comenzó a considerar la forma mecanizar un método de construcción similar al que se utiliza actualmente, con el objetivo de poder implementarlo en la pavimentación de grandes superficies.

Para resolver este problema, el Dr. Zichner desarrolló una mezcla que llamó Mastimac (un prototipo de la SMA actual), que consiste en un ligante bituminoso y un esqueleto sólido. Después del desarrollo de las pruebas de laboratorio y de acuerdo a los estándares técnicos del momento, la nueva mezcla fue producida en varias plantas de asfalto del grupo Strabag /Deutag.

El SMA se utilizó por primera vez como capa de 2 cm de espesor en el pavimento de la calle Freiligrath en Wilhemshaven el 30 de julio de 1968, encontrándose actualmente en adecuadas condiciones de funcionalidad.

Más tarde, en la Autopista del Ruhr en Dortmund, Alemania, con más de 100.000 vehículos en movimiento al día, se colocó un ligante de asfalto SMA que no mostró deformación lateral u otros daños entre 1980 y 1995.

Después de la prohibición del uso de neumáticos con clavos, las carreteras de SMA mostraron superficies muy duraderas y una enorme resistencia al desgaste en carreteras muy transitadas.

En 1984, el sistema SMA se estandarizó en Alemania. Luego se utilizó en otros países europeos, Estados Unidos y la región de Asia y el Pacífico. A finales de los años 80 y 90 se utilizaron en Gran Bretaña ya que también resultaron ser la solución para las deformaciones permanentes causadas por veranos muy calurosos. Muchos países han establecido sus propios estándares para la AME.

Para 1995 ya se habían colocado 500 km<sup>2</sup> en zonas concurridas de diferentes partes del mundo.

En Argentina, las mezclas de SMA se utilizaron por primera vez en el año 2000 en la Autopista Ricchieri de Buenos Aires.

Para este trabajo se preparó una oferta con ciertas especificaciones técnicas, las cuales se basan en las especificaciones del sistema nacional de transporte - "Dirección Nacional de Vialidad". Se tuvieron en cuenta las normas de la AASHTO de Estados Unidos, como la PP41.



*Imagen 7: Autopista Richieri: SMA en Argentina*

## Primeras pruebas con SMA y su seguimiento

Después de desarrollar y realizar pruebas (solo en el laboratorio) según las especificaciones técnicas de las experimentaciones obtenidas, la nueva mezcla (SMA) fue probada primero en varios tramos de prueba, donde la mezcla asfáltica utilizada se fabricó en plantas asfálticas que pertenecían al grupo STRABAG/DEUTAG (empresa pionera en el desarrollo del material).

La mezcla SMA fue puesta a prueba por primera vez en caminos públicos el 30 de julio de 1968, en la calle Freiligrath, en Wilhelmshaven-Alemania. El resultado fue tan auspicioso que numerosos proyectos posteriores usaron SMA para los diferentes tipos de caminos de forma inmediata.

Durante este lapso de prueba los escépticos que formaban parte del círculo de constructores de caminos, temían que el agregado mostrara signos de descomposición en el primer invierno.

Sin embargo, cada agregado individual en esta mezcla estuvo cubierto con una película gruesa de mortero resistente, lo cual garantizó una excelente adherencia entre estos dos materiales evitándose las cavidades o agujeros en el pavimento que por mucho tiempo habían existido. Y en el reconocimiento de su excelente funcionamiento, se fijó una Norma Estándar Nacional en Alemania en el año 1984.

Después de los estudios realizados en el laboratorio, la realización de la primera prueba con SMA en la vía pública y de la fijación de la Norma Estándar, en Alemania, se decidió seguir realizando pruebas de ensayo no solo para analizar la mezcla sino también para optimizar el proceso de construcción.



*Imagen 8: Terminación superficie pavimentada con SMA en Alemania*

Por ello, en 1990, la Delegación Vial de los Estados Unidos, efectuó sus propias experimentaciones en tramos de ensayo SMA en 23 estados.

En enero de 1991, la NAPA77, Asphalt Institute y la Federal Highway Administration (FHWA), realizaron planes para apoyar la construcción de un sector de prueba con la mezcla SMA en Michigan (EEUU). Este estado fue seleccionado por la similitud climática a los sectores en donde se había probado exitosamente la aplicación del SMA en Europa.

## Uso del SMA en el mundo

Como se ha ido mencionando, debido a las grandes propiedades que posee la mezcla SMA, países de todo el mundo, se han ido interesando cada vez más en su utilización, ya que ha demostrado tener mayor resistencia durabilidad en lugares de climas extremos, diferenciándose de esta forma de las demás mezclas asfálticas.

A continuación, se enumeran algunos de los países en los que se ha utilizado la mezcla y se realiza una breve síntesis.

a) Argentina: en el año 2000 habrían sido aplicadas más de 420.000 m<sup>2</sup> de SMA, la mezcla en cuestión tenía una composición de fibra celulosa y asfalto modificado por polímeros SBS83.

En la Avenida Ricchieri se colocaron dos tipos de SMA en dos etapas, en la primera se colocó SMA19 (un tipo de mezcla SMA) con 30.000 tn en todo el ancho de la calzada y con un espesor de 5 cm sobre una superficie de 196.000 m<sup>2</sup> aproximadamente. En la segunda etapa se colocó SMA12 (un tipo de mezcla SMA) modificada con fibras con otros 18.000 tn, cubriendo una superficie total de 226.000m<sup>2</sup>.

Para dicha pavimentación se utilizó:

Un ligante elastomérico de alta recuperación elástica,

- Un filler calcáreo al 10% del peso total de los áridos secos,
- Una granulometría específica con tamaños máximos de áridos igual a 19mm y espesor variable.

También se utilizó esta mezcla, en las Avenidas Huergo-Madero así como también en la avenida Cantilo, Córdoba, La Plata y J.M. Moreno.

Existen diversos ejemplos, como se mencionó con anterioridad, de aplicación en Argentina, tales como se detalla en la siguiente tabla resumen donde se visualizan las distintas variaciones y posibilidad de ejecución de SMA.

| SMA                         | CARACTERISTICAS  | SISTEMA SMA-BICAPA                | DESIGNACIÓN    | APLICACIÓN           |
|-----------------------------|--|-----------------------------------|----------------|----------------------|
| Bajos Vacíos Climas fríos   | Vacíos de aire entre 2 al 3%                                 | Inverso superpuesto (SMA-BIS)     | SMA19M/12AM3   | Huergo Madero 2005   |
| Bajos Vacíos Climas Cálidos | Vacíos de aire entre 4 al 5%                                 |                                   |                |                      |
| Altos Vacíos                | Vacíos de aire entre 7 al 9%                                 | Directo superpuesto (SMA-BDS)     | SMA12AM3/19AM3 | Acceso Oeste 2006    |
| Según el tipo de Ligante    | Con ligantes convencionales, modificados o multigrado        | Enriquecido superpuesto (SMA-BES) | SMA12AM3/12AM3 | Av. Cantilo 2006     |
| Sistema Bicapa yuxtapuestas | Para diferentes carriles o estructuras                       |                                   |                |                      |
| Sistema Bicapa superpuestas | Para estructuras compuestas y full-deph                      | Yuxtapuesto (SMA-BY)              | SMA19AM3/12AM3 | Av. Richieri 2000    |
|                             | Para capas de rodamiento expuestas a tránsito pesado intenso |                                   | SMA19AM/12AM3  | Av. Cordoba 2005     |
| Alto espesor                | Mayor de 40 mm y hasta 100 mm en una capa                    |                                   | SMA19AM/12AM3  | Av. La Plata 2006    |
| Bajo espesor                | Menor de 40 mm   |                                   | SMA19AM3/12AM3 | Au. Dellespiane 2006 |

Tabla 1: Características de diferentes tipo de Asfalto SMA aplicados en Argentina.

b) Brasil: Se utiliza permanentemente este tipo de mezcla para las distintas construcciones de gran magnitud que se realizan en los diferentes lugares de dicho país, acrecentándose su uso de forma considerable en los últimos años.

Un ejemplo de obra emblemático en donde se utilizó SMA es en la construcción del autódromo José Carlos Pace (conocido también como autódromo de Interlagos) en el año 2000, en donde se repavimentó colocando una capa de aproximadamente 3cm de espesor y utilizando ligante modificado AMP (6.0% SBS), en un porcentaje de 6.7%, también se usó 0.5% de fibra celulosa y filler calcáreo.

c) Chile: Se utilizó La Autopista Central como escenario de prueba para poder realizar un tramo experimental utilizando la mezcla asfáltica tipo SMA. El tramo comprendió las pistas 2,4 y 6 teniendo como ancho 3.5m cada una con un espesor de 6cm. Este tramo de prueba se realizó entre los años 2001 y 2002 y los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio Nacional de Vialidad en Chile.

Debido a la buena aceptación y resultados obtenidos, se llegó al acuerdo (junto con empresas españolas y suecas), de completar la construcción de la Autopista Central, utilizando mezcla SMA para la colocación de carpeta asfáltica.

d) República Checa: Desde comienzos de la década del 90 se ha expandido el uso de las mezclas SMA. Se ha utilizado con éxito en grandes obras como en distintos aeropuertos del país.

Para la mayoría de las obras en donde se utiliza esta mezcla, se elaboran de 4 a 5 composiciones diferentes, especificándose el uso de tres tipos de asfalto para el ensayo Marshall. A su vez también se ha especificado al material calcáreo como filler y como aditivo estabilizador la fibra celulosa (0.3% de su peso).

En República Checa existen otros dos tipos de mezcla (con distinta composición) a parte de la mezcla SMA. Las mezclas resaltantes (las que se utilizan con frecuencia) son, AKMS (SMA 0/11), AKMJ (SMA 0/8) y la de poca utilización, pero no menos importante AKMH (SMA 0/16), normalizados por Czech Standard ESN 73 6121 (1994).

e) Dinamarca: Este tipo de mezclas se han estado utilizando desde el año 1982. Se destacan tres diferentes tipos: SMA 11 (SMA 0/11), SMA 16 (0/16) y SMA 8 (SMA 0/8), que es usada cuando se quiere obtener una capa más fina. La primera es la más comúnmente utilizada, mientras que la última se aplica cuando se quiere obtener una capa de rodamiento de menor espesor.

Las SMA en este país tienen bajo contenido de vacíos estando en el rango de 1.5% - 4.0%, lo que repercute positivamente en la vida útil de servicio de la carpeta.

f) Francia: se modificó el diseño reduciendo el contenido de betún respecto al modelo alemán para conseguir mezclas con mayor textura.

En lugar de la mezcla SMA los franceses prefieren trabajar con una mezcla similar a esta llamada "Betón Bitumineux Mince" (BBM) creada en el año 1979.

Con el tiempo empezaron a aparecer mezclas más duraderas teniendo como base los finos y ultrafinos como materiales, siendo BBM un hormigón de asfalto fino. Otras mezclas son: hormigón de asfalto muy fino (BBTM), hormigón de asfalto ultra fino (BBUM), etc.

Estos materiales fueron diseñados para ser más esponjosos que sus equivalentes alemanes y en términos generales, alcanzaron con eficacia sus objetivos originales además de otros beneficios. Entre ellos proporcionar una buena disminución de la pulverización en superficies con una importante reducción de la contaminación acústica generada en la interfaz entre la carretera y el neumático.

Clasificados como permeables y semipermeables con un volumen total de huecos de entre el 6% y el 12% estos productos demuestran que los diseñadores franceses prestaron especial atención al sellado e impermeabilidad de la capa de sustrato.

g) Hungría: las SMA llegaron en el año 1983 y se normalizó con el siguiente nombre: "Útépitési aszfaltalapot és-burkolatok" – ÚT 2-3.302. Para comienzos de la primera década del siglo XXI se habían aplicado 9.25 millones de m<sup>2</sup>.

l) Holanda: En este país se comenzó a utilizar en 1987, con una cantidad de 0,6 millones de toneladas de mezcla que equivale al 8% de su producción total (datos del año 1996). En la década posterior la cantidad superaba ampliamente los 50 millones de toneladas.

i) EEUU: En este país se utiliza desde 1991, siendo su uso extendidos a varios estados del mismo. Por ejemplo, Wisconsin fue el primero en recibir una aplicación de mezcla SMA, seguidos de Michigan, Georgia y Missouri, todas en el año 1991. Desde entonces decenas de millones de toneladas de SMA han sido aplicadas. Generalmente de uso SMA0/12.5.

Antes del año 1998 no existía ninguna especificación propia americana para las mezclas asfálticas SMA, lo que se tenía eran recomendaciones venidas de prácticas europeas. Pero en 2001 la AASHTO, publicó una especificación temporal para el cálculo de las SMA denominada AASHTO MP8-01. En el 2002, La NAPA revisó una guía escrita en 1999 que trata sobre técnicas de cálculos y construcción de pavimentos asfálticos SMA.

Algunas de las propiedades especificadas por las normas establecen que los agregados gruesos deben ser 100% fracturados. Agregados con alto valor de abrasión Los Ángeles han sido usados con éxito en las mezclas asfálticas SMA, sin embargo, cuando este valor excede del 30%, es posible que tenga problemas de la descomposición de la mezcla compacta en laboratorio o durante la compactación en campo.

El contenido de fibra celulosa, según AASHTO MP8-01, debe ser aproximadamente 0.3% del peso total de la mezcla y que sea suficiente para evitar escurrimiento del ligante.

## Composición de las mezclas de SMA

El SMA es un compuesto fuerte y estable. Esto se debe a su composición: áridos gruesos + ligantes (masillas "filler", arena, asfalto y fibras). Tienen una gran resistencia gracias a la alta fricción en su esqueleto granular. La durabilidad es proporcionada por el ligante, que reduce el ruido, mejora la visibilidad y aumenta la seguridad vial.

Hay varias maneras de retener el asfalto y evitar que drene. La fuerte modificación del propio ligante, la incorporación de rellenos granulares o el uso de fibras pueden considerarse agentes antideslizantes. Una opción es la utilización de fibras de celulosa.

Las fibras de celulosa son de origen vegetal y renovable. La principal fuente de celulosa es la madera, aunque también se obtiene de otras especies vegetales (paja, cereales, madera aserrada, plantas herbáceas). Se trata de una sustancia con una elevada superficie específica y una densidad aparente muy baja (entre 30 y 300 g/l, dependiendo de la transformación). La molécula de celulosa tiene una inercia química muy alta, por lo que no reacciona con otras sustancias. Esto significa que las propiedades del betún no se modifican.

La compatibilidad con el betún es muy buena, por lo que el recubrimiento de las fibras con asfalto en condiciones adecuadas es sencillo y completo. Por su estructura filamentosa, ofrece un alto grado de flexibilidad y, al tener una cierta elasticidad en función del eje de la fibra, es un producto capaz de soportar los enormes esfuerzos de amasado, lo que ayuda a evitar su rotura excesiva.

En Europa el Stone Mastic Asphalt (SMA) se ha convertido en una mezcla asfáltica muy utilizada en la pavimentación de carreteras de alto nivel de tráfico, pistas de aeropuertos y zonas portuarias, y su uso, como ya se ha detallado con anterioridad, se está extendiendo por todo el mundo. La superficie homogénea que proporciona la SMA, asegura algunas condiciones de conducción muy cómoda, y la textura que se obtiene, da una muy buena resistencia al deslizamiento con un nivel de ruido relativamente bajo.

La fracción gruesa del árido, proporciona una gran resistencia a la deformación permanente (Rutting) mientras que el mástico rellena los huecos que quedan entre las partículas, lo que hace que el SMA sea una mezcla asfáltica de gran duración.

Por su alto contenido en ligante se puede producir escurrimiento del mismo, por lo que es necesario utilizar un inhibidor para éste escurrimiento. Las características de la mezcla, permiten su utilización en capas finas, lo que simplifica una reducción del consumo del ligante de alta calidad en la construcción de pavimentos.

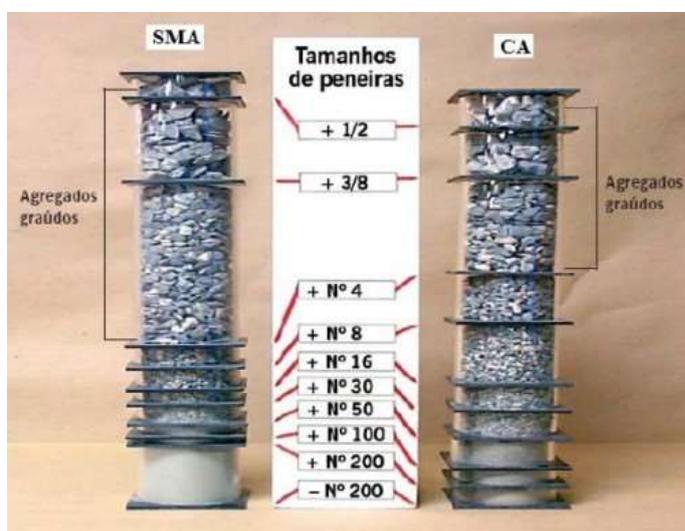


Imagen 9: Distribución granulométrica de una mezcla tipo SMA comparada con una mezcla asfáltica convencional.

## Piedras naturales

### Definiciones de geología

Los minerales son los componentes individuales de la corteza terrestre que son completamente uniformes en términos físicos, químicos y estructurales. Un mineral puede ser tanto un elemento como un compuesto químico (por ejemplo, cuarzo:  $\text{SiO}_2$ ). Son cuerpos inorgánicos naturales, en su mayoría sólidos. Su tamaño oscila desde unos pocos  $\mu\text{m}$  hasta varios cm, en casos excepcionales pueden llegar a crecer hasta varios metros. Suelen presentarse en mezclas y como tales ensamblan todo tipo de rocas.

Las rocas son acumulaciones naturales de minerales. Hay rocas que sólo están compuestas de un único tipo de mineral (rocas monominerales), por ejemplo, calcita como el mármol o cuarzo como la cuarcita. Normalmente las rocas están disponibles como mezclas de diferentes minerales (rocas poliminerales). Así, el tipo de roca granito de los minerales feldespato, cuarzo y mica, que se encuentran entre sí en ciertas proporciones, se une.

En términos de distribución espacial, la mayoría de las rocas representan extensos cuerpos geológicos de gran uniformidad. Estos pueden ser tan sólidos como la roca, tan sueltos como la arena o tan suaves como la arcilla y el suelo. Por lo tanto, la petrografía distingue entre rocas sólidas y sueltas.

Las rocas sólidas se dividen en duras y blandas dependiendo de su resistencia a la compresión. Las rocas sólidas incluyen sedimentos solidificados, magmatitas y metamorfitas. La roca sólida se extrae en canteras mediante trituración y tamizado en gránulos de entrega.

Las rocas sueltas se excavan en pozos o aguas y se tamizan. Las rocas sueltas sólo incluyen sedimentos que aún no se han solidificado.

Dado que la formación proporciona el principio de clasificación más claro, se utiliza como el principal criterio de clasificación en petrografía. Las rocas se dividen en magmáticas, sedimentarias y metamórficas. A cada grupo se le asigna una de las tres secuencias principales de formación de minerales.

Las magmáticas, también conocidas como rocas eruptivas, se forman por la solidificación de un magma: Entre estas encontramos.

- Las plutonitas: Formada por cristales gruesos en niveles inferiores de la corteza terrestre a través de un enfriamiento lento.
- Las rocas del corredor: La cuales se cristalizaron en túneles de almacenamiento o canales de alimentación; generalmente tienen una estructura porfírica.
- Las vulcanitas: Se encuentran formadas por magma que escapa de la superficie terrestre o del fondo marino (enfriamiento rápido, por lo tanto, generalmente de grano fino).

Los tres tipos de rocas magmáticas difieren en su estructura, en función de las transformaciones producidas durante el proceso de cristalización.

Las metamórficas se formaron a partir de magmáticas o rocas sedimentarias por recristalización con aporte de calor y por deformaciones (pizarra de mica, gneis, cuarcita, mármol, etc.), por ejemplo:

- por contacto con magma caliente (metamorfismo de contacto),
- a través de procesos de formación de montañas con alta presión (metamorfosis regional)
- por derretimiento debido a un fuerte aumento de la temperatura y de la presión y a la consiguiente formación de nuevas rocas (ultrametamorfosis).

Las rocas sedimentarias se formaron a partir de los productos de la erosión de la corteza terrestre (en la superficie de la tierra, en aguas/lagos, en el mar). El agua, el viento y el hielo fueron los medios de erosión y transporte; la deposición y solidificación se produjo por gravedad:

- Los sedimentos clásticos son el producto de la erosión mecánica (clasificación más detallada según el tamaño de grano).
- Los sedimentos químicos son sedimentos de soluciones.
- Los sedimentos biogénicos tienen su origen en restos vegetales y animales (transformación por presión y temperatura: piedra caliza fósil a partir de esqueletos de piedra caliza y conchas de corales, etc., lignito a partir de material vegetal y hulla a partir de organismos animales).

Las propiedades de una roca y por lo tanto sus propiedades estructurales y ambientales están determinadas por las propiedades de los minerales / fases minerales.

Criterios para uso constructivos:

Para la utilización de rocas como elemento constructivo, interesan principalmente:

- la resistencia al estrés y a las tensiones físicas, y
- resistencia a las influencias químicas ambientales.

Estas propiedades se prueban en el laboratorio de acuerdo con los procedimientos establecidos, pero la idoneidad de la roca para la construcción de carreteras puede evaluarse de antemano antes de su extracción, como ser:

- Uniformidad del tipo de roca en el proceso de gestión (monitorización permanente en canteras para determinar su idoneidad para la minería).
- Composición mineralógica.
- Tipo de estructura (estructura gruesa y fina de la roca).
- La pureza de la roca (los productos de la erosión están presentes).

## Piedra natural de Alemania y Argentina

### Piedra natural procedente de Alemania

Algunas de las rocas más comunes en Alemania son granito, basalto, diabasa, arenisca, caliza, dolomita y mármol.

El granito, la plutonita más conocida, es una roca magmática que se ha solidificado lentamente en las profundidades de la tierra. Los granitos consisten principalmente de cuarzo, feldespato y mica, que son densamente entrecruzados. Tienen un espacio de poros casi siempre pequeño. Sus excelentes propiedades se deben en particular al alto contenido de cuarzo (más del 20%). El granito se encuentra en los Alpes Centrales, en la Selva Negra, en la Selva Bávara o en la Fichtelgebirge, donde tiene un color azul único en Europa en la cordillera de Kösseine y fue extraído aquí durante mucho tiempo como "granito azul" para el comercio.

Especialmente en los períodos Devónico, Terciario y Cuaternario, se formaron rocas basálticas en Alemania. Los basaltos contienen mucha plagioclasa (feldespato) y casi ningún cuarzo. Los basaltos son a menudo rocas uniformemente oscuras, densas y de gran firmeza. El basalto se encuentra en todas las regiones volcánicas de Alemania, como el Hegau en el sur de Baden-Württemberg, el Vulkaneifel o el Vogelsberg en Hesse, el mayor macizo basáltico contiguo de Europa Central.

La arenisca está formada por los restos de rocas más antiguas que han quedado de la erosión. Se trata principalmente de granos de cuarzo aislados y restos rocosos. También se encuentran feldespatos y micas, así como minerales arcillosos. La arenisca es una de las piedras naturales más extendidas y extraídas en Alemania. Los sucesos particularmente conocidos son los del Buntsandstein y el Keuper. La arenisca económicamente utilizable se depositó sobre todo en las zonas costeras y en los amplios deltas de los ríos.

Las rocas carbonatadas calizas y dolomitas consisten principalmente de los minerales calcita y dolomita y se formaron originalmente como rocas sedimentarias en el agua. Los factores biológicos y químicos fueron efectivos. Por metamorfosis subsiguiente, es decir, por recristalización intensiva.

En Alemania y en todo el mundo existen piedras calizas con una excelente resistencia a las heladas y a la intemperie.



*Imagen 9: Roca basáltica en Rhön, Alemania*

### Piedra natural de Argentina

Argentina ocupa el sexto lugar en el ranking mundial de recursos mineros. De los 2.767.000 km<sup>2</sup> del territorio argentino, sólo el 25% de esta superficie está dedicada a la exploración/producción de áridos. Casi el 90% de la producción se ha concentrado en 12 provincias. Los cinco primeros, Buenos Aires, Córdoba, Mendoza, Entre Ríos y San Juan, representan en conjunto el 75% de la actividad minera.

En Argentina, los áridos para la construcción se dividen en dos grandes grupos:

- Piedra redondeada: En general, la morfología es aproximadamente redondeada y de superficie plana, debido a la erosión provocada por los caudales del río.



*Imagen 10: Canto rodado a orillas del Río Uruguay*

-Piedra triturada: Son piedras trituradas producidas por voladura en el yacimiento. Dependiendo de su tamaño, se pueden clasificar desde piedras muy pequeñas (de 3/6 a 3/8 pulgadas) hasta piedras grandes (de 3 a 6 pulgadas).



*Imagen 11: Piedra partida: basalto*

La provincia de Buenos Aires en el este y en el centro del país cuenta con importantes yacimientos de minerales industriales que han provocado una intensa actividad productiva. Produce una media de 47 millones de toneladas al año. Los yacimientos más destacados son los de caliza, granito, arcilla, dolomita y ortocarcita.

La provincia de Entre Ríos, es uno de los mayores productores de piedras redondeadas y arena. La mayoría de los yacimientos se encuentran cerca de los ríos Uruguay y Paraná. La arena para la construcción es el producto principal. También hay arena de guijarros, que es una materia prima para la producción de vidrio debido a su alto contenido de sílice.

La provincia de San Juan, al oeste del país, es la mayor y única productora de calcita y sulfato de magnesio del país, la mayor productora de dolomita y mármol travertino, la segunda productora de caliza (la primera de alta calidad), mármol y talco, y la tercera productora nacional de bentonitas, arcillas, feldspatos y mica.

## Marco normativo en Alemania

### Reglamentos técnicos para rocas

Las rocas naturales se dividen en agregados, materiales de construcción y suelos. Para su uso en la construcción de carreteras, los áridos deben tener características de calidad definidas; los requisitos de calidad se establecen en los reglamentos técnicos.

Los TL Gestein-StB (Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau) contienen requisitos para los áridos naturales, producidos industrialmente y reciclados que se utilizan en la producción de capas de pavimento para la construcción de carreteras y caminos, así como para otras áreas de tráfico hechas de asfalto y hormigón, mezclas de materiales de construcción ligadas y no ligadas hidráulicamente, pavimentos y losas, capas delgadas en la colocación en frío y tratamientos de superficie.

TL Gestein-StB implementa las normas europeas en Alemania:

- **DIN EN 12620:** Áridos para hormigón.
- **DIN EN 13043:** Áridos para asfalto y tratamientos superficiales en carreteras, aeropuertos y otras zonas de tráfico.
- **DIN EN 13242:** Áridos para mezclas no ligadas y ligadas hidráulicamente para ingeniería y construcción de carreteras.

El TL Gestein-StB especifica, cuando está disponible, las categorías de las normas europeas para las propiedades de los áridos requeridas en Alemania para la aplicación.

### Definiciones de TL Gestein-StB:

**Agregado:** Material granular para uso en la construcción. Los áridos pueden ser naturales, producidos industrialmente o reciclados.

**Áridos de origen industrial:** áridos de origen mineral producidos industrialmente bajo la influencia de procesos térmicos o de otro tipo.

**Áridos naturales:** áridos procedentes de yacimientos minerales que han sido sometidos únicamente a un tratamiento mecánico. Estos incluyen grava, arena, grava triturada y roca dura triturada.

**Áridos reciclados:** áridos resultantes de la transformación de material inorgánico previamente utilizado como material de construcción.

**RC - material de construcción (RC):** áridos reciclados con limitación de la proporción de grupos individuales de sustancias.

**Clase de grano:** designación de un agregado por medio del tamaño del tamiz inferior (d) y superior (D), expresado como d/D. Este término incluye que no quedan granos en el tamiz superior y que no caen granos a través del tamiz inferior.

**Grupo de granos / tamaño de grano de entrega:** designación de un agregado mineral por medio de un tamaño de tamiz inferior (d) y superior (D), expresado como d/D. Este término incluye que algunos granos permanecen en la malla superior (granos sobredimensionados) y otros caen a través de la malla inferior (granos de tamaño inferior). El tamaño del tamiz inferior (d) puede ser 0.

**De tamaño inferior:** Porcentaje de agregado que pasa a través del tamiz más pequeño, lo que indica el grupo de granos / grano de entrega.

**Grano sobredimensionado:** La proporción de agregado que permanece en la pantalla más grande indicando el grupo de grano / grano de entrega.

**Mezcla de áridos:** Agregado consistente en una mezcla de áridos gruesos y finos. La mezcla se puede producir sin separación previa en áridos gruesos y finos o mezclando áridos gruesos y finos.

**Fración fina:** Clase de grano del agregado que pasa a través del tamiz de 0,063 mm.

**Relleno: Árido:** la mayor parte del cual pasa a través del tamiz de 0,063 mm y se puede añadir a los materiales de construcción para conseguir determinadas propiedades.

