

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAÍSO, CHILE



Validación en laboratorio del ensayo “Steady Shear Flow”

Memoria de titulación presentada por:

Ermo Alan Arriagada Quintana

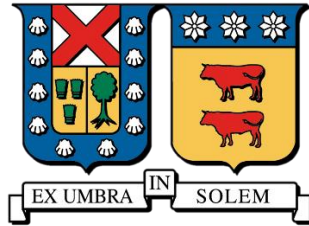
Como requisito para optar al título de:

Constructor Civil

Profesor guía:

Carlos Wahr Daniel

Noviembre 2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

Validación en laboratorio del ensayo “*Steady shear Flow*” (SSF)

Memoria de titulación presentada por:

Ermo Alan Arriagada Quintana

Como requisito para optar al título de:

Constructor Civil

Profesor guía:

Carlos Wahr Daniel

Profesor correferente:

Francisco Rebolledo Ortiz

VALPARAÍSO, CHILE

2022

**“Validación en laboratorio del ensayo *Steady shear Flow (SSF)* – NCHRP Report 648
Mediante la evaluación de propiedades volumétricas y de desempeño en carpetas de rodadura”**

I Resumen

En la actualidad no existe un ensayo que sea confiable para determinar las temperaturas de mezclado y compactación en ligantes asfálticos modificados con polímeros los cuales afectan la componente elástica y viscosa del asfalto alterando los resultados del ligante obteniendo temperaturas de mezclado y compactación más altas al momento de ser ensayado con métodos convencionales, uno de los métodos utilizados es el Perfil de Viscosidad Rotacional, pero este método entrega temperaturas más altas de lo esperado, en algunos casos por sobre los 190°C debido a que este método se enfoca más en la propiedad viscosa y no en la viscoelástica, por eso están experimentando otros métodos para determinar las temperaturas mencionadas, uno de los métodos en estudio es el denominado Steady Shear Flow.

Las temperaturas de mezclado y compactación son uno de los factores más importantes en una mezcla asfáltica ya que se requiere de un valor preciso para obtener el mejor rendimiento posible a la hora de ser sometidas a cargas vehiculares y soportar diferentes climas ya sea humedad o grandes variaciones de temperatura.

Como principal objetivo de la presente Memoria, utilizando dos ligantes asfálticos: PG76-22 y AMP60/80 se confeccionarán una serie de mezclas asfálticas semidensas banda IV-A-12, utilizando temperaturas obtenidas por el método Perfil de Viscosidad Rotacional y Steady Shear Flow con el fin de poder realizar comparaciones de desempeño entre una “mezcla patrón” y otra mezclada y compactada a una temperatura determinada con un método alternativo (SSF), de esta manera se pretende demostrar si las mezclas confeccionadas a una menor temperatura cumplen con los requisitos para poder satisfacer los distintos requerimientos de mezclado, compactación y desempeño en laboratorio.

Se confeccionan briquetas de 4” mezcladas y compactadas con el método Marshall y de 6” mezcladas y compactadas con el método Superpave utilizando el “Compactador giratorio” cumpliendo los requisitos exigidos en las normas respectivas, para cada uno de los ensayos.

Los ensayos a ejecutar son: DMM, Cubrimiento de partículas, Estabilidad y Fluencia, Modulo de Rigidez, TSR, Curvas de Compactación y Resistencia al Ahuellamiento en seco a 60°C.

Al realizar la comparación de resultados se ve una variación entre cada ensayo dependiendo del ligante utilizado, algunos ensayos entregaron resultados positivos en ambos casos como en el cálculo del DMM y el ensayo de ahuellamiento, para el ensayo de cubrimiento solo se vio una mejora en la mezcla que utilizó el ligante PG76-22, en los ensayos de Curva de Compactación, Estabilidad y Fluencia solo mejoraron sus valores obtenidos en las briquetas que utilizaron el ligante AMP60/80 y en el ensayo de TSR en ambos casos se experimentó una disminución de los resultados. Por lo que se recomienda utilizar el ensayo Steady Shear Flow siempre y cuando la mezcla asfáltica al ser compactada cumpla con los requisitos solicitados por el mandante de esta forma se puede reducir los gastos energéticos, el nivel de contaminación ambiental y disminuir el envejecimiento en planta.

II ABSTRACT

Currently, there is no test that is reliable to determine the mixing and compaction temperatures in polymer-modified asphalt binders, which affect the elastic and viscous component of the asphalt, altering the binder results, obtaining higher mixing and compaction temperatures at the time of application. be tested with conventional methods, one of the methods used is the Rotational Viscosity Profile, but this method delivers higher temperatures than expected, in some cases over 190°C because this method focuses more on the viscous property and not in the viscoelastic, that is why they are experimenting with other methods to determine the mentioned temperatures, one of the methods under study is the so-called Steady Shear Flow.

Mixing and compaction temperatures are one of the most important factors in an asphalt mixture since a precise value is required to obtain the best possible performance when subjected to vehicular loads and withstand different climates, whether humidity or large variations. Of temperature.

As the main objective of this Report, using two asphalt binders: PG76-22 and AMP60/80, a series of semi-dense asphalt mixtures band IV-A-12 will be prepared, using temperatures obtained by the Rotational Viscosity Profile method and Steady Shear Flow with in order to be able to make performance comparisons between a "standard mixture" and another mixed and compacted at a certain temperature with an alternative method (SSF), in this way it is intended to demonstrate if the mixtures made at a lower temperature meet the requirements for be able to satisfy the different requirements of mixing, compaction and plant performance.

4" specimens mixed and compacted with the Marshall method and 6" mixed and compacted with the Superpave method are made using the "Gyratory Compactor" meeting the requirements of the respective standards, for each of the tests.

The tests to be carried out are: GMM, Particle Coating, Stability and Flow, Rigidity Modulus, TSR, Compaction Curves and Dry Rutting Resistance at 60°C.

A series of 4 and 6" briquettes are made at different blows and turns in order to make a curve between the number of blows or number of turns vs. the percentage of vacuum in order to interpolate the necessary number of blows or turns to reach 7% vacuum in the briquettes, which is required in different tests.

When comparing the results, a variation is seen between each test depending on the binder used, some gave positive results in both cases, such as in the calculation of the DMM and the rutting test, for the coverage test, only an improvement was seen in the mixture. that used the PG76-22 binder, in the tests of Compaction Curve, Stability and Creep only improved their values obtained in the briquettes that used the AMP60/80 binder and in the TSR test in both cases a decrease in the results was experienced. Therefore, it is recommended to use the Steady Shear Flow test as long as the asphalt mixture, when compacted, meets the requirements requested by the principal, in this way energy costs, the level of environmental pollution and aging in the plant can be reduced.

III GLOSARIO

AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials.
ASTM	:	American Society for Testing Materials.
BBR	:	Bendin Beam Rheometer (Reómetro de flexión).
cm ³	:	Centímetros cúbicos.
DSR	:	Dynamic Shear Rheometer (Reómetro de corte dinámico).
DTT	:	Direct Tension Test (ensayo de tracción directa).
FAA	:	Federal Aviation Administration.
FHWA	:	Federal Highway Administration.
g	:	Gramos.
G*	:	Módulo complejo en corte.
h	:	Horas.
Hz	:	Hertz o hercios.
IDT	:	Indirect Tensile Tester (Ensayo de tracción indirecta).
In (")	:	Inch (pulgada).
kPa	:	Kilo pascal.
km	:	Kilómetros.
LEMCO	:	Laboratorio de Ensaye de Materiales y Control de Obras.
LVDT	:	Linear Variable Differential Transformer (Transformador diferencial de variación lineal).
m	:	Metros.
M.C	:	Manual de Carreteras.
MAC	:	Mezcla Asfáltica en Caliente.
MAS	:	Maximum Aggregate Size (Tamaño máximo del agregado).
MD	:	Módulo Dinámico.
MEPDG	:	The Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (Guía de diseño Empírico Mecanicista de Pavimento)
min	:	Minutos.

mm	:	Milímetros.
MPa	:	Mega pascal.
ms	:	Milisegundo.
NMAS	:	Nominal Maximum Aggregate Size (Tamaño máximo nominal del agregado).
PAV	:	Pressure Aging Vessel (Equipo a presión).
PG	:	Performance Grade.
RTFO	:	Rolling Thin Film Oven (Horno de película delgada rotativa).
RV	:	Rotational Viscometer (Viscosímetro rotacional).
s	:	Segundos.
SGC	:	Compactador Giratorio Superpave.
SHRP	:	Strategic Highway Research Program.
SSF	:	Steady Shear Flow.
SUPERPAVE	:	Superior Performance Asphalt Pavement.
T°	:	Temperatura
TSR	:	Ensayo de Tracción Indirecta.
UNE	:	Una Norma Española.
Va	:	Vacíos de aire.
VAF	:	Vacíos llenos de Asfalto.
VAM	:	Vacíos en el Agregado Mineral.
%	:	Porcentaje.
°	:	Grados.
°C	:	Grados Celsius.
µm	:	Micrómetro.

“Validación en laboratorio del ensayo “Steady shear Flow (SSF) – NCHRP Report 648”

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I Resumen.....	3
II ABSTRACT	4
III GLOSARIO	5
1. INTRODUCCION	13
1.1. ANTECEDENTES GENERALES	13
1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	14
1.2.1. OBJETIVOS GENERALES	14
1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
1.2.3. ALCANCES DEL ESTUDIO.....	14
1.2.4. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	14
1.2.5. ESTRUCTURA DE MEMORIA	15
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. Steady shear Flow (SSF).....	17
3. TRABAJO EN LABORATORIO	18
3.1. Ligante Asfáltico	18
3.1.1. Temperatura del ligante.....	18
3.1.2. Proporción de ligante en la mezcla asfáltica.....	19
3.2. Agregados pétreos	19
3.2.1. Selección del agregado.....	19
3.2.2. Análisis Granulométrico	19
3.2.3. RAP ½”	21
3.2.4. Banda Granulométrica	22
3.2.5. Preparación de bandejas.....	25
3.3. Mezclado y compactación.....	28
3.4. Ensayo de cubrimiento.....	28
3.5. DMM	29
3.6. Estabilidad y Fluencia	29
3.6.1. Resultado de la estabilidad y fluencia en probetas de 4” y PG76-22.	29
3.6.2. Resultado de la estabilidad y fluencia en probetas de 4” con RAP ½” y ligante AMP60/80	30

3.7.	Búsqueda del 7% de vacío en probetas de 4" y 6"	31
3.7.1.	Número de golpes para compactar al 7±1% de vacío probetas de 4" tipo Marshall que utilizan ligante PG76-22	31
3.7.2.	Número de golpes para compactar al 7±1% de vacío para probetas de 4" tipo Marshall que utilizan RAP ½" y ligante AMP60/80	33
3.7.3.	Número de giros para compactar al 7±1% de vacío probetas de 6" del compactador giratorio que utilizan ligante PG76-22	35
3.7.4.	Número de giros para compactar al 7±1% de vacío para probetas de 6" del compactador giratorio que utilizan RAP ½" y ligante AMP60/80	37
3.8.	Módulo de Rigidez.....	38
3.8.1.	Módulo de Rigidez para briquetas de 4" mezcladas con ligante PG76-22	38
3.8.2.	Módulo de Rigidez para briquetas de 4" con RAP de ½" y ligante AMP60/80	39
3.9.	Efecto de la humedad en las mezclas Asfálticas, TSR.	40
3.9.1.	Resultados del ensayo TSR para briquetas de 4" tipo Marshall con ligante PG76-22 41	
3.9.2.	Resultados del ensayo TSR para briquetas de 4" tipo Marshall con Rap de ½" y ligante AMP80/60.	42
3.10.	Ahuellamiento en seco a 60°C.....	43
3.11.	Compactabilidad con STA a 75 giros	44
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
4.1.	Temperatura de mezclado y compactación en laboratorio de los ligantes asfálticos PG76-22 y AMP 60/80.....	45
4.1.1.	Ligante AMP60/80.....	45
4.1.2.	Ligante PG76-22	46
4.2.	Resultados de los ensayos realizados para las briquetas compactadas con el método Marshall.....	46
4.2.1.	Ensayo de cubrimiento.....	46
4.2.2.	Densidad máxima sin compactar. DMM	46
4.2.3.	Estabilidad y Fluencia	46
4.2.4.	Módulo de Rigidez.....	47
4.2.5.	Análisis de los resultados del efecto de la humedad en las mezclas Asfálticas, TSR.48	
4.3.	Resultados de los ensayos realizados para las briquetas compactadas con el compactador giratorio utilizando los dos ligantes asfálticos modificados PG76-22 Y AMP 60/80 49	
4.3.1.	Curvas de compactación	49
4.3.2.	Resistencia al ahuellamiento.....	50