**Masilla mixta:** masilla de origen mineral mezclada con hidróxido de calcio.

**Masilla extraña:** masilla de origen mineral fabricada por separado.

**Distribución granulométrica:** composición granulométrica expresada por el paso del tamiz en M.% a través de un número fijo de tamices.

**Categoría:** Nivel para la propiedad de un agregado expresado como un rango de valores o como un límite.

#### **Requisitos estructurales para áridos según TL Gestein-StB:**

Cada carretera asfaltada es ante todo una "carretera de piedra", ya que el pavimento asfáltico está formado por una media del 95 % en peso de áridos y sólo del 5 % en peso de betún. Las propiedades de un pavimento de carretera se ven, por tanto, influenciadas de forma decisiva por la naturaleza y composición de estos áridos. No sólo es importante la composición material del agregado. Una forma de grano favorable y, sobre todo, los tamaños de grano son igualmente importantes. Los detalles están regulados en el TL Gestein-StB, que se aplica tanto a los áridos naturales (roca, grava y arena) como a los artificiales (escorias de alto horno y de horno eléctrico, etc.). Además, se describen las propiedades seleccionadas y los requisitos asociados según TL Gestein-StB para los áridos naturales.

En cuanto a su uso en la construcción de carreteras asfaltadas, son importantes las propiedades de los áridos que se enumeran a continuación:

- Densidad aparente.
- Densidad real.
- Grupo de granos / tamaño de grano de entrega.
- Distribución granulométrica.
- Contenido de partículas finas.
- Resistencia a la fragmentación de áridos gruesos.
- Resistencia a las heladas.
- Resistencia al pulido de áridos gruesos.
- Afinidad entre los áridos gruesos y el betún.
- Resistencia al estrés térmico.
- Forma del grano de los áridos gruesos.
- Porcentaje de superficies rotas en áridos gruesos.
- Coeficiente de caudal de áridos 0/2 mm.
- Contenido de impurezas orgánicas gruesas.

## Marco normativo en Argentina

A continuación, se desarrollará algunos contenidos de la Normativa Argentina que involucra la producción de Asfalto tipo SMA según las especificaciones establecidas por la Comisión Permanente del Asfalto, Versión 2010, en donde se establecen las consideraciones que deberá contener una mezcla asfáltica SMA 12 Y SMA 10 y SMA 20:

Dichos Pliegos son:

- **PLIEGO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE BAJO ESPESOR PARA CARPETAS DE RODAMIENTO: (VERSIÓN 2010):**
- **PLIEGO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE GRUESAS: (VERSIÓN 2010):**

Repaso histórico de normativas y especificaciones técnicas correspondientes:

**2003:** Asfaltos modificados desde 1996: Mas de 20 millones de m<sup>2</sup> de mezclas especiales colocadas. Fin plan inicial de concesiones. Convenio CPA-GCBA para elaboración de pliego de especificaciones de capas delgadas de rodamiento (<ó = 4cm).

**2005:** Se completa el pliego de especificaciones de mezclas delgadas. Se definen las mezclas densas, semidensas, micros, drenantes y SMA. Se decide “extrapolar” esta tarea y trabajar sobre un pliego de mezclas “gruesas” (> 4cm de espesor) para rodamiento y bases.

**2006:** Ambos pliegos son presentados oficialmente en la XXXIV Reunión del Asfalto de Mar del Plata.

**2008:** Se establece un convenio con DNV a efectos de estudiar la viabilidad de actualizar la Sección D del Pliego general de 1998. Se presentan avances en la XXXV Reunión en la ciudad de Rosario.

**2010:** Se actualizan ambos pliegos a través del feedback recibido durante la aplicación de los mismos en diversas obras. Se presentan éstos en la XXXVI Reunión realizada en la ciudad de Bs. As. A su vez, se retoma el estudio de pliegos de otras aplicaciones asfálticas que se detallan posteriormente.

**2011:** Se presentan en DNV y DV PBA ambos pliegos.

**2012:** Se concluye el pliego de mezclas recicladas en caliente.

## Especificaciones generales en los Pliegos.

- **Ámbito de aplicación:** Capas delgadas y capas gruesas.

Delgadas: Espesor  $\leq$  4cm para carpetas de rodamiento

Gruesas: Espesor  $>$  4cm para carpetas de rodamiento y otras capas de la estructura.

- **Especificaciones sobre áridos gruesos:**

| Tabla 2: REQUISITOS DE LOS ÁRIDOS GRUESOS                                 |                        |   |
|---|------------------------|---|
| Ensayo  | Norma                  | Exigencia   |
| Partículas trituradas   | IRAM 1851              | Mínimo, 75 % de sus partículas, con 2 ó más caras de fractura, y el % restante, por lo menos con una. Para el caso de la trituración de rodados, el tamaño mínimo de las partículas a triturar debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo del agregado triturado resultante." |
| Índice de Lajas   | IRAM 1687              | $\leq$ 25 %   |
| Coefficiente de Desgaste Los Ángeles                                      | IRAM 1532              | $\leq$ 25 %   |
| Coefficiente de Pulimento Acelerado                                       | IRAM 1543              | $\geq$ 0,40 (valor indicativo)  |
| Durabilidad por ataque con sulfato de sodio                               | IRAM 1525              | $\leq$ 10 %   |
| Polvo Adherido  | VN E 68-75             | $\leq$ 1,0 %  |
| Plasticidad   | IRAM 10502             | No Plástico   |
| Micro Deval   | IRAM 1762              | Determinación obligatoria   |
| Relación Vía Seca-Vía Húmeda, de la fracción que pasa el tamiz IRAM 0,075 | VN E 7-65              | $\geq$ 50 % (1)   |
| Análisis del Estado Físico de la Roca                                     | IRAM 1702<br>IRAM 1703 | Determinación obligatoria   |
| Limpieza  |                        | Exento de terrones de arcilla, materia vegetal, ú otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa  |
| Ensayo de Compatibilidad árido-ligante                                    | IRAM 6842              | Para el caso en que uno de los ensayos arrojará un valor inferior al 95 % de superficie cubierta, debe incorporarse a la mezcla asfáltica un aditivo mejorador de adherencia, que permita superar dicho valor.  |

Tabla 2: Requisitos de áridos gruesos

- **Especificaciones sobre áridos finos:**

| Ensayo  | Norma      | Exigencia   |
|---|------------|-------------|
| Equivalente de Arena  | IRAM 1682  | $>$ 50%     |
| Plasticidad de la fracción que pasa tamiz IRAM 0,425 mm                   | IRAM 10502 | No plástico |
| Plasticidad de la fracción que pasa tamiz IRAM 0,075 mm                   | IRAM 10502 | $<$ 4%      |
| Relación Vía Seca-Vía Húmeda, de la fracción que pasa el tamiz IRAM 0,075 | VN E 7-65  | $>$ 50% (*) |

Tabla 3: Requisitos de áridos finos

**Importante: Se eliminó la arena silícea para todos los tipos de mezclas en capas de rodamiento.**

- **Requisitos Filler de aporte:**

|   |       |
|---|-------|
| Pasa Tamiz IRAM 0,425 mm (N° 40)          | 100 % |
| Pasa Tamiz IRAM 0,150 mm ( N° 100) mínimo | 90 %  |
| Pasa Tamiz IRAM 0,075 mm (N° 200) mínimo  | 75 %  |

Tabla 4: Requisitos para filler de aporte

-Densidad Aparente (D. Ap.) en Tolueno (NLT-176):  $0,5 \text{ gr/cm}^3 < \text{D. Ap.} < 0,8 \text{ gr/cm}$

Además de las condiciones desarrolladas, los pliegos realizan limitaciones sobre:

- Condiciones sobre ligantes.
- Condiciones sobre fabricación.
- Condiciones sobre transporte y colocación.
- Control de calidad durante la ejecución.
- Controles sobre obra terminada.

Estas consideraciones y controles no serán desarrolladas en este trabajo, si de detallarán las Normas sobre las que se basan las mismas.

- Los asfaltos 50-60, 70-100 y 150/200, **s/IRAM 6604(2002)**. Los asfaltos CA5, CA10 CA30 y CA40, **s/IRAM 6835 (2002)**. Los asfaltos modificados AM2, AM3 y AM4, **s/IRAM 6596 (2000)**.
- **IRAM 6604**, Asfaltos por penetración. (Tabla 1).
- **IRAM 6835**, Asfaltos por viscosidad (Tabla 1).
- **IRAM 6596 (2000)**, Ensayos en Asfaltos.
- **IRAM –IAPG 6691(2001). Emulsiones catiónicas originales**. Requisitos de la emulsión original. (Tabla 1). **IRAM –IAPG 6698(2005)**.
- **IRAM 1850: Macrotextura (Altura de parche de arena) [mm]: Anexo III: Adherencia Neumático Pavimento (F60)**

En referencia específica al Asfalto tipo SMA 10 Y 12, tenemos las siguientes consideraciones.

**SMA 10:** Stone Mastic Asphalt con tamaño máximo de agregado de 10 mm.

**SMA 12:** Stone Mastic Asphalt con tamaño máximo de agregado de 12 mm.

La granulometría se encuentra determinada por:

| Tamices,    | CAC<br>D12 | CAC<br>S12 | CAD 12 | MAC<br>M8 | MAC<br>M10 | MAC<br>F8 | MAC<br>F10 | SMA 12 | SMA 10 |
|-------------|------------|------------|--------|-----------|------------|-----------|------------|--------|--------|
| 19 (¾")     | 100        | 100        | 100    |           |            |           |            | 100    | 100    |
| 12,5 (½")   | 80-95      | 80-95      | 70-100 |           | 100        |           | 100        | 90-100 | 100    |
| 9,5 (3/8")  | 72-87      | 71-86      | 50-80  | 100       | 75-97      | 100       | 75-97      | 32-62  | 90-100 |
| 4,75 (N° 4) | 50-65      | 47-62      | 15-30  | 15-28     | 15-28      | 25-40     | 25-40      | 25-32  | 28-43  |
| 2,36 (N° 8) | 35-50      | 30-45      | 10-22  | 15-25     | 12-25      | 20-35     | 20-35      | 20-27  | 22-28  |
| N° 30       | 18-30      | 15-25      | 6-13   | 9-18      | 9-18       | 12-25     | 12-25      |        |        |
| (N° 50)     | 13-23      | 10-18      |        |           |            |           |            |        |        |
| (N°200)     | 5-8        | 4-8        | 3-6    | 5-8       | 5-8        | 7-10      | 7-10       | 9-13   | 10-13  |

Tabla 5: Especificaciones granulométricas para SMA 12 y SMA 10

### Normas Técnicas de Aplicación:

|        |   |
|--------|---|
| IRAM   | Normas del Instituto de Racionalización de Materiales, Argentina  |
| VN-E   | Normas de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad, Argentina  |
| NLT    | Normas de ensayos redactadas por el Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo del Centro de Estudios y Experimentación del Ministerio de Obras Publicas (Cedex), España |
| AASHTO | American Association of State Highways and Transportation Officials, USA.   |
| ASTM   | American Society for Testing and Materials, USA   |
| EN     | Normas Comunidad Europea  |

(\*) Cuando exista una norma IRAM para realizar cualquier determinación referida en esta especificación, la misma prevalecerá sobre cualquier otra.

Tabla 6: Escalafón normativo

### Requisitos de los Materiales:

**Áridos:** Los requisitos generales de los áridos para el aprovisionamiento y acopio son los que se designan a continuación:

| Característica | Requisitos   |
|----------------|--|
| Procedencia    | Pueden ser naturales o artificiales, siempre que cumplan las exigencias establecidas en la presente recomendación técnica.<br>Deben provenir de rocas sanas y no deben ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que puedan darse en la zona de empleo. Tampoco deben dar origen, con el agua, a disoluciones que causen daños a estructuras u otras capas del paquete estructural ó contaminar corrientes de agua. |

Tabla 7: Requisitos de acopio y aprovisionamiento de áridos

| Característica       | Requisitos  |
|----------------------|---|
| Número de fracciones | El número de fracciones diferenciadas debe ser como mínimo de tres (3), incluido el relleno mineral (filler) de aporte. Si se estima necesario para cumplir las tolerancias exigidas para la granulometría de la mezcla, se debe aumentar el número de fracciones.  |
| Acopios              | Cada fracción debe acopiarse por separado.<br>La forma y la altura de los acopios debe ser tal que se minimicen las segregaciones en los tamaños.<br>Las partes de los acopios que hayan resultado contaminadas no deben ser empleadas en la elaboración de mezclas asfálticas. En tal caso debe procederse al retiro de dichas partes del obrador. |

**Árido grueso:**

Tabla 8: Requisitos de acopios y fraccionamiento de áridos

Se define como árido grueso la parte del árido total retenida en el tamiz 4,75 mm según Norma **IRAM 1501:**

La granulometría del árido grueso debe permitir encuadrar, junto con la composición de las restantes fracciones, la gradación resultante dentro del huso preestablecido.

**Requisitos:**

| Ensayo   | Norma      | Exigencia   |
|--|------------|---|
| Partículas trituradas  | IRAM 1851  | Mínimo el 75 % de sus partículas, con 2 ó más caras de fractura, y el porcentaje restante, por lo menos con una. Para el caso de la trituración de rodados, el tamaño mínimo de las partículas a triturar debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo del agregado triturado resultante. |
| Elongación   | IRAM 1687  | Determinación obligatoria.  |
| Índice de Lajas  | IRAM 1687  | Para capas de rodamiento $\leq 25$  |
| Coefficiente de Desgaste Los Angeles   | IRAM 1532  | Para capas de rodamiento $\leq 25\%$  |
| Coefficiente de Pulimento Acelerado (a aplicar en mezclas para carpetas de rodamiento) | IRAM 1543  | $\geq 0,40$ (Valor indicativo)  |
| Durabilidad por ataque con sulfato de sodio  | IRAM 1525  | $\leq 10\%$   |
| Polvo Adherido   | VN E 68-75 | $\leq 1,0 \%$   |
| Plasticidad  | IRAM 10501 | No Plástico.  |
| Micro Deval  | IRAM 1762  | Determinación obligatoria en mezclas para carpetas de rodamiento.   |

Tabla 9: Determinaciones normativas para el agregado grueso

| Tabla N°2 - REQUISITOS DE LOS ÁRIDOS GRUESOS                              |                        |   |
|---|------------------------|---|
| Ensayo  | Norma                  | Exigencia   |
| Relación Vía Seca-Vía Húmeda, de la fracción que pasa el tamiz IRAM 75 µm | VN E 7-65              | ≥ 50% (1)   |
| Análisis del Estado Físico de la Roca                                     | IRAM 1702<br>IRAM 1703 | Determinación obligatoria.  |
| Limpieza  | -                      | Exento de terrones de arcilla, materia vegetal, ú otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa  |
| Ensayo de Compatibilidad árido-ligante                                    | IRAM 6842              | Para el caso en que el ensayo arrojará un valor inferior al 95% de superficie cubierta, debe incorporarse a la mezcla asfáltica un aditivo mejorador de adherencia, que permita superar dicho valor |

Tabla 10: Determinaciones normativas para el agregado grueso

### Árido fino:

Se define como árido fino al pasante del Tamiz de 4,75 mm.

Los requisitos que deben cumplir se detallan en la siguiente tabla.

| Ensayo  | Norma                  | Exigencia  |
|---|------------------------|--|
| Procedencia   | -                      | El árido fino debe proceder de la trituración de roca sana de cantera o grava natural.   |
| Limpieza  | -                      | Exento de terrones de arcilla, materia vegetal u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.   |
| Resistencia a la fragmentación  | -                      | Cuando el material que se triture para obtener árido fino sea de la misma naturaleza que el árido grueso, éste último debe entonces cumplir las condiciones exigidas en la Tabla N° 2 para el coeficiente de desgaste Los Angeles.<br>Se puede emplear árido fino de otra naturaleza que mejore alguna característica, en especial la adhesividad, pero en cualquier caso procederá de árido grueso con coeficiente de desgaste Los Angeles inferior a veinticinco (25). |
| Equivalente de Arena  | IRAM 1682              | ≥ 50%  |
| Plasticidad de la fracción que pasa tamiz IRAM 425 µm                     | IRAM 10501             | No plástico.   |
| Plasticidad de la fracción que pasa tamiz IRAM 75 µm                      | IRAM 10501             | ≤ 4%   |
| Relación Vía Seca-Vía Húmeda, de la fracción que pasa el tamiz IRAM 75 µm | VN E 7-65              | ≥ 50% (1)  |
| Granulometría   | IRAM 1501<br>IRAM 1505 | Debe permitir encuadrar dentro del huso preestablecido la gradación resultante, junto con la composición de las restantes fracciones.  |

Tabla 11: Requisitos para agregado fino

### Relleno Mineral (Filler)

Se define como filler a la fracción pasante del tamiz **IRAM 425 µm** de la mezcla compuesto por los áridos y el filler de aporte:

Debe cumplir las siguientes consideraciones. (*Densidad Aparente ya enunciada anteriormente*)

#### Definición y Características Relleno Material de Aporte (Filler de Aporte).

Se define como filler de aporte, a aquellos que puedan incorporarse a la mezcla por separado y que no provengan de la recuperación de áridos.

Las características granulométricas del filler de aporte son:

| <b>Tabla 4: REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL FILLER DE APORTE</b> |                                    |
|---|------------------------------------|
| <b>Tamiz IRAM</b>   | <b>Porcentaje en peso que pasa</b> |
| 425 µm (N° 40)  | 100%                               |
| 150 µm (N° 100)   | > 90%                              |
| 75 µm (N° 200)  | > 75%                              |

Tabla 12: Requisitos para filler de aporte

El filler deberá cumplir con alguna de las siguientes normas.

- Cemento Portland: **IRAM 5000**
- Filler: **IRAM 1593**
- Cal: **IRAM 1508**

### Husos Granulométricos

La granulometría de áridos constituyentes de la mezcla (incluido el filler de aporte) debe estar comprendida según los husos definidos en la Tabla N°6 (s/ **IRAM 1505**).

| <b>Tamices</b> | <b>SMA 10</b> | <b>SMA 12</b> |
|----------------|---------------|---------------|
| 19,0 mm (3/4") | -             | 100           |
| 12,5 mm (1/2") | 100           | 90-100        |
| 9,5 mm (3/8")  | 90-100        | 32-62         |
| 4,75 mm (N° 4) | 28-43         | 25-32         |
| 2,36 mm (N° 8) | 22-28         | 20-27         |
| 75 µm (N° 200) | 10-13         | 9-13          |

(\*) Si existe una diferencia entre los pesos específicos de las fracciones utilizadas, incluida el filler, superior al 0,2 la dosificación se hace en volumen.

Tabla 13: Husos granulométricos para las mezclas SMA 10 y SMA 12

### Criterios de Dosificación:

Los criterios de dosificación se resumen en la siguiente Tabla:

|   |   |                           |
|---|---|---------------------------|
| Ensayo Marshall<br>VN_E 9   | Número de golpes por cara                     | 50                        |
|   | Porcentaje de Vacíos en mezcla                | 2% - 4%                   |
|   | Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral VAM | >18%                      |
|   | Porcentaje de Relación Betún-Vacíos           | 75% - 85%                 |
| Porcentaje de Resistencia Conservada mediante el ensayo de Tracción Indirecta.(Anexo I) |   | > 80%                     |
| Porcentaje de Árido Fino no triturado en mezcla   |   | 0%                        |
| Porcentaje mínimo de fibras de celulosa,  |   | 0,35%                     |
| Porcentaje Máximo de Cal Hidratada o Cemento  |   | 3,0%                      |
| Evaluación de la resistencia al ahuellamiento (Anexo V)                                 |   | Determinación obligatoria |
| Porcentaje de Ecurrimiento de Ligante (Anexo II)  |   | < 0,3%                    |
| VCA mix (AASHTO MP8) menor que VCA varillado (Anexo IV)                                 |   |                           |

Tabla 14: Requisitos de dosificación para mezclas SMA 10 y SMA 12

En consideración del Segundo Pliego en cuestión (**PLIEGO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE GRUESAS: (VERSIÓN 2010)**), y habiendo realizado las especificaciones correspondientes a los áridos gruesos, finos y filler que son comunes para los diferentes tipos de mezclas, definimos las caracterizaciones respectivas al Asfalto Tipo SMA 20:

**SMA 19:** Concreto asfáltico SMA, tamaño máximo de agregado 19 mm (3/4”):

**Huso granulométrico:**

| HUSO GRANULOMÉTRICO SMA 19 |            |
|----------------------------|------------|
| Tamices, mm                | % que pasa |
| 19,0                       | 100        |
| 12,5                       | 45-60      |
| 9,5                        | 30-45      |
| 4,75                       | 20-25      |
| 2,36                       | 16-23      |
| 0,075                      | 9-13       |

Tabla 15: Huso granulométrico para mezcla SMA 19

**Requisitos para Dosificación:**

| REQUISITOS PARA MEZCLAS SMA 19   |   |                           |
|--|---|---------------------------|
| Ensayo Marshall<br>VN_E 9  | Número de golpes por cara                     | 50                        |
|  | Porcentaje de Vacíos en mezcla                | 3%-5%                     |
|  | Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral VAM | >17%                      |
|  | Porcentaje de Relación Betún-Vacíos           | 75%-85%                   |
| Porcentaje de Resistencia Conservada mediante el ensayo de Tracción Indirecta, (Anexo I) |   | > 80                      |
| Porcentaje de Arido Fino no triturado en mezcla  |   | 0                         |
| Porcentaje mínimo de fibras de celulosa, en peso total de la mezcla                      |   | 0.35                      |
| Evaluación de resistencia al ahuellamiento (Anexo V)                                     |   | Determinación obligatoria |
| Porcentaje Máximo de Cal Hidratada o Cemento en peso total de la mezcla                  |   | 3                         |
| Porcentaje de Escurrimiento de Ligante, (Anexo II)                                       |   | <0.3                      |
| VCA mix (AASHTO MP8) menor que VCA varillado (Anexo IV)                                  |   |                           |

Tabla 16: Huso granulométrico para mezcla SMA 19

## Fase empírica

### Descripción de la Metodología a utilizar

En esta sección se desarrollan los pasos y tareas que se realizan en el laboratorio.

Basado en la colección de resultados de laboratorio y la experiencia probada para obtener la dosis de una mezcla tibia de SMA, estableceremos los tipos de mezclas a utilizar.

Pastones de prueba a ensayar, comparar y analizar\*:

- **Mezcla asfáltica sin fibras de celulosa ni aditivos.**
- **Mezcla de SMA con fibras de celulosa, pero sin aditivos.**
- **Mezcla de SMA con aditivos que reducen la temperatura de mezcla.**

\*Se utilizarán mezclas con diferentes contenidos de asfalto y se fijará el uso de aditivos.

A partir de esto será posible obtener comparaciones y conclusiones que son relevantes para serán útiles las futuras aplicaciones y estudios.

Ttipos de mezclas aglutinantes:

- **SMA 8 S (50/70).**
- **SMA 8 S (50/70 + fibras).**
- **SMA 8 S (50/70 + fibras + cera).**

Para ejecutar los trabajos utilizaremos el estándar **TP-Asphalt-StB de la FGSV** (Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen).

El objetivo de los ensayos será determinar la rigidez de los diferentes tipos de mezclas de asfalto SMA, con el fin de poder dimensionar los componentes estructurales de una calzada con la ayuda del programa PEDESTO.

Se llevarán a cabo varias actividades para lograr este objetivo. En primer lugar, se elaborarán varias muestras de Marshall con diferentes dosis de material como pruebas iniciales para conseguir un contenido de vacío correcto de acuerdo con la norma TP-Asphalt-StB.

Una vez que se alcance el contenido de vacío correcto, se materializarán diferentes placas. Después de la producción de las placas, se cortarán los núcleos de perforación para realizar las pruebas mencionadas con las mezclas.

Para empezar, se seleccionarán los agregados. Se trabajará con basalto como agregado, ya que este material es ampliamente utilizado en Argentina. El basalto que se utilizará proviene de las afueras de la ciudad de Colonia (Provincia de Nordrhein-Westfalen, Alemania).

El basalto es el agregado seleccionado, ya que constituye un elemento conector, que se obtiene como recurso asequible en las zonas vinculadas y constituye un elemento protagónico en la conformación de la mezcla asfáltica. Los yacimientos de basalto, presentes en la región de la Mesopotámica de la República Argentina y en la zona de la provincia de Nordrhein-Westfalen en Alemania, y su disposición como elemento estructural para la conformación de la mezcla asfáltica SMA, establecerá el punto principal en donde se gestará la transferencia de conocimiento, a través del acto investigativo.

El proceso a ejecutar puede ser sintetizado en los siguientes pasos:

- *CRIBADO DE ÁRIDOS*
- *OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DE LOS ÁRIDOS*
- *OBTENCIÓN DE LA PROPORCIÓN DE LOS ÁRIDOS*
- *PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS*
- *OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD REAL DE LAS PROBETAS*
- *FABRICACIÓN DE LAS PLACAS*
- *OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DE LAS PLACAS*
- *OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD REAL DE LOS NÚCLEOS DE PERFORACIÓN*
- *REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE RIGIDEZ*
- *CÁLCULO DEL MÓDULO E*
- *REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE FATIGA*
- *DIMENSIONAMIENTO CON EL PROGRAMA PaDesTo*

Cribado de los áridos

En primer lugar, se ejecutará el cribado manual de los áridos, que ya se encuentran separados en diferentes contenedores según su tamaño, con las siguientes divisiones:

|             |
|-------------|
| 0 - 2 mm.   |
| 2 - 5 mm.   |
| 5 - 8 mm.   |
| 8 - 11 mm.  |
| 11 - 16 mm. |
| 16 - 22 mm  |

Los resultados del cribado de los áridos se muestran en las siguientes tablas:

| Tamaño: 0,00 - 2,00 [mm]           |             |                 |                |            |                 |                |                 |                |
|------------------------------------|-------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Peso neto de material tamizado [g] | 232,90      |                 |                | 230,80     |                 |                | Promedio        |                |
| Apertura del tamiz [mm]            | Residuo [g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Residuo[g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] |
| 31,50                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 22,40                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 16,00                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 11,20                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 8,00                               | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 5,60                               | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 2,00                               | 31,40       | 13,48%          | 86,52%         | 37,00      | 16,03%          | 83,97%         | 14,76%          | 85,24%         |
| 0,125                              | 160,50      | 68,91%          | 17,60%         | 156,20     | 67,68%          | 16,29%         | 68,30%          | 16,95%         |
| 0,063                              | 14,50       | 6,23%           | 11,38%         | 13,80      | 5,98%           | 10,31%         | 6,10%           | 10,85%         |
| Suelo                              | 26,50       | 11,38%          | 0,00%          | 23,80      | 10,31%          | 0,00%          | 10,85%          | 0,00%          |
| Total                              | 232,90      | 100,00%         | -              | 230,80     | 100,00%         | -              | 100,00%         | -              |

| Tamaño: 2,00 - 5,60 [mm]           |             |                 |                |            |                 |                |                 |                |
|------------------------------------|-------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Peso neto de material tamizado [g] | 436,60      |                 |                | 441,40     |                 |                | Promedio        |                |
| Apertura del tamiz [mm]            | Residuo [g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Residuo[g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] |
| 31,50                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 22,40                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 16,00                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 11,20                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 8,00                               | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,70       | 0,16%           | 99,84%         | 0,08%           | 99,92%         |
| 5,60                               | 18,70       | 4,28%           | 95,72%         | 10,80      | 2,45%           | 97,39%         | 3,36%           | 96,56%         |
| 2,00                               | 415,90      | 95,26%          | 0,46%          | 425,90     | 96,49%          | 0,91%          | 95,87%          | 0,68%          |
| 0,125                              | 1,20        | 0,27%           | 0,18%          | 3,10       | 0,70%           | 0,20%          | 0,49%           | 0,19%          |
| 0,063                              | 0,80        | 0,18%           | 0,00%          | 0,90       | 0,20%           | 0,00%          | 0,19%           | 0,00%          |
| Suelo                              | 0,00        | 0,00%           | 0,00%          | 0,00       | 0,00%           | 0,00%          | 0,00%           | 0,00%          |
| Total                              | 436,60      | 100,00%         | -              | 441,40     | 100,00%         | -              | 100,00%         | -              |

Tamaño: 5,60 – 8,00 [mm]

| Peso neto de material tamizado [g] | 662,80      |                 |                | 615,30     |                 |                | Promedio        |                |
|------------------------------------|-------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Apertura del tamiz [mm]            | Residuo [g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Residuo[g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] |
| 31,50                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 22,40                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 16,00                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 11,20                              | 10,70       | 1,61%           | 98,39%         | 4,20       | 0,68%           | 99,32%         | 1,15%           | 98,85%         |
| 8,00                               | 66,80       | 10,08%          | 88,31%         | 46,60      | 7,57%           | 91,74%         | 8,83%           | 90,03%         |
| 5,60                               | 500,80      | 75,56%          | 12,75%         | 492,20     | 79,99%          | 11,75%         | 77,78%          | 12,25%         |
| 2,00                               | 84,50       | 12,75%          | 0,00%          | 72,30      | 11,75%          | 0,00%          | 12,25%          | 0,00%          |
| 0,125                              | 0,00        | 0,00%           | 0,00%          | 0,00       | 0,00%           | 0,00%          | 0,00%           | 0,00%          |
| 0,063                              | 0,00        | 0,00%           | 0,00%          | 0,00       | 0,00%           | 0,00%          | 0,00%           | 0,00%          |
| Suelo                              | 0,00        | 0,00%           | 0,00%          | 0,00       | 0,00%           | 0,00%          | 0,00%           | 0,00%          |
| Total                              | 662,80      | 100,00%         | -              | 615,30     | 100,00%         | -              | 100,00%         | -              |

Tamaño: 8,00 – 11,20 [mm]

| Peso neto de material tamizado [g] | 932,30      |                 |                | 1005,60    |                 |                | Promedio        |                |
|------------------------------------|-------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Apertura del tamiz [mm]            | Residuo [g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Residuo[g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] |
| 31,50                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 22,40                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 16,00                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 11,20                              | 281,50      | 30,19%          | 69,81%         | 390,10     | 38,79%          | 61,21%         | 34,49%          | 65,51%         |
| 8,00                               | 575,70      | 61,75%          | 8,06%          | 574,30     | 57,11%          | 4,10%          | 59,43%          | 6,08%          |
| 5,60                               | 66,40       | 7,12%           | 0,93%          | 39,10      | 3,89%           | 0,21%          | 5,51%           | 0,57%          |
| 2,00                               | 7,70        | 0,83%           | 0,11%          | 1,40       | 0,14%           | 0,07%          | 0,48%           | 0,09%          |
| 0,125                              | 0,00        | 0,00%           | 0,11%          | 0,00       | 0,00%           | 0,07%          | 0,00%           | 0,09%          |
| 0,063                              | 0,00        | 0,00%           | 0,11%          | 0,00       | 0,00%           | 0,07%          | 0,00%           | 0,09%          |
| Suelo                              | 1,00        | 0,11%           | 0,00%          | 0,70       | 0,07%           | 0,00%          | 0,09%           | 0,00%          |
| Total                              | 932,30      | 100,00%         | -              | 1005,60    | 100,00%         | -              | 100,00%         | -              |

Tamaño: 11,20 - 16,00 [mm]

| Peso neto de material tamizado [g] | 1332,60     |                 |                | 1366,90    |                 |                | Promedio        |                |
|------------------------------------|-------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Apertura del tamiz [mm]            | Residuo [g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Residuo[g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] |
| 31,50                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 22,40                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 16,00                              | 60,90       | 4,57%           | 95,43%         | 69,80      | 5,11%           | 94,89%         | 4,84%           | 95,16%         |
| 11,20                              | 742,20      | 55,70%          | 39,73%         | 818,80     | 59,90%          | 34,99%         | 57,80%          | 37,36%         |
| 8,00                               | 433,50      | 32,53%          | 7,20%          | 381,80     | 27,93%          | 7,06%          | 30,23%          | 7,13%          |
| 5,60                               | 76,90       | 5,77%           | 1,43%          | 80,70      | 5,90%           | 1,16%          | 5,84%           | 1,29%          |
| 2,00                               | 0,00        | 0,00%           | 1,43%          | 0,00       | 0,00%           | 1,16%          | 0,00%           | 1,29%          |
| 0,125                              | 0,00        | 0,00%           | 1,43%          | 0,00       | 0,00%           | 1,16%          | 0,00%           | 1,29%          |
| 0,063                              | 0,00        | 0,00%           | 1,43%          | 0,00       | 0,00%           | 1,16%          | 0,00%           | 1,29%          |
| Suelo                              | 19,10       | 1,43%           | 0,00%          | 15,80      | 1,16%           | 0,00%          | 1,29%           | 0,00%          |
| Total                              | 1332,60     | 100,00%         | -              | 1366,90    | 100,00%         | -              | 100,00%         | -              |

Tamaño: 16,00 - 22,40 [mm]

| Peso neto de material tamizado [g] | 1971,00     |                 |                | 1954,50    |                 |                | Promedio        |                |
|------------------------------------|-------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Apertura del tamiz [mm]            | Residuo [g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Residuo[g] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] | Retenido [M.-%] | Pasante [M.-%] |
| 31,50                              | 0,00        | 0,00%           | 100,00%        | 0,00       | 0,00%           | 100,00%        | 0,00%           | 100,00%        |
| 22,40                              | 114,70      | 5,82%           | 94,18%         | 140,00     | 7,16%           | 92,84%         | 6,49%           | 93,51%         |
| 16,00                              | 1577,50     | 80,04%          | 14,15%         | 1550,70    | 79,34%          | 13,50%         | 79,69%          | 13,82%         |
| 11,20                              | 245,60      | 12,46%          | 1,68%          | 230,50     | 11,79%          | 1,70%          | 12,13%          | 1,69%          |
| 8,00                               | 17,60       | 0,89%           | 0,79%          | 18,90      | 0,97%           | 0,74%          | 0,93%           | 0,76%          |
| 5,60                               | 0,00        | 0,00%           | 0,79%          | 0,00       | 0,00%           | 0,74%          | 0,00%           | 0,76%          |
| 2,00                               | 0,00        | 0,00%           | 0,79%          | 0,00       | 0,00%           | 0,74%          | 0,00%           | 0,76%          |
| 0,125                              | 0,00        | 0,00%           | 0,79%          | 0,00       | 0,00%           | 0,74%          | 0,00%           | 0,76%          |
| 0,063                              | 0,00        | 0,00%           | 0,79%          | 0,00       | 0,00%           | 0,74%          | 0,00%           | 0,76%          |
| Suelo                              | 15,60       | 0,79%           | 0,00%          | 14,40      | 0,74%           | 0,00%          | 0,76%           | 0,00%          |
| Total                              | 1971,00     | 100,00%         | -              | 1954,50    | 100,00%         | -              | 100,00%         | -              |

El proceso de cribado de áridos, y las operaciones que involucran la manipulación y utilización de agregados para experimentación con fines prácticos se ejecutaron bajo el Código:

**“Condiciones técnicas para el suministro de áridos para la construcción de carreteras”**

**TL Gestein-StB 04**

**Edición 2004/versión 2007**

Algunos aspectos generales de esta normativa son:

TL Gestein-StB contiene requisitos para mezclas de roca naturales, producidas industrialmente y recicladas, que se utilizan en la producción de capas de superestructura de asfalto, hormigón, mezclas de materiales de construcción ligados hidráulicamente y sin ligar, pavimentos y superficies de losa, capas de superficies finas, colocación en frío y tratamientos superficiales.

La TL Gestein-StB responde a la Normativa Europea:

- DIN EN 12620 "Áridos para hormigón"
- DIN EN 13043 "Agregados de Asfalto y tratamientos superficiales para carreteras, aeródromos y otras zonas de tráfico".
- DIN EN 13242 "Áridos para mezclas no ligadas y ligadas hidráulicamente en la construcción de carreteras".

En TL Gestein-StB se define la categorización, dentro de las Normas Europeas, para la utilización de las rocas y agregados con los fines antes mencionados en Alemania.

Para los áridos procedentes de otros Estados miembros de Comunidades Europeas y productos originarios de Estados del Espacio Económico Europeo o de Turquía que no cumplan con las condiciones técnicas de entrega se considerarán válidos si satisfacen los requisitos impuestos por las Normas Europeas establecidas en el TL Gestein-StB.

En dicho Código también se especifican requisitos para características ambientalmente relevantes de la roca producida a nivel industrial y reciclada.

**Caracterización de los agregados**

**Tabla A: Agregados gruesos: Nombre de los grupos con:**

| <i>d</i> | <i>D</i> | Bemerkung   |
|----------|----------|---|
| ≥ 2 mm   | ≥ 4 mm   | Anwendungsbereich Beton (gemäß DIN EN 12620)  |
| ≥ 2 mm   | ≤ 45 mm  | Anwendungsbereich Asphalt (gemäß DIN EN 13043)  |
| ≥ 1 mm   | > 2 mm   | Anwendungsbereiche Schichten ohne Bindemittel, hydraulisch gebundene Schichten, (gemäß DIN EN 13242), Pflasterdecken und Plattenbelägen |

Tabla 17: Campo de aplicación normativa y clasificación para agregados gruesos en función de su tamaño.

**Tabla B: Agregados finos: Nombre de los grupos con:**

| <i>d</i>   | <i>D</i> | Bemerkung   |
|--|----------|---|
| –  | ≤ 4 mm   | Anwendungsbereich Beton (gemäß DIN EN 12620)  |
| –  | ≤ 2 mm   | Anwendungsbereich Asphalt (gemäß DIN EN 13043)  |
| 0 mm   | ≤ 6,3 mm | Anwendungsbereiche Schichten ohne Bindemittel, hydraulisch gebundene Schichten, (gemäß DIN EN 13242), Pflasterdecken und Plattenbelägen |
| Anmerkung: Feine Gesteinskörnungen können durch natürlichen Zerfall von Festgestein oder Kies entstehen und/oder durch das Brechen von Festgestein oder Kies oder durch die Aufbereitung industriell hergestellter Gesteinskörnungen hergestellt werden. |          |   |

Tabla 18: Campo de aplicación normativa y clasificación para agregados finos en función de su tamaño.

**Mezcla de áridos:** Agregado consistente en una mezcla de áridos gruesos y finos.

Nota: La mezcla puede prepararse sin separación previa en áridos gruesos y finos o mezclando áridos gruesos y finos.

**Fracción fina:** Clase de grano de una roca que pasa por el tamiz de 0,063mm.

**Filler:** Árido, la mayor parte del cual pasa a través del tamiz de 0,063 mm y los materiales de construcción pueden ser añadidos para lograr ciertas propiedades.

**Masilla mezcladora:** Filler de origen mineral mezclado con hidróxido de calcio.

### Distribución del grupo de granos

Se utilizarán los grupos de compactación indicados en el cuadro 2. Su distribución en grupos se determinará de acuerdo con la norma DIN EN 933-1 y se ajustará a los requisitos de la tabla 2.

**Tabla 2: Requisitos para grano de tamaño superior e inferior**

| Zeile            | Korngruppe <sup>1)</sup> | Kategorie            | Überkorn         |                    |                  | Unterkorn |                   |  |
|------------------|--------------------------|----------------------|------------------|--------------------|------------------|-----------|-------------------|--|
|                  |                          |                      | D                | 1,4D <sup>a)</sup> | 2D <sup>b)</sup> | d         | d/2 <sup>a)</sup> |  |
|                  | mm/mm                    |                      | M.-%             |                    |                  | M.-%      |                   |  |
| 1                | Füller                   |                      | siehe Tabelle 26 |                    |                  |           |                   |  |
| 2                | 0 / 2                    | G <sub>F</sub> 85    | 1-15             | -                  | 0                | -         | -                 |  |
| 3                | 2 / 5                    | G <sub>C</sub> 90/10 | 1-10             | 0                  | 0                | 0-10      | 0-2               |  |
| 4                | 5 / 8                    | G <sub>C</sub> 90/15 | 1-10             | 0-2                | 0                | 0-15      | 0-5               |  |
| 5                | 8 / 11                   | G <sub>C</sub> 90/15 | 1-10             | 0-2                | 0                | 0-15      | 0-5               |  |
| 6                | 11 / 16                  | G <sub>C</sub> 90/15 | 1-10             | 0-2                | 0                | 0-15      | 0-5               |  |
| 7                | 16 / 22                  | G <sub>C</sub> 90/15 | 1-10             | 0-2                | 0                | 0-15      | 0-5               |  |
| 8 <sup>2)</sup>  | 0 / 5                    | G <sub>A</sub> 85    | 1-15             | 0-2                | 0                | -         | -                 |  |
| 9 <sup>3)</sup>  | 0 / 5                    | G <sub>F</sub> 80    | 1-20             | 0-2                | 0                | -         | -                 |  |
| 10 <sup>2)</sup> | 5 / 11                   | G <sub>C</sub> 90/20 | 1-10             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 11 <sup>3)</sup> | 5 / 11                   | G <sub>C</sub> 80/20 | 1-20             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 12 <sup>2)</sup> | 11 / 22                  | G <sub>C</sub> 90/20 | 1-10             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 13 <sup>3)</sup> | 11 / 22                  | G <sub>C</sub> 80/20 | 1-20             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 14 <sup>2)</sup> | 22 / 32                  | G <sub>C</sub> 90/20 | 1-10             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 15 <sup>3)</sup> | 22 / 32                  | G <sub>C</sub> 80/20 | 1-20             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 16 <sup>2)</sup> | 32 / 45                  | G <sub>C</sub> 90/20 | 1-10             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 17 <sup>3)</sup> | 32 / 45                  | G <sub>C</sub> 80/20 | 1-20             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 18 <sup>2)</sup> | 45 / 56                  | G <sub>C</sub> 90/20 | 1-10             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 19 <sup>3)</sup> | 45 / 56                  | G <sub>C</sub> 80/20 | 1-20             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 20               | 0 / 2                    | G <sub>F</sub> 85    | 1-15             | 0-5                | 0                | -         | -                 |  |
| 21               | 0 / 4                    | G <sub>F</sub> 85    | 1-15             | 0-5                | 0                | -         | -                 |  |
| 22               | 2 / 4                    | G <sub>C</sub> 85/20 | 1-15             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 22a              | 2 / 8                    | G <sub>C</sub> 85/20 | 1-15             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 23               | 4 / 8                    | G <sub>C</sub> 85/20 | 1-15             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 24               | 8 / 16                   | G <sub>C</sub> 85/20 | 1-15             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 25               | 16 / 32                  | G <sub>C</sub> 85/20 | 1-15             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |
| 26               | 32 / 63                  | G <sub>C</sub> 85/20 | 1-15             | 0-2                | 0                | 0-20      | 0-5               |  |

<sup>a)</sup> Wenn die aus 1,4D und d/2 errechneten Siebe nicht genau mit der ISO 565: 1990, R20-Reihe übereinstimmen, muss stattdessen die nächstgrößere bzw. nächstkleinere Siebnennöffnungsweite verwendet werden.

<sup>b)</sup> Ist der Siebrückstand auf  $D < 1$  M.-%, so muss der Hersteller die typische Korngrößenverteilung aufzeichnen und angeben, wobei die Siebe  $D$ ,  $d$ ,  $d/2$  und die zwischen  $d$  und  $D$  liegenden Siebe des Grundsiebssatzes plus Ergänzungssiebssatz 1 enthalten sein müssen.

Anmerkung: Für besondere Anwendungsgebiete können Korngruppen/Lieferkornungen 1/3; 2/3 und 2/4 mm der Kategorie G<sub>C</sub>90/10 verwendet werden. (Es gelten die Siebnennöffnungsweiten 0,5; 1,0; 2,0; 3,15; 4,0; 4,5 und 5,6 mm).

Tabla 19: En la tabla 2 se especifican las categorías a las que pertenecen los agregados en función de su tamaño.

Documentación fotográfica del proceso:



*Imagen 12: Separación de los agregados en contenedores de distinto tamaño*



*Imagen 13: Preparación de los tamices para el proceso de tamizado*

Densidad real de los áridos

Después del cribado, se determinó la **densidad real de cada agregado**. Para ello se utilizaron diversos instrumentos, como un picnómetro, una balanza y se utilizó un procedimiento de baño de templado con agua. Con los elementos anteriores, la **densidad real** se determinó de acuerdo con la norma.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

| N° de Muestra                              | 0/2    |        | 2/5    |        | 5/8    |        | 8/11    |         | 11/16   |         | 16/22   |         |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Picnómetro (Pc) N°                         | 12     | 18     | 4      | 11     | 7      | 17     | 5       | 2       | 6       | 13      | 12      | 9       |
| Peso de calibración [g]                    | 379,23 | 379,39 | 379,48 | 376,51 | 383,72 | 380,42 | 695,90  | 717,51  | 721,66  | 718,56  | 711,24  | 728,88  |
| Volumen del picnómetros [cm <sup>3</sup> ] | 660,13 | 658,88 | 659,10 | 657,18 | 649,07 | 659,05 | 1318,51 | 1332,50 | 1324,82 | 1330,27 | 1307,48 | 1232,93 |
| Densidad del fluido [g/cm <sup>3</sup> ]   | 0,997  | 0,997  | 0,997  | 0,997  | 0,997  | 0,997  | 0,997   | 0,997   | 0,997   | 0,997   | 0,997   | 0,997   |
| Temperatura de ensayo [°C]                 | 25     | 25     | 25     | 25     | 25     | 25     | 25      | 25      | 25      | 25      | 25      | 25      |

|  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Pc + muestra + fluido [g]                | 1413,3 | 1287,7 | 1455,2 | 1428,3 | 1472,5 | 1448,9 | 3013,8 | 3043,2 | 3024,3 | 3038,2 | 2958,0 | 2870,1 |
| Pc + muestra [g]                         | 939,4  | 753,0  | 1006,2 | 970,2  | 1046,7 | 997,9  | 2192,9 | 2204,6 | 2182,2 | 2196,7 | 2116,4 | 2089,2 |
| Picnómetro [g]                           | 379,2  | 379,4  | 379,5  | 376,5  | 383,7  | 380,4  | 695,8  | 717,5  | 721,7  | 718,6  | 711,2  | 728,6  |
| Fluido [g]                               | 473,9  | 534,7  | 449,0  | 458,1  | 425,8  | 451,0  | 820,9  | 838,6  | 842,1  | 841,5  | 841,6  | 780,9  |
| Pesaje de las muestras [g]               | 560,2  | 373,6  | 626,7  | 593,7  | 663,0  | 617,5  | 1497,1 | 1487,1 | 1460,5 | 1478,1 | 1405,2 | 1360,6 |
| Volumen del fluido [cm <sup>3</sup> ]    | 475,33 | 536,31 | 450,35 | 459,48 | 427,08 | 452,36 | 823,37 | 841,12 | 844,63 | 844,03 | 844,13 | 783,25 |
| Volumen de la muestra [cm <sup>3</sup> ] | 184,80 | 122,57 | 208,75 | 197,70 | 221,99 | 206,69 | 495,14 | 491,38 | 480,19 | 486,24 | 463,35 | 449,68 |
| Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ]   | 3,031  | 3,048  | 3,002  | 3,003  | 2,987  | 2,988  | 3,024  | 3,026  | 3,042  | 3,040  | 3,033  | 3,026  |
| Promedio [g/cm <sup>3</sup> ]            | 3,040  |        | 3,003  |        | 2,987  |        | 3,025  |        | 3,041  |        | 3,029  |        |

**La obtención de la densidad aparente del asfalto se realizó mediante las:**

**“Especificaciones técnicas de los ensayos de asfalto” contenidas en la Norma TP Asphalt-StB, Capítulo 5.**

Algunas generalidades de dicho documento son:

#### **Campo de aplicación:**

El Capítulo 5 de las Normas Técnicas para asfalto se sustenta en la norma **DIN EN 12697-5**. Las Normas describen los procedimientos para determinar la densidad aparente del asfalto. Se basan en el método volumétrico y en los anexos A y C de la norma **DIN EN 12697-5**.

#### **Descripción del método y del principio de medición**

Se calienta y se granula una muestra de asfalto. La muestra granulada se llena en un picnómetro y el volumen de la muestra sin vacío se determina por estratificación con agua como medio de evaluación. Se aplica una presión negativa al picnómetro para que el agua pueda penetrar en los huecos aún existentes. La densidad aparente de la muestra de asfalto se calcula a partir de la masa y el volumen.

Por regla general, la granulación se realiza manualmente. Se pueden utilizar métodos de granulación automáticas si se garantiza que este produzca los mismos resultados que el proceso de granulación manual.

#### **Equipos y equipos de prueba**

- Cámara según **DIN 50014-12** con aire circulante, temperatura 150 °C, precisión +-5 K,
  - Balanza de precisión con una precisión de lectura de +- 0,1 g,
  - De hecho, el agua desmineralizada o destilada; se supone que la densidad a 25° C es de 0.997 g/cm<sup>3</sup>,
  - Termómetro E O,1/0/50 preferiblemente según **DIN 12775**,
  - Picnómetro, compuesto por una botella de cuello ancho y un accesorio de molienda según la figura 1 mil 2000 ml, 1000 ml o 500 ml de información nominal. (Ver imagen).
  - Baño de agua para el control de la temperatura de la muestra de medición y del líquido (25,0 +- 1,0 °C),
- Nota: El baño de agua debe estar provisto de óxido. El picnómetro se sumergirá a una profundidad de aproximadamente dos centímetros por debajo del borde superior de corte.
- Sistema de vacío para purgar la muestra en el picnómetro parcialmente lleno a una presión residual en el sistema de 30 hPa,
  - Embudo para llenar la muestra en el frasco de cuello ancho,
  - Placa divisoria de la muestra, preferiblemente calentada,
  - Placa divisora de la muestra, sin calentar, para granular la muestra,
  - Herramienta para dividir o granular la muestra, por ejemplo, espátula, espátula o similar,

Opcional: dispositivo de granulación mecánica. (No utilizado en este ensayo, ya que la granulación fue realizada de forma manual).

#### **Preparación de la muestra**

La muestra tomada de acuerdo con **TP Asphalt-StB, parte 27**, se debe elevar primero a aprox. 110 °C en la cámara de calentamiento. Las muestras que se extraen deben triturarse primero a mano.

La muestra debe distribuirse de forma plana sobre un plato divisor preferiblemente calentado. La muestra de ensayo que se pesará, se formará tomando la cantidad de muestra de al menos 10 puntos iguales de mezcla asfáltica con la pala de muestreo. La cantidad de muestra de suelo no será menor a 250 gramos.

La muestra debe secarse a  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$  a masa constante. La constancia de la masa se consigue cuando la diferencia de masa no es superior al 0,05 % en masa para dos pesajes con un intervalo de al menos dos horas.

Para el granulado manual, la muestra se distribuye en otra lámina y se granula de forma cuidadosa y continua. La granulación se considera completa cuando el espesor de la argamasa no excede los 6 mm.

### Procedimiento de prueba

Primero, se pesa la botella vacía de cuello ancho con el accesorio de molienda ligeramente engrasado a 0,1 g (ml). La masa debe coincidir con el valor de la lista de picnómetros. La muestra se llena en el frasco de cuello ancho. Para evitar que la mezcla asfáltica se adhiera a la sección del suelo de la botella, se utiliza un embudo para el llenado, cuyo extremo sobresale más allá de la sección del suelo dentro de la botella.

La botella de cuello ancho se pesa junto con picnómetro y la parte de muestra ( $m_2$ ). A continuación, el agua se llena en la botella de cuello ancho hasta unos dos centímetros por debajo de la superficie de la muestra. Las inclusiones de aire se eliminan mediante raspado o laminado. Si es necesario, se deberá añadir agua para que la muestra quede completamente cubierta de agua. La botella de cuello ancho se coloca en el sistema de vacío.

El aire residual de la muestra de ensayo se expulsa mediante vacío. La presión debe reducirse a 30 hPa en menos de 30 minutos. Debe evitarse la ebullición del agua (si es necesario, añadiendo cubitos de hielo). Una vez liberada la presión negativa, se debe colocar el accesorio del picnómetro engrasado y llenar el picnómetro con agua casi hasta la marca de medición del accesorio en el suelo.

Luego se debe temperar el picnómetro en un baño de agua a  $(25,0 \pm 1,0) ^\circ\text{C}$  durante al menos 90 minutos durante el tiempo que no se utilice. El líquido de baño debe llegar hasta unos dos centímetros por debajo del borde superior del corte.

El picnómetro sólo debe llenarse con agua hasta la marca de medición (menisco inferior) después del templado. A continuación, el picnómetro debe retirarse del baño de agua, secarse cuidadosamente y pesarse ( $m_3$ ), y mediante una relación de pesos y volúmenes correspondientes a los distintos estados se obtiene el valor buscado.

A continuación de muestra la descripción del picnómetro que se utilizó en el ensayo.

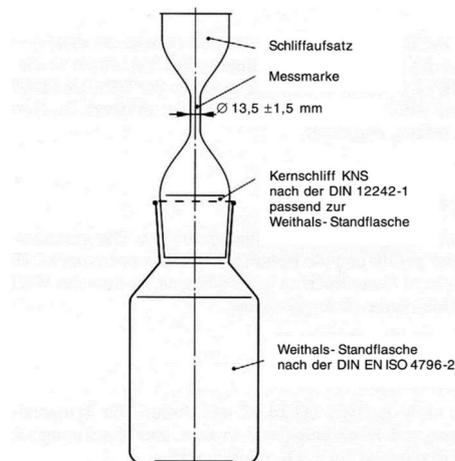


Imagen 14: Características de un picnómetro

Documentación fotográfica del proceso:



*Imagen 15: Preparación de los picnómetros*



*Imagen 16: Ensayo del picnómetro*

Proporciones de los áridos

A continuación, se desarrollarán las curvas de clasificación de los áridos. A partir de esto, se decidirá en primer lugar qué porcentajes de cada agregado se utilizarán para alcanzar los valores máximos y mínimos promovidos por la norma, para lo cual se testeó con diferentes porcentajes de composición granulométrica.