5. CONCLUSION	51
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Temperaturas de Mezclado y Compactación. Ensayo Perfil de viscosidad rotacional.	19
Tabla 2 -Temperatura de Mezclado y Compactación. Ensayo Steady Shear Flow.	19
Tabla 3 - Tamaño de la muestra de ensaye del árido fino pavimentos asfálticos (Tabla 8.202.3.D MC, 2021).	20
Tabla 4 - Tamaño de la muestra de ensaye del árido fino pavimentos asfálticos.	20
Tabla 5 - Granulometría de los agregados pétreos.....	21
Tabla 6 - Primera extracción de asfalto al RAP 1/2"	22
Tabla 7 - Granulometría del agregado libre de ligante.	22
Tabla 8 - Combinación de los agregados pétreos para las mezclas con ligante PG76-22, Banda Granulométrica IV-A-12.	23
Tabla 9 - Combinación de los agregados pétreos con Rap 1/2", Banda Granulométrica IV-A-12....	24
Tabla 10 - Confección de Bandejas que utilizaron PG76-22.	26
Tabla 11 - Confección de Briquetas con RAP ½"	27
Tabla 12 - Resultado del grado de cubrimiento de partículas.	28
Tabla 13 - Densidad máxima de la mezcla asfáltica sin compactar.	29
Tabla 14 - Estabilidad y fluencia para briquetas de 4" con ligante PG76-22.	30
Tabla 15 - Estabilidad y fluencia para briquetas de 4" con RAP 1/2" y ligante AMP60/80.	31
Tabla 16 - 7% vacío para probetas de 4" PG76-22 T° Nominal.	32
Tabla 17 - 7% vacío para probetas de 4" con RAP 1/2" con ligante AMP60/80 a T° Nominal.....	33
Tabla 18 - 7% vacío para probetas de 4" con RAP 1/2" con ligante AMP60/80 a T° Alternativa.	34
Tabla 19 - 7% vacío para probetas de 4" con ligante PG76-22.	35
Tabla 20 - 7% vacío para probetas de 6" con RAP 1/2" y ligante AMP60/80 a T° Nominal.....	37
Tabla 21 - Modulo de rigidez en briquetas de 4" con ligante PG76-22.	39
Tabla 22 - Modulo de rigidez en briquetas de 4" con RAP 1/2" y ligante AMP60/80.	40
Tabla 23 - TSR PG76-22 Temperatura Nominal.	41
Tabla 24 - TSR PG76-22 Temperatura Alternativa.	42
Tabla 25 - Resultado ensayo TSR AMP60/80 con RAP 1/2" temperatura nominal.	42
Tabla 26 - Resultado ensayo TSR AMP60/80 con RAP 1/2" temperatura alternativa.	42
Tabla 27 - Resultados del ensayo de resistencia al ahuellamiento para las mezclas realizadas con ligantes PG76-22 y AMP 60/80.	43
Tabla 28 - Detalles del ensayo de curvas de compactación para ambos ligantes a distintas temperaturas.....	44
Tabla 29 - Diferencias de temperaturas entre los entre los ensayos.	45
Tabla 30 - Análisis de la Estabilidad y Fluencia de las mezclas.	47
Tabla 31 - Comparación de resultados del ensayo Modulo de Rigidez.	48
Tabla 32 - Resumen del análisis del ensayo TSR.	48
Tabla 33 - Razón de giros para las mezclas que utilizaron ambos ligantes.	49
Tabla 34 - Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de Ahuellamiento.	50

Tabla 35: Certificado de calidad AMP 60/80 NP1801 (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 1).....	55
Tabla 36: Certificado de calidad PG76-22 NP1803 (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 2).....	55
Tabla 37: Dosificación áridos en peso (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 3). 55	
Tabla 38: Parámetros Marshall, 75 golpes por cara (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 4).....	56
Tabla 39: Dosificación áridos en peso (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 5). 56	
Tabla 40: Parámetros Marshall, 75 golpes por cara (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 6).....	57
Tabla 41 - Resultado del ensayo TSR PG 76-22 Temperatura nominal.....	59
Tabla 42 - Resultado ensayo TSR PG76-22 temperatura alternativa.....	60
Tabla 43 - Resultado ensayo TSR AMP60/80 con RAP 1/2" Temperatura nominal.....	61
Tabla 44 - Resultado detallado ensayo TSR AMP60/80 con RAP 1/2" temperatura alternativa.....	62

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 - Ensayo Flujo de Corte Constante SFF (Muñoz M. José - Rebolledo Francisco, 2019, fig. 2-2).	17
Imagen 2 - Extrapolación de Viscosidad SSF. (Etapa I: Estudio Temperaturas de Mezclado y Compactación de Asfaltos Modificados, s. f., grf. 2–3).....	18
Imagen 3 - Combinación Granulométrica de los agregados para mezclas con ligante pG76-22. Banda Granulométrica IV-A-12.	24
Imagen 4 - Combinación Granulométrica de los agregados con Rap 1/2" y ligante AMP60/80. Banda Granulométrica IV-A-12.	25
Imagen 5 - Bandejas de Áridos.....	26
Imagen 6 - Cubrimiento de Partículas.....	28
Imagen 7 - Bandeja con la mezcla sin compactar para determinar su DMM.....	29
Imagen 8 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 4" PG76-22 temperatura nominal.	32
Imagen 9 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 4" PG76-22 temperatura alternativa.	33
Imagen 10 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 4" con RAP 1/2", temperatura nominal con ligante AMP60/80. A T° Nominal.	34
Imagen 11 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 4" con RAP 1/2", temperatura nominal con ligante AMP60/80. A T° alternativa.	35
Imagen 12 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 6". T° nominal con ligante PG76-22.....	36
Imagen 13 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 6" T° alternativa con ligante PG76-22.....	36
Imagen 14 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 6" con RAP 1/2". Ligante AMP60/80 a T° Nominal.....	37
Imagen 15 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 6" con RAP 1/2". Ligante AMP60/80 a T° Alternativa.	38
Imagen 16 - Resultado del ensayo de ahuellamiento de briquetas 120 y 121.....	43

Imagen 17 - Comparación de las distintas temperaturas de mezclado y compactación del ligante AMP60/80.	45
Imagen 18 - Comparación de las distintas temperaturas de mezclado y compactación del ligante AMP60/80.	46
Imagen 19 - Gráfico comparativo de la estabilidad Marshal en ambos ligantes a distintas temperaturas con su porcentaje promedio de vacíos de aire en las briquetas correspondientes. .	47
Imagen 20 – Comparación gráfica de los resultados promedio obtenidos del ensayo Módulo de Rigidez.	48
Imagen 21 - Comparación gráfica de los resultados promedio obtenidos del ensayo TSR.....	49
Imagen 22 - Representación Gráfica de la razón de giro para las briquetas de 6".....	50
Imagen 23: Granulometría mezcla asfáltica IV-A-12 con ligante PG76-22 (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Gráfico 2-1).	56
Imagen 24: Granulometría mezcla asfáltica IV-A-12 con AMP 60/80 (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Gráfico 2-2).	57
Imagen 25 - Ahuellamiento en seco PG76-22 T° Nominal.....	73
Imagen 26 - Ahuellamiento en seco PG76-22 T° alternativa.	74
Imagen 27 - Ahuellamiento en seco en briquetas de 6" con RAP 1/2" y ligante AMP60/80 T° Nominal.	75
Imagen 28 - Ahuellamiento en seco en briquetas de 6" con RAP 1/2" y ligante AMP60/80 T° Alternativa.....	76
Imagen 29 - Curva de compactación PG76-22 T° nominal N° 3123 T° 166°C.	78
Imagen 30 - Curva de compactación PG76-22 T° nominal N° 3124 T° 166°C.	79
Imagen 31 - Curva de compactación PG76-22 T° nominal N° 3121 T° 136°C.	80
Imagen 32 - Curva de compactación PG76-22 T° nominal N°3122 T° 136°C.	81
Imagen 33 - Curva de compactación PG76-22 T° alternativa N°3150 a 157°C.	82
Imagen 34 - Curva de compactación PG76-22 T° alternativa N°3151 a 157°C.	83
Imagen 35 - Curva de compactación PG76-22 T° alternativa N°3148 T° 127°C.....	84
Imagen 36 - Curva de compactación PG76-22 T° Alternativa N°3149 T° 127°C.	85
Imagen 37 - Curva de compactación AMP60/80 T° Nominal a N°3201 T° 157°C.	86
Imagen 38 - Curva de compactación AMP60/80 T° Nominal N°3217 T° 157°C.	87
Imagen 39 - Curva de compactación AMP60/80 T° Nominal N°3216 T° 127°C.....	88
Imagen 40 - Curva de compactación AMP60/80 T° Nominal N°3204 T° 127°C.	89
Imagen 41 - Curva de compactación AMP60/80 T° Alternativa N°3214 T° 150°C.....	90
Imagen 42 - Curva de compactación AMP60/80 T° Alternativa N°3215 T° 150°C.....	91
Imagen 43 - Curva de compactación AMP60/80 T° Alternativa N°3210 T° 120°C.....	92
Imagen 44 - Curva de compactación AMP60/80 T° Alternativa N°3211 T° 120°C.....	93

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 – Grado de cubrimiento.....	28
Ecuación 2 - Resistencia a la Tracción, kPa.	41
Ecuación 3 - Resistencia a la tracción en %.	41

ANEXOS

ANEXO A: Estudio de dosificación, PG76-22 y AMP60/80 con un tamaño máximo de 19 mm Tránsito Pesado. (Etapa II plan experimental: mezclado y compactación en laboratorio, mezclado y compactación de mezclas asfálticas con ligante modificado con polímero)	54
ANEXO B: Resultados del ensayo Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt concrete paving Mixture (Sensibilidad a la humedad por medio de ensayo de tensión indirecta TRS).....	58
ANEXO C: Informe del módulo resiliente por compresión diametral (EN 12697-26:2004) para briquetas de 4” con ligante PG76-22.	63
ANEXO D: Gráficos de deformación producto del ahuellamiento en seco a 60°C para ambos ligantes asfálticos.	72
ANEXO E: Detalles del ensayo de Curvas de compactación para para ambos tipos de ligantes utilizados a distintas temperaturas según lo indica el ensayo.....	77

1. INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES GENERALES

Actualmente los métodos utilizados para determinar las temperaturas de mezclado y compactación en ligantes asfálticos sin modificar parecen no ser los más óptimos para determinar la temperatura de mezclado y compactación en asfaltos modificados con polímeros entregando resultados de las temperaturas más alto de lo recomendado, esto debido a que los métodos convencionales se enfocan más en analizar solo la propiedad viscosa del asfalto aludiendo su propiedad viscoelástica. Los métodos convencionales como el *Perfil de viscosidad rotacional* entregan resultados con temperaturas hasta por sobre los 190°C siendo excesivamente altas lo cual se traduce en un aumento del consumo energético en las plantas de mezclado, lo que implica un aumento en partículas contaminantes para el medio ambiente y dañinas para los trabajadores, además de una posible degradación de las propiedades del ligante aumentando el envejecimiento en planta y la emanación de gases en el proceso de colocación y compactación del asfalto.