A continuación, se muestran todas las curvas de clasificación utilizadas:

| Grano [M.-%]            |        | Clases de grano [mm] |             |         |       |        |        |         |         |           | Proporción [M.-%] |
|-------------------------|--------|----------------------|-------------|---------|-------|--------|--------|---------|---------|-----------|-------------------|
|                         |        | < 0,063              | 0,063/0,125 | 0,125/2 | 2/5,6 | 5,6/8  | 8/11,2 | 11,2/16 | 16/22,4 | 22,4/31,5 |                   |
| Filler                  | Filler | 90,0%                | 10,0%       | -       | -     | -      | -      | -       | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 7,2%                 | 0,8%        | -       | -     | -      | -      | -       | -       | -         | 8%                |
| GF85                    | 0/2    | 10,8%                | 6,1%        | 68,3%   | 14,8% | 0,0%   | -      | -       | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 2,4%                 | 1,3%        | 15,0%   | 3,3%  | 0,0%   | -      | -       | -       | -         | 22%               |
| GC90/10                 | 2/5    | 0,0%                 | 0,2%        | 0,5%    | 95,9% | 3,3%   | 0,1%   | -       | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 0,0%                 | 0,0%        | 0,1%    | 11,5% | 0,4%   | 0,0%   | -       | -       | -         | 12%               |
| GC90/15                 | 5/8    | 0,0%                 | 0,0%        | 0,0%    | 12,2% | 77,8%  | 8,8%   | 1,2%    | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 0,0%                 | 0,0%        | 0,0%    | 7,1%  | 45,1%  | 5,1%   | 0,7%    | -       | -         | 58%               |
| GC90/15                 | 8/11   | 0,1%                 | 0,0%        | 0,0%    | 0,5%  | 5,5%   | 59,4%  | 34,5%   | 0,0%    | -         | 100%              |
|                         |        | 0,0%                 | 0,0%        | 0,0%    | 0,0%  | 0,0%   | 0,0%   | 0,0%    | 0,0%    | -         | 0%                |
| GC90/15                 | 11/16  | -                    | -           | -       | -     | -      | -      | -       | -       | -         | -                 |
|                         |        | -                    | -           | -       | -     | -      | -      | -       | -       | -         | -                 |
| GC90/15                 | 16/22  | -                    | -           | -       | -     | -      | -      | -       | -       | -         | -                 |
|                         |        | -                    | -           | -       | -     | -      | -      | -       | -       | -         | -                 |
| Suma de los componentes |        | 9,6%                 | 2,2%        | 15,1%   | 21,8% | 45,5%  | 5,1%   | 0,7%    | 0,0%    | 0,0%      | 100,0%            |
| Valores de la mezcla    |        |                      |             |         |       |        |        |         |         |           |                   |
| Clase de grano [mm]     |        | 0,063                | 0,125       | 2       | 5,6   | 8      | 11,2   | 16      | 22,4    | 31,5      |                   |
| Pasante [M.-%]          |        | 9,6%                 | 11,7%       | 26,8%   | 48,7% | 94,2%  | 99,3%  | 100,0%  | 100,0%  | 100,0%    |                   |
| Valores limites         |        |                      |             |         |       |        |        |         |         |           |                   |
| Clase de grano [mm]     |        | 0,063                | 0,125       | 2       | 5,6   | 8      | 11,2   | 16      | 22,4    | 31,5      |                   |
| Pasante [M.-%] (Mínima) |        | 8,0%                 | -           | 20,0%   | 35,0% | 90,0%  | 100,0% | -       | -       | -         |                   |
| Pasante [M.-%] (Máxima) |        | 12,0%                | -           | 30,0%   | 55,0% | 100,0% | 100,0% | -       | -       | -         |                   |

| Grano[M.-%]             |        | Clases de grano [mm] |             |         |       |       |        |         |         |           | Proporción [M.-%] |
|-------------------------|--------|----------------------|-------------|---------|-------|-------|--------|---------|---------|-----------|-------------------|
|                         |        | < 0,063              | 0,063/0,125 | 0,125/2 | 2/5,6 | 5,6/8 | 8/11,2 | 11,2/16 | 16/22,4 | 22,4/31,5 |                   |
| Filler                  | Filler | 90,0%                | 10,0%       | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 8,1%                 | 0,9%        | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | 9%                |
| GF85                    | 0/2    | 10,8%                | 6,1%        | 68,3%   | 14,8% | 0,0%  | -      | -       | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 1,6%                 | 0,9%        | 10,2%   | 2,2%  | 0,0%  | -      | -       | -       | -         | 15%               |
| GC90/10                 | 2/5    | 0,0%                 | 0,2%        | 0,5%    | 95,9% | 3,3%  | 0,1%   | -       | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 0,0%                 | 0,0%        | 0,1%    | 9,6%  | 0,3%  | 0,0%   | -       | -       | -         | 10%               |
| GC90/15                 | 5/8    | 0,0%                 | 0,0%        | 0,0%    | 12,2% | 77,8% | 8,8%   | 1,2%    | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 0,0%                 | 0,0%        | 0,0%    | 8,1%  | 51,3% | 5,8%   | 0,8%    | -       | -         | 66%               |
| GC90/15                 | 8/11   | 0,1%                 | 0,0%        | 0,0%    | 0,5%  | 5,5%  | 59,4%  | 34,5%   | 0,0%    | -         | 100%              |
|                         |        | 0,0%                 | 0,0%        | 0,0%    | 0,0%  | 0,0%  | 0,0%   | 0,0%    | 0,0%    | -         | 0%                |
| GC90/15                 | 11/16  | -                    | -           | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | -                 |
|                         |        | -                    | -           | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | -                 |
| GC90/15                 | 16/22  | -                    | -           | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | -                 |
|                         |        | -                    | -           | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | -                 |
| Suma de los componentes |        | 9,7%                 | 1,8%        | 10,3%   | 19,9% | 51,7% | 5,8%   | 0,8%    | 0,0%    | 0,0%      | 100,0%            |

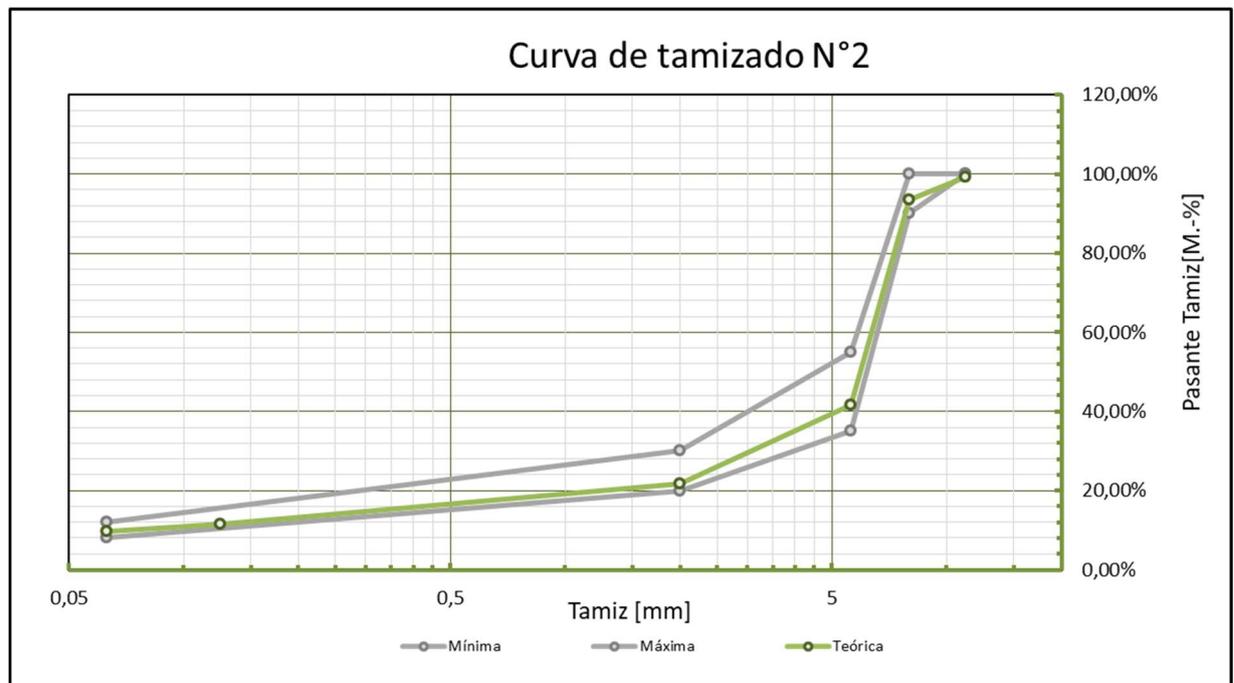
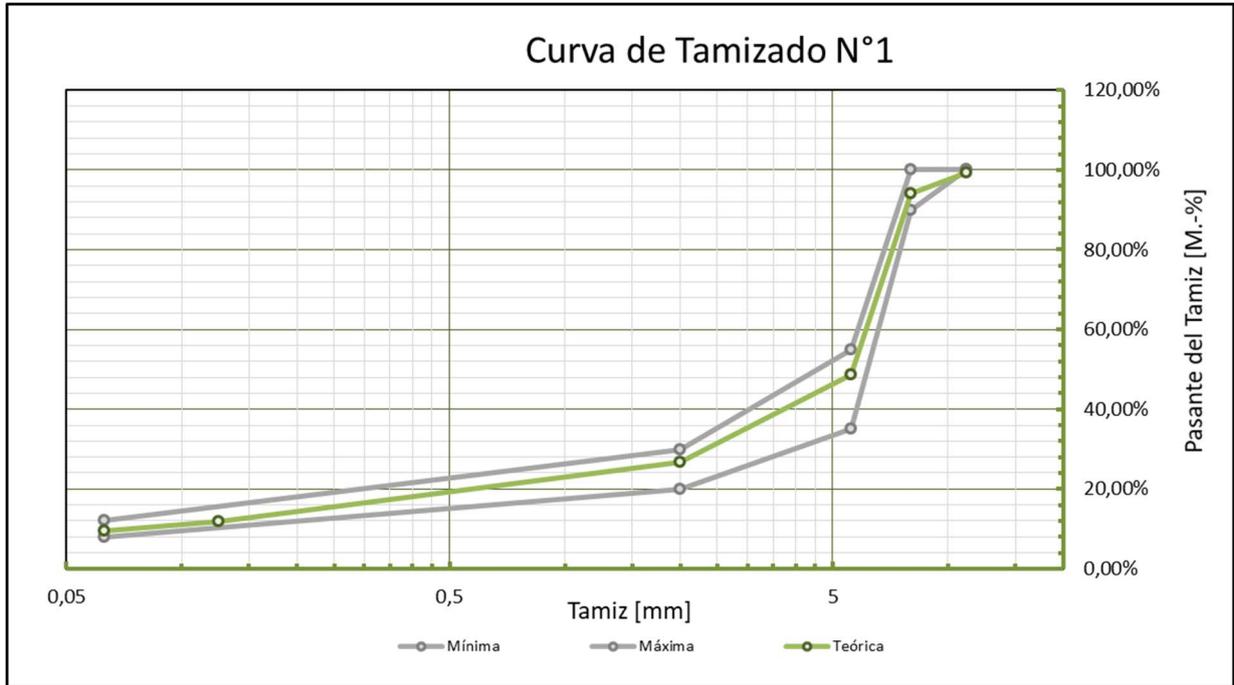
| Valores de la mezcla |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Clase de grano [mm]  | 0,063 | 0,125 | 2     | 5,6   | 8     | 11,2  | 16     | 22,4   | 31,5   |
| Pasante [M.-%]       | 9,7%  | 11,6% | 21,9% | 41,7% | 93,4% | 99,2% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

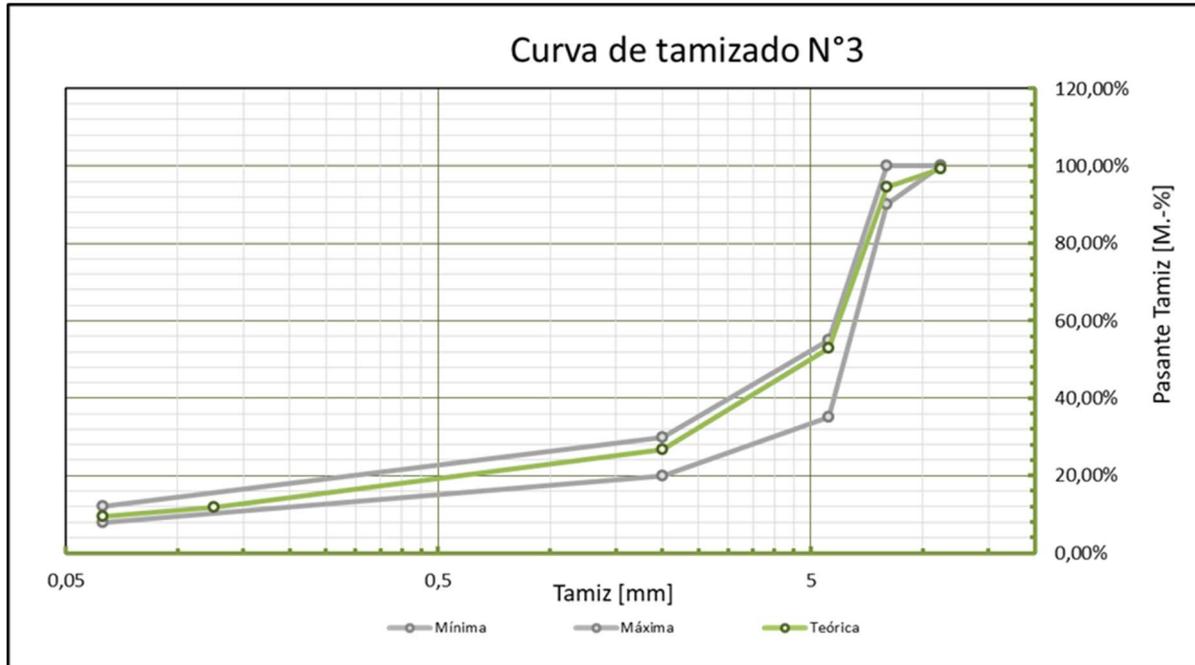
| Valores límites         |       |       |       |       |        |        |    |      |      |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|----|------|------|
| Clase de grano [mm]     | 0,063 | 0,125 | 2     | 5,6   | 8      | 11,2   | 16 | 22,4 | 31,5 |
| Pasante [M.-%] (Mínima) | 8,0%  | -     | 20,0% | 35,0% | 90,0%  | 100,0% | -  | -    | -    |
| Pasante [M.-%] (Máxima) | 12,0% | -     | 30,0% | 55,0% | 100,0% | 100,0% | -  | -    | -    |

| Grano[M.-%]             |        | Clases de grano [mm] |             |         |       |       |        |         |         |           | Proporción [M.-%] |
|-------------------------|--------|----------------------|-------------|---------|-------|-------|--------|---------|---------|-----------|-------------------|
|                         |        | < 0,063              | 0,063/0,125 | 0,125/2 | 2/5,6 | 5,6/8 | 8/11,2 | 11,2/16 | 16/22,4 | 22,4/31,5 |                   |
| Filler                  | Filler | 90,0%                | 10,0%       | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 7,2%                 | 0,8%        | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | 8%                |
| GF85                    | 0/2    | 10,8%                | 6,1%        | 68,3%   | 14,8% | 0,0%  | -      | -       | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 2,4%                 | 1,3%        | 15,0%   | 3,3%  | 0,0%  | -      | -       | -       | -         | 22%               |
| GC90/10                 | 2/5    | 0,0%                 | 0,2%        | 0,5%    | 95,9% | 3,3%  | 0,1%   | -       | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 0,0%                 | 0,0%        | 0,1%    | 16,3% | 0,6%  | 0,0%   | -       | -       | -         | 17%               |
| GC90/15                 | 5/8    | 0,0%                 | 0,0%        | 0,0%    | 12,2% | 77,8% | 8,8%   | 1,2%    | -       | -         | 100%              |
|                         |        | 0,0%                 | 0,0%        | 0,0%    | 6,5%  | 41,2% | 4,7%   | 0,6%    | -       | -         | 53%               |
| GC90/15                 | 8/11   | 0,1%                 | 0,0%        | 0,0%    | 0,5%  | 5,5%  | 59,4%  | 34,5%   | 0,0%    | -         | 100%              |
|                         |        | 0,0%                 | 0,0%        | 0,0%    | 0,0%  | 0,0%  | 0,0%   | 0,0%    | 0,0%    | -         | 0%                |
| GC90/15                 | 11/16  | -                    | -           | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | -                 |
|                         |        | -                    | -           | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | -                 |
| GC90/15                 | 16/22  | -                    | -           | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | -                 |
|                         |        | -                    | -           | -       | -     | -     | -      | -       | -       | -         | -                 |
| Suma de los componentes |        | 9,6%                 | 2,2%        | 15,1%   | 26,0% | 41,8% | 4,7%   | 0,6%    | 0,0%    | 0,0%      | 100,0%            |

| Valores de la mezcla |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Clase de grano [mm]  | 0,063 | 0,125 | 2     | 5,6   | 8     | 11,2  | 16     | 22,4   | 31,5   |
| Pasante [M.-%]       | 9,6%  | 11,8% | 26,9% | 52,9% | 94,7% | 99,4% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

| Valores límites         |       |       |       |       |        |        |    |      |      |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|----|------|------|
| Clase de grano [mm]     | 0,063 | 0,125 | 2     | 5,6   | 8      | 11,2   | 16 | 22,4 | 31,5 |
| Pasante [M.-%] (Mínima) | 8,0%  | -     | 20,0% | 35,0% | 90,0%  | 100,0% | -  | -    | -    |
| Pasante [M.-%] (Máxima) | 12,0% | -     | 30,0% | 55,0% | 100,0% | 100,0% | -  | -    | -    |





Como se observa en los gráficos, las curvas de tamizados obtenidas se encuentran entre las curvas máximas y mínimas con las que la norma delimita la composición granulométrica que deberá resultar de los sucesivos testeos.

**Algunas de las consideraciones a tener en cuenta son:**

Son posibles combinaciones de dos o más de dos grupos combinados adyacentes. Deberán cumplirse los requisitos de la tabla 3 para el paso a través del tamiz intermedio. El fabricante registrará e indicará el paso típico por la pantalla intermedia y las tolerancias seleccionadas entre las categorías del cuadro 3.

Tabla 3: Requisitos para el paso a través del tamiz intermedio

| Korngruppen  | D/d               | Zwischen-sieb <sup>a)</sup> | Grenz-wert | Toleranz bezogen auf den typischen Durchgang | Kategorie  |
|--|-------------------|-----------------------------|------------|--|--|
|  |                   | mm                          | M.-%       | M.-%   |  |
| Korngruppen gemäß Tabelle 2  | keine Anforderung |                             |            |  | G <sub>NR</sub>  |
| Kombination von Korngruppen gemäß Tabelle 2  | < 4               | D/1,4                       | 20 bis 70  | ± 15   | G <sub>20/15</sub> <sup>1)</sup> bzw. G <sub>TC20/15</sub> <sup>2)</sup>     |
|  |                   |                             | 25 bis 70  | ± 15   | G <sub>T15</sub> <sup>3)</sup>   |
|  | ≥ 4               | D/2                         | 20 bis 70  | ± 17,5                                       | G <sub>20/17,5</sub> <sup>1)</sup> bzw. G <sub>TC20/17,5</sub> <sup>2)</sup> |
|  |                   |                             | 25 bis 70  | ± 17,5                                       | G <sub>T17,5</sub> <sup>3)</sup>   |
| keine Anforderung  |                   |                             |            |  | G <sub>NR</sub> <sup>1)</sup> bzw. G <sub>TNR</sub> <sup>2)</sup>            |
| a) Wenn die wie oben angegebenen errechneten Zwischensiebe nicht genau mit der ISO 565:1990, R20-Reihe übereinstimmen, muss stattdessen die nächstgrößere bzw. nächstkleinere Siebnennöffungsweite verwendet werden. |                   |                             |            |  |  |

1) Kategorie aus DIN EN 13043

2) Kategorie aus DIN EN 13242

3) Kategorie aus DIN EN 12620

Tabla 19: Descripción del pasante entre tamices en función de las categorías de agregados

Además, los requisitos del cuadro 4 se aplican a los grupos de agregados 0/2, 0/4 y 0/5, así como a las mezclas de agregados 0/8. El fabricante registrará la distribución típica de estos grupos de agregados por grupos de granos y, si procede, la especificará. Las tolerancias que deben cumplir los requisitos están especificados en el siguiente cuadro.

Para mezclas de roca con d = 0 y D > 8 mm se aplica la categoría GA 85 según **DIN EN 13043 o DIN EN 13242**. No hay requisitos para el paso a través del tamiz intermedio. El fabricante deberá registrar la distribución típica de agregados de estas mezclas de rocas y, si es necesario, especificarla.

| Zeile  | Korngruppen       | Toleranz des Siebdurchgangs in M.-% bei Korngröße (mm) |                   |                   |      |                   |      |       |                   | Kategorie  |
|--|-------------------|--|-------------------|-------------------|------|-------------------|------|-------|-------------------|--|
|  |                   | 8  | 5                 | 4                 | 2,8  | 2                 | 1    | 0,250 | 0,063             |  |
| 1  | 0/2               | –  | –                 | –                 | –    | ± 5 <sup>a)</sup> | ± 20 | ± 25  | ± 3 <sup>b)</sup> | 1)   |
| 2  | 0/4               | –  | –                 | ± 5 <sup>a)</sup> | –    | –                 | ± 20 | ± 20  | ± 3 <sup>b)</sup> |  |
| 3  | 0/2               | –  | –                 | –                 | –    | ± 5 <sup>a)</sup> | ± 10 | –     | ± 3 <sup>b)</sup> | G <sub>TC10</sub> <sup>2)</sup><br>bzw.<br>G <sub>TA10</sub> <sup>3)</sup> |
| 4  | 0/5               | –  | ± 5 <sup>a)</sup> | –                 | ± 10 | –                 | –    | –     | ± 3 <sup>b)</sup> |  |
| 5  | 0/8               | ± 5 <sup>a)</sup>                                      | –                 | ± 10              | –    | –                 | –    | –     | ± 3 <sup>b)</sup> |  |
| 6  | 0/2<br>0/5<br>0/8 | keine Anforderung                                      |                   |                   |      |                   |      |       |                   | G <sub>TCNR</sub> <sup>2)</sup><br>bzw.<br>G <sub>TANR</sub> <sup>3)</sup> |
| a) Die Toleranzen von ± 5 M.-% werden durch die Anforderungen an den prozentualen Durchgang D in der Tabelle 2 begrenzt. |                   |  |                   |                   |      |                   |      |       |                   |  |
| b) Gilt nicht für Kategorie f <sub>3</sub> (Gehalt an Feinanteilen ≤ 3 M.-%) der Korngruppe 0/2 bis 0/5 der Tabelle 5.   |                   |  |                   |                   |      |                   |      |       |                   |  |

1) DIN EN 12620

2) Kategorie aus DIN EN 13043

3) Kategorie aus DIN EN 13242

Tabla 20: Requisitos para la distribución granulométrica de los áridos 0/2, 0/4, 0/5 y 0/8

### Contenido de finos

El contenido de partículas finas en los grupos de grano determinado según la norma **DIN EN 933-1** debe cumplir los requisitos de una de las categorías de la siguiente tabla.

| Zeile | Korngruppen $d/D$ | Feinanteil | Kategorie              |
|-------|-------------------|------------|------------------------|
|       | mm                | M.-%       |                        |
| 1     | 0/2 bis 0/5       | $\leq 3$   | $f_3$                  |
| 2     | 0/2 bis 0/5       | $\leq 16$  | $f_{16}$               |
| 3     | 0/2 bis 0/5       | $> 16$     | $f_{\text{angegeben}}$ |
| 4     | 2/4 bis 32/63     | $\leq 0,5$ | $f_{0,5}$              |
| 5     | 2/4 bis 32/63     | $\leq 1$   | $f_1$                  |
| 6     | 2/4 bis 32/63     | $\leq 1,5$ | $f_{1,5}$              |
| 7     | 2/4 bis 32/63     | $\leq 2$   | $f_2$                  |
| 8     | 2/4 bis 32/63     | $\leq 4$   | $f_4$                  |
| 9     | 2/4 bis 32/63     | $> 4$      | $f_{\text{angegeben}}$ |

Anmerkung: Für besondere Anwendungsgebiete können Korngruppen/Lieferkörnungen 1/3; 2/3 und 2/4 mm der Kategorie  $f_{0,5}$ ,  $f_1$  oder  $f_3$  verwendet werden.

Tabla 21: Requisitos para el contenido de partículas finas

Para combinaciones de grupos de granos adyacentes, el contenido de finos se determinará por el requisito del grupo de granos más grande contenido en la combinación. Para mezclas de rocas con  $d = 0$  y  $D = 8$  mm, el fabricante debe especificar las categorías de la tabla anterior, líneas 4 a 9.

### Calidad de las muestras

Si el contenido de partículas finas en los áridos finos y en las mezclas de áridos no supera el 3 % en masa, no será necesario realizar más ensayos.

Si el contenido de partículas finas en los agregados finos y en las mezclas de agregados es superior al 3 % en masa, la calidad de las partículas finas se someterá a ensayo de acuerdo con el siguiente cuadro. El valor de metileno (MB) se someterá a ensayo de acuerdo con la norma **DIN EN 933-9** y el valor equivalente de arena (SE) se someterá a ensayo de acuerdo con la norma **DIN EN 933-8**. Nota: En el caso de mezclas de roca con  $d = 0$  y  $D = 8$  mm, el contenido de finos se referirá al contenido de grano  $< 2$  mm.

| Zeile | Verwendung der Gesteinskörnung in | Feinanteil in M.-% von                                      |   |
|-------|-----------------------------------|---|---|
|       |                                   | $> 3$ bis $\leq 10$   | $> 10$  |
| 1     | Asphalt                           | $MB_F$ angegeben und Prüfung nach Abschnitt 2.3.6           | Prüfung nach Abschnitt 2.3.2, 2.3.4, 2.3.5, 2.3.6 |
| 2     | Beton und HGT                     | $MB$ angegeben <sup>*)</sup> , $SE$ angegeben <sup>*)</sup> |   |
| 3     | Schichten ohne Bindemittel        | keine   |   |
| 4     | Pflasterdecken und Plattenbelägen | keine   |   |

Tabla 22: Calidad de las fracciones finas

### Porcentaje de superficies rotas en áridos gruesos

El porcentaje de árido roto determinado según **DIN EN 933-5**, deberá cumplir los requisitos de una de las categorías del siguiente cuadro

| Anteil vollständig gebrochener Körner M.-% | Anteil vollständig gebrochener und teilweise gebrochener Körner M.-% | Anteil vollständig gerundeter Körner M.-% | Kategorie<br><i>C</i>     |
|--|--|---|---------------------------|
| 90–100                                     | 100  | 0   | <i>C</i> <sub>100/0</sub> |
| 30–100                                     | 95–100   | 0–1                                       | <i>C</i> <sub>95/1</sub>  |
| 30–100                                     | 90–100   | 0–1                                       | <i>C</i> <sub>90/1</sub>  |
|  | 90–100   | 0–3                                       | <i>C</i> <sub>90/3</sub>  |
|  | 50–100   | 0–30                                      | <i>C</i> <sub>50/30</sub> |
| –  | –  | 0–70                                      | <i>C</i> <sub>NR/70</sub> |
| keine Anforderung                          |  |   | <i>C</i> <sub>NR</sub>    |

Tabla 23: Requisitos para la proporción de granos partidos (incluida la proporción de Körner completamente partido y redondeado).

### Preparación de las probetas

Para la producción de las probetas, las densidades brutas de las mezclas de roca se determinaron de acuerdo con las curvas de tamizado propuestas, así también como el contenido de ligante y el contenido de aditivos en las mezclas (fibras y cera) con estos valores. Se obtuvieron también los pesos de los diferentes tamaños de agregados para producir los especímenes. Se utilizaron 3 curvas de tamizado y se fabricaron las muestras necesarias hasta alcanzar el contenido de vacío requerido por la norma. (25 muestras).

Además, se calcularon los pesos de los diferentes tipos de agregados para producir las muestras de ensayo.

A continuación, se muestran las tablas con las diferentes cantidades de material utilizadas:

| Probetas serie 1 (curva de tamizado N°1) (x3)                 |  |                  |
|---|--|------------------|
| Agregados   | Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ] | Proporción [M.%] |
| Filler  | 2,702                                  | 8%               |
| Agregado 0/2  | 3,040                                  | 22%              |
| Agregado 2/5  | 3,003                                  | 12%              |
| Agregado 5/8  | 2,987                                  | 58%              |
| Agregado 8/11   | 3,025                                  | 0%               |
| Agregado 11/16  | 3,041                                  | -                |
| Agregado 16/22  | 3,029                                  | -                |
| Densidad aparente del agregado [g/cm <sup>3</sup> ]           | 2,975                                  |                  |
| Mezcla SMA 8 S (50/70) (x3)                                   |  |                  |
| Densidad aparente del betún [g/cm <sup>3</sup> ]              | 1,015                                  |                  |
| Densidad aparente del agregado [g/cm <sup>3</sup> ]           | 2,975                                  |                  |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648                                  |                  |
| Peso total de los agregados [g]                               | 1150                                   |                  |
| Contenido mínimo de aglomerante                               | 7,2                                    |                  |
| Contenido mínimo de aglomerante [%]                           | 6,4                                    |                  |
| Aglomerante adoptado [%]                                      | 6,4                                    |                  |
| Contenido de aglomerante [g]                                  | 78,6                                   |                  |
| Probetas de la serie 2 (curva de tamizado N°1) (x6)           |  |                  |
| Agregados   | Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ] | Proporción [M.%] |
| Filler  | 2,702                                  | 8%               |
| Agregado 0/2  | 3,040                                  | 22%              |
| Agregado 2/5  | 3,003                                  | 12%              |
| Agregado 5/8  | 2,987                                  | 58%              |
| Agregado 8/11   | 3,025                                  | 0%               |
| Agregado 11/16  | 3,041                                  | -                |
| Agregados 16/22   | 3,029                                  | -                |
| Densidad aparente del agregados [g/cm <sup>3</sup> ]          | 2,975                                  |                  |
| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) (x3)                          |  |                  |
| Densidad aparente del betún[g/cm <sup>3</sup> ]               | 1,015                                  |                  |
| Densidad aparente de los agregados[g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,975                                  |                  |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648                                  |                  |
| Peso total de los agregados[g]                                | 1195                                   |                  |
| Contenido mínimo de aglomerante                               | 7,2                                    |                  |
| Contendio mínimo de aglomerante [%]                           | 6,4                                    |                  |
| Aglomerante adoptado [%]                                      | 6,4                                    |                  |
| Contenido de aglomerante[g]                                   | 81,7                                   |                  |
| Contenido de fibra adoptado [%]                               | 0,3                                    |                  |
| Contenido de fibra [g]  | 3,8                                    |                  |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibra + cera) (x3)              |       |
|---|-------|
| Densidad aparente del betún [g/cm <sup>3</sup> ]        | 1,015 |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,975 |
| Densidad aparente de la mezcla [g/cm <sup>3</sup> ]     | 2,648 |
| Peso total de los agregados [g]                         | 1195  |
| Contenido mínimo de aglomerante                         | 7,2   |
| Contenido mínimo de aglomerante[%]                      | 6,4   |
| Contenido de aglomerante adoptado [%]                   | 6,4   |
| Contenido de aglomerante [g]                            | 81,7  |
| Contenido de fibra adoptado [%]                         | 0,3   |
| Contenido de fibra [g]                                  | 3,8   |
| Contenido de cera adoptado[%]                           | 3,0   |
| Contenido de cera [g]                                   | 2,5   |

| Probetas serie 3 (curva de tamizado N°1) (x6)        |  |                  |
|--|--|------------------|
| Agregados  | Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ] | Proporción [M.%] |
| Filler   | 2,702                                  | 8%               |
| Agregado 0/2   | 3,040                                  | 22%              |
| Agregado 2/5   | 3,003                                  | 12%              |
| Agregado 5/8   | 2,987                                  | 58%              |
| Agregado 8/11  | 3,025                                  | 0%               |
| Agregado 11/16                                       | 3,041                                  | -                |
| Agregado 16/22                                       | 3,029                                  | -                |
| Densidad aparente del agregados [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,975                                  |                  |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) (x3)                          |       |
|---|-------|
| Densidad aparente del betún [g/cm <sup>3</sup> ]              | 1,015 |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,975 |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,680 |
| Peso total de los agregados [g]                               | 1195  |
| Contenido mínimo de aglomerado                                | 7,2   |
| Contenido mínimo de aglomerado[%]                             | 6,4   |
| Contenido de aglomerado adoptado[%]                           | 5,7   |
| Contenido de aglomerado [g]                                   | 72,2  |
| Contenido de fibra adoptado [%]                               | 0,3   |
| Contenido de fibras [g]                                       | 3,8   |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) (x3)                          |       |
|---|-------|
| Densidad aparente del betún [g/cm <sup>3</sup> ]              | 1,015 |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,975 |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,666 |
| Peso total de los agregados [g]                               | 1195  |
| Contenido mínimo de aglomerante                               | 7,2   |
| Contenido mínimo de aglomerante [%]                           | 6,4   |
| Contenido de aglomerante adoptado [%]                         | 6,0   |
| Contenido de aglomerante [g]                                  | 76,3  |
| Contenido de fibras adoptado [%]                              | 0,3   |
| Contenido de fibras [g]                                       | 3,8   |

| Probetas serie 4 (curva de tamizado N°2) (x4)        |  |                  |
|--|--|------------------|
| Agregados  | Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ] | Proporción [M.%] |
| Filler   | 2,702                                  | 9%               |
| Agregado 0/2   | 3,040                                  | 15%              |
| Agregado 2/5   | 3,003                                  | 10%              |
| Agregado 5/8   | 2,987                                  | 66%              |
| Agregado 8/11  | 3,025                                  | 0%               |
| Agregado 11/16                                       | 3,041                                  | -                |
| Agregado 16/22                                       | 3,029                                  | -                |
| Densidad aparente del agregados [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,968                                  |                  |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) (x2)                          |       |
|---|-------|
| Densidad aparente del betún [g/cm <sup>3</sup> ]              | 1,015 |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,968 |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,675 |
| Peso total de los agregados [g]                               | 1195  |
| Contenido mínimo de aglomerante                               | 7,2   |
| Contenido mínimo de aglomerante [%]                           | 6,4   |
| Contenido de aglomerante adoptado [%]                         | 5,7   |
| Contenido de aglomerante [g]                                  | 72,2  |
| Contenido de fibra adoptado [%]                               | 0,3   |
| Contenido de fibra [g]  | 3,8   |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibra) (x2)                           |       |
|---|-------|
| Densidad aparente del betún [g/cm <sup>3</sup> ]              | 1,015 |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,968 |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,661 |
| Peso total de los agregados [g]                               | 1195  |
| Contenido mínimo de aglomerante                               | 7,2   |
| Contenido mínimo de aglomerante [%]                           | 6,4   |
| Contenido de aglomerante adoptado [%]                         | 6,0   |
| Contenido de aglomerante [g]                                  | 76,3  |
| Contenido de fibras adoptado [%]                              | 0,3   |
| Contenido de fibra [g]  | 3,8   |

| Probetas serie 5 (curva de tamizado N°3) (x3)                 |  |                  |
|---|--|------------------|
| Agregados   | Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ] | Proporción [M.%] |
| Filler  | 2,702                                  | 8%               |
| Agregado 0/2  | 3,040                                  | 22%              |
| Agregado 2/5  | 3,003                                  | 17%              |
| Agregado 5/8  | 2,987                                  | 53%              |
| Agregado 8/11   | 3,025                                  | 0%               |
| Agregado 11/16  | 3,041                                  | -                |
| Agregado 16/22  | 3,029                                  | -                |
| Densidad aparente del agregados[g/cm <sup>3</sup> ]           | 2,976                                  |                  |
| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibra (x3)                            |  |                  |
| Densidad aparente del betún[g/cm <sup>3</sup> ]               | 1,015                                  |                  |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,976                                  |                  |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,667                                  |                  |
| Peso total de los agregados [g]                               | 1195                                   |                  |
| Contenido mínimo de aglomerante                               | 7,2                                    |                  |
| Contenido mínimo de aglomerante [%]                           | 6,4                                    |                  |
| Contenido de aglomerante adoptado[%]                          | 6,0                                    |                  |
| Contenido de aglomerante [g]                                  | 76,3                                   |                  |
| Contenido de fibra adoptado[%]                                | 0,3                                    |                  |
| Contenido de fibra [g]  | 3,8                                    |                  |

| Probetas serie 6 (curva de tamizado N°3) (x3)       |  |                  |
|---|--|------------------|
| Agregados   | Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ] | Proporción [M.%] |
| Filler  | 2,702                                  | 8%               |
| Agregado 0/2  | 3,040                                  | 22%              |
| Agregado 2/5  | 3,003                                  | 17%              |
| Agregado 5/8  | 2,987                                  | 53%              |
| Agregado 8/11                                       | 3,025                                  | 0%               |
| Agregado 11/16                                      | 3,041                                  | -                |
| Agregado 16/22                                      | 3,029                                  | -                |
| Densidad aparente del agregados[g/cm <sup>3</sup> ] | 2,976                                  |                  |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) (x3)                          |       |
|---|-------|
| Densidad aparente del betún [g/cm <sup>3</sup> ]              | 1,015 |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,976 |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648 |
| Peso total de los agregados [g]                               | 1195  |
| Contenido mínimo de aglomerante                               | 7,2   |
| Contenido mínimo de aglomerante [%]                           | 6,4   |
| Contenido de aglomerante adoptado [%]                         | 6,4   |
| Contenido de aglomerante [g]                                  | 81,7  |
| Contenido de fibra adoptado [%]                               | 0,3   |
| Contenido de fibra [g]  | 3,8   |

Probetas serie 1 (curva de tamizado N°1)

| Valores de la mezcla |        |       |       |       |      |       |       |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Clase de grano [mm]  | Filler | 0/2   | 2/5   | 5/8   | 8/11 | 11/16 | 16/22 |
| Proporción [M.-%]    | 8,0%   | 22,0% | 12,0% | 58,0% | 0,0% | -     | -     |
| Peso parcial [g]     | 92,0   | 253,0 | 138,0 | 667,0 | 0,0  | -     | -     |
| Peso total [g]       | 1150   |       |       |       |      |       |       |

Probetas serie 2 (curva de tamizado N°1)

| Valores de la mezcla |        |       |       |       |      |       |       |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Clase de grano [mm]  | Filler | 0/2   | 2/5   | 5/8   | 8/11 | 11/16 | 16/22 |
| Proporción [M.-%]    | 8,0%   | 22,0% | 12,0% | 58,0% | 0,0% | -     | -     |
| Peso parcial [g]     | 95,6   | 262,9 | 143,4 | 693,1 | 0,0  | -     | -     |
| Peso total [g]       | 1195   |       |       |       |      |       |       |

Probetas serie 3 (curva de tamizado N°1)

| Valores de la mezcla |        |       |       |       |      |       |       |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Clase de grano [mm]  | Filler | 0/2   | 2/5   | 5/8   | 8/11 | 11/16 | 16/22 |
| Proporción [M.-%]    | 8,0%   | 22,0% | 12,0% | 58,0% | 0,0% | -     | -     |
| Peso parcial [g]     | 95,6   | 262,9 | 143,4 | 693,1 | 0,0  | -     | -     |
| Peso total [g]       | 1195   |       |       |       |      |       |       |

Probetas serie 4 (curva de tamizado N°2)

| Valores de la mezcla |        |       |       |       |      |       |       |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Clase de grano [mm]  | Filler | 0/2   | 2/5   | 5/8   | 8/11 | 11/16 | 16/22 |
| Proporción [M.-%]    | 9,0%   | 15,0% | 10,0% | 66,0% | 0,0% | -     | -     |
| Peso parcial [g]     | 107,6  | 179,3 | 119,5 | 788,7 | 0,0  | -     | -     |
| Peso total [g]       | 1195   |       |       |       |      |       |       |

Probetas serie 5 (curva de tamizado N°3)

| Valores de la mezcla |        |       |       |       |      |       |       |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Clase de grano [mm]  | Filler | 0/2   | 2/5   | 5/8   | 8/11 | 11/16 | 16/22 |
| Proporción [M.-%]    | 8,0%   | 22,0% | 17,0% | 53,0% | 0,0% | -     | -     |
| Peso parcial [g]     | 95,6   | 262,9 | 203,2 | 633,4 | 0,0  | -     | -     |
| Peso total [g]       | 1195   |       |       |       |      |       |       |

Probetas serie 6 (curva de tamizado N°3)

| Valores de la mezcla |        |       |       |       |      |       |       |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Clase de grano [mm]  | Filler | 0/2   | 2/5   | 5/8   | 8/11 | 11/16 | 16/22 |
| Proporción [M.-%]    | 8,0%   | 22,0% | 17,0% | 53,0% | 0,0% | -     | -     |
| Peso parcial [g]     | 95,6   | 262,9 | 203,2 | 633,4 | 0,0  | -     | -     |
| Peso total [g]       | 1195   |       |       |       |      |       |       |

Las especificaciones que fundamentan esta práctica están dadas bajo las consideraciones de:

### **Especificaciones técnicas de los ensayos de asfalto**

#### **TP Asfalto-StB**

#### **Parte 28: Preparación de las muestras**

##### **Aplicación**

La parte 28 del reglamento técnico para el ensayo de asfalto se basa en la norma **DIN EN 12697-28**, que describe los procedimientos para la preparación de muestras de laboratorio, por ejemplo, para la determinación del contenido de agua, del contenido de aglutinante o del asfalto.

El Reglamento Técnico de Ensayos también es aplicable a la extracción de piezas de muestra de mezclas asfálticas producidas en el laboratorio.

##### **Descripción del método y del principio de medición**

Las muestras de laboratorio pueden consistir en muestras de mezcla asfáltica o de acabado (por ejemplo, testigos de perforación). Cuando se entregan muestras de laboratorio, se debe verificar y registrar su composición y masa. Las muestras se conservarán en un lugar seco. En el caso del desmantelamiento de las muestras, se garantizará que no se produzcan deformaciones u otros cambios en el material.

Los pasos siguientes del proceso dependen de si las muestras son muestras de mezcla asfáltica o muestras de acabado.

##### **Muestras**

###### **Pretratamiento de muestras de mezclas asfálticas**

Las muestras de mezcla asfáltica entrantes se evaluarán en función de sus propiedades externas. Particularmente a documentar son los agregados que no han sido remezclados o han sido remezclados insuficientemente, fenómenos de segregación y escorrentía del ligante, así como agua libre. El agua libre debe ser vertida.

###### **Pretratamiento de las muestras para el desmantelamiento**

La estructura de la capa y las dimensiones de las muestras deben determinarse de acuerdo con la norma **DIN EN 12697-36**. También debe documentarse la presencia de sustancias extrañas, deformaciones y otras sustancias con relleno (por ejemplo, olores, aglutinante ascendente, compuesto de capa faltante).

En el caso de núcleos perforados de capas de rodadura de asfalto de poros abiertos, se debe separar el área en la que el ligante se ha levantado de la capa de sellado bituminoso.

Las capas que no deben ser inspeccionadas y los materiales extraños deben ser removidos. Si no es posible la eliminación completa, deberá indicarse en el informe de ensayo. El mismo procedimiento se utiliza para las películas ligantes finas de emulsiones bituminosas y la suciedad en los límites de las capas.

Las muestras de extracción deben separarse en capas y prepararse por separado. Las partes sueltas deben ser removidas antes de la prueba.

##### **Ejecución**

###### **Calefacción**

Para muestras de laboratorio que no pueden ser procesadas a temperatura ambiente, es necesario calentarlas en una cámara sin suministro de aire fresco. La muestra debe estar cubierta. El tiempo máximo de permanencia del material en la cámara de calor es de cuatro horas. Las temperaturas más altas se indican en la siguiente Tabla, dependiendo del tipo y del tipo de aglutinante previsto.

Si se ha de determinar el contenido de agua, puede suministrarse a la muestra de laboratorio con mm la cantidad de agua necesaria para dividir la muestra.

| <b>Bindemittelart und -sorte der Probe</b>   | <b>Höchste Temperatur in der Wärmekammer [°C]</b> |
|--|---|
| Bitumen 160/220<br>Bitumen 70/100  | 120   |
| Bitumen 50/70<br>Bitumen 30/45<br>Bitumen 20/30<br>PmB nach TL Bitumen <sup>*)</sup>   | 135   |
| <sup>*)</sup> Bei Verwendung von 40/100-65 kann in Abhängigkeit von der Bindemittelviskosität eine höhere Wiedererwärmungstemperatur erforderlich sein. In diesem Fall sind die Herstellerangaben zu berücksichtigen |   |

Tabla 24: Temperaturas máximas en función del tipo y ubicación del ligante a utilizar

### Recogida de muestras

Todo el material se extenderá sobre una superficie limpia y firme (por ejemplo, preferiblemente una placa de separación de ensayo calentable), se mezclará cuidadosamente y se esparcirá. Si se detecta una escorrentía del ligante, se indicará en el informe de ensayo de las investigaciones posteriores.

También debe indicarse la presencia de roca no envuelta o aplastada. El cono se aplana con una pala y se cuarteo a lo largo de dos líneas perpendiculares de intersección de diámetro. Dos cuartos opuestos deben ser mezclados de nuevo. El cuarteo debe repetirse hasta que se alcancen las cantidades de material necesarias para las pruebas individuales. El material residual que ya no se necesita se vuelve a poner en su sitio para repetir la prueba.

La muestra debe extenderse plana y en estado caliente y suelto sobre el plato divisor de la muestra (preferiblemente calentado). Cada muestra que se vaya a someter a los distintos ensayos se formará utilizando la pala de toma de muestras para extraer la cantidad de muestra de al menos diez puntos de mezcla asfáltica distribuidos a partes iguales.

Documentación fotográfica del proceso:



*Imagen 17: Pesaje de los componentes*



*Imagen 18: Preparación de las muestras*



*Imagen 19: Elaboración de las probetas*



*Imagen 20: Conformación de las probetas*



*Imagen 21: Preparación de las probetas*



*Imagen 22: Preparación de las probetas*

### Densidad aparente de las probetas

En el siguiente paso se determinará la densidad aparente de las muestras. Para ello se obtendrá la masa del espécimen de ensayo seco, húmedo y en agua y con estos valores se obtendrá la densidad. Después de calcular dicho parámetro, se **determinará el volumen de vacíos de la muestra**. La norma **TP-Asphalt-StB** define los límites entre los que debe encontrarse la densidad. **Si no se cumple esta condición, se deberá crear una nueva mezcla con cambio de las variables utilizadas**, las cuales fueron el contenido de asfalto y las curvas de clasificación.

Luego de culminar el proceso iterativo se obtuvieron los siguientes resultados:

| Probetas 1 (curva de tamizado N°1)                      |   |         |        |        |
|---|---|---------|--------|--------|
| Mezcla SMA 8 S (50/70)                                  |   |         |        |        |
| Muestra N°  |   | D1      | D2     | D3     |
| Densidad aparente agregado [g/cm <sup>3</sup> ]         |   | 2,975   |        |        |
| Densidad aparente mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] |   | 2,648   |        |        |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                     | Masse seca [g]                          | 1205,2  | 1210,7 | 1208,1 |
|   | Masse mojada sup.seca [g]               | 1209,9  | 1214,0 | 1210,9 |
|   | Masa sumergida [g]                      | 734,5   | 740,1  | 734,1  |
|   | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,553   | 2,565  | 2,541  |
|   | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,553   |        |        |
| Altura de la probeta [mm]                               |   | -       | -      | -      |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                            |   | 3,592   | 3,132  | 4,033  |
| Contenido de vacíos medio [Vol.-%]                      |   | 3,585   |        |        |
| Tipo de agregado  |   | Basalto |        |        |
| Observación   |   |         |        |        |

| Probeta 2 (curva de tamizado N°1)                             |   |         |        |        |
|---|---|---------|--------|--------|
| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras)                               |   |         |        |        |
| Probeta N°  |   | D4      | D5     | D6     |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       |   | 2,975   |        |        |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] |   | 2,648   |        |        |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                           | Masa seca [g]                           | 1278,7  | 1277,1 | 1276,3 |
|   | Masa mojada sup.seca [g]                | 1279,7  | 1278,1 | 1276,8 |
|   | Masa sumergida [g]                      | 777,5   | 776,3  | 781,0  |
|   | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,544   | 2,542  | 2,569  |
|   | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,552   |        |        |
| Altura de la probeta [mm]                                     |   | -       | -      | -      |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                                  |   | 3,937   | 3,981  | 2,975  |
| Valor medio de vacíos [Vol.-%]                                |   | 3,631   |        |        |
| Tipo de agregado  |   | Basalto |        |        |
| Observación   |   |         |        |        |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras + cera)                        |   |         |        |        |
|---|---|---------|--------|--------|
| Probeta N°  |   | D7      | D8     | D9     |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       |   | 2,975   |        |        |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] |   | 2,648   |        |        |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                           | Masa seca [g]                           | 1272,7  | 1276,1 | 1270,7 |
|   | Masa mojada sup. seca [g]               | 1273,6  | 1277,2 | 1271,7 |
|   | Masa sumergida [g]                      | 770,9   | 777,3  | 772,7  |
|   | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,529   | 2,551  | 2,544  |
|   | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,541   |        |        |
| Altura de la probeta [mm]                                     |   | -       | -      | -      |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                                  |   | 4,502   | 3,671  | 3,925  |
| Valor medio de vacíos [Vol.-%]                                |   | 4,033   |        |        |
| Tipo de agregado  |   | Basalto |        |        |
| Observación   |   |         |        |        |

| Probeta 3 (curva de tamizado N°1)                             |   |         |        |        |
|---|---|---------|--------|--------|
| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras (5,7%))                        |   |         |        |        |
| Probeta N°  |   | D10     | D11    | D12    |
| Densidad aparente de los agregados                            |   | 2,975   |        |        |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] |   | 2,680   |        |        |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                           | Masa seca [g]                           | 1266,8  | 1269,5 | 1263,6 |
|   | Masa mojada sup. seca [g]               | 1267,7  | 1271,0 | 1264,6 |
|   | Masa sumergida [g]                      | 774,1   | 773,8  | 773,7  |
|   | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,563   | 2,553  | 2,572  |
|   | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,563   |        |        |
| Altura de la probeta [mm]                                     |   | -       | -      | -      |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                                  |   | 4,354   | 4,730  | 4,050  |
| Valor medio de vacíos [Vol.-%]                                |   | 4,378   |        |        |
| Tipo de agregado  |   | Basalto |        |        |
| Observación   |   |         |        |        |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras (6,0%))                        |   |         |        |        |
|---|---|---------|--------|--------|
| Probeta N°  |   | D13     | D14    | D15    |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       |   | 2,975   |        |        |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] |   | 2,666   |        |        |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                           | Masa seca [g]                           | 1267,5  | 1264,8 | 1282,4 |
|   | Masa mojada sup. seca [g]               | 1268,7  | 1266,4 | 1283,3 |
|   | Masa sumergida [g]                      | 769,9   | 769,2  | 784,6  |
|   | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,540   | 2,544  | 2,568  |
|   | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,551   |        |        |
| Altura de la probeta [mm]                                     |   | -       | -      | -      |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                                  |   | 4,749   | 4,568  | 3,668  |
| Valor medio de vacíos [Vol.-%]                                |   | 4,328   |        |        |
| Tipo de agregado  |   | Basalto |        |        |
| Observación   |   |         |        |        |

| Probeta 4 (curva de tamizado N°2)                              |   |        |        |   |
|--|---|--------|--------|---|
| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras (5,7%))                         |   |        |        |   |
| Probeta N°   |   | D16    | D17    | - |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,968                                   |        |        |   |
| Densidad aparente de la muestra asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,675                                   |        |        |   |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                            | Masa seca [g]                           | 1263,8 | 1261,4 | - |
|  | Masa mojada sup. seca [g]               | 1278,0 | 1271,4 | - |
|  | Masa sumergida [g]                      | 760,7  | 759,7  | - |
|  | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,504  | 2,507  | - |
|  | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,506  |        |   |
| Altura de la probeta [mm]                                      | -                                       | -      | -      | - |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                                   | 6,366                                   | 6,283  | -      | - |
| Valor medio de vacíos [Vol.-%]                                 | 6,324                                   |        |        |   |
| Tipo de agregado   | Basalto                                 |        |        |   |
| Observación  |   |        |        |   |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras (6,0%))                        |   |        |        |   |
|---|---|--------|--------|---|
| Probeta N°  |   | D18    | D19    | - |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,968                                   |        |        |   |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,661                                   |        |        |   |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                           | Masa seca [g]                           | 1273,4 | 1269,3 | - |
|   | Masa mojada sup. seca [g]               | 1277,6 | 1275,0 | - |
|   | Masa sumergida [g]                      | 764,5  | 759,5  | - |
|   | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,495  | 2,482  | - |
|   | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,489  |        |   |
| Altura de la probeta [mm]                                     | -                                       | -      | -      | - |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                                  | 6,245                                   | 6,711  | -      | - |
| Valor medio de vacíos [Vol.-%]                                | 6,478                                   |        |        |   |
| Tipo de agregado  | Basalto                                 |        |        |   |
| Observación   |   |        |        |   |

| Probeta 5 (curva de tamizado N°3)                             |   |        |        |        |
|---|---|--------|--------|--------|
| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras (6,0%))                        |   |        |        |        |
| Probeta N°  | D20                                     | D21    | D22    |        |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,976                                   |        |        |        |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,667                                   |        |        |        |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                           | Masa seca [g]                           | 1276,5 | 1261,7 | 1272,8 |
|   | Masa mojada sup.seca [g]                | 1277,7 | 1263,2 | 1273,9 |
|   | Masa sumergida [g]                      | 782,4  | 765,0  | 781,5  |
|   | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,576  | 2,533  | 2,583  |
|   | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,564  |        |        |
| Altura de la probeta [mm]                                     | -                                       | -      | -      |        |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                                  | 3,414                                   | 5,034  | 3,145  |        |
| Valor medio de vacíos [Vol.-%]                                | 3,864                                   |        |        |        |
| Tipo de agregado  | Basalto                                 |        |        |        |
| Observación   |   |        |        |        |

| Probeta 6 (curva de tamizado N°3)                             |   |        |        |        |
|---|---|--------|--------|--------|
| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras (6,4%))                        |   |        |        |        |
| Probeta N°  | D23                                     | D24    | D25    |        |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,976                                   |        |        |        |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648                                   |        |        |        |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                           | Masa seca [g]                           | 1272,2 | 1274,9 | 1280,6 |
|   | Masa mojada sup. seca [g]               | 1273,4 | 1276,3 | 1281,3 |
|   | Masa sumergida [g]                      | 780,6  | 776,9  | 783,2  |
|   | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,580  | 2,552  | 2,567  |
|   | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,566  |        |        |
| Altura de la probeta [mm]                                     | -                                       | -      | -      |        |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                                  | 2,580                                   | 3,628  | 3,080  |        |
| Valor medio de vacíos [Vol.-%]                                | 3,096                                   |        |        |        |
| Tipo de agregado  | Basalto                                 |        |        |        |
| Observación   |   |        |        |        |

Las especificaciones que fundamentan este proceso se realizan bajo las siguientes especificaciones.

### Aplicación

La parte 6 de las especificaciones técnicas de los ensayos de asfalto se basa en la norma **DIN EN 12697-6**. La especificación de ensayo describe los procedimientos para determinar la densidad de la muestra de asfalto compactado. Estas muestras de asfalto pueden ser producidas en el laboratorio, así como tomadas del pavimento compactado.

La **densidad aparente es necesaria para calcular el contenido de vacío de una muestra de asfalto y sus características de densidad**, tales como vacío en el agregado mineral (VMA) y vacío lleno de betún (VFB).

### Descripción de los métodos y del principio de medición

**La densidad aparente de una muestra de asfalto es el cociente de su masa y volumen - incluyendo cualquier espacio hueco - a una temperatura de prueba especificada.**

La masa de la muestra se determina siempre en el aire por medio de la muestra seca.

Para la determinación del volumen de la muestra se utilizan tres métodos diferentes con las denominaciones A, B y D, que se determinan básicamente según el tipo y condición de la superficie de la muestra.

*(Para los ensayos realizados se usó el método B).*

Para determinar el grado de compactación, la densidad aparente del piso de apoyo y la densidad aparente de la muestra de asfalto producida en el laboratorio se determinarán mediante el mismo método.

#### **Método A: Densidad por volumen - seco:**

El método A se utiliza para superficies lisas y densas de la probeta. En este método, el volumen se determina sin tratamiento adicional del cuerpo de la muestra por inmersión.

De acuerdo con el método A, las muestras de asfalto fundido se probarán de acuerdo con **TL Asphalt-StB**.

#### **Método B: Densidad - SSD (condición de superficie saturada seca):**

El método B se utiliza para superficies de especímenes relativamente densas. En este método, el volumen de las muestras se determina después de la saturación de agua por inmersión y secado de la superficie de la muestra.

De acuerdo con el método B, las muestras de prueba de la mezcla asfáltica base, el ligante asfáltico, para capas de rodadura asfáltica, la mezcla asfáltica base y el asfalto fundido bituminoso se someterán a prueba de acuerdo con la norma **TL Asphalt-StB**.

#### **Procedimiento D: Densidad por medida (dimensión):**

El procedimiento D se utiliza para superficies abiertas de las muestras. Con este método, el volumen de la muestra se determina midiendo las condiciones geométricas y calculando el volumen.

De acuerdo con el método D, se probará de acuerdo con **TL Asphalt StB**.

#### **Dispositivos y equipos de prueba**

- Balanza de precisión con una precisión de lectura de  $\pm 0,1$  g,

La balanza de precisión deberá poder pesar las muestras de ensayo bajo el agua, por ejemplo, en una cesta de alambre, teniendo en cuenta su masa y el desplazamiento del agua mediante tara.

- Baño de agua con una temperatura de  $(25,0 \pm 1,0)$  °C,

Nota. El baño de agua debe estar provisto de una rejilla que garantice que las muestras se cubren con al menos 2 cm de material. Debe ser lo suficientemente grande para que la cantidad de agua sea al menos 3 veces el volumen de las muestras de asfalto.

- Termómetro E 0,5/0/50 preferiblemente según **DIN 12775**,
- Tela de cuero,
- Calibradores, precisión: +- 0,1 mm,
- Cámara de calentamiento para temperaturas de al menos 120 °C.

## **Muestras**

### **Número de muestras de medición**

Las muestras utilizadas son muestras de perforación o muestras de asfalto compactadas en el laboratorio. Se analizarán al menos dos muestras.

Para las pruebas de arbitraje, se obtendrán dos resultados a partir de dos valores individuales cada uno (es decir, dos veces dos muestras).

El espesor mínimo de la muestra debe ser el doble del espesor nominal máximo de árido, pero como mínimo 20 mm. Para el desmontaje de las muestras, ambas muestras deben proceder del mismo punto de muestreo (véase **TP Asphalt-StB, Parte 27**). Si sólo se dispone de un núcleo de perforación el ensayo, las dos muestras podrán obtenerse dividiendo a la mitad el núcleo de perforación en la dirección del eje de perforación, siempre que se disponga de la siguiente cantidad de muestras para cada muestra así obtenida.

El valor numérico de la masa de la muestra de ensayo en gramos deberá ser al menos 50 veces superior al valor numérico del tamaño de grano más grande de la muestra de ensayo en milímetros, pero el peso inicial de la muestra de ensayo deberá ser al menos 500 g. El peso de la muestra de ensayo en gramos deberá ser al menos 50 veces superior al valor numérico del tamaño de grano más grande de la muestra de ensayo en milímetros.

### **Pretratamiento**

En caso necesario, las muestras de extracción se limpiarán mediante cepillado o lavado y se liberarán de las materias extrañas que se adhieran a la cara inferior.

Las capas interconectadas deben separarse en el límite mediante un corte.

Las muestras inferiores irregulares no removibles deben ser cortadas de manera uniforme y lo más paralelas posible al lado superior.

Al utilizar el método de medición (método D), las superficies límite de los cuerpos de las muestras deben ser regulares.

Las muestras de asfalto o las muestras de desmontaje deben almacenarse a temperaturas entre 18 °C y 25 °C hasta el ensayo. Se garantizará que las muestras estén a la temperatura de ensayo de (25,0 +- 1,0) °C durante el ensayo.

### **Desempeño y evaluación**

#### **Procedimiento A: Densidad - seco**

##### **Aplicación**

- a) En la muestra seca, la masa en ml se determinará en 0,1 g.

b) La muestra se sumerge en el baño de agua precalentado a  $(25,0 \pm 1,0)$  °C y se coloca en el cesto de alambre (sin especificar). La muestra debe estar libre de burbujas de aire que no se adhieran al agua.

c) Una vez que el agua se ha quietado después de la inmersión, se determina la masa  $m_2$  de la muestra en agua.

En el caso de las muestras húmedas, la masa en ml se determinará después de secar las muestras a  $(110 \pm 5)$  °C a masa constante. La constancia de masa se consigue cuando la diferencia de masa es como máximo de 0,05 M.-% para dos mediciones a una distancia no inferior a dos horas.

#### **Procedimiento B: Densidad - SSD**

##### **Aplicación**

a) En la muestra seca, la masa en ml se determinará en 0,1 g.

b) Temperar la muestra a  $(25,0 \pm 1,0)$  °C en un baño de agua durante  $(90 \pm 30)$  minutos. Luego se debe sacar las burbujas de aire de la muestra bajo el agua.

c) La masa de la muestra en  $m_2$  de agua se determinará pesando.

d) La muestra se tomará del baño de agua y se eliminará de las gotitas adheridas con un paño húmedo de cuero o en el caso de las muestras cilíndricas, con un rodillo.

Nota: El paño de cuero debe estar lo suficientemente húmedo para garantizar que la humedad de la superficie de las muestras se elimine durante el proceso de pulido sin sacar el agua de la cámara de muestras de asfalto.

e) Inmediatamente después, se determinará la masa en  $m_3$  de la muestra frotada.

Nota: Antes de pesar otra muestra, se retirará el agua que se haya filtrado del platillo de pesada.