Para ello se están probando una serie de métodos alternativos que tomen en cuenta no solo la propiedad viscosa del asfalto, sino que también su propiedad viscoelástica. Uno de los métodos utilizados es el Barrido de frecuencias (ángulo de fase) y el “Steady Shear Flow” (SSF).

Los ensayos realizados a los ligantes para poder determinar sus temperaturas de mezclado y compactación pertenecen a la primera etapa titulada “Etapa I: Estudio Temperaturas de Mezclado y Compactación de Asfaltos Modificados” este trabajo fue desarrollado en el laboratorio *CDI de Bitumix*.(2019, Capítulo I).

La presente memoria se basa en validar uno de los métodos alternativos utilizados en la *Etapa I* de este estudio para determinar las temperaturas de mezclado y compactación de los dos ligantes modificados a utilizar. Este trabajo de investigación pertenece a una parte de la “Etapa II Plan experimental: Mezclado y compactación en laboratorio” que se encuentra en desarrollo. Se evaluará el método Steady Shear Flow comparándolo con un método convencional utilizado en nuestro país llamado *Perfil de viscosidad rotacional*.

Para ello se realizarán una serie de mezclas asfálticas con el fin de evaluar sus propiedades volumétricas y de desempeño en carpeta de rodadura. El agregado pétreo se ajustará a la banda granulométrica IV-A-12 utilizando en una de las mezclas un porcentaje de RAP. Se utilizarán dos ligantes asfálticos modificados con polímeros (AMP 60/80 y un PG76-22), con el objetivo de poder realizar dos comparaciones de desempeño entre una “mezcla patrón” y otra mezclada y compactada a una menor temperatura determinada con el método SSF. De esta manera se pretende demostrar si las mezclas con menor temperatura cumplen con los requisitos para poder satisfacer los distintos requerimientos de mezclado, compactación y desempeño en laboratorio. Cabe destacar que las temperaturas a utilizar son entregadas por los encargados del área de ligantes del *CDI*.

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1. OBJETIVOS GENERALES

- Validar en laboratorio el método *Steady Shear Flow* mediante la comparación de resultados de desempeño en distintos ensayos entre una “mezcla patrón” mezclada y compactada a temperaturas determinadas por el método convencional *Perfil de viscosidad rotacional* y otra mezclada y compactada a temperaturas más bajas determinadas con el método alternativo *Steady Shear Flow*.
- Determinar las temperaturas de mezclado y compactación utilizando un método convencional y el *Steady Shear Flow*.
- Cumplir las exigencias en cada ensayo entregadas por las diferentes normas a utilizar.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Calcular el número de golpes para compactar briquetas de 4 pulgadas al 7 ± 1 % de vacío
- Calcular el número de giros para compactar briquetas de 6 pulgadas al 7 ± 1 % de vacío
- Determinar el módulo de rigidez en briquetas de 4 y 6 pulgadas.
- Medir la estabilidad y fluencia en briquetas de 4 pulgadas.
- Determinar el ahuellamiento en seco a 60°C en briquetas de 6 pulgadas
- Determinar el nivel de cubrimiento en las mezclas asfáltica.
- Determinar el daño por humedad por medio del ensayo TSR.

1.2.3. ALCANCES DEL ESTUDIO

- En el presente estudio de memoria se validará en laboratorio el método “*Steady Shear Flow*” mediante la comparación con el método tradicional que se utiliza en Chile llamado “*Perfil de viscosidad rotacional*”, ambos métodos son utilizados para estimar las temperaturas de mezclado y compactación.
- Para las mezclas asfálticas, se utilizará un tamaño máximo nominal de 19 [mm].
- Todo lo que respecta a mezclas asfálticas, compactación de mezclas asfálticas, confección de probetas y ensayos realizados en laboratorio se llevan a cabo en las dependencias del Centro de Investigación (C.D.I.) de Bitumix.
- Las probetas de 4” se compactarán utilizando el método Marshall y para las de 6” se compactarán con el compactador giratorio Superpave (SGC).
- Se cumplirán los requerimientos de cada proceso según su norma correspondiente.

1.2.4. METODOLOGIA DE TRABAJO

Etapas I: Revisión bibliográfica

- Lectura y estudio de normas AASHTO, ASTM, UNE Y Manual de carreteras pertinentes con mezclas asfálticas en caliente y los ensayos de módulo de rigidez, cubrimiento de partículas, densidad hídrica, estabilidad y fluencia, curva de compactación, Compactabilidad, granulometría de un árido, además de las

normas que rigen los ensayos realizados a los ligantes asfálticos Steady shear Flow y viscosidad rotacional.

- Revisión de libros, papers.

Etapa II: Preparación de los áridos

- Determinación de granulometría del árido y RAP a utilizar
- Determinación del porcentaje de ligante del rap
- Ajuste de la granulometría a la banda granulométrica a trabajar
- Preparación de bandejas de 1100 [g] y 4900 [g] de áridos

Etapa III: Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación

- Recopilación de las temperaturas obtenidas por el laboratorista encargado del ensayo

Etapa IV: Preparación de las mezclas asfálticas y su compactación

- Preparación de las mezclas asfálticas correspondientes al ligante a utilizar
- Compactación de las briquetas de 4 y 6 pulgadas utilizando el método Marshall y el compactador giratorio respectivamente

Etapa V: Determinación de sus propiedades volumétricas y de desempeño

- Realización de los diferentes ensayos utilizados para determinar las propiedades volumétricas y de desempeño en carpeta de rodadura

Etapa VI: Análisis de resultados

- Análisis comparativos de los resultados obtenidos utilizando diferentes asfaltos y temperaturas
- Análisis estadístico de los ensayos realizados
- Confección de gráficos comparativos
- Conclusión de resultados obtenidos

1.2.5. ESTRUCTURA DE MEMORIA

El presente trabajo se encuentra estructurado por 7 capítulos incluyendo referencias bibliográficas y anexos. A continuación, se presenta una breve descripción de cada capítulo.

Capítulo 1: Introducción

Se exponen los antecedentes generales donde se destaca la importancia del trabajo a realizar, mencionando los objetivos a cumplir, los alcances del estudio y se presenta un breve resumen de los capítulos.

Capítulo 2: Revisión bibliográfica

Se abarcan detalles del método Steady shear Flow, perfil de viscosidad rotacional y el ensayo de cubrimiento

Capítulo 3: Trabajo en Laboratorio

Se realizarán una serie de ensayos para poder determinar los parámetros necesarios para alcanzar los objetivos del presente informe para ello se utilizarán dos dosificaciones para mezclas asfálticas semidensas banda IV-A-12 con ligante modificado AMP 60/80 y PG76-22.

1. Para determinar las temperaturas de mezclado y compactación en laboratorio de los ligantes asfálticos los ensayos a realizar son:
 - Perfil de viscosidad rotacional – AASHTO T316-19
 - Steady shear Flow (SSF) – NCHRP Report 648
2. Para los áridos a utilizar
 - Granulometría de los áridos
 - Granulometría del RAP a utilizar
 - Extracción del ligante del RAP
 - Confección de bandejas de áridos
3. Mientras que para determinar las propiedades y desempeño de las mezclas asfálticas los ensayos dependerán del método de compactación.

3.1 Para las briquetas compactadas con el método Marshall los ensayos a realizar son:

- Cubrimiento de partículas – (AASHTO T195-18)
- DMM – (MC 8.302.37)(MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021)
- Densidad hídrica – (MC 8.302.38)(MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021)
- Módulo de rigidez a 15°C – (EN 12697 -26)(CEN-CENELECManagement Centre, 2015)
- Estabilidad y fluencia – (MC 8.302.40)(MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021)

3.2 Para las briquetas compactadas con el método PCG:

- Curva de compactación – (PCSI – CEI)(American Association of State Highway and Transportation Officials, 2015, p. 26 y 27)
- Densidad hídrica – (AASHTO T195-18)(AASHTO, 2019)
- Resistencia al ahuellamiento en seco a 60°C – (EN 12697-22)(Group Headquarters, 2013)

Capítulo 4: Análisis de resultados

Se realiza un análisis de los resultados obtenidos correspondiente a las mezclas asfálticas realizadas y ensayadas utilizando los diferentes ligantes asfálticos

Capítulo 5: Conclusiones

Se exponen conclusiones finales del trabajo desarrollado como memoria de título, respondiendo a los objetivos planteados inicialmente

Capítulo 6: Referencias Bibliográficas

Se indica el material bibliográfico utilizado durante el desarrollo del presente trabajo

Anexos: Se adjunta información complementaria de acuerdo al trabajo realizado en el desarrollo del estudio.

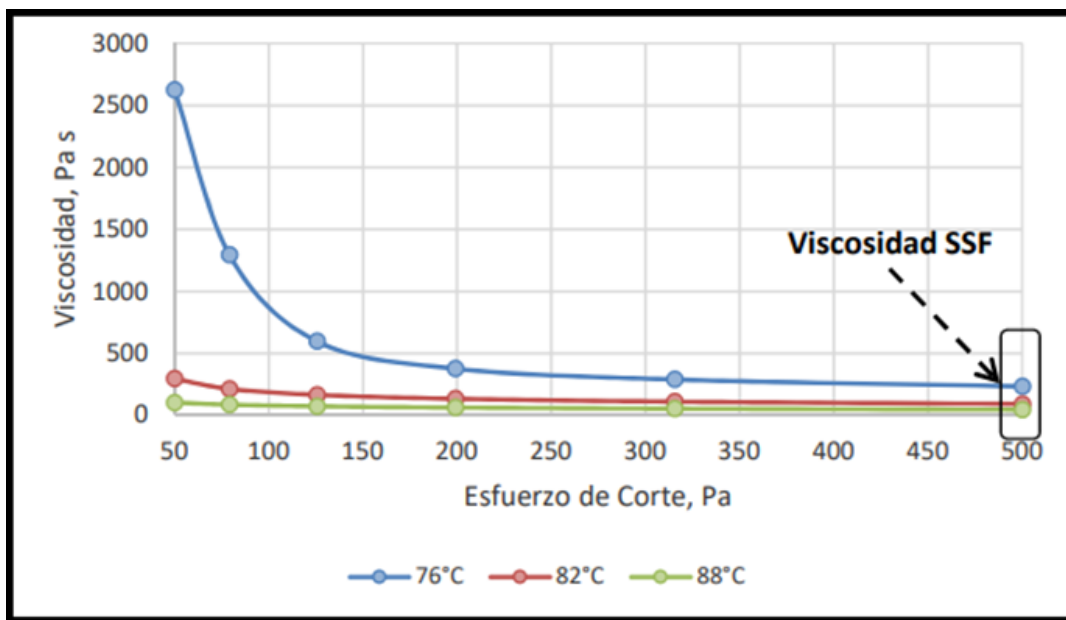
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Steady shear Flow (SSF)

Actualmente este método se utiliza como un ensayo alternativo de prueba para determinar las temperaturas de mezclado y compactación de ligantes modificados con polímeros.