En el caso de las muestras húmedas, la masa en mililitros se determinará después de secar las muestras a  $(110 \pm 5)$  °C hasta que la masa permanezca constante. La constancia de la masa se alcanza cuando la diferencia de masa es de 0,05 % en masa o menos en dos operaciones de pesaje realizadas a intervalos de al menos dos horas.

#### **Procedimiento D: Densidad espacial por medición**

##### **Aplicación**

a) La masa en ml de la muestra seca se determinará en 0,1 g.

Todas las mediciones deberán efectuarse con una precisión de  $\pm 0,1$  mm. La posición de los puntos de medición debe estar claramente marcada en cada cuerpo de la muestra.

- Medición de la probeta cilíndrica:

Para medir la altura, se disponen cuatro puntos de medición distribuidos uniformemente alrededor de la circunferencia de cada cuerpo de muestra. Las patas del calibrador deben cubrir cada una unos 10 mm de la superficie y de las bases de la muestra.

El diámetro de las muestras cilíndricas se mide en altura de la superficie superior, en medio de la altura y en la superficie de la base en la superficie lateral del cuerpo de la muestra en dos puntos de medición dispuestos perpendicularmente uno del otro.

. Medición de muestras con superficies rectangulares:

En el caso de muestras con superficies rectangulares (p. ej. cubos, paralelepípedos), se disponen cuatro puntos de medición distribuidos uniformemente alrededor de la circunferencia en cada dirección (altura, anchura, profundidad).

- Medición de la muestra con superficies no rectangulares:

En el caso de las probetas con superficies no rectangulares, se disponen cuatro puntos de medición distribuidos uniformemente por encima de la circunferencia en cada dirección (altura, anchura, profundidad).

Si las dimensiones difieren considerablemente en una o más direcciones, el número de puntos de medición en esta dirección debe aumentarse de tal manera que el volumen de las probetas pueda calcularse, en cualquier caso.

En el caso de las muestras húmedas, la masa en ml se determinará después de secar las muestras a (110 + - 5) °C a masa constante. La constancia de masa se alcanza cuando, con dos mediciones con un intervalo de al menos dos horas, la diferencia de masa no supera el 0,05 % en masa.

Cálculos, indicación de los resultados

Para cada cuerpo de muestra individual, la densidad en volumen se calculará en 0,001 g/cm<sup>3</sup> utilizando el método de ensayo mencionado anteriormente.

El rango crítico de dos valores medidos individuales es de 0,030 g/cm<sup>3</sup>. Si se supera el intervalo crítico, se someterá a ensayo un cuerpo de muestra adicional. Se elimina el valor de medición más alejado del valor medio común y se comprueba el intervalo de los dos valores de medición restantes. Si se sobrepasa el valor crítico, se deben descartar todos los valores medidos y se deben producir dos muestras de asfalto.

Este procedimiento sólo se aplica a las muestras producidas en el laboratorio. En el caso del desmontaje de las muestras, los valores medidos individuales pueden superar (considerablemente) el intervalo crítico especificado.

Como resultado, la media aritmética se calcula a partir de al menos dos valores individuales compatibles, redondeados a 0,001 g/cm<sup>3</sup>. En el caso del desmantelamiento de muestras con valores individuales no conformes, se indicarán dichos valores.

- Resultado de la determinación de la densidad como media aritmética de al menos dos valores individuales compatibles.

Documentación fotográfica del proceso:



*Imagen 23: Proceso de cálculo de densidad, inmersión de probetas*



*Imagen 24: Balanza para pesaje de las muestras*



*Imagen 25: Proceso de cálculo de densidad, secado de superficies de la probeta*



*Imagen 26: Proceso de cálculo de densidad, pesaje de la muestra*



*Imagen 27: Proceso de cálculo de densidad*



*Imagen 28: Proceso de cálculo de densidad*

### Fabricación de las placas

Después de obtener la dosificación correcta de los materiales de acuerdo con el contenido de vacío, se fabricaron las placas. Para ello, se determinó en primer lugar la cantidad de material necesario para la mezcla.

Se fabricaron 3 placas (1 por tipo de mezcla) con unas dimensiones de 32 x 26 x 4 cm para obtener un total de 15 núcleos de perforación (5 por tipo de mezcla) con un diámetro de 100 mm para el ensayo de rigidez.

Todas las dosis materiales se muestran en las siguientes tablas:

| Probeta placa (curva de tamizado N°3 (x3))          |  |                  |
|---|--|------------------|
| Agregado  | Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ] | Proporción [M.%] |
| Filler  | 2,702                                  | 8%               |
| Agregado 0/2  | 3,040                                  | 22%              |
| Agregado 2/5  | 3,003                                  | 17%              |
| Agregado 5/8  | 2,987                                  | 53%              |
| Agregado 8/11                                       | 3,025                                  | 0%               |
| Agregado 11/16                                      | 3,041                                  | -                |
| Agregado 16/22                                      | 3,029                                  | -                |
| Densidad aparente del agregado [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,976                                  |                  |

| Mezcla SMA 8 S (50/70) (1x1)                                  |       |
|---|-------|
| Densidad aparente del betún[g/cm <sup>3</sup> ]               | 1,015 |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,976 |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648 |
| Peso total de los agregados [g]                               | 9000  |
| Contenido mínimo de aglomerante                               | 7,2   |
| Contenido mínimo de aglomerante [%]                           | 6,4   |
| Contenido de aglomerante adoptado [%]                         | 6,4   |
| Contenido de aglomerante [g]                                  | 615,4 |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) (1x1)                         |       |
|---|-------|
| Densidad aparente del betún [g/cm <sup>3</sup> ]              | 1,015 |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,976 |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648 |
| Peso total de los agregados [g]                               | 9000  |
| Contenido mínimo de aglomerante                               | 7,2   |
| Contenido mínimo de aglomerante [%]                           | 6,4   |
| Contenido de aglomerante adoptado [%]                         | 6,4   |
| Contenido de aglomerante[g]                                   | 615,4 |
| Contenido de fibra adoptado [%]                               | 0,3   |
| Contenido de fibra [g]  | 28,9  |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) (1x1)                  |       |
|---|-------|
| Densidad aparente del betún [g/cm <sup>3</sup> ]              | 1,015 |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,976 |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648 |
| Peso total de los agregados[g]                                | 9000  |
| Contenido mínimo de aglomerante                               | 7,2   |
| Contenido mínimo de aglomerante [%]                           | 6,4   |
| Contenido de aglomerante adoptado [%]                         | 6,4   |
| Contenido de aglomerante[g]                                   | 615,4 |
| Contenido de fibra adoptado[%]                                | 0,3   |
| Contenido de fibra[g]   | 28,9  |
| Contenido de cera adoptado [%]                                | 3,0   |
| Contenido de cera [g]   | 18,5  |

| Mezcla SMA 8 S (50/70) (x1) 17/01/19 |        |        |        |        |      |       |       |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|------|-------|-------|
| Valores de la mezcla (1x1)           |        |        |        |        |      |       |       |
| Clase de grano [mm]                  | Filler | 0/2    | 2/5    | 5/8    | 8/11 | 11/16 | 16/22 |
| Proporción [M.-%]                    | 8,0%   | 22,0%  | 17,0%  | 53,0%  | 0,0% | -     | -     |
| Peso parcial [g]                     | 720,0  | 1980,0 | 1530,0 | 4770,0 | 0,0  | -     | -     |
| Peso total [g] (x1)                  | 8532   |        |        |        |      |       |       |
| Peso total [g] (x1 + 0,4 kg)         | 9000   |        |        |        |      |       |       |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) (x1) 17/01/19 |        |        |        |        |      |       |       |
|---|--------|--------|--------|--------|------|-------|-------|
| Valores de la mezcla (1x1)                    |        |        |        |        |      |       |       |
| Clase de grano [mm]                           | Filler | 0/2    | 2/5    | 5/8    | 8/11 | 11/16 | 16/22 |
| Proporción [M.-%]                             | 8,0%   | 22,0%  | 17,0%  | 53,0%  | 0,0% | -     | -     |
| Peso parcial [g]                              | 720,0  | 1980,0 | 1530,0 | 4770,0 | 0,0  | -     | -     |
| Peso total [g] (x1)                           | 8532   |        |        |        |      |       |       |
| Peso total [g] (x1 + 0,4 kg)                  | 9000   |        |        |        |      |       |       |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) (x1) 17/01/19 |        |        |        |        |      |       |       |
|--|--------|--------|--------|--------|------|-------|-------|
| Valores de la mezcla (1x1)                           |        |        |        |        |      |       |       |
| Clase de grano [mm]                                  | Füller | 0/2    | 2/5    | 5/8    | 8/11 | 11/16 | 16/22 |
| Proporción [M.-%]                                    | 8,0%   | 22,0%  | 17,0%  | 53,0%  | 0,0% | -     | -     |
| Peso parcial [g]                                     | 720,0  | 1980,0 | 1530,0 | 4770,0 | 0,0  | -     | -     |
| Peso total [g] (x1)                                  | 8532   |        |        |        |      |       |       |
| Peso total [g] (x1 + 0,4 kg)                         | 9000   |        |        |        |      |       |       |

A continuación, se especifican los procedimientos de acuerdo a la normativa.

Según la **TP Asfalto-StB**, en su capítulo “**Producción de placas de muestra de asfalto en el laboratorio con el Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV)**” se establecen las siguientes consideraciones:

#### Aplicación

La **parte 33** de las Especificaciones técnicas de ensayo para asfalto se basa en la norma **DIN EN 12697-33** y describe el procedimiento para la producción de muestras cuadradas de asfalto (placas de muestras de asfalto) que se utilizan directamente para ensayos posteriores o de las que se perforan o extraen muestras. La base es el método de compactación con el rodillo de acero según el apartado 5.2.1 de la norma **DIN EN 12697-33**, en el que la anchura del rodillo es menor que la anchura interior de la muestra (dispositivo de compactación del sector de rodillos).

El método es aplicable a los asfaltos laminados (mezclas asfálticas de los tipos AC y SMA) con el aditivo nacional S o N, que se producen en el laboratorio según TP Asphalt-StB, Parte 35 o en la planta mezcladora de asfalto. Para otros asfaltos laminados puede ser necesario adaptar la gestión de la compactación de acuerdo con el anexo 1.

#### Descripción del proceso

El dispositivo de compactación del sector de laminación (WSV) consiste en una forma de compactación rectangular y el sector simulado de un cuerpo de rodillo con tambor de acero.

La mezcla de asfalto se rellena en la forma de compactación y se precompacta de forma controlada. La compactación principal posterior es controlada por la fuerza.

Durante el proceso de compactación, la forma de compactación montada sobre un carro se desplaza hacia adelante y hacia atrás, por lo que el sector fijado en el centro del círculo se desplaza a lo largo y la superficie del asfalto.

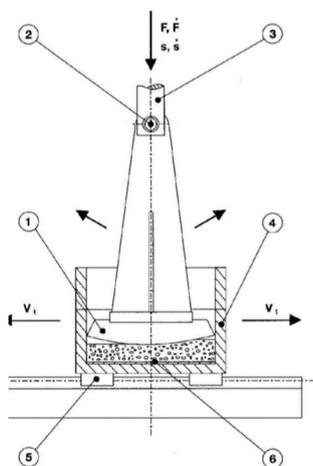
#### Aparatos y equipos de prueba

##### Sector de laminación y compactador

El equipo de compactación del sector de laminación (WSV) está formado esencialmente por las partes que se muestran en la Figura 1:

- Sector de laminación calentable con tambor de acero. El sector de laminación está suspendido en su centro de rotación. La longitud y la anchura del sector de laminación deben adaptarse a las dimensiones de la forma de compactación.

Características: Diámetro del rodillo:  $D = 1100$  mm Longitud interior de la forma de compactación:  $L = (320 \pm 1)$  mm Anchura interior de la forma de compactación:  $1 = (260 \pm 1)$  mm. Altura interior de la forma de compactación:  $h = (240 \pm 1)$  mm. Velocidad horizontal media del carro:  $V_t = 240$  mm/s.



- Legende:  
1 Walzsektor  
2 Drehmittelpunkt  
3 Belastungseinrichtung  
4 Verdichtungsform  
5 Schlitzen  
6 Einlegeblech

Imagen 29: Representación esquemática del compactador

#### Preparación de la muestra

La cantidad necesaria de mezcla asfáltica se separará en una cáscara mezcladora de la mezcla asfáltica establecida de acuerdo con **TP Asphalt-StB, parte 27**, o de la mezcla asfáltica producida de acuerdo con la **parte 35** y, si es necesario, se almacenará temporalmente durante un máximo de tres horas sin suministro

de aire fresco en una cámara de calefacción controlada a un máximo de 10 °K por encima de la temperatura de compactación.

La mezcla asfáltica debe estar cubierta.

#### Implementación

##### Preparativos

Se procede de la siguiente manera para preparar la compactación:

Calentamiento del sector de laminación, de la forma de compactación y de la placa de incrustación a una temperatura de 80 °C, cepillado de la forma de compactación con agente separador, inserción de una hoja separadora, ajuste del punto cero de fuerza y desplazamiento, Relleno de la mezcla asfáltica llevada a la temperatura de compactación en la forma de compactación, esparcimiento y nivelación de la mezcla asfáltica por medio de espátulas, evitando la segregación, prensado de la mezcla asfáltica también en las esquinas con el fin de lograr una superficie lo más uniforme posible.

##### Producción

Las dos secciones siguientes describen el proceso de compactación para el control combinado de fuerza y desplazamiento. El control se realiza normalmente mediante un programa integrado que establece los parámetros de gestión de la compactación en función de las dimensiones. A continuación, se describen las fases individuales del proceso de compactación con el ajuste estándar, que la experiencia ha demostrado que se aplica a las mezclas asfálticas que son más difíciles de compactar.

Nota: La experiencia previa ha demostrado que pueden ocurrir desviaciones de la configuración estándar, especialmente con asfaltos que se compactan muy fácilmente, como el betún AC 5 L mil 160I220 o PA. En tales casos, se variará el número de capas y/o la carga máxima de H6 hasta que se cumplan las condiciones del apéndice 1.

##### Precompactación

La precompactación es controlada. Se debe observar una pausa de 0.5 s después de cada pase superior individual. La experiencia ha demostrado que la precompactación alcanza un grado de compactación de hasta un 90 % aproximadamente. Los parámetros de compactación se ajustan de la siguiente manera:

- Precarga: Aplicación de una serie de transiciones de rodillos controladas por la trayectoria con un aumento o reducción de la trayectoria H6 de 0,5 mm por transición hasta alcanzar una carga máxima de 2,6 kN,
- Sujeción: cinco transiciones de rodillos con trayectoria intacta o espesor de chapa constante,
- Alivio: Aplicación de un número de pasos secundarios de compactación de rodillos controlados por la trayectoria con reducción de la trayectoria en 0,5 mm por transición de rodillo hasta que la carga se haya eliminado completamente.

##### Compactación principal

La compresión principal es controlada por la fuerza. La duración de las pausas después de cada transición es de 1.0 s cada una. Los parámetros de compactación deben ajustarse de la siguiente manera:

- Alisado: 15 pasadas de rodillos con control de carga con una carga de 0,52 kN,
- Compactación: 15 transiciones de rodillos controladas por carga con aumento de la carga en pasos uniformes hasta alcanzar una carga máxima H6 de 19,5 kN,
- Alivio: 15 transiciones de rodillos controladas por la carga con reducción de la carga en pasos pares hasta que la carga se retira completamente.

El tiempo entre el llenado de la mezcla de asfalto en la forma de compactación y el final de la compactación principal no debe exceder los cinco minutos.

##### Construcción de la placa de muestra de asfalto compactado

Una vez finalizada la compactación, la placa de muestra de asfalto con la placa de incrustación se imprime desde el molde de compactación en la parte superior del molde y se retira junto con la placa de incrustación. El conformado se realiza después del enfriamiento a temperatura ambiente.

##### Comprobación del éxito de la compactación

El éxito de la compactación se comprueba en función del espesor y la densidad de la placa de muestra de asfalto. El espesor de la losa se mide en seis puntos distribuidos uniformemente sobre la superficie mediante un calibre. La amplitud de los espesores medidos no superará el 7,5 % del valor medio.

Luego determinar la densidad de acuerdo con **TP Asphalt-StB, Parte 6.**

El grado de compactación de la placa de muestra de asfalto terminada, en relación con la densidad del cuerpo de la sonda de Marshall, deberá estar comprendido entre el 99 y el 101 %.

En caso de que se produzcan desviaciones con respecto a los requisitos relativos al grado de compactación y a la amplitud de los espesores, deberá desecharse la muestra. En ese caso se producirá otra placa de muestra de asfalto con condiciones de compactación modificadas, por ejemplo, un número diferente de pasadas de rodillos y/o una carga máxima diferente).

Documentación fotográfica del proceso:



Imagen 30: Pesaje de los componentes de la muestra



Imagen 31: Agregados para la conformación de la muestra



*Imagen 32: Placas terminadas*



Imagen 33: Placas terminadas

### Densidad aparente de las placas

Después de la fabricación de las placas, se tomaría una porción del material restante para determinar y verificar la densidad aparente de los paneles de mezcla. Las diferentes mediciones se realizaron de acuerdo con la norma. Se obtuvieron los siguientes resultados:

El procedimiento se realizó según lo detallado anteriormente en el apartado de obtención de densidad aparente de probetas.

| Mezcla SMA 8 S (50/70)  |         |         |
|---|---------|---------|
| Probeta N°  | 1       | 2       |
| Picnometro (Pc) N°  | 13      | 9       |
| Peso de calibración [g]                                       | 718,56  | 728,88  |
| Volumen del picnómetro [cm <sup>3</sup> ]                     | 1330,27 | 1232,93 |
| Densidad del fluido [g/cm <sup>3</sup> ]                      | 0,997   | 0,997   |
| Temperatura de ensayo [°C]                                    | 25      | 25      |
| Pc + muestra + fluido [g]                                     | 2496,5  | 2555,7  |
| Pc + muestra [g]  | 1451,5  | 1702,3  |
| Picnómetro [g]  | 718,6   | 728,6   |
| Fluido [g]  | 1045,0  | 853,4   |
| Pesaje de las muestras [g]                                    | 732,9   | 973,7   |
| Volumen del fluido [cm <sup>3</sup> ]                         | 1048,14 | 855,97  |
| Volumen de la probeta [cm <sup>3</sup> ]                      | 282,13  | 376,96  |
| Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ]                        | 2,598   | 2,583   |
| Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]                              | 2,590   |         |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648   |         |
| Vacíos [Vol.-%]   | 2,192   |         |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras)                               |         |         |
|---|---------|---------|
| Probeta N°  | 3       | 4       |
| Picnómetro (Pc) N°  | 15      | 5       |
| Peso de calibración [g]                                       | 723,80  | 695,90  |
| Volumen del picnómetro [cm <sup>3</sup> ]                     | 1326,73 | 1318,51 |
| Densidad del fluido [g/cm <sup>3</sup> ]                      | 0,997   | 0,997   |
| Temperatura de ensayo [°C]                                    | 25      | 25      |
| Pc + Muestra + fluido [g]                                     | 2574,9  | 2618,9  |
| Pc + muestra [g]  | 1582,3  | 1683,2  |
| Picnómetro [g]  | 718,7   | 695,8   |
| Fluido [g]  | 992,6   | 935,7   |
| Pesaje de las muestras [g]                                    | 863,6   | 987,4   |
| Volumen del fluido [cm <sup>3</sup> ]                         | 995,59  | 938,52  |
| Volumen de la probeta [cm <sup>3</sup> ]                      | 331,14  | 379,99  |
| Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ]                        | 2,608   | 2,598   |
| Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]                              | 2,603   |         |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648   |         |
| Vacíos [Vol.-%]   | 1,708   |         |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras + cera)                        |         |         |
|---|---------|---------|
| Probeta N°  | 5       | 6       |
| Picnómetro (Pc) N°  | 2       | 11      |
| Peso de calibracion [g]                                       | 717,51  | 714,67  |
| Volumen del picnómetro [cm <sup>3</sup> ]                     | 1332,50 | 1331,09 |
| Densidad del fluido [g/cm <sup>3</sup> ]                      | 0,997   | 0,997   |
| Temperatura de ensayo [°C]                                    | 25      | 25      |
| Pc + Muestra + fluido [g]                                     | 2506,4  | 2534,5  |
| Pc + muestra [g]  | 1461,4  | 1512,8  |
| Picnómetro [g]  | 717,6   | 714,8   |
| Fluido [g]  | 1045,0  | 1021,7  |
| Pesaje de las muestras [g]                                    | 743,8   | 798,0   |
| Volumen del fluido [cm <sup>3</sup> ]                         | 1048,14 | 1024,77 |
| Volumen de la probeta [cm <sup>3</sup> ]                      | 284,36  | 306,32  |
| Densidad aparente [g/cm <sup>3</sup> ]                        | 2,616   | 2,605   |
| Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]                              | 2,610   |         |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648   |         |
| Vacíos [Vol.-%]   | 1,435   |         |

Documentación fotográfica del proceso:



Imagen 34: Preparación para el ensayo de densidad aparente



Imagen 35: Preparación para el ensayo de densidad aparente



*Imagen 36: Preparación para el ensayo de densidad aparente*



*Imagen 37: Preparación para el ensayo de densidad aparente*



*Imagen 38: Preparación para el ensayo de densidad aparente*



*Imagen 39: Preparación para el ensayo de densidad aparente*

### Densidad real de los núcleos de perforación

Una vez terminadas las placas, mediante el corte se obtienen los núcleos. Aquí se determinará la masa de los núcleos en seco, húmedo y en agua para luego calcular la densidad con estos valores de forma similar a las probetas iniciales. Después de calcular la densidad real de los núcleos, se determinará el volumen de vacíos.

| Mezcla SMA 8 S (50/70)  |   |       |       |       |       |       |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Probeta N°  |   | D1-1  | D1-2  | D1-3  | D1-4  | D1-5  |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,976                                   |       |       |       |       |       |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648                                   |       |       |       |       |       |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                           | Masa seca [g]                           | 817,1 | 793,3 | 785,8 | 829,9 | 836,4 |
|   | Masa mojada sup.seca [g]                | 818,5 | 796,1 | 789,8 | 831,9 | 837,5 |
|   | Masa sumergida [g]                      | 504,8 | 488,0 | 481,6 | 514,2 | 517,5 |
|   | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,609 | 2,591 | 2,575 | 2,621 | 2,615 |
|   | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,602 |       |       |       |       |
| Altura de la probeta [mm]                                     | 42,2                                    | 41,6  | 41,8  | 42,4  | 41,9  |       |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                                  | 1,506                                   | 2,183 | 2,757 | 1,041 | 1,267 |       |
| Valor medio de vacíos [Vol.-%]                                | 1,751                                   |       |       |       |       |       |
| Tipo de agregado  | Basalto                                 |       |       |       |       |       |
| Observación   | Determinación de la rigidez             |       |       |       |       |       |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras)                               |   |       |       |       |       |       |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Probeta N°  |   | D2-1  | D2-2  | D2-3  | D2-4  | D2-5  |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,976                                   |       |       |       |       |       |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648                                   |       |       |       |       |       |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                           | Masa seca [g]                           | 819,0 | 824,3 | 791,8 | 799,5 | 837,9 |
|   | Masa mojada sup.seca [g]                | 819,9 | 824,9 | 792,9 | 800,2 | 838,4 |
|   | Masa sumergida [g]                      | 505,7 | 508,0 | 487,8 | 493,7 | 517,3 |
|   | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,606 | 2,598 | 2,597 | 2,607 | 2,606 |
|   | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,603 |       |       |       |       |
| Altura de la probeta [mm]                                     | 41,6                                    | 41,8  | 40,6  | 40,6  | 40,8  |       |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                                  | 1,592                                   | 1,895 | 1,950 | 1,579 | 1,614 |       |
| Valor medio de vacíos [Vol.-%]                                | 1,726                                   |       |       |       |       |       |
| Tipo de agregado  | Basalto                                 |       |       |       |       |       |
| Observación   | Determinación de la rigidez             |       |       |       |       |       |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibra + cera)                         |   |       |       |       |       |       |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Probeta N°  |   | D3-1  | D3-2  | D3-3  | D3-4  | D3-5  |
| Densidad aparente de los agregados [g/cm <sup>3</sup> ]       | 2,976                                   |       |       |       |       |       |
| Densidad aparente de la mezcla asfáltica [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,648                                   |       |       |       |       |       |
| Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ]                           | Masa seca [g]                           | 827,6 | 812,3 | 808,3 | 824,2 | 807,1 |
|   | Masa mojada sup.seca [g]                | 828,2 | 812,8 | 808,9 | 825,4 | 807,8 |
|   | Masa sumergida [g]                      | 509,9 | 500,1 | 498,0 | 508,3 | 497,0 |
|   | Densidad con 0,997 [g/cm <sup>3</sup> ] | 2,597 | 2,594 | 2,597 | 2,601 | 2,595 |
|   | Valor medio [g/cm <sup>3</sup> ]        | 2,597 |       |       |       |       |
| Altura de la probeta [mm]                                     | 42,4                                    | 41,9  | 41,3  | 42,1  | 41,5  |       |
| Contenido de vacíos [Vol.-%]                                  | 1,936                                   | 2,054 | 1,939 | 1,783 | 2,022 |       |
| Valor medio de vacíos [Vol.-%]                                | 1,947                                   |       |       |       |       |       |
| Tipo de agregado  | Basalto                                 |       |       |       |       |       |
| Observación   | Determinación de la rigidez             |       |       |       |       |       |

Documentación fotográfica del proceso:



*Imagen 40: Perforación de los núcleos de perforación*



*Imagen 41: Núcleos perforados*



*Imagen 42: Preparación para el ensayo de densidad aparente*



*Imagen 43: Placas sin el núcleo*



*Imagen 44: Preparación para el ensayo de densidad aparente*



*Imagen 45: Preparación para el ensayo de densidad aparente*

### Pruebas de rigidez

Para este ensayo se utilizarán la máquina de ensayos dinámicos y los programas informáticos GEOsys 8.7.8.19 y tablas Excel.

El ensayo consiste en someter a los núcleos a distintos ciclos de carga a diferentes frecuencias y temperaturas. Se ensayaron un total de 3 núcleos de perforación a frecuencias de 10, 5, 1 y 0,1 Hz, más 1 núcleo de perforación como las probetas de prueba para determinar la alta tensión. Otra variable que cambia es la temperatura, la que se probará a 20, 10, 0 y -10 °C. La temperatura de los núcleos de perforación también se mide a 20, 10, 0 y -10 °C.

En resumen, cada núcleo fue probado a 4 temperaturas y 4 frecuencias diferentes para cada temperatura. El objetivo del ensayo es obtener el valor del módulo de elasticidad de las mezclas estudiadas. En total se hicieron aproximadamente 200 pruebas a diferentes temperaturas y frecuencias para determinar la rigidez.

Mezcla SMA 8 S (50/70) / 20 °C

| Parámetros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | 20    |
| N° de Queder                    | 0,30  |

| Probeta-Altura [mm] | 42,2                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "0":        | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                   |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1  | 0,30                      | 1751,02                | 0,004430031        | 5361           | 10,0            |
| Escalón de Carga 2  | 0,20                      | 1086,20                | 0,002729078        | 5399           | 10,0            |
| Escalón de Carga 4  | 0,20                      | 1081,93                | 0,003528920        | 4159           | 5,0             |
| Escalón de Carga 5  | 0,10                      | 417,10                 | 0,002745406        | 2061           | 1,0             |
| Escalón de Carga 6  | 0,06                      | 147,65                 | 0,004365851        | 459            | 0,1             |
| Escalón de Carga 7  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 8  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 9  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 10 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 11 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 12 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,25                      | 1401,38                | 0,003554092        | 5425           | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,20                      | 1069,36                | 0,003564258        | 4128           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,12                      | 543,49                 | 0,003633020        | 2058           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,05                      | 99,59                  | 0,003444883        | 398            | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,8                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "2":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,25                      | 1396,33                | 0,003982172        | 4802           | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,20                      | 1079,11                | 0,003814214        | 3874           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,12                      | 547,18                 | 0,003853497        | 1944           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,05                      | 93,39                  | 0,003402783        | 376            | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 42,4                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,25                      | 1427,40                | 0,003564168        | 5406           | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,20                      | 1087,34                | 0,003501413        | 4192           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,12                      | 555,57                 | 0,003608683        | 2078           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,05                      | 99,08                  | 0,003445539        | 388            | 0,1             |

Mezcla SMA 8 S (50/70) / 10 °C

| Parametros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | 10    |
| N° de Queder                    | 0,24  |

| Probeta-Altura [mm] | 42,2                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "0":        | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                   |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1  | 0,30                      | 1728,61                | 0,002147657        | 9794           | 10,0            |
| Escalón de Carga 2  | 0,45                      | 2725,96                | 0,003451420        | 9611           | 10,0            |
| Escalón de Carga 4  | 0,40                      | 2411,44                | 0,003596717        | 8158           | 5,0             |
| Escalón de Carga 5  | 0,30                      | 1724,30                | 0,004276476        | 4906           | 1,0             |
| Escalón de Carga 6  | 0,26                      | 1398,78                | 0,003300842        | 5156           | 1,0             |
| Escalón de Carga 7  | 0,14                      | 678,90                 | 0,004287217        | 1927           | 0,1             |
| Escalón de Carga 8  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 9  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 10 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 11 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 12 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,45                      | 2696,41                | 0,003195764        | 10415          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,39                      | 2290,63                | 0,003295588        | 8580           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,26                      | 1460,38                | 0,003201607        | 5630           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,12                      | 541,22                 | 0,002953621        | 2262           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,8                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "2":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,45                      | 2721,81                | 0,003576212        | 9350           | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,39                      | 2318,13                | 0,003604093        | 7901           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,26                      | 1460,07                | 0,003650548        | 4937           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,12                      | 541,54                 | 0,003352638        | 1984           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 42,4                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,45                      | 2729,50                | 0,003274767        | 10094          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,39                      | 2343,15                | 0,003231166        | 8782           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,26                      | 1491,30                | 0,003263844        | 5534           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,12                      | 547,97                 | 0,002884968        | 2300           | 0,1             |

Mezcla SMA 8 S (50/70) / 0 °C

| Parametros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | 0     |
| N° de Queder                    | 0,20  |

| Probeta-Altura [mm] | 42,2                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "0":        | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                   |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1  | 0,50                      | 3059,00                | 0,002259436        | 15155          | 10,0            |
| Escalón de Carga 2  | 0,75                      | 4775,67                | 0,003655863        | 14622          | 10,0            |
| Escalón de Carga 4  | 0,64                      | 3988,51                | 0,003431752        | 13010          | 5,0             |
| Escalón de Carga 5  | 0,52                      | 3194,99                | 0,003873002        | 9234           | 1,0             |
| Escalón de Carga 6  | 0,47                      | 2873,60                | 0,003449490        | 9325           | 1,0             |
| Escalón de Carga 7  | 0,30                      | 1735,66                | 0,003922475        | 4953           | 0,1             |
| Escalón de Carga 8  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 9  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 10 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 11 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 12 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,73                      | 4513,94                | 0,003299316        | 15535          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,65                      | 3996,80                | 0,003237607        | 14018          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,47                      | 2814,04                | 0,002908423        | 10987          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,27                      | 1514,60                | 0,002654286        | 6479           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,8                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "2":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,73                      | 4555,53                | 0,003565334        | 14439          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,65                      | 4020,40                | 0,003453924        | 13154          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,47                      | 2834,24                | 0,003140795        | 10198          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,27                      | 1531,22                | 0,002739600        | 6316           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 42,4                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,73                      | 4647,13                | 0,002996613        | 17277          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,65                      | 4081,46                | 0,002914045        | 15604          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,47                      | 2877,46                | 0,002656042        | 12070          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,27                      | 1548,39                | 0,002232192        | 7728           | 0,1             |

Mezcla SMA 8 S (50/70) / -10 °C

| Parametros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | -10   |
| N° de Queder                    | 0,17  |

| Probeta-Altura [mm] | 42,2                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "0":        | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                   |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1  | 0,80                      | 5024,32                | 0,002482083        | 21507          | 10,0            |
| Escalón de Carga 2  | 1,10                      | 7134,05                | 0,003600660        | 21051          | 10,0            |
| Escalón de Carga 4  | 0,80                      | 5068,26                | 0,002641378        | 20387          | 5,0             |
| Escalón de Carga 5  | 1,10                      | 6724,97                | 0,003504148        | 20391          | 5,0             |
| Escalón de Carga 6  | 0,95                      | 6047,16                | 0,003515766        | 18275          | 1,0             |
| Escalón de Carga 7  | 0,87                      | 5527,98                | 0,004105841        | 14305          | 0,1             |
| Escalón de Carga 8  | 0,74                      | 4655,60                | 0,003437514        | 14390          | 0,1             |
| Escalón de Carga 9  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 10 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 11 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 12 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 1,10                      | 6987,73                | 0,003832006        | 19654          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 1,05                      | 6612,95                | 0,003679390        | 19372          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,94                      | 5880,93                | 0,003680009        | 17224          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,75                      | 4639,28                | 0,003811658        | 13118          | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,8                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "2":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 1,10                      | 7016,54                | 0,004235907        | 17768          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 1,05                      | 6589,09                | 0,004126759        | 17127          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,94                      | 5921,80                | 0,004260811        | 14908          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,75                      | 4688,18                | 0,004385355        | 11467          | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 42,4                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 1,10                      | 7030,99                | 0,003575672        | 20794          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 1,05                      | 6726,35                | 0,003559743        | 19982          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,94                      | 5998,67                | 0,003773196        | 16812          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,75                      | 4739,04                | 0,003832293        | 13077          | 0,1             |

Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) / 20 °C

| Parámetros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | 20    |
| N° de Queder                    | 0,30  |

| Probeta-Altura [mm] | 41,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "0":        | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                   |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1  | 0,30                      | 1713,15                | 0,003758076        | 6272           | 10,0            |
| Escalón de Carga 2  | 0,23                      | 1261,53                | 0,003476792        | 4993           | 5,0             |
| Escalón de Carga 4  | 0,13                      | 593,92                 | 0,003128809        | 2612           | 1,0             |
| Escalón de Carga 5  | 0,07                      | 150,91                 | 0,002803435        | 741            | 0,1             |
| Escalón de Carga 6  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 7  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 8  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 9  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 10 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 11 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 12 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,8                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,28                      | 1599,97                | 0,003774820        | 5804           | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,23                      | 1268,76                | 0,003788096        | 4586           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,14                      | 675,26                 | 0,003946818        | 2343           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,07                      | 180,73                 | 0,003844980        | 647            | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 40,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "2":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,28                      | 1553,66                | 0,003744781        | 5849           | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,23                      | 1232,91                | 0,003666678        | 4741           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,14                      | 658,37                 | 0,003847338        | 2413           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,07                      | 178,41                 | 0,003623531        | 694            | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 40,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,28                      | 1555,73                | 0,003540410        | 6195           | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,23                      | 1231,81                | 0,003448943        | 5035           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,14                      | 641,68                 | 0,003549573        | 2549           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,07                      | 173,28                 | 0,003660823        | 667            | 0,1             |

Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) / 10 °C

| Parámetros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | 10    |
| N° de Queder                    | 0,24  |

| Probeta-Altura [mm] | 41,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "0":        | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                   |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1  | 0,40                      | 2348,04                | 0,002538608        | 11417          | 10,0            |
| Escalón de Carga 2  | 0,53                      | 3189,49                | 0,003633106        | 10836          | 10,0            |
| Escalón de Carga 4  | 0,47                      | 2812,76                | 0,003706201        | 9368           | 5,0             |
| Escalón de Carga 5  | 0,39                      | 2301,64                | 0,004751034        | 5980           | 1,0             |
| Escalón de Carga 6  | 0,30                      | 1719,68                | 0,003611172        | 5878           | 1,0             |
| Escalón de Carga 7  | 0,18                      | 926,50                 | 0,004476611        | 2555           | 0,1             |
| Escalón de Carga 8  | 0,15                      | 733,84                 | 0,003389236        | 2673           | 0,1             |
| Escalón de Carga 9  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 10 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 11 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 12 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,8                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,51                      | 3099,76                | 0,003456833        | 11016          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,45                      | 2704,04                | 0,003468383        | 9577           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,29                      | 1655,97                | 0,003239192        | 6280           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,15                      | 739,54                 | 0,003333449        | 2725           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 40,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "2":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,51                      | 3012,22                | 0,003283763        | 11602          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,45                      | 2624,85                | 0,003347331        | 9918           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,29                      | 1599,41                | 0,003157664        | 6406           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,15                      | 714,96                 | 0,003122645        | 2896           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 40,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,51                      | 3010,87                | 0,003441429        | 11065          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,45                      | 2638,21                | 0,003544053        | 9415           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,29                      | 1615,80                | 0,003449319        | 5925           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,15                      | 713,66                 | 0,003564816        | 2532           | 0,1             |

Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) / 0 °C

| Parámetros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | 0     |
| N° de Queder                    | 0,20  |

| Probeta-Altura [mm] | 41,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "0":        | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                   |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1  | 0,72                      | 4501,52                | 0,003163455        | 16158          | 10,0            |
| Escalón de Carga 2  | 0,80                      | 5004,27                | 0,003630253        | 15653          | 10,0            |
| Escalón de Carga 4  | 0,77                      | 4828,62                | 0,003417739        | 16043          | 10,0            |
| Escalón de Carga 5  | 0,65                      | 3990,28                | 0,003085397        | 14685          | 5,0             |
| Escalón de Carga 6  | 0,72                      | 4460,56                | 0,003370937        | 15025          | 5,0             |
| Escalón de Carga 7  | 0,50                      | 3022,04                | 0,003052947        | 11240          | 1,0             |
| Escalón de Carga 8  | 0,56                      | 3418,80                | 0,003324311        | 11678          | 1,0             |
| Escalón de Carga 9  | 0,35                      | 2044,61                | 0,003271780        | 7096           | 0,1             |
| Escalón de Carga 10 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 11 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 12 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,8                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,79                      | 4913,01                | 0,003317642        | 16735          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,74                      | 4620,49                | 0,003505653        | 14894          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,59                      | 3633,35                | 0,003545005        | 11582          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,37                      | 2184,30                | 0,003493240        | 7066           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 40,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "2":          | Tension de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,79                      | 4846,51                | 0,003566987        | 15808          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,74                      | 4488,52                | 0,003661944        | 14261          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,59                      | 3521,10                | 0,003629696        | 11287          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,37                      | 2125,57                | 0,003645770        | 6783           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 40,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,79                      | 4798,87                | 0,003403040        | 16407          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,74                      | 4470,90                | 0,003578950        | 14534          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,59                      | 3531,77                | 0,003671110        | 11193          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,37                      | 2118,13                | 0,003822821        | 6446           | 0,1             |

Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) / -10 °C

| Parámetros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | -10   |
| Nº de Queder                    | 0,17  |

|                     |                           |                        |                    |                |                 |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta-Altura [mm] | 41,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
| Probeta "0":        | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                   |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1  | 1,10                      | 7000,51                | 0,003301898        | 22851          | 10,0            |
| Escalón de Carga 2  | 1,17                      | 7000,51                | 0,003451700        | 21860          | 10,0            |
| Escalón de Carga 4  | 1,12                      | 7133,35                | 0,003287455        | 23387          | 10,0            |
| Escalón de Carga 5  | 1,14                      | 7258,44                | 0,003295681        | 23738          | 10,0            |
| Escalón de Carga 6  | 1,20                      | 7686,45                | 0,003518851        | 23544          | 10,0            |
| Escalón de Carga 7  | 1,05                      | 6583,64                | 0,003304508        | 21474          | 5,0             |
| Escalón de Carga 8  | 1,10                      | 6923,57                | 0,003349572        | 22279          | 5,0             |
| Escalón de Carga 9  | 0,94                      | 5888,23                | 0,003245307        | 19556          | 1,0             |
| Escalón de Carga 10 | 1,00                      | 6288,20                | 0,003338299        | 20302          | 1,0             |
| Escalón de Carga 11 | 0,75                      | 4665,70                | 0,003126928        | 16082          | 0,1             |
| Escalón de Carga 12 | 0,84                      | 5244,13                | 0,003566481        | 15848          | 0,1             |

|                       |                           |                        |                    |                |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta-Altura [mm]   | 41,8                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 1,20                      | 7671,17                | 0,003559482        | 23117          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 1,14                      | 7220,87                | 0,003495510        | 22159          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 1,04                      | 6575,72                | 0,003720093        | 18961          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,82                      | 5136,98                | 0,003659287        | 15058          | 0,1             |

|                       |                           |                        |                    |                |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta-Altura [mm]   | 40,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
| Probeta "2":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 1,20                      | 7512,93                | 0,003745444        | 22152          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 1,14                      | 7011,93                | 0,003636974        | 21292          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 1,04                      | 6383,72                | 0,003734472        | 18878          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,82                      | 4991,16                | 0,003746911        | 14711          | 0,1             |

|                       |                           |                        |                    |                |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta-Altura [mm]   | 40,6                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 1,20                      | 7465,18                | 0,003608061        | 22850          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 1,14                      | 7023,76                | 0,003668432        | 21145          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 1,04                      | 6388,69                | 0,003625490        | 19461          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,82                      | 4985,48                | 0,003697019        | 14893          | 0,1             |

Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) / 20 °C

| Parámetros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | 20    |
| N° de Queder                    | 0,30  |

| Probeta-Altura [mm]   | 42,4                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Bez. Probekörper "0": | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1    | 0,20                      | 1092,97                | 0,001978491        | 7458           | 10,0            |
| Escalón de Carga 2    | 0,32                      | 1419,90                | 0,002676597        | 7161           | 10,0            |
| Escalón de Carga 4    | 0,27                      | 1552,58                | 0,003488867        | 6008           | 5,0             |
| Escalón de Carga 5    | 0,17                      | 860,85                 | 0,003326916        | 3493           | 1,0             |
| Escalón de Carga 6    | 0,09                      | 216,60                 | 0,002194181        | 1333           | 0,1             |
| Escalón de Carga 7    | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 8    | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 9    | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 10   | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 11   | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 12   | -                         | -                      | -                  | -              | -               |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,9                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,32                      | 1873,47                | 0,003588512        | 7132           | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,27                      | 1542,68                | 0,003370006        | 6254           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,17                      | 854,74                 | 0,003087719        | 3782           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,09                      | 330,47                 | 0,002904739        | 1554           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,3                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "2":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,32                      | 1842,04                | 0,003438988        | 7424           | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,27                      | 1505,58                | 0,003373638        | 6185           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,17                      | 851,67                 | 0,003202719        | 3685           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,09                      | 340,65                 | 0,003182656        | 1483           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 42,1                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,32                      | 1872,17                | 0,003335774        | 7631           | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,27                      | 1540,30                | 0,003278949        | 6387           | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,17                      | 877,75                 | 0,003051780        | 3910           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,09                      | 346,16                 | 0,002881313        | 1633           | 0,1             |

Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) / 10 °C

| Parámetros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | 10    |
| N° de Queder                    | 0,24  |

| Probeta-Altura [mm]   | 42,4                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Bez. Probekörper "0": | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1    | 0,53                      | 3285,09                | 0,003319254        | 11986          | 10,0            |
| Escalón de Carga 2    | 0,46                      | 2822,22                | 0,003228346        | 10587          | 5,0             |
| Escalón de Carga 4    | 0,50                      | 3080,41                | 0,003425463        | 10891          | 5,0             |
| Escalón de Carga 5    | 0,43                      | 2617,05                | 0,004120216        | 7692           | 1,0             |
| Escalón de Carga 6    | 0,37                      | 2219,27                | 0,003501227        | 7676           | 1,0             |
| Escalón de Carga 7    | 0,20                      | 1080,64                | 0,003238879        | 4041           | 0,1             |
| Escalón de Carga 8    | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 9    | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 10   | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 11   | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 12   | -                         | -                      | -                  | -              | -               |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,9                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,56                      | 3333,43                | 0,003364715        | 12141          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,51                      | 3085,80                | 0,003524375        | 10730          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,37                      | 2188,41                | 0,003493503        | 7677           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,21                      | 1140,70                | 0,003311101        | 4222           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,3                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "2":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,56                      | 3387,55                | 0,003343407        | 12598          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,51                      | 3071,24                | 0,003359467        | 11367          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,37                      | 2153,02                | 0,003446652        | 7767           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,21                      | 1122,02                | 0,003202050        | 4357           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 42,1                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,56                      | 3457,69                | 0,003379220        | 12480          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,51                      | 3128,23                | 0,003398096        | 11228          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,37                      | 2207,80                | 0,003349169        | 8040           | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,21                      | 1143,20                | 0,003109978        | 4484           | 0,1             |

Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) / 0 °C

| Parámetros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | 0     |
| N° de Queder                    | 0,20  |

| Probeta-Altura [mm] | 42,4                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "0":        | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                   |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1  | 0,79                      | 5069,82                | 0,003304443        | 17093          | 10,0            |
| Escalón de Carga 2  | 0,84                      | 5399,49                | 0,003533559        | 17024          | 10,0            |
| Escalón de Carga 4  | 0,74                      | 4669,99                | 0,003296077        | 15785          | 5,0             |
| Escalón de Carga 5  | 0,59                      | 3683,88                | 0,003239106        | 12671          | 1,0             |
| Escalón de Carga 6  | 0,64                      | 4021,56                | 0,003623152        | 12366          | 1,0             |
| Escalón de Carga 7  | 0,42                      | 2546,83                | 0,003395067        | 8357           | 0,1             |
| Escalón de Carga 8  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 9  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 10 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 11 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 12 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,9                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,84                      | 5265,91                | 0,003506684        | 16929          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,78                      | 4883,60                | 0,003502231        | 15720          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,62                      | 3835,94                | 0,003545269        | 12198          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,43                      | 2588,98                | 0,003519327        | 8293           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,3                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "2":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,84                      | 5184,03                | 0,003625568        | 16354          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,78                      | 4819,01                | 0,003673094        | 15006          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,62                      | 3776,44                | 0,003622567        | 11923          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,43                      | 2549,79                | 0,003671921        | 7942           | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 42,1                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 0,84                      | 5321,10                | 0,003657299        | 16325          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 0,78                      | 4928,95                | 0,003653025        | 15139          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 0,62                      | 3840,69                | 0,003628849        | 11875          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,43                      | 2602,37                | 0,003641429        | 8019           | 0,1             |

Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) / -10 °C

| Parámetros de prueba            |       |
|---------------------------------|-------|
| Sobretensión de comienzo [MPa]  | 0,20  |
| Constante de baja tensión [MPa] | 0,035 |
| Temperatura [°C]                | -10   |
| N° de Queder                    | 0,17  |

| Probeta-Altura [mm] | 42,4                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|---------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "0":        | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 1                   |                           |                        |                    |                |                 |
| Escalón de Carga 1  | 1,20                      | 7787,77                | 0,003471790        | 23721          | 10,0            |
| Escalón de Carga 2  | 1,14                      | 7319,27                | 0,003439295        | 22505          | 5,0             |
| Escalón de Carga 4  | 1,04                      | 6676,72                | 0,003440480        | 20522          | 1,0             |
| Escalón de Carga 5  | 0,82                      | 5208,82                | 0,003332267        | 16530          | 0,1             |
| Escalón de Carga 6  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 7  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 8  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 9  | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 10 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 11 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |
| Escalón de Carga 12 | -                         | -                      | -                  | -              | -               |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,9                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "1":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 2                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 1,21                      | 7832,08                | 0,003761200        | 22283          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 1,14                      | 7261,25                | 0,003707955        | 20956          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 1,05                      | 6658,34                | 0,003753584        | 18982          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,85                      | 5347,31                | 0,003723039        | 15370          | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 41,3                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "2":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 3                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 1,21                      | 7691,81                | 0,003696846        | 22588          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 1,14                      | 7155,42                | 0,003552135        | 21869          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 1,05                      | 6560,85                | 0,003736584        | 19062          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,85                      | 5276,44                | 0,003689932        | 15524          | 0,1             |

| Probeta-Altura [mm]   | 42,1                      |                        | Diam. Probeta [mm] | 100,0          |                 |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Probeta "3":          | Tensión de tracción [MPa] | Fuerza de tracción [N] | Estiramiento [mm]  | E-Modulo [MPa] | Frecuencia [Hz] |
| 4                     |                           |                        |                    |                |                 |
| Posición 1 - 10 [Hz]  | 1,21                      | 7829,35                | 0,003805970        | 21909          | 10,0            |
| Posición 2 - 5 [Hz]   | 1,14                      | 7269,82                | 0,003638629        | 21279          | 5,0             |
| Posición 3 - 1 [Hz]   | 1,05                      | 6699,98                | 0,003705157        | 19259          | 1,0             |
| Posición 4 - 0,1 [Hz] | 0,85                      | 5377,61                | 0,003776859        | 15164          | 0,1             |

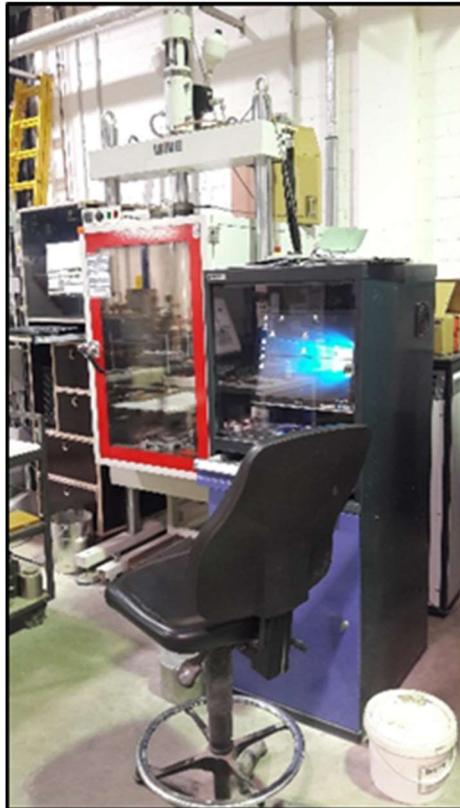
Resultados del Ensayo de Rigidez. Módulo E.

| Mezcla SMA 8 S (50/70) |                  |                                     |  |        |        |          |
|------------------------|------------------|-------------------------------------|--|--------|--------|----------|
| Temperatura [°C]       | Probeta          | Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ] | Módulo E [MPa] en función de la frecuencia de carga            |        |        |          |
|                        |                  |                                     | 10 [Hz]  | 5 [Hz] | 1 [Hz] | 0,1 [Hz] |
| -10                    | 1                | 2,609                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|                        | 2                | 2,591                               | 19654  | 19372  | 17224  | 13118    |
|                        | 3                | 2,575                               | 17768  | 17127  | 14908  | 11467    |
|                        | 4                | 2,621                               | 20794  | 19982  | 16812  | 13077    |
|                        | Media aritmética |                                     |  | 19405  | 18827  | 16315    |
| 0                      | 1                | 2,609                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|                        | 2                | 2,591                               | 15535  | 14018  | 10987  | 6479     |
|                        | 3                | 2,575                               | 14439  | 13154  | 10198  | 6316     |
|                        | 4                | 2,621                               | 17277  | 15604  | 12070  | 7728     |
|                        | Media aritmética |                                     |  | 15751  | 14259  | 11085    |
| 10                     | 1                | 2,609                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|                        | 2                | 2,591                               | 10415  | 8580   | 5630   | 2262     |
|                        | 3                | 2,575                               | 9350   | 7901   | 4937   | 1984     |
|                        | 4                | 2,621                               | 10094  | 8782   | 5534   | 2300     |
|                        | Media aritmética |                                     |  | 9953   | 8421   | 5367     |
| 20                     | 1                | 2,609                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|                        | 2                | 2,591                               | 5425   | 4128   | 2058   | 398      |
|                        | 3                | 2,575                               | 4802   | 3874   | 1944   | 376      |
|                        | 4                | 2,621                               | 5406   | 4192   | 2078   | 388      |
|                        | Media aritmética |                                     |  | 5211   | 4065   | 2027     |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras) |                  |                                     |  |        |        |          |
|---------------------------------|------------------|-------------------------------------|--|--------|--------|----------|
| Temperatura [°C]                | Probeta          | Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ] | E-Módulo [MPa] en función de la frecuencia de carga            |        |        |          |
|                                 |                  |                                     | 10 [Hz]  | 5 [Hz] | 1 [Hz] | 0,1 [Hz] |
| -10                             | 1                | 2,606                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|                                 | 2                | 2,598                               | 23117  | 22159  | 18961  | 15058    |
|                                 | 3                | 2,597                               | 22152  | 21292  | 18878  | 14711    |
|                                 | 4                | 2,607                               | 22850  | 21145  | 19461  | 14893    |
|                                 | Media aritmética |                                     |  | 22706  | 21532  | 19100    |
| 0                               | 1                | 2,606                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|                                 | 2                | 2,598                               | 16735  | 14894  | 11582  | 7066     |
|                                 | 3                | 2,597                               | 15808  | 14261  | 11287  | 6783     |
|                                 | 4                | 2,607                               | 16407  | 14534  | 11193  | 6446     |
|                                 | Media aritmética |                                     |  | 16317  | 14563  | 11354    |
| 10                              | 1                | 2,606                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|                                 | 2                | 2,598                               | 11016  | 9577   | 6280   | 2725     |
|                                 | 3                | 2,597                               | 11602  | 9918   | 6406   | 2896     |
|                                 | 4                | 2,607                               | 11065  | 9415   | 5925   | 2532     |
|                                 | Media aritmética |                                     |  | 11228  | 9637   | 6204     |
| 20                              | 1                | 2,606                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|                                 | 2                | 2,598                               | 5804   | 4586   | 2343   | 647      |
|                                 | 3                | 2,597                               | 5849   | 4741   | 2413   | 694      |
|                                 | 4                | 2,607                               | 6195   | 5035   | 2549   | 667      |
|                                 | Media aritmética |                                     |  | 5949   | 4787   | 2435     |

| Mezcla SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) |                  |                                     |  |        |        |          |
|--|------------------|-------------------------------------|--|--------|--------|----------|
| Temperatura [°C]                       | Probeta          | Densidad real* [g/cm <sup>3</sup> ] | Módulo E [MPa] en función de la frecuencia de carga            |        |        |          |
|  |                  |                                     | 10 [Hz]  | 5 [Hz] | 1 [Hz] | 0,1 [Hz] |
| -10                                    | 1                | 2,597                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|  | 2                | 2,594                               | 22283  | 20956  | 18982  | 15370    |
|  | 3                | 2,597                               | 22588  | 21869  | 19062  | 15524    |
|  | 4                | 2,601                               | 21909  | 21279  | 19259  | 15164    |
|  | Media aritmética |                                     |  | 22260  | 21368  | 19101    |
| 0                                      | 1                | 2,597                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|  | 2                | 2,594                               | 16929  | 15720  | 12198  | 8293     |
|  | 3                | 2,597                               | 16354  | 15006  | 11923  | 7942     |
|  | 4                | 2,601                               | 16325  | 15139  | 11875  | 8019     |
|  | Media aritmética |                                     |  | 16536  | 15288  | 11999    |
| 10                                     | 1                | 2,597                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|  | 2                | 2,594                               | 12141  | 10730  | 7677   | 4222     |
|  | 3                | 2,597                               | 12598  | 11367  | 7767   | 4357     |
|  | 4                | 2,601                               | 12480  | 11228  | 8040   | 4484     |
|  | Media aritmética |                                     |  | 12406  | 11108  | 7828     |
| 20                                     | 1                | 2,597                               | Muestras de ensayo para la determinación de las sobretensiones |        |        |          |
|  | 2                | 2,594                               | 7132   | 6254   | 3782   | 1554     |
|  | 3                | 2,597                               | 7424   | 6185   | 3685   | 1483     |
|  | 4                | 2,601                               | 7631   | 6387   | 3910   | 1633     |
|  | Media aritmética |                                     |  | 7395   | 6275   | 3793     |

Documentación fotográfica del proceso:



*Imagen 46: Preparación para el ensayo de las muestras*



*Imagen 47: Preparación para el ensayo de las muestras*



Imagen 48: Muestra en el dispositivo de ensayo

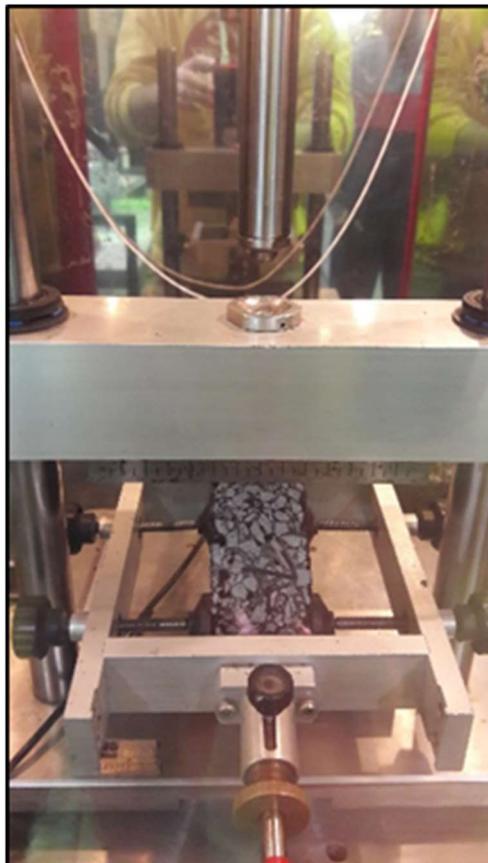


Imagen 49: Muestra en el dispositivo de ensayo.

### Ensayos de fatiga

Para este ensayo se utilizará la máquina de ensayos dinámicos y los programas informáticos GEOsys 8.7.8.19 y tablas Excel.

El ensayo consiste en someter los núcleos a diferentes tiempos de carga de corta, media y larga duración a una frecuencia de 10 Hz y una temperatura de 20 °C. Se probará cada núcleo con un tiempo de carga específico de 10 Hz y 20 °C. El ensayo se realiza a una temperatura de 20 °C.