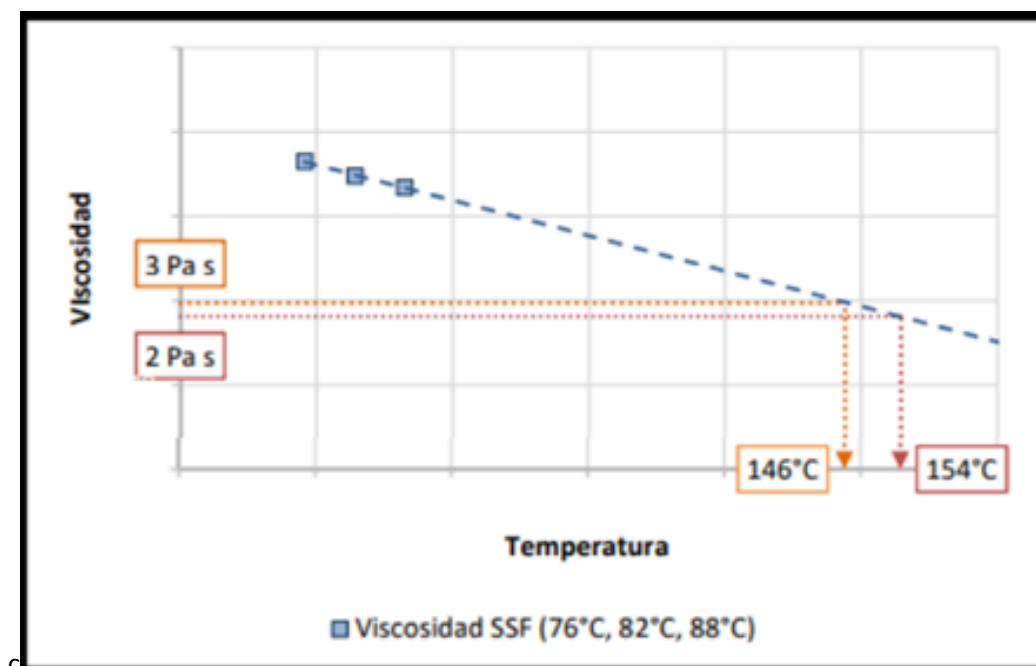
Se utiliza un reómetro de corte dinámico (DSR) con una geometría de placa paralela de 25 [mm] de diámetro y un espacio de 0.5 [mm]. La viscosidad del ligante se mide de forma constante durante un rango de esfuerzos de corte a temperaturas que oscilan entre 76 y 94 [°C]. Para un esfuerzo de corte alrededor de los 500 [Pa] la viscosidad del asfalto modificado se acerca a un estado estable alcanzando un estado de viscosidad constante. **Imagen 1**.

Imagen 1 - Ensayo Flujo de Corte Constante SSF (Muñoz M. José - Rebolledo Francisco, 2019, fig. 2-2).



Utilizando un gráfico de viscosidad versus temperatura y ajustando la curva a una logarítmica, los resultados de viscosidad a un esfuerzo de corte de 500 [Pa] se extrapolan hasta los 180 [°C] para poder determinar los valores de viscosidad a temperaturas inferiores. A su vez la temperatura de mezclado se selecciona a una viscosidad cercana a los 0.17 ± 0.02 [Pa s], se puede observar de mejor forma en la **Imagen 2**. Por otra parte, lo recomendado por el creador de este método *Reinke* es que la temperatura de compactación se debe seleccionar a una viscosidad de 0.35 ± 0.03 [Pa s]. (American Association of state Highway Transportation Officials, 2010, Capítulo Appendix c)

Imagen 2 - Extrapolación de Viscosidad SSF. (Etapa I: Estudio Temperaturas de Mezclado y Compactación de Asfaltos Modificados, s. f., grf. 2–3)



3. TRABAJO EN LABORATORIO

3.1. Ligante Asfáltico

3.1.1. Temperatura del ligante

Se realizan los ensayos pertinentes a cada asfalto para determinar la temperatura de mezclado y compactación de las futuras mezclas asfálticas.

Se utilizan los dos métodos mencionados en el presente estudio, el método convencional *Perfil de Viscosidad Rotacional* y el alternativo *Steady Shear Flow*. Los ensayos son realizados por el técnico encargado del área de ligantes ya que se requiere capacitación previa además de experiencia y precisión para un buen resultado.

Los resultados fueron entregados de la siguiente manera:

- Perfil de viscosidad rotacional (AASHTO T316-19) **Tabla 1.** (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes. AASHTO, 2019)

Tabla 1 - Temperaturas de Mezclado y Compactación. Ensayo Perfil de viscosidad rotacional.

Muestra	Viscosidad Rotacional, cP			Temperatura de mezclado (2P), °C	Temperatura de compactación (3P), °C
	135°C	150°C	170°C		
AMP 60-80	777	388	182	167	157
PG76-22	1162	564	259	177	166

- Steady Shear Flow (SSF) **Tabla 2**.

Tabla 2 - Temperatura de Mezclado y Compactación. Ensayo Steady Shear Flow.

Muestra	Viscosidad SSF, cp.			Temperatura de mezclado (2P), °C	Temperatura de compactación (3P), °C
	76°C	82°C	88°C		
AMP 60-80	76784	39991	21814	161	150
PG76-22	172844	83749	43788	166	157

3.1.2. Proporción de ligante en la mezcla asfáltica

Los porcentajes de ligante asfáltico que se utilizarán para la confección de las distintas mezclas asfálticas en caliente son respecto a la masa total del agregado a utilizar en cada mezcla. Los valores son los recomendados por el certificado que entrega el fabricante del ligante. Para las mezclas que utilizan el ligante PG76-22 el porcentaje de asfalto respecto a la masa del agregado es de 4,9% y para las mezclas que utilizan AMP60/80 el porcentaje de ligante a utilizar es de 4,7% estos valores se pueden observar en el **ANEXO A**.

3.2. Agregados pétreos

3.2.1. Selección del agregado

El agregado utilizado proviene de una cantera ubicada en la comuna de Maipú con su respectiva ficha que data su procedencia, el cual se utiliza para diferentes estudios en laboratorio. El material se encuentra guardado en cuatro contenedores plásticos herméticos con el fin de no sufrir alteraciones por el clima. El agregado se encuentra separado en Gravilla de ¾", Gravilla de ½", polvo roca bajo ¾" y RAP de ½". Además, se utilizará Filler recuperado de la misma planta de mezclado de Bitumix.

3.2.2. Análisis Granulométrico

Se debe determinar las fracciones granulométricas de cada agregado, los resultados obtenidos son utilizados para realizar una combinación entre ellos que este dentro de la banda granulométrica a utilizar.

Las granulometrías de los agregados pétreos utilizados se realizaron según el manual de carreteras "Método para tamizar y determinar la granulometría". (2021, Capítulo MC VOL 8.202.3)

El primer paso realizado fue extraer las cantidades necesarias señaladas por el manual de carreteras (MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021, p. 260)

- Para áridos finos. **Tabla 3.**

Tabla 3 - *Tamaño de la muestra de ensaye del árido fino pavimentos asfálticos (Tabla 8.202.3.D MC, 2021).*

Tamiz mm	% retenido	Masa mínima de la muestra (g)
2,36	> 15%	Ver 8.1 b)
2,36	≤ 15%	100

- Para áridos gruesos. **Tabla 4.**

Tabla 4 - *Tamaño de la muestra de ensaye del árido fino pavimentos asfálticos.*

Tamaño máximo nominal (Dn)(mm)	Masa Mínima de la muestra (Kg)
75	32
63	25
50	20
37,5	16
25	10
19	8
12,5	5
9,5	4

Una vez extraídas las muestras de los agregados se realiza un cuarteo según el MC. VOL. N°8.202.2: “Método de Cuarteos de Muestras”(MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021, p. 257) Para ambos casos mencionados anteriormente se trabajó con masas superiores a las indicadas por el manual de carreteras para así tener un mejor control del muestreo.

Los resultados del análisis granulométrico de los tres agregados utilizados se presentan en la **Tabla 5.**

Tabla 5 - Granulometría de los agregados pétreos.

Granulometría					
Tamiz		Porcentaje que pasa (%)			
		Grava 3/4"	Gravilla 1/2"	Polvo Roca 3/8"	Filler Recuperado
[mm]	ASTM				
80	3"	100	100	100	100
63	2 1/2"	100	100	100	100
50	2"	100	100	100	100
37,5	1 1/2"	100	100	100	100
25	1"	100	100	100	100
19	3/4"	100	100	100	100
12,5	1/2"	30	100	100	100
9,5	3/8"	1	74	100	100
4,75	N°4	0	50	91	100
2,36	N°8	0	16	61	100
1,18	N°16	0	2	42	100
0,63	N°30	0	1	31	100
0,315	N°50	0	0	23	98
0,15	N°100	0	0	16	91
0,075	N°200	0	0	12	75
0,063	Bajo N°200	0	0	5	43

3.2.3. RAP ½"

Para las mezclas que se realizarán con el ligante AMP 60/80 se utilizará RAP ½" ya que así se puede determinar el comportamiento de las mezclas tibias utilizando este material reciclado. Además, la granulometría que entrega el CERTIFICADO A 3525/20 "Estudio de dosificación de CONCRETO ASFALTICO en caliente con AMP 60/80 y un tamaño máximo de 19 mm Tránsito Pesado". tiene incorporado el RAP ½" en el cálculo de la dosificación del ligante.

3.2.3.1. Extracción y granulometría del RAP.

Se realiza la extracción correspondiente al RAP, en el proceso se utilizan Tricloro líquido para diluir el ligante y así poder dejar limpio el agregado pétreo utilizando una centrifuga especial. El material se seca en horno a 110±5°C hasta obtener masa constante, una vez seco se procede con la extracción. Cabe destacar que la extracción es realizada por el personal calificado del CDI, esto debido al alto riesgo de intoxicación y posibles irritaciones en la piel, vías respiratorias u ojos. Luego de varios lavados hasta que el material quede libre de asfalto el agregado extraído se procede a secar hasta obtener masa constante y así determinar su granulometría según el MC. VOL. 8.302.28 (MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021, p. 594) y obtener la diferencia de peso entre el peso inicial del RAP y el final libre de ligante. Mientras que el proceso para determinar el contenido de asfalto por ignición se realiza de acuerdo al MC. VOL 8.302.56: "Método para Determinar el Contenido de Asfalto por ignición"(MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021, p. 711).

Los resultados de la primera extracción están expresados en la **Tabla 6** mientras que el resultado de la granulometría de agregado limpio de ligante se puede observar en la **Tabla 7**.

Tabla 6 - Primera extracción de asfalto al RAP 1/2"

N°	Variables	Extracción 1	Extracción 2
1	Peso inicial (muestra con asfalto) (grs.)	2480,13	2616,3
2	Peso material pétreo sin asfalto (grs.)	2355,3	2484,9
3	Peso filtro final (grs.)	22,31	20,17
4	Peso filtro inicial (grs.)	20,2	19,91
5	Diferencia filtro (3-4) (grs.)	2,11	0,26
6	Peso crisol con ceniza (grs.)	52,3	52,38
7	Peso crisol (grs.)	51,93	51,95
8	Diferencia crisol (6-7) (grs.)	0,37	0,43
9	Solvente recuperado (c.c.)	4150	3900
10	Total, cenizas (9*10/100) (grs.)	15,355	16,77
11	Total, pétreos (2+5+10) (grs.)	2372,765	2501,93
12	Asfalto (1-11) (grs.)	107,365	114,37
13	% Asfalto referido al agregado (13/12*100) (%)	4,525	4,571

Tabla 7 - Granulometría del agregado libre de ligante.

Peso Total 1 (grs.)	2372,8	Granulometría 1 - RAP 1/2"				Granulometría 2 - RAP 1/2"			
Peso Total 2 (grs.)	2501,9	Peso retenido	% RET.	% Pasa	% Pasa	Peso retenido	% RET.	% Pasa	% Pasa
Tamiz ("/mm)									
1 1/2"	37	0,00	0,0	0	0	0	0	0	0
1"	25	0,00	0,0	0	0	0	0	0	0
3/4"	20	0,00	0,0	100	100	0	0	100	100
1/2"	12,5	89,0	3,8	96,3	96	89,5	3,6	96,4	96
3/8"	10	211,2	8,9	87,4	87	205,0	8,2	88,2	89
N° 4	5	502,1	21,2	66,2	66	547,3	21,9	66,4	66
N° 8	2,5	397,7	16,8	49,4	49	456,1	18,2	48,1	48
N° 16	1,25	270,0	11,4	38,1	38	357,2	14,3	33,8	34
N° 30	0,63	176,1	7,4	30,6	31	209,9	8,4	25,5	25
N° 50	3,15	131,9	5,6	25,1	25	153,4	6,1	19,3	19
N° 100	0,16	99,9	4,2	20,9	21	58,5	2,3	17,0	16
N° 200	0,08	79,5	3,4	17,5	18	150,1	6,0	11,0	11
R		415,5	17,5	0	0	274,9	11,0	0,0	0

3.2.4. Banda Granulométrica

Una correcta distribución granulométrica del agregado a utilizar entrega un correcto funcionamiento para los distintos requerimientos que se necesitan en una carpeta de rodadura.

Para ellos se utilizó la banda granulométrica IV-A-12 (Serviu Metropolitano, 2020, p. 24) ya que es la recomendada según el propio estudio realizado en el CDI para determinar la dosificación del ligante asfáltico (**ANEXO A**).

Para estar dentro de los límites de la banda granulométrica se combinaron los agregados que se utilizaron, para ello se realizó una iteración con las proporciones de cada agregado hasta obtener los valores deseados.

3.2.4.1. Combinación de los agregados para mezclas que utilizaron PG76-22.

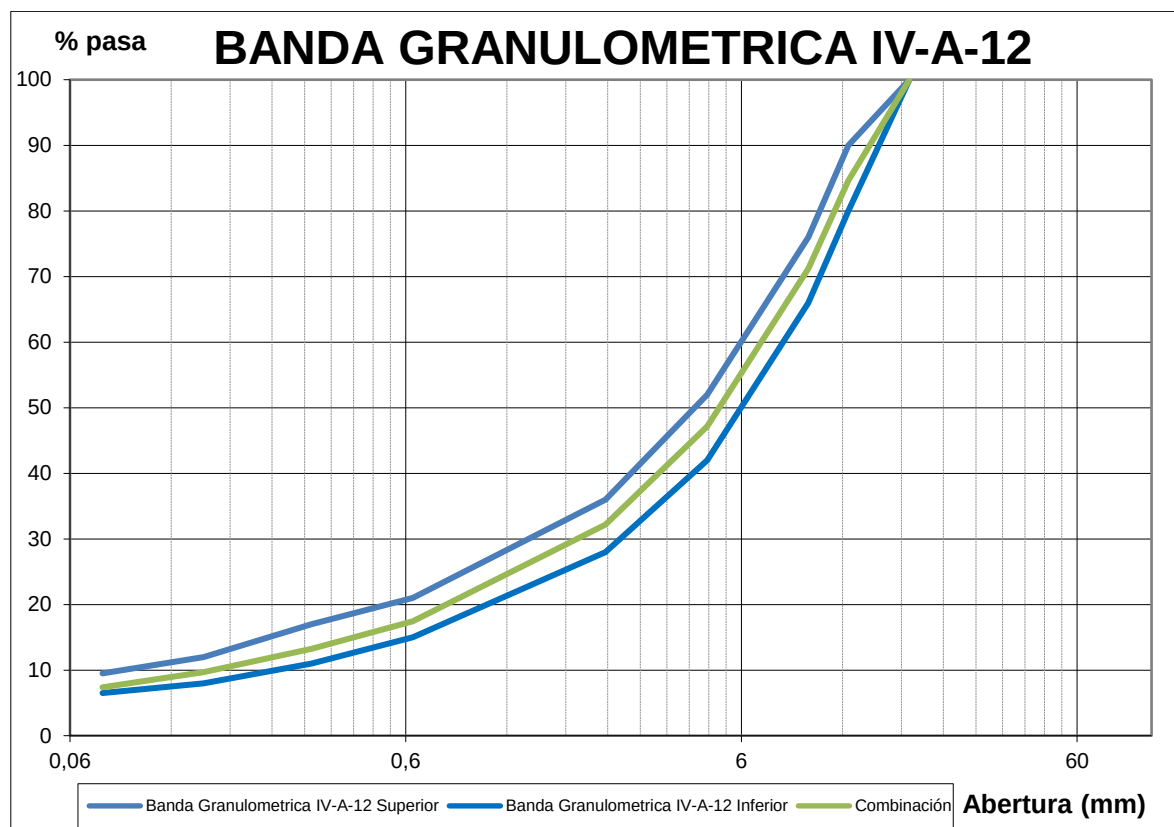
En la **Tabla 8** al final de cada columna de los agregados se muestran las proporciones expresadas en porcentaje para que la combinación quede dentro de la banda granulométrica.

Tabla 8 - Combinación de los agregados pétreos para las mezclas con ligante PG76-22, Banda Granulométrica IV-A-12.

Tamiz	Grava 3/4"	Gravilla 1/2"	Polvo Roca 1/4"	Filler Recuperado	Combinación	Banda Granulométrica IV-A-12	
19	100	100	100	100	100	100	100
12,5	30	100	100	100	85	80	90
9,5	1	74	100	100	71	66	76
4,75	0	2	91	100	47	42	52
2,36	0	1	61	100	32	28	36
0,63	0	1	31	100	17	15	21
0,315	0	0	23	98	13	11	17
0,15	0	0	16	91	10	8	12
0,075	0	0	12	75	7	6,5	9,5
% Mezcla	22%	27%	49%	2%			

Las proporciones elegidas entregan una granulometría que se encuentra dentro de la banda granulométrica que se utilizó. Se puede observar cómo queda la distribución con mayor claridad en el **Imagen 3**.

Imagen 3 - Combinación Granulométrica de los agregados para mezclas con ligante pG76-22. Banda Granulométrica IV-A-12.



3.2.4.2. Combinación de los agregados para mezclas que utilizaran AMP60/80.

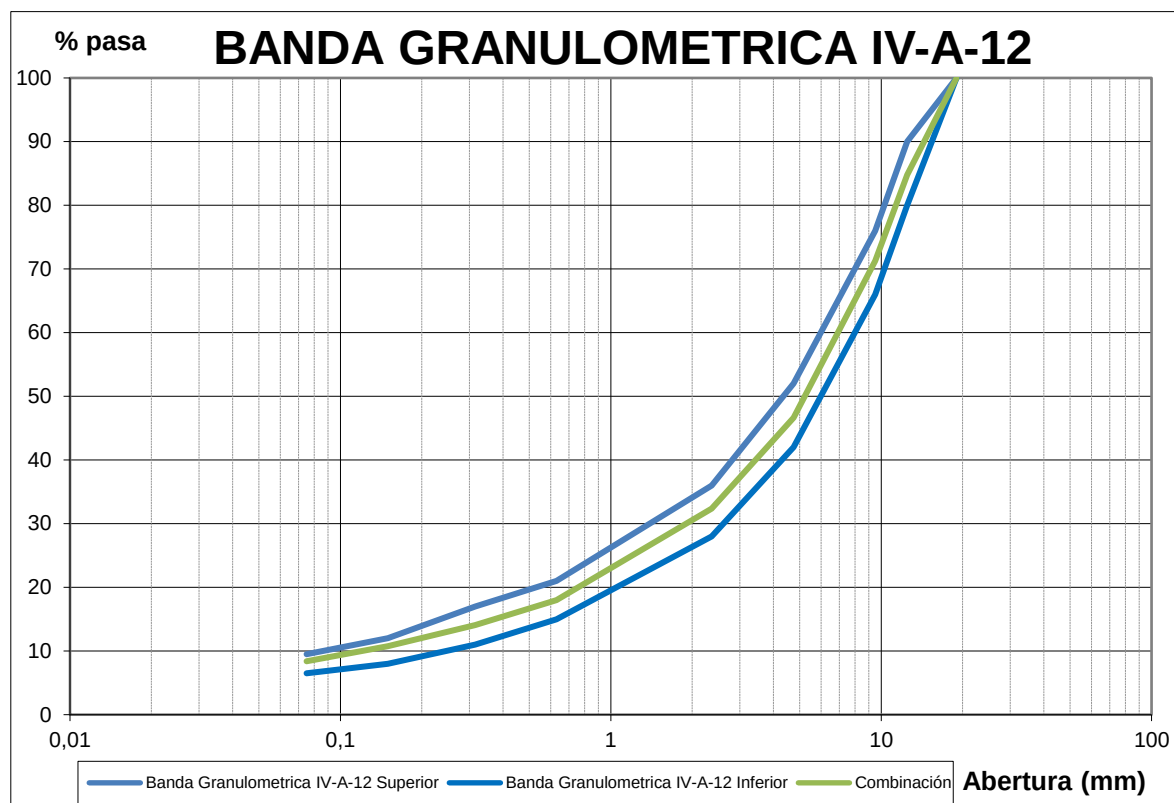
En la **Tabla 9** se muestran las proporciones elegidas de cada agregado para que la combinación quede dentro de la banda granulométrica.

Tabla 9 - Combinación de los agregados pétreos con Rap 1/2", Banda Granulométrica IV-A-12.

Tamiz	Grava 3/4"	Gravilla 1/2"	Polvo Roca 1/4"	Rap 1/2"	Filler Recuperado	Combinación	Banda Granulométrica IV-A-12	
19	100	100	100	100	100	100	100	100
12,5	30	100	100	88	100	85	80	90
9,5	1	74	100	81	100	71	66	76
4,75	1	2	91	66	100	47	42	52
2,36	1	1	61	49	100	32	28	36
0,63	1	1	31	28	100	18	15	21
0,315	1	1	23	22	98	14	11	17
0,15	1	1	16	19	91	11	8	12
0,075	1	1	12	15	75	8	6,5	9,5
% Mezcla	20%	27%	41%	10%	2%			

Las proporciones elegidas entregan una granulometría que se encuentra dentro de la banda granulométrica que se utiliza. Se puede observar cómo queda la distribución con mayor claridad en el **Imagen 4**.

Imagen 4 - Combinación Granulométrica de los agregados con Rap 1/2" y ligante AMP60/80. Banda Granulométrica IV-A-12.



3.2.5. Preparación de bandejas

3.2.5.1. Tamizado de material

Se realizó un tamizado de acuerdo con los pasos en el M.C. Vol. 8.102.1 (MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021) con las cantidades de material necesario para la confección de mezclas y briquetas que se utilizarán. El material se cortó en diferentes tamaños, los tamices utilizados tienen los siguientes tamaños: 3/4", 1/2", 3/8", N°4 y N°8 estos son los recomendados para la correcta confección de las bandejas a utilizar. **Imagen 5**.

Imagen 5 - Bandejas de Áridos.



3.2.5.2. Bandejas para mezclas que utilizan ligante PG76-22

Se confeccionaron un total de 20 bandejas de 1100 [gr] para fabricar briquetas de 4", 2 bandejas de 2000 [gr] para estimar el grado de cubrimiento, 2 bandejas de 2200 [gr] para calcular el DMM y 18 bandejas de 4900 [gr] para la confección de briquetas compactadas en el compactador giratorio. Las cantidades de cada material utilizado para confeccionar las bandejas están en la **Tabla 10**.

Tabla 10 - Confección de Bandejas que utilizaron PG76-22.

Material	Mallas		% Ret.	Mezcla	Peso parcial bandejas de 1100[gr]	Peso parcial bandejas de 2000[gr]	Peso parcial bandejas de 4900[gr]
Grava 3/4"	19 - 12,5		70	0,22	169,40	308,00	754,60
	12,5 - 9,5		29	0,22	70,18	127,60	312,62
	bajo 2,36		1	0,22	2,42	4,40	10,78
Gravilla 1/2"	12,5 - 9,5		26	0,27	77,22	140,40	343,98
	9,5 - 4,75		72	0,27	213,84	388,80	952,56
	4,75 - 2,36		1	0,27	2,97	5,40	13,23
	bajo 2,36		1	0,27	2,97	5,40	13,23
Polvo Roca 1/4"	9,5 - 4,75		9	0,49	48,51	88,20	216,09
	4,75 - 2,36		30	0,49	161,70	294,00	720,30
	bajo 2,36		61	0,49	328,79	597,80	1464,61
Filler Recuperado	bajo 2,36		100	0,02	22,00	40,00	98,00
Masa a Usar [gr]	1100	2000	4900	Total	1100,00	2000,00	4900,00

3.2.5.3. *Bandejas para mezclas con RAP ½" que utilizan ligante AMP60/80*

Se confeccionaron un total de 20 bandejas de 1100 [gr] para fabricar briquetas tipo Marshall de 4", 2 bandejas de 2000 [gr] para estimar el grado de cubrimiento, 2 bandejas de 2200 [gr] para calcular el DMM y 18 bandejas de 4900 [gr] para la confección de briquetas compactadas en el compactador giratorio. Las cantidades de cada material utilizado para confeccionar las bandejas están en la **Tabla 11** como peso parcial.

Tabla 11 - Confección de Briquetas con RAP ½".

Material	Mallas		% Ret.	Mezcla	Peso parcial bandejas de 1100 [gr]	Peso parcial bandejas de 2000 [gr]	Peso parcial bandejas de 4900 [gr]
Grava 3/4"	19 - 12,5		70	0,20	154,00	280,00	686,00
	12,5 - 9,5		29	0,20	63,80	116,00	284,20
	bajo 2,36		1	0,20	2,20	4,00	9,80
Gravilla 1/2"	12,5 - 9,5		26	0,27	77,22	140,40	343,98
	9,5 - 4,75		72	0,27	213,84	388,80	952,56
	4,75 - 2,36		1	0,27	2,97	5,40	13,23
	bajo 2,36		1	0,27	2,97	5,40	13,23
Polvo Roca 1/4"	9,5 - 4,75		9	0,41	40,59	73,80	180,81
	4,75 - 2,36		30	0,41	135,30	246,00	602,70
	bajo 2,36		61	0,41	275,11	500,20	1225,49
Rap 1/2"	12,5 - 9,5		8	0,10	9,20	16,72	40,96
	9,5 - 4,75		22	0,10	25,29	45,98	112,65
	4,75 - 2,36		17	0,10	19,54	35,53	87,05
	bajo 2,36		49	0,10	56,33	102,41	250,90
Filler Recuperado	bajo 2,36		100	0,02	22,00	40,00	98,00
% de asfalto en rap			4,5%				
Masa a Usar [gr]	1100	2000	4900	Total	1100	2000,64	4901,57

3.3. Mezclado y compactación

El proceso de mezclado y compactado para las mezclas y briquetas de 4" se confeccionaron según indica el M.C. Vol. 8.302.40 (MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021, p. 636). Mientras que para las mezclas y briquetas de 6" se confeccionaron según indican las especificaciones Superpave (AASHTO T 312-14, 2015). Los detalles de las briquetas se encuentran en cada ensayo realizado en este informe.

3.4. Ensayo de cubrimiento

Este método se utiliza para determinar el grado de cubrimiento de partículas en una mezcla asfáltica, se expresa como el porcentaje de partículas de agregado grueso que están completamente recubiertas con respecto a un total de partículas observadas. La cantidad de mezcla asfáltica que se utilizó para realizar el ensayo está en el rango de 2 a 3,6 [kg]. El ensayo se realizó según la norma AASHTO T195-18 (AASHTO, 2019). En este ensayo el nivel de rigurosidad es alto, si el material no está visiblemente cubierto al 100% por el ligante se considera defectuoso como en la **Imagen 6**

El grado de cubrimiento se determina con la **Ecuación 1**.

$$\text{Cubrimiento, \%} = \frac{(\text{N}^\circ \text{ de partículas totalmente cubiertas} \cdot 100)}{\text{N}^\circ \text{ total de partículas}}$$

Ecuación 1 – Grado de cubrimiento.

El resultado del ensayo se puede observar en la **Tabla 12**. Además, se puede observar cuando se considera que una partícula no está totalmente cubierta en la **Imagen 6**.

Tabla 12 - Resultado del grado de cubrimiento de partículas.

	PG76-22		AMP 60/80	
	Temp. Nominal	Temp. Alternativa	Temp. Nominal	Temp. Alternativa
Peso total, gr	3133,9	2084,9	2078,2	2285,3
N° total de partículas, uní	507	267	304	280
% de Cubrimiento	93%	99%	100%	95%

Imagen 6 - Cubrimiento de Partículas.



3.5. DMM

Los resultados de las densidades de los 4 tipos de mezclas asfálticas sin compactar se muestran en la **Tabla 13**. El procedimiento se realizó según el M.C. Vol. 8.302.37 (MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021). Se puede observar el método con el que se tiene que enfriar una bandeja, al momento de medir la densidad máxima sin compactar esta debe estar lo más suelta posible por lo que esta debe enfriarse en constante movimiento **Imagen 7**.

Tabla 13 - Densidad máxima de la mezcla asfáltica sin compactar.

DMM PG76-22				DMM AMP 60/80			
T° Nominal		T° Alternativa		T° Nominal		T° Alternativa	
1	2	1	2	1	2	1	2
2471	2469	2475	2470	2476	2471	2483	2477
2470		2473		2474		2480	

Imagen 7 - Bandeja con la mezcla sin compactar para determinar su DMM.



3.6. Estabilidad y Fluencia

Se presenta los detalles de la confección de las briquetas de 4" mezcladas y compactadas según lo indica el M.C. 8.302.40 (MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021).

Todas las briquetas fueron compactadas con 75 golpes para luego poder determinar mediante la prensa Marshall su estabilidad y fluencia, ambas debidamente corregidas. A demás se presentan los detalles de las briquetas en cada tabla debidamente señalada.

3.6.1. Resultado de la estabilidad y fluencia en probetas de 4" y PG76-22.

El resultado de la estabilidad y fluencia de Briquetas compactadas a 75 golpes por lado para mezclas asfálticas con el ligante PG76-22 a diferentes temperaturas están expresadas en la **Tabla 14**.

Tabla 14 - Estabilidad y fluencia para briquetas de 4" con ligante PG76-22.

	PG76-22 T° Nominal			PG76-22 T° Alternativa		
N° Briquetas	1	2	3	4	5	6
% Asf.	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
P. material [g]	1101,1	1098,1	1100,1	1097,1	1099,7	1099,9
P. asfalto [g]	54,0	53,8	53,9	53,8	53,9	53,9
P. Total Mez. [g]	1155,1	1151,9	1154,0	1150,9	1153,6	1153,8
Diámetro [mm]	10,16	10,183	10,175	10,16	10,148	10,16
Altura [mm]	59,7	60,13	60,7	60,02	60,1	59,58
P. aire [g]	1137,3	1141,9	1142,8	1131,7	1145,2	1145,4
P. agua [g]	665	665,1	665,2	659,6	672,8	671,6
P.s.s.s. [g]	1138,8	1142,9	1144,2	1134,6	1146,8	1146,6
Vol. [cm ³]	473,8	477,8	479	475	474	475
Abs. Agua [%]	0,32	0,21	0,29	0,61	0,34	0,25
Den. Agua [g/cm ³]	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Vol. Hidr. [cm ³]	475,2	479,2	480,4	476,4	475,4	476,4
Densidad [g/cm ³]	2,393	2,383	2,379	2,376	2,409	2,404
Lect. Estabilidad [Kg]	430	425	445	400	384	416
Lect. Fluencia [mm]	528	560	689	310	297	310
Factor	1,11	1,10	1,08	1,10	1,10	1,12
Estabilidad corregida [Kg]	21294,5	20793,2	21420,2	19629,9	18801,1	20669,9
Fluencia corregida [mm]	21,12	22,4	27,56	12,4	11,88	12,4

3.6.2. Resultado de la estabilidad y fluencia en probetas de 4" con RAP ½" y ligante AMP60/80

El resultado de la estabilidad y fluencia de Briquetas compactadas a 75 golpes por lado para mezclas asfálticas con el ligante AMP60/80 a diferentes temperaturas están expresadas en la **Tabla 15**.

Tabla 15 - Estabilidad y fluencia para briquetas de 4" con RAP 1/2" y ligante AMP60/80.

	AMP60/80 T° Nominal			AMP60/80 T° Alternativa		
N° Briquetas	1	2	3	4	5	6
% Asf	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
P. material [g]	1098,2	1097,4	1098,8	1098,5	1098,6	1098,8
P. árido [g]	1098,2	1097,4	1098,8	1098,5	1098,6	1098,8
P. asfalto [g]	51,6	51,6	51,6	51,6	51,6	51,6
P. Total Mez. [g]	1149,8	1149,0	1150,4	1150,1	1150,2	1150,4
Diámetro [mm]	10,17	10,183	10,18	10,2	10,18	10,16
Altura [mm]	58,68	60,39	61,23	63,63	59,98	61,15
P. aire [g]	1129,6	1135,8	1141,2	1126,3	1134,3	1141,3
P. agua [g]	666	663	671,3	660,6	666,4	666,5
P.s.s.s. [g]	1131,6	1139,4	1143,6	1129	1137,9	1145,9
Vol. [cm ³]	465,6	476,4	472,3	468,4	471,5	479,4
Abs. Agua %	0,43	0,76	0,51	0,58	0,76	0,96
Den. Agua [g/cm ³]	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Vol. Hidr. [cm ³]	467,0	477,8	473,7	469,8	472,9	480,8
Área (mm ²)	8123	8144	8139	8171	8139	8107
Densidad [g/cm ³]	2,419	2,377	2,409	2,398	2,399	2,374
Vacios %	2,220	3,912	2,617	3,323	3,276	4,283
Lect. Estabilidad [Kg]	405	374	368	386	354	354
Lect. Fluencia [mm]	286	385	430	420	310	410
Factor	1,14	1,09	1,06	1,00	1,10	1,07
Estabilidad corregida [Kg]	20629,0	18160,0	17439,0	17140,8	17388,5	16814,0
Fluencia corregida [mm]	11,44	15,4	17,2	16,8	12,4	16,4

3.7. Búsqueda del 7% de vacío en probetas de 4" y 6"

Se realizó una interpolación con el porcentaje de vacío que entregaron diferentes probetas compactadas con 15, 45 y 60 golpes para el caso de las probetas de 4" y con 15, 30, 45 y 75 giros para las probetas de 6", todo esto con el fin de encontrar el número de golpes o giros necesarios para alcanzar un 7±1% de vacíos de aire. Con los porcentajes de vacíos obtenidos de las probetas según sus golpes o giros se confecciona para cada tipo de mezcla un gráfico ajustando la curva para estimar visualmente el número de golpes o giros que se están buscando. ya que para el caso de las probetas de 4" estas son necesarias en los ensayos de Modulo de Rigidez y TSR, y para las de 6" estas se utilizarán en el ensayo de ahueamiento en seco a 60°C.

3.7.1. Número de golpes para compactar al 7±1% de vacío probetas de 4" tipo Marshall que utilizan ligante PG76-22

En la **Tabla 16** - 7% vacío para probetas de 4" PG76-22 T° Nominal. Se muestran los detalles de las probetas utilizadas para encontrar los valores deseados. Mientras que en la **Imagen 8** e **Imagen 9** se pueden apreciar el número de golpes necesario para alcanzar el 7% de vacío de aire para ambas mezclas a compactar.

Tabla 16 - 7% vacío para probetas de 4" PG76-22 T° Nominal.

Probeta N°	T° Nominal			T° Alternativa		
	1	2	3	4	5	6
N° Golpes	15	45	60	15	45	60
Altura [mm]	6,479	6,24	6,083	63,91	61,63	60,8
Diámetro [mm]	10,168	10,178	10,173	101,6	101,4	101,6
Peso aire [g]	1144,3	1146,8	1144,6	1142,3	1143,5	1145
Peso Agua [g]	655,7	661	665,8	656,9	663,6	669,5
Peso S.S.S. [g]	1156,3	1150,3	1145,9	1151,9	1146,6	1148,4
Agua absorbida %	2,397	0,715	0,271	1,939	0,642	0,710
Temperatura Agua	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Densidad Agua [g/cm³]	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Volumen [cm³]	502,06	490,72	481,50	496,44	484,40	480,29
Densidad [g/cm³]	2,279	2,337	2,377	2,473	2,473	2,473
DMM [g/cm³]	2,470	2,470	2,470	2,301	2,361	2,384
% vacío	7,72	5,39	3,76	6,94	4,53	3,58

Imagen 8 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 4" PG76-22 temperatura nominal.

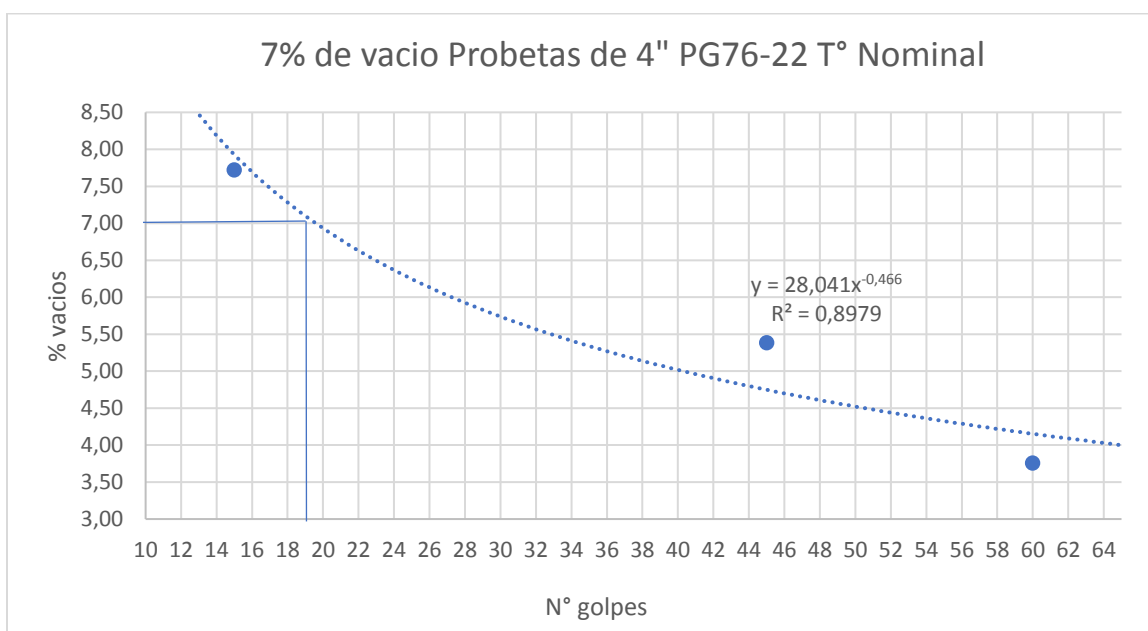
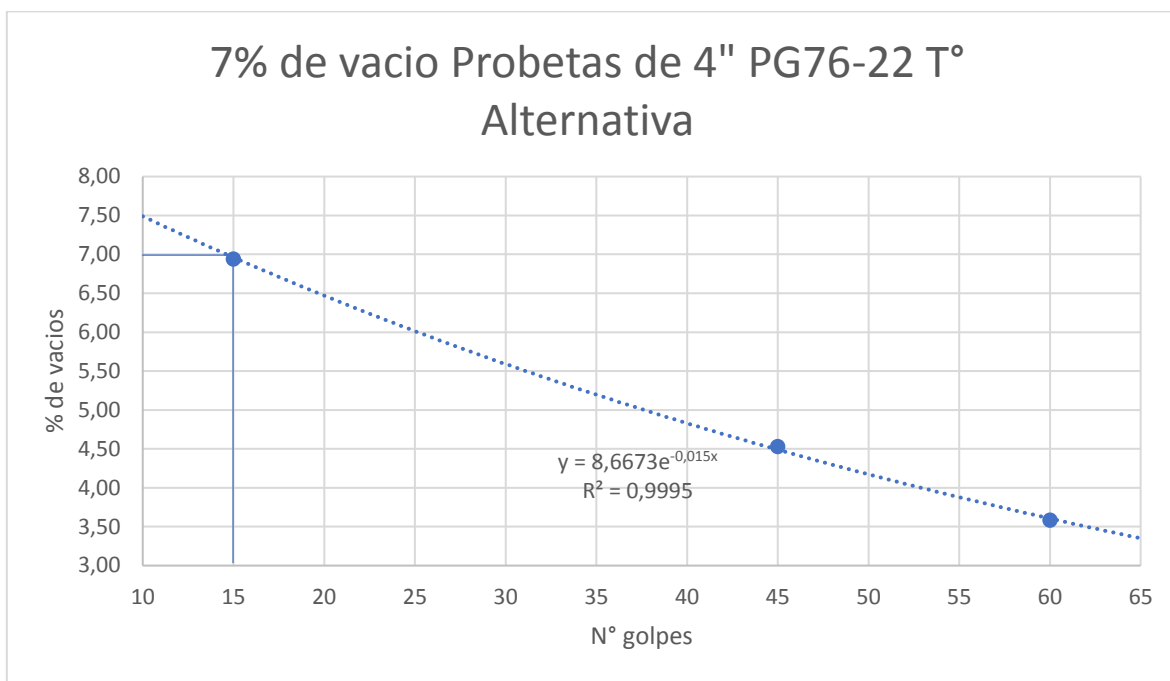


Imagen 9 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 4" PG76-22 temperatura alternativa.



3.7.2. Número de golpes para compactar al $7 \pm 1\%$ de vacío para probetas de 4" tipo Marshall que utilizan RAP $\frac{1}{2}$ " y ligante AMP60/80

En la **Tabla 17** y **Tabla 18** se muestran los detalles de las probetas utilizadas para encontrar los valores deseados. Mientras que en el **Imagen 10** e **Imagen 11** se pueden apreciar el número de golpes necesario para alcanzar el 7% de vacíos de aire para ambas mezclas a compactar.

Tabla 17 - 7% vacío para probetas de 4" con RAP $\frac{1}{2}$ " con ligante AMP60/80 a T° Nominal.

	T° Nominal					
Probeta N°	1	2	3	4	5	6
N° Golpes	15	15	45	45	60	60
Altura [mm]	6,44	6,395	6,083	6,045	5,953	6,023
Diámetro [mm]	10,16	10,19	10,135	10,16	10,165	10,16
Peso aire [g]	1136	1133,8	1138,9	1135,3	1140,3	1129,8
Peso Agua [g]	654,1	651,8	665,3	660	668,5	657,7
Peso S.S.S. [g]	1148,4	1145,9	1141,7	1139	1143,1	1133,4
Agua absorbida %	2,509	2,449	0,588	0,772	0,590	0,757
Temperatura Agua	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Densidad Agua [g/cm³]	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Volumen [cm³]	2474	2474	2474	2474	2474	2474
Densidad [g/cm³]	495,74	495,54	477,79	480,39	475,98	477,08
DMM [g/cm³]	2,292	2,288	2,384	2,363	2,396	2,368
% vacío	7,4	7,5	3,6	4,5	3,2	4,3

Tabla 18 - 7% vacío para probetas de 4" con RAP 1/2" con ligante AMP60/80 a T° Alternativa.

	T° Alternativa					
Probeta N°	1	2	3	4	5	6
N° Golpes	15	15	45	45	60	60
Altura [mm]	6,42	6,355	6,058	6,15	6,005	6,015
Diámetro [mm]	10,16	10,165	10,165	10,17	10,18	10,155
Peso aire [g]	1135,3	1138,8	1135,5	1137,6	1137,2	1132,3
Peso Agua [g]	656	660	662,8	662,2	664,6	660
Peso S.S.S. [g]	1152,3	1152,3	1139,3	1144,8	1140,5	1134,6
Agua absorbida %	3,425	2,742	0,797	1,492	0,693	0,485
Temperatura Agua	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Densidad Agua [g/cm³]	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Volumen [cm³]	497,74	493,73	477,89	484,00	477,28	475,98
Densidad [g/cm³]	2480	2480	2480	2480	2480	2480
DMM [g/cm³]	2,281	2,307	2,376	2,350	2,383	2,379
% vacío	8,0	7,0	4,2	5,2	3,9	4,1

Imagen 10 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 4" con RAP 1/2", temperatura nominal con ligante AMP60/80. A T° Nominal.

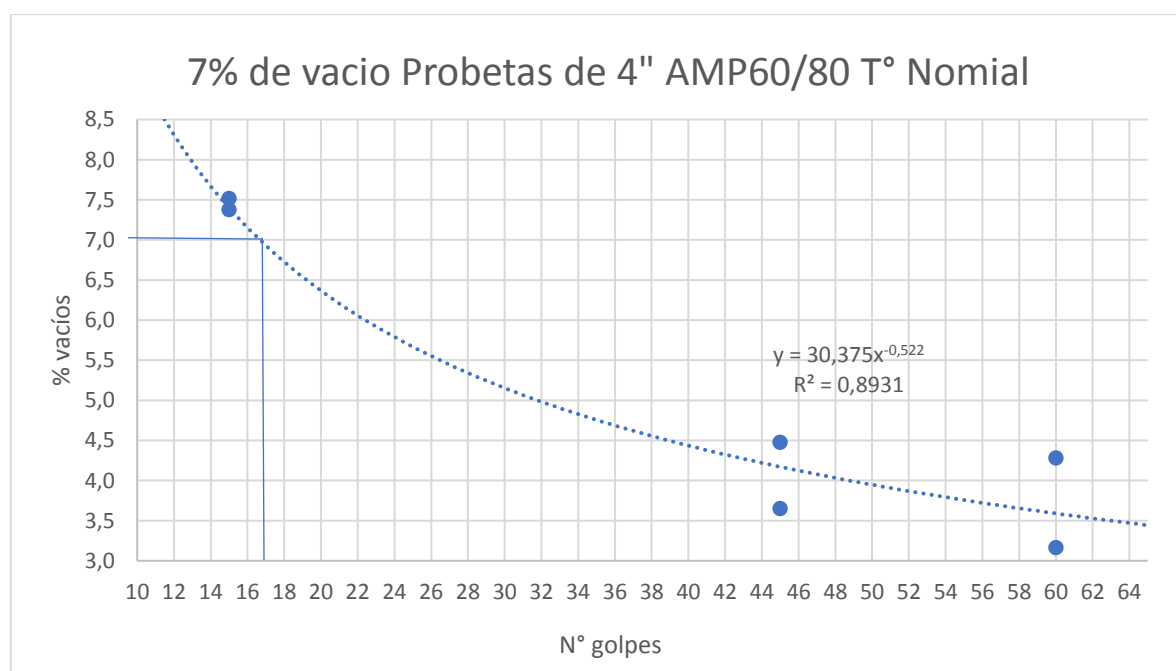
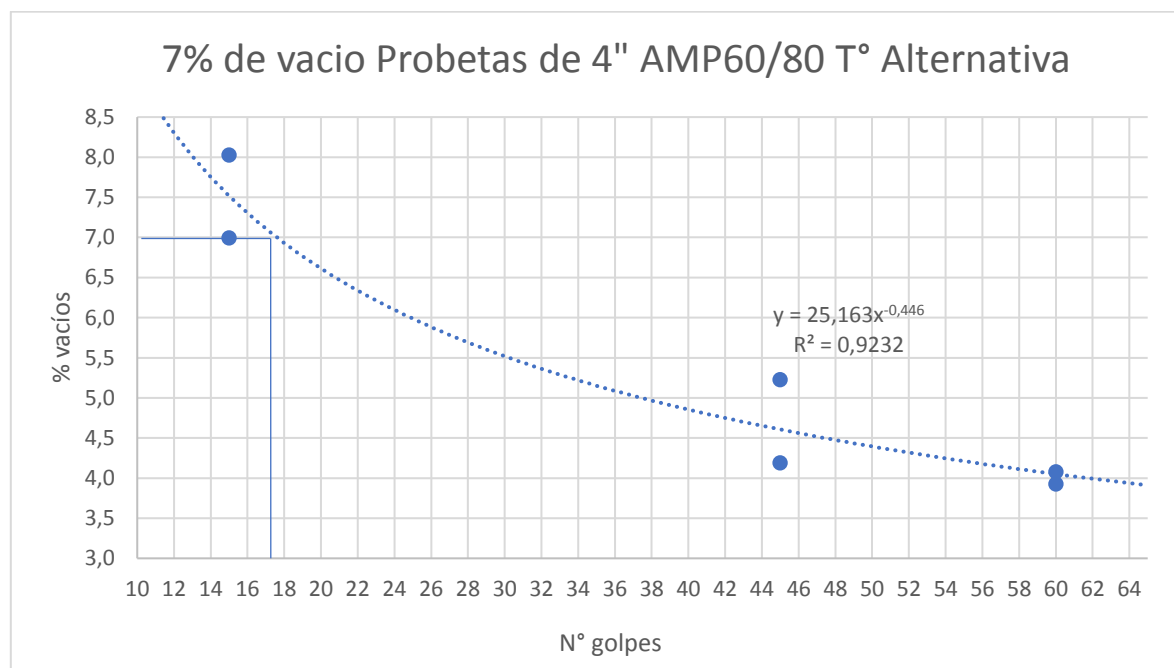


Imagen 11 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 4" con RAP 1/2", temperatura nominal con ligante AMP60/80. A T° alternativa.



3.7.3. Número de giros para compactar al 7±1% de vacío probetas de 6" del compactador giratorio que utilizan ligante PG76-22

En la **Tabla 19** se muestran los detalles de las probetas utilizadas para encontrar los valores deseados. Mientras que en la **Imagen 12** e **Imagen 13** se pueden apreciar los gráficos que muestran el número de golpes necesario para alcanzar el 7% de vacío para ambas mezclas a compactar.

Tabla 19 - 7% vacío para probetas de 4" con ligante PG76-22.

Probeta N°	T° Nominal			T° Alternativa		
	1	2	3	4	5	6
N° Giros	15	45	75	15	30	45
Altura [mm]	131,1	123,3	122,2	131,14	128,6	124,36
Diámetro [mm]	149,7	149,7	149,7	149,7	149,7	149,7
Peso aire [g]	5118,4	5101,6	5121,4	5104,3	5096,7	5110,9
Peso Agua [g]	2947,1	2995,2	3024,6	2932,5	2930,8	2996
Peso S.S.S. [g]	5152,1	5115,4	5127,2	5146,6	5125,5	5125,4
Agua absorbida %	1,528	0,651	0,276	1,910	1,312	0,681
Temperatura Agua	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Densidad Agua [g/cm³]	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Volumen [cm³]	2211,41	2126,37	2108,72	2220,54	2201,08	2135,59
Densidad [g/cm³]	2,470	2,470	2,470	2,473	2,473	2,473
DMM [g/cm³]	2,315	2,399	2,429	2,299	2,316	2,393
% vacío	6,29	2,87	1,67	7,03	6,35	3,21

Imagen 12 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 6". T° nominal con ligante PG76-22.

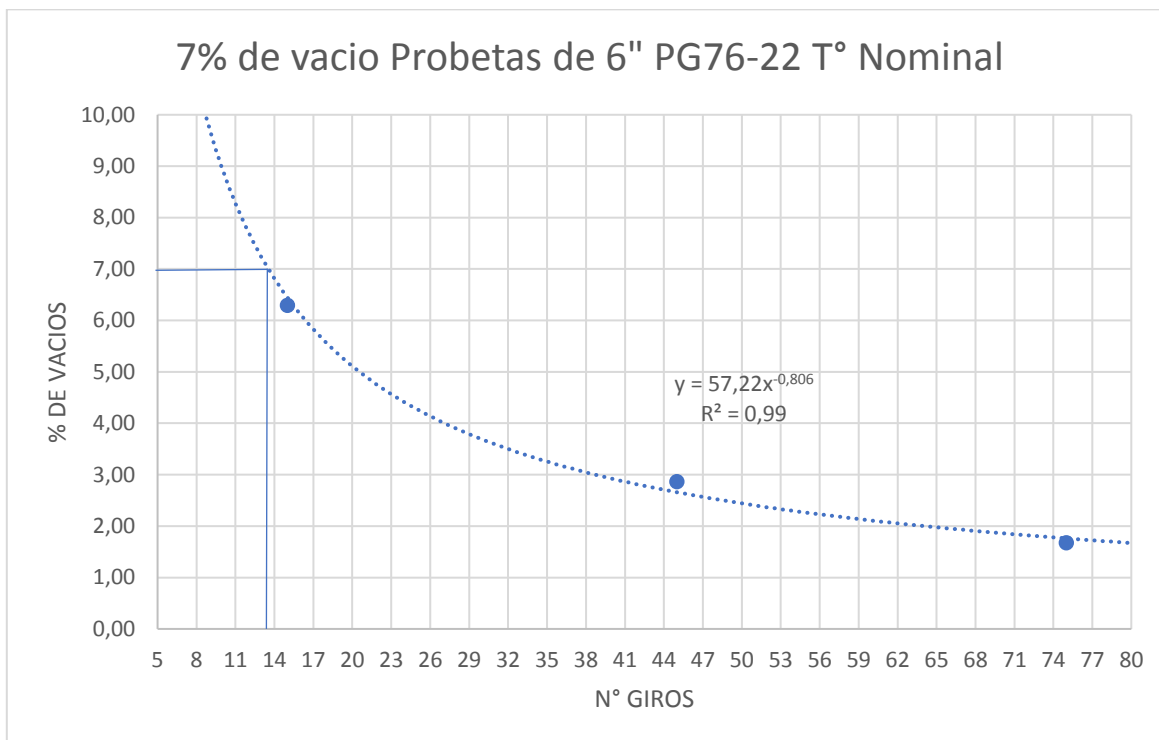
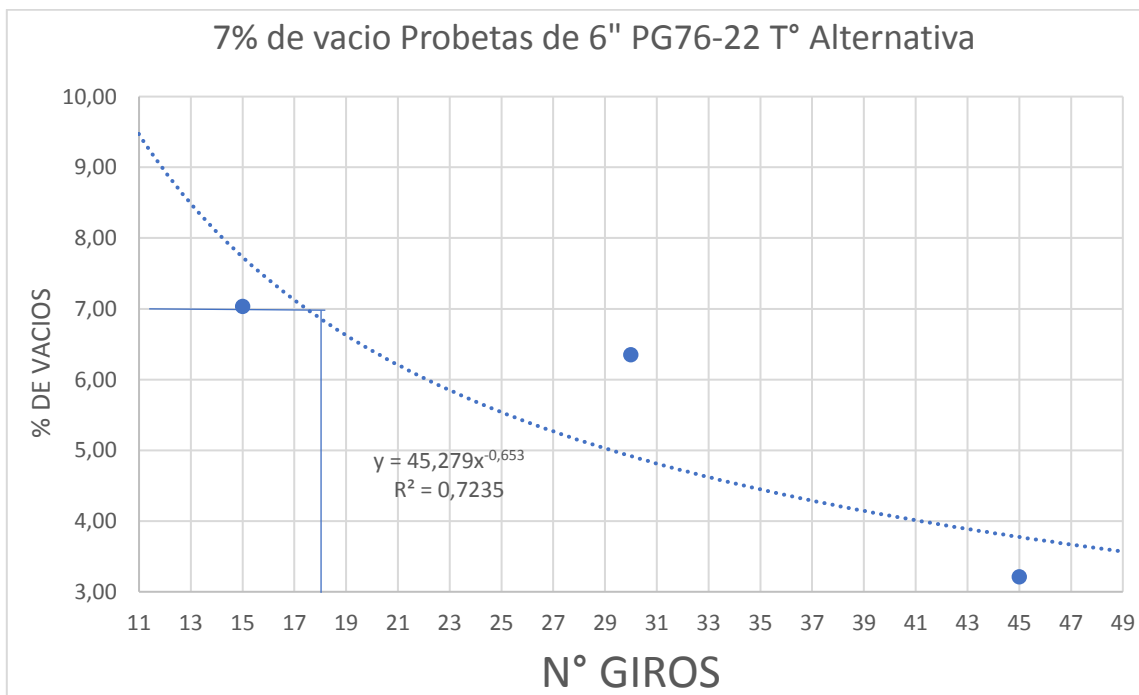


Imagen 13 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 6" T° alternativa con ligante PG76-22.



3.7.4. Número de giros para compactar al 7±1% de vacío para probetas de 6" del compactador giratorio que utilizan RAP ½" y ligante AMP60/80

En la **Tabla 20** se muestran los detalles de las probetas utilizadas para encontrar los valores deseados cercanos al 7% de vacío. Mientras que en la **Imagen 14** e **Imagen 15** se pueden apreciar gráficamente el número de golpes necesario para alcanzar el 7% de vacío para las futuras mezclas.

Tabla 20 - 7% vacío para probetas de 6" con RAP 1/2" y ligante AMP60/80 a T° Nominal

Probeta N°	T° Nominal			T° Alternativa		
	1	2	3	1	2	3
N° Giros	15	30	45	15	30	45
Altura [mm]	12,938	12,665	12,505	130,18	125,7	123,5
Diámetro [mm]	14,97	14,97	14,97	149,7	149,7	149,7
Peso aire [g]	5076,3	5084,2	5080,8	5075,8	5078	5086,7
Peso Agua [g]	2944,1	2940,3	2978,3	2932,5	2968	2999,1
Peso S.S.S. [g]	5117,7	5101,8	5097,3	5121	5095,8	5096,9
Agua absorbida %	1,905	0,814	0,779	2,065	0,837	0,486
Temperatura Agua	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Densidad Agua [g/cm³]	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Volumen [cm³]	2,474	2,474	2,474	2,474	2,474	2,474
Densidad [g/cm³]	2179,92	2167,79	2125,16	2194,87	2133,99	2103,90
DMM [g/cm³]	2,329	2,345	2,391	2,313	2,380	2,418
% vacío	5,87	5,20	3,36	6,52	3,82	2,27

Imagen 14 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 6" con RAP 1/2". Ligante AMP60/80 a T° Nominal.

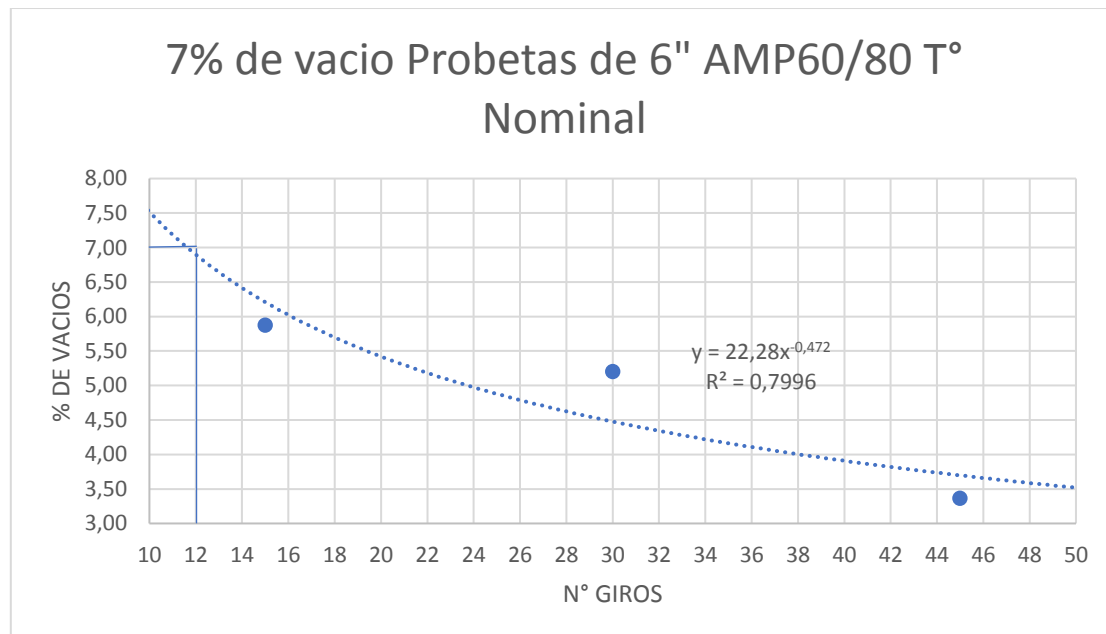