Es importante señalar que la investigación involucró dos materiales. Uno es el SMA y el otro es el Asfalto con caucho triturado (AC 22 TS). Este proyecto solo detalla las experimentaciones ejecutadas para el SMA; pero no obstante la prueba de fatiga sólo se realizó en el compuesto de goma.

En este proceso, se probaron 10 núcleos de perforación de cada variante del compuesto de caucho. En total, se realizaron unos 30 ensayos en diferentes momentos de carga para determinar la función de fatiga. Antes de comenzar las pruebas, los núcleos de perforación debían ser clasificados de acuerdo con la norma **TP-Asphalt-StB**.

Una vez realizadas todas las pruebas, los resultados obtenidos se utilizaron para el dimensionamiento del paquete estructural.

### Dimensionamiento con PaDesTo

Como paso final se dimensionará un paquete de asfalto con el programa PaDesTo para evaluar las mezclas bajo investigación. Se examinarán paquetes de asfalto de espesores definidos y se analizarán el estado de fatiga alcanzado.

*Las mezclas SMA en todas sus variantes se utilizaron como capa superior (carpeta de rodamiento), mientras que las mezclas AC 22 T S en sus diferentes versiones se utilizaron como subbase. Finalmente, se utilizó una mezcla AC B como capa ligante (capa base).*

Para la evaluación cuantitativa del estado de fatiga, se combinaron todas las capas posibles de la capa superior y de la capa de base.

Cabe destacar que los resultados cuantitativos obtenidos de las pruebas de laboratorio para la mezcla tipo AC 22 TS, al no ser detalladas en este proyecto, solo se considerarán con sus valores finales en la consideración del paquete estructural que se dimensionará mediante el programa.

La utilización para el dimensionamiento del paquete estructural mediante el programa PaDesTo consiste en los siguientes pasos.

- Se debe ingresar como parámetro de entrada los valores de E (Rigidez) obtenidos de los ensayos realizados.
- Otro parámetro a definir lo constituye la fatiga, que también se obtuvieron de las experimentaciones (para la capa subbase AC 22 TS).
- Se especifican los espesores de cada una de las capas para cualquiera de las combinaciones (capa de rodamiento, base y subbase).
- A partir de estas variables, el programa determina una vida útil, en función de la fatiga desarrollada durante ese período, resultando un valor porcentual que se expresa de manera inversamente proporcional al valor de fatiga obtenido. Es decir, a menor valor, mayor vida útil, es decir más eficiente resulta la combinación de materiales y espesores dado, para un determinado período de tiempo.

Las capas de asfalto utilizadas, con sus respectivos espesores, se muestran a continuación:

| <i>Capa Superior DS (5cm)</i>    | <i>Capa Ligante BS (4cm)</i> | <i>Capa Base TS (12 cm)</i> |
|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| SMA 8 S (50/70)                  | AC B                         | AC 22 TS (30/45)            |
| SMA 8 S (50/70 + Fibras)         | AC B                         | AC 22 TS (30/45 + GG 22%)   |
| SMA 8 S ( 50/70 + Fibras + Cera) | AC B                         | AC 22 TS (70/100 + GG 33 %) |

Todas las combinaciones creadas con PaDesTo se muestran a continuación:

- **Combinación 1 // SMA 8 S (50/70) / AC B / AC 22 T S (30/45):**

**Asphaltschichten** Aufbau aus den RStO wählen...

|  | Start Schichtdicken | Schichtenverbund |
|--|---------------------|------------------|
| 1 <b>DS</b> Deckschicht - Variante 1   | 5,0 cm ✖            | 100 %            |
| 2 <b>BS</b> AC B - Binderschicht (EDU) | 4,0 cm ✖            | 100 %            |
| 3 <b>TS</b> TS - Variante 1            | 12,0 cm ✖           |                  |
| 4                                      |                     |                  |
| 5                                      |                     |                  |
| 6                                      |                     |                  |

Gesamtdicke Asphalt: 21,0 cm

7  **Hydr. gebundene Tragschicht / Verfestigung**  
 Schichtmodul:  N/mm<sup>2</sup>  
 Verbund zur darüberliegenden Schicht

8  **Tragschicht(en) ohne Bindemittel**  
 Ev2-Wert:  N/mm<sup>2</sup>  
 Frostschutzschicht: 120 N/mm<sup>2</sup> 64,0 cm

9  **Planum**  
 Ev2-Wert: 45 N/mm<sup>2</sup>

85,0 cm

**Darstellung des gewählten Aufbaus**

Sicherheitsbedürfnis: Sicherheitsniveau der RDO 09 (RStO 01)

Zuordnung nach RDO 09: Mittel

| Sicherheitsbeiwert              | Ermüdungsstatus   |
|---------------------------------|---|
| γ Asphaltpaket: 2,10<br>F= 2,10 | Asph. <span style="background-color: red; color: white;">117,5 %</span><br>ND: 26,9 Jahre |
| γ HGT: 1,50                     | HGT: <input type="text"/> 0,0 %   |

| Sicherheitsbeiwert | Kriterium max. Druckspannung       |
|--------------------|------------------------------------|
| γ ToB: 1,20        | ToB: <input type="text"/> 0,2 %    |
| γ Untergrund: 2,00 | Planum: <input type="text"/> 0,0 % |

**Empfindlichkeitsindex - Spurrinne**

Deckschicht - Var... 0,496 N/mm<sup>2</sup>  
 AC B - Binderschi... 0,151 N/mm<sup>2</sup>  
 Progn. Spurrinntiefe 0,0 mm

**Berechnung starten** **Anpassung starten**

- Combinación 2 // SMA 8 S (50/70 + fibras) / AC B / AC 22 T S (30/45):

**Asphaltschichten** Aufbau aus den RStO wählen...

|  | Start Schichtdicken | Schichtenverbund |
|--|---------------------|------------------|
| 1 <b>DS</b> Deckschicht - Variante 2   | 5,0 cm              | 100 %            |
| 2 <b>BS</b> AC B - Binderschicht (EDU) | 4,0 cm              | 100 %            |
| 3 <b>TS</b> TS - Variante 1            | 12,0 cm             |                  |
| 4                                      |                     |                  |
| 5                                      |                     |                  |
| 6                                      |                     |                  |

Gesamtdicke Asphalt: 21,0 cm

7  **Hydr. gebundene Tragschicht / Verfestigung**  
Schichtmodul:  N/mm<sup>2</sup>  
 Verbund zur darüberliegenden Schicht

8  **Tragschicht(en) ohne Bindemittel**  
Ev2-Wert:  N/mm<sup>2</sup>  
 Frostschuttschicht: 120 N/mm<sup>2</sup> 64,0 cm

9  **Planum**  
Ev2-Wert: 45 N/mm<sup>2</sup>

85,0 cm

**Darstellung des gewählten Aufbaus**

Sicherheitsbedürfnis: Sicherheitsniveau der RDO 09 (RStO 01)

Zuordnung nach RDO 09: Mittel

| Sicherheitsbeiwert              | Ermüdungsstatus   |
|---------------------------------|---|
| γ Asphaltpaket: 2,10<br>F= 2,10 | Asph. <span style="background-color: red; color: white;">110,2 %</span><br>ND: 28,1 Jahre |
| γ HGT: 1,50                     | HGT: <input type="text"/> 0,0 %   |

| Sicherheitsbeiwert | Kriterium max. Druckspannung       |
|--------------------|------------------------------------|
| γ ToB: 1,20        | ToB: <input type="text"/> 0,0 %    |
| γ Untergrund: 2,00 | Planum: <input type="text"/> 0,0 % |

**Empfindlichkeitsindex - Spurrinne**

Deckschicht - Var... 0,348 N/mm<sup>2</sup>  
AC B - Bindersch... 0,280 N/mm<sup>2</sup>  
Progn. Spurrinnentiefe 0,0 mm

**Berechnung starten** **Anpassung starten**

- **Combinación 3 // SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) / AC B / AC 22 T S (30/45):**

**Asphaltschichten** Aufbau aus den RStO wählen...

|   |                               | Start Schichtdicken | Schichten-verbund |
|---|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | DS Deckschicht - Variante 3   | 5,0 cm              | 100 %             |
| 2 | BS AC B - Binderschicht (EDU) | 4,0 cm              | 100 %             |
| 3 | TS TS - Variante 1            | 12,0 cm             |                   |
| 4 |                               |                     |                   |
| 5 |                               |                     |                   |
| 6 |                               |                     |                   |

Gesamtdicke Asphalt 21,0 cm

7  Hydr. gebundene Tragschicht / Verfestigung  
 Schichtmodul  N/mm<sup>2</sup>  
 Verbund zur darüberliegenden Schicht

8  Tragschicht(en) ohne Bindemittel  
 Ev2-Wert  N/mm<sup>2</sup>  
 Frostschuttschicht 120 N/mm<sup>2</sup> 64,0 cm

9  Planum Ev2-Wert 45 N/mm<sup>2</sup>

85,0 cm

Darstellung des gewählten Aufbaus

Sicherheitsbedürfnis Sicherheitsniveau der RDO 09 (RStO 01)

Zuordnung nach RDO 09 Mittel

| Sicherheitsbeiwert                    | Ermüdungsstatus   |
|---------------------------------------|---|
| $\gamma$ Asphaltpaket 2,10<br>F= 2,10 | Asph. <span style="background-color: green; width: 50px; height: 10px; display: inline-block;"></span> 98,3 % |
| $\gamma$ HGT 1,50                     | HGT <span style="width: 50px; height: 10px; display: inline-block;"></span> 0,0 %                             |

| Sicherheitsbeiwert       | Kriterium max. Druckspannung   |
|--------------------------|--|
| $\gamma$ ToB 1,20        | ToB <span style="width: 50px; height: 10px; display: inline-block;"></span> 0,0 %    |
| $\gamma$ Untergrund 2,00 | Planum <span style="width: 50px; height: 10px; display: inline-block;"></span> 0,0 % |

**Empfindlichkeitsindex - Spurrinne**

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Deckschicht - Var...   | 0,226 N/mm <sup>2</sup> |
| AC B - Bindersch...    | 0,390 N/mm <sup>2</sup> |
| Progn. Spurrinnentiefe | 0,0 mm                  |

**Berechnung starten** **Anpassung starten**

- Combinación 4 // SMA 8 S (50/70) / AC B / AC 22 T S (50/70 + GG 22%):

**Asphaltschichten** Aufbau aus den RStO wählen...

|   |                                      | Start Schichtdicken | Schichtenverbund |
|---|--------------------------------------|---------------------|------------------|
| 1 | <b>DS</b> Deckschicht - Variante 1   | 5,0 cm              | 100 %            |
| 2 | <b>BS</b> AC B - Binderschicht (EDU) | 4,0 cm              | 100 %            |
| 3 | <b>TS</b> TS - Variante 2            | 12,0 cm             |                  |
| 4 |                                      |                     |                  |
| 5 |                                      |                     |                  |
| 6 |                                      |                     |                  |

Gesamtdicke Asphalt: 21,0 cm

7  Hydr. gebundene Tragschicht / Verfestigung  
Schichtmodul:  N/mm<sup>2</sup>  
 Verbund zur darüberliegenden Schicht

8  Tragschicht(en) ohne Bindemittel  
Ev2-Wert:  N/mm<sup>2</sup>  
 Frostschuttschicht: 120 N/mm<sup>2</sup> 64,0 cm

9  Planum  
Ev2-Wert: 45 N/mm<sup>2</sup>

85,0 cm

Darstellung des gewählten Aufbaus

Sicherheitsbedürfnis: Sicherheitsniveau der RDO 09 (RStO 01)  
Zuordnung nach RDO 09: Mittel

| Sicherheitsbeiwert              | Ermüdungsstatus   |
|---------------------------------|---|
| γ Asphaltpaket: 2,10<br>F= 2,10 | Asph. <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: green;"></span> 50,7 % |
| γ HGT: 1,50                     | HGT <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: white;"></span> 0,0 %    |

| Sicherheitsbeiwert | Kriterium max. Druckspannung  |
|--------------------|---|
| γ ToB: 1,20        | ToB <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: white;"></span> 0,1 %    |
| γ Untergrund: 2,00 | Planum <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: white;"></span> 0,0 % |

Empfindlichkeitsindex - Spurrinne

|                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| Deckschicht - Var... | 0,502 N/mm <sup>2</sup> |
| AC B - Bindersch...  | 0,132 N/mm <sup>2</sup> |
| Progn. Spurrinntiefe | 0,0 mm                  |

- Combinación 5 // SMA 8 S (50/70 + fibras) / AC B / AC 22 T S (50/70 + GG 22%):

**Asphaltschichten** Aufbau aus den RStO wählen...

|                                 | Start Schichtdicken | Schichtenverbund |
|---------------------------------|---------------------|------------------|
| 1 DS Deckschicht - Variante 2   | 5,0 cm              | 100 %            |
| 2 BS AC B - Binderschicht (EDU) | 4,0 cm              | 100 %            |
| 3 TS TS - Variante 2            | 12,0 cm             |                  |
| 4                               |                     |                  |
| 5                               |                     |                  |
| 6                               |                     |                  |

Gesamtdicke Asphalt: 21,0 cm

7  Hydr. gebundene Tragschicht / Verfestigung  
Schichtmodul:  N/mm<sup>2</sup>  
 Verbund zur darüberliegenden Schicht

8  Tragschicht(en) ohne Bindemittel  
Ev2-Wert:  N/mm<sup>2</sup>  
 Frostschuttschicht: 120 N/mm<sup>2</sup> 64,0 cm

9  Planum  
Ev2-Wert: 45 N/mm<sup>2</sup>

85,0 cm

Darstellung des gewählten Aufbaus

Sicherheitsbedürfnis: Sicherheitsniveau der RDO 09 (RStO 01)  
Zuordnung nach RDO 09: Mittel

| Sicherheitsbeiwert                     | Ermüdungsstatus |
|--|-----------------|
| $\gamma$ Asphaltpaket: 2,10<br>F= 2,10 | Asph.: 46,2 %   |
| $\gamma$ HGT: 1,50                     | HGT: 0,0 %      |

| Sicherheitsbeiwert        | Kriterium max. Druckspannung |
|---------------------------|------------------------------|
| $\gamma$ ToB: 1,20        | ToB: 0,0 %                   |
| $\gamma$ Untergrund: 2,00 | Planum: 0,0 %                |

**Empfindlichkeitsindex - Spurrinne**

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Deckschicht - Var...   | 0,341 N/mm <sup>2</sup> |
| AC B - Bindersch...    | 0,258 N/mm <sup>2</sup> |
| Progn. Spurrinnentiefe | 0,0 mm                  |

**Berechnung starten** **Anpassung starten**

**- Combinación 6 // SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) / AC B / AC 22 T S (50/70 + GG 22%):**

**Asphaltschichten** Aufbau aus den RStO wählen...

|   |                                      | Start Schichtdicken | Schichtenverbund |
|---|--------------------------------------|---------------------|------------------|
| 1 | <b>DS</b> Deckschicht - Variante 3   | 5,0 cm              | 100 %            |
| 2 | <b>BS</b> AC B - Binderschicht (EDU) | 4,0 cm              | 100 %            |
| 3 | <b>TS</b> TS - Variante 2            | 12,0 cm             |                  |
| 4 |                                      |                     |                  |
| 5 |                                      |                     |                  |
| 6 |                                      |                     |                  |

Gesamtdicke Asphalt: 21,0 cm

7  **Hydr. gebundene Tragschicht / Verfestigung**  
Schichtmodul:  N/mm<sup>2</sup>  
 Verbund zur darüberliegenden Schicht

8  **Tragschicht(en) ohne Bindemittel**  
Ev2-Wert:  N/mm<sup>2</sup>  
 Frostschutzschicht: 120 N/mm<sup>2</sup> 64,0 cm

9  **Planum**  
Ev2-Wert: 45 N/mm<sup>2</sup>

85,0 cm

**Darstellung des gewählten Aufbaus**

Sicherheitsbedarf: Sicherheitsniveau der RDO 09 (RStO 01) ⋮

Zuordnung nach RDO 09: Mittel

---

**Sicherheitsbeiwert** **Ermüdungsstatus**

|                       |      |       |   |        |
|-----------------------|------|-------|---|--------|
| $\gamma$ Asphaltpaket | 2,10 | Asph. | <div style="width: 38,8%; background-color: green; border: 1px solid black;"></div> | 38,8 % |
| $\gamma$ HGT          | 1,50 | HGT   | <div style="width: 0%; background-color: gray; border: 1px solid black;"></div>     | 0,0 %  |

---

**Sicherheitsbeiwert** **Kriterium max. Druckspannung**

|                     |      |        |   |       |
|---------------------|------|--------|---|-------|
| $\gamma$ ToB        | 1,20 | ToB    | <div style="width: 0%; background-color: gray; border: 1px solid black;"></div> | 0,0 % |
| $\gamma$ Untergrund | 2,00 | Planum | <div style="width: 0%; background-color: gray; border: 1px solid black;"></div> | 0,0 % |

---

**Empfindlichkeitsindex - Spurrinne**

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Deckschicht - Var...   | 0,218 N/mm <sup>2</sup> |
| AC B - Bindersch...    | 0,374 N/mm <sup>2</sup> |
| Progn. Spurrinnentiefe | 0,0 mm                  |

Berechnung starten
Anpassung starten

- **Combinación 7 // SMA 8 S (50/70) / AC B / AC 22 T S (70/100 + GG 33%):**

**Asphaltschichten** Aufbau aus den RStO wählen...

|  | Start Schichtdicken | Schichtenverbund |
|--|---------------------|------------------|
| 1 <b>DS</b> Deckschicht - Variante 1   | 5,0 cm              | 100 %            |
| 2 <b>BS</b> AC B - Binderschicht (EDU) | 4,0 cm              | 100 %            |
| 3 <b>TS</b> TS - Variante 3            | 12,0 cm             |                  |
| 4                                      |                     |                  |
| 5                                      |                     |                  |
| 6                                      |                     |                  |

Gesamtdicke Asphalt

7  **Hydr. gebundene Tragschicht / Verfestigung**  
 Schichtmodul  N/mm<sup>2</sup>   
 Verbund zur darüberliegenden Schicht

8  **Tragschicht(en) ohne Bindemittel**  
 Ev2-Wert  N/mm<sup>2</sup>   
 Frostschutzschicht  N/mm<sup>2</sup>

9  **Planum**  
 Ev2-Wert  N/mm<sup>2</sup>

85,0 cm

**Darstellung des gewählten Aufbaus**

Sicherheitsbedürfnis

Zuordnung nach RDO 09

| Sicherheitsbeiwert  | Ermüdungsstatus                           |
|---|---|
| γ Asphaltpaket <input type="text" value="2,10"/><br>F= 2,10 | Asph. <input type="text" value="83,1 %"/> |
| γ HGT <input type="text" value="1,50"/>                     | HGT <input type="text" value="0,0 %"/>    |

| Sicherheitsbeiwert                             | Kriterium max. Druckspannung              |
|--|---|
| γ ToB <input type="text" value="1,20"/>        | ToB <input type="text" value="0,1 %"/>    |
| γ Untergrund <input type="text" value="2,00"/> | Planum <input type="text" value="0,0 %"/> |

**Empfindlichkeitsindex - Spurrinne**

Deckschicht - Var... 0,500 N/mm<sup>2</sup>

AC B - Bindersch... 0,135 N/mm<sup>2</sup>

Progn. Spurrinntiefe 0,0 mm

- Combinación 8 // SMA 8 S (50/70 + fibras) / AC B / AC 22 T S (70/100 + GG 33%):

**Asphaltschichten** Aufbau aus den RStO wählen...

|   |                                      | Start Schichtdicken | Schichtenverbund |
|---|--------------------------------------|---------------------|------------------|
| 1 | <b>DS</b> Deckschicht - Variante 3   | 5,0 cm              | 100 %            |
| 2 | <b>BS</b> AC B - Binderschicht (EDU) | 4,0 cm              | 100 %            |
| 3 | <b>TS</b> TS - Variante 3            | 12,0 cm             |                  |
| 4 |                                      |                     |                  |
| 5 |                                      |                     |                  |
| 6 |                                      |                     |                  |

Gesamtdicke Asphalt: 21,0 cm

7  **Hydr. gebundene Tragschicht / Verfestigung**  
Schichtmodul:  N/mm<sup>2</sup>  
 Verbund zur darüberliegenden Schicht

8  **Tragschicht(en) ohne Bindemittel**  
Ev2-Wert:  N/mm<sup>2</sup>  
 Frostschutzschicht: 120 N/mm<sup>2</sup> 64,0 cm

9  **Planum**  
Ev2-Wert: 45 N/mm<sup>2</sup>

85,0 cm

Darstellung des gewählten Aufbaus

Sicherheitsbedürfnis: Sicherheitsniveau der RDO 09 (RStO 01)  
Zuordnung nach RDO 09: Mittel

| Sicherheitsbeiwert                     | Ermüdungsstatus   |
|--|---|
| $\gamma$ Asphaltpaket: 2,10<br>F= 2,10 | Asph. <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: green;"></span> 60,4 % |
| $\gamma$ HGT: 1,50                     | HGT <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: white;"></span> 0,0 %    |

| Sicherheitsbeiwert        | Kriterium max. Druckspannung  |
|---------------------------|---|
| $\gamma$ ToB: 1,20        | ToB <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: white;"></span> 0,0 %    |
| $\gamma$ Untergrund: 2,00 | Planum <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: white;"></span> 0,0 % |

**Empfindlichkeitsindex - Spurrinne**

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Deckschicht - Var...   | 0,218 N/mm <sup>2</sup> |
| AC B - Bindersch...    | 0,375 N/mm <sup>2</sup> |
| Progn. Spurrinnentiefe | 0,0 mm                  |

- **Combinación 9 // SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) / AC B / AC 22 T S (70/100 + GG 33%):**

**Asphaltschichten** Aufbau aus den RStO wählen...

|                                 | Start Schichtdicken | Schichtenverbund |
|---------------------------------|---------------------|------------------|
| 1 DS Deckschicht - Variante 3   | 5,0 cm              | 100 %            |
| 2 BS AC B - Binderschicht (EDU) | 4,0 cm              | 100 %            |
| 3 TS TS - Variante 3            | 12,0 cm             |                  |
| 4                               |                     |                  |
| 5                               |                     |                  |
| 6                               |                     |                  |

Gesamtdicke Asphalt 21,0 cm

7  Hydr. gebundene Tragschicht / Verfestigung  
Schichtmodul  N/mm<sup>2</sup>  
 Verbund zur darüberliegenden Schicht

8  Tragschicht(en) ohne Bindemittel  
Ev2-Wert  N/mm<sup>2</sup>  
 Frostschuttschicht 120 N/mm<sup>2</sup> 64,0 cm

9  Planum  
Ev2-Wert 45 N/mm<sup>2</sup>

85,0 cm

Darstellung des gewählten Aufbaus

Sicherheitsbedürfnis Sicherheitsniveau der RDO 09 (RStO 01)

Zuordnung nach RDO 09 Mittel

| Sicherheitsbeiwert                    | Ermüdungsstatus   |
|---------------------------------------|---|
| $\gamma$ Asphaltpaket 2,10<br>F= 2,10 | Asph. <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: green;"></span> 60,4 % |
| $\gamma$ HGT 1,50                     | HGT <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: white;"></span> 0,0 %    |

| Sicherheitsbeiwert       | Kriterium max. Druckspannung  |
|--------------------------|---|
| $\gamma$ ToB 1,20        | ToB <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: white;"></span> 0,0 %    |
| $\gamma$ Untergrund 2,00 | Planum <span style="display: inline-block; width: 50px; height: 10px; background-color: white;"></span> 0,0 % |

**Empfindlichkeitsindex - Spurrinne**

Deckschicht - Var... 0,218 N/mm<sup>2</sup>

AC B - Bindersch... 0,375 N/mm<sup>2</sup>

Progn. Spurrinnentiefe 0,0 mm

**Berechnung starten** **Anpassung starten**

La siguiente tabla muestra todas las combinaciones con el estado de fatiga alcanzado:

| N° | Capa de rodadura DS (5 cm)      | Capa Intermedia BS (4 cm) | Capa de base TS (12 cm)     | Estado de Fatiga |
|----|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1  | SMA 8 S (50/70)                 | AC B                      | AC 22 T S (30/45)           | 117,50%          |
| 2  | SMA 8 S (50/70 + fibras)        | AC B                      | AC 22 T S (30/45)           | 110,20%          |
| 3  | SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) | AC B                      | AC 22 T S (30/45)           | 98,30%           |
| 4  | SMA 8 S (50/70)                 | AC B                      | AC 22 T S (50/70 + GG 22%)  | 50,70%           |
| 5  | SMA 8 S (50/70 + fibras)        | AC B                      | AC 22 T S (50/70 + GG 22%)  | 46,20%           |
| 6  | SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) | AC B                      | AC 22 T S (50/70 + GG 22%)  | 38,80%           |
| 7  | SMA 8 S (50/70)                 | AC B                      | AC 22 T S (70/100 + GG 33%) | 83,10%           |
| 8  | SMA 8 S (50/70 + fibras)        | AC B                      | AC 22 T S (70/100 + GG 33%) | 73,90%           |
| 9  | SMA 8 S (50/70 + fibras + cera) | AC B                      | AC 22 T S (70/100 + GG 33%) | 60,40%           |

Conclusión:

El resultado final observado es que la **combinación N° 6** logra el mejor comportamiento a la fatiga. Este paquete consiste en una mezcla de **SMA 8 S (50/70 + fibras + cera)** de **5 cm** como capa superior, una mezcla de AC B de 4 cm como capa ligante y una mezcla de caucho de hormigón asfáltico **AC 22 T S (50/70 + GG 22%)** de **12 cm** como capa base. Esta combinación muestra una notable mejora en el comportamiento a la fatiga, de forma que se pueden reducir los espesores de capa y, en consecuencia, se puede conseguir un ahorro de material.

Esto también puede traducirse como una relación de equivalencia volumétrica, en donde, a este material le corresponde, debido a su mejor capacidad estructural, una mayor **durabilidad de servicio** en comparación a un paquete elaborado con mezclas tradicionales.

**Bibliografía:**

- AL SP-Asphalt 09. (2009). Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Steifigkeits und Ermüdungsverhaltens von Asphalten mit dem Spaltzug – Schwellversuch als Eingangsgröße in die Dimensionierung. AL Sp -Asphalt 09. (2009).
- TP Asphalt -StB: Teil 5: Rohdichte von Asphalt. (2013).
- TP Asphalt - StB: Teil 6: Raumdichte von Asphalt-Probekörpern. (2012).
- TP Asphalt – StB: Teil 18: Ablaufen von Bitumen aus Splittmastixasphalt und Offenporigen Asphalt. (2007).
- TP Asphalt – StB: Teil 28: Vorbereitung von Proben. (2007).
- TP Asphalt – StB: Teil 33: Herstellung von Asphalt-Probepplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor – Verdichtungsgerät (WSV9). (2007).
- TL-Gestein-StB der FGSV (Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen).
- TL-Gestein-StB 04. Technische Lieferbedingungen für Gesteinkörnungen im Straßenbau. (2004).
- Comisión Permanente del Asfalto. Proyecto de Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para mezclas asfálticas en caliente de bajo espesor para carpetas de rodamiento. (2010).
- Comisión Permanente del Asfalto. Proyecto de Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para mezclas asfálticas en calientes gruesas. (2010).
- Tesis: Comportamiento Mecánico de las mezclas asfálticas tipo SMA (STONE MASTIC ASPHALT). Elizabeth Victoria Adela Paredes Matta. Lima Perú. (2009).
- Facultad de Ingeniería de la U.V., 2010, Guía del pasante para la realización de trabajos recepcionales, México, Universidad Veracruzana.
- Primeras experiencias con SMA en la provincia de Mendoza en la reconstrucción de una vía de alto volumen de tránsito, 2017, Alfredo Obredor - Edgardo Espinoza - Gerardo Botasso
- Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Concretos Asfálticos en Caliente y Semicaliente del tipo Densos, Edición 2017, Dirección Nacional de Vialidad de Argentina
- Genan: Eine neue Generation von Polymermodifiziertem Bitumen und Asphalt, Informationsbroschüre zum Produkt Road der Firma Genan. 2010.
- Neutag, L.BESTLAB Prüfinstitut für Strassenbaustoffe der Bergischen Universität Wuppertal Gebrauchseigenschaften von gummimodifizierten Asphalten, Vortrag am 28.08.2008 bei den 5. Internationalen Verkehrstagen in Wuppertal in <http://www.strassenbau.uni-wuppertal.de/SeSb/Vortraege/09-Neutag.pdf>
- Großhans, D.: Möglichkeiten der Verbesserung von Qualität und Verarbeitbarkeit von Gußasphaltgemischen durch Modifizierung, Sonderdruck aus "DSB - Die Schweizer Baustoffindustrie", Ausgabe 6/89
- Schmidt, H.: Über Gummi-Bitumen -Mischungen Hamburg, Zeitschrift Bitumen (Arbit), 1953, Heft 6, S.135-139

- Analyse von Grundprozessen der Aufbereitung von Kompositwerkstoffen aus ausgewählten Kunststoff- und Gummiabfällen, Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik der Technischen Universität Chemnitz
- Entwurf und Bau von Straßen- Teil: Straßenbautechnik, KIT.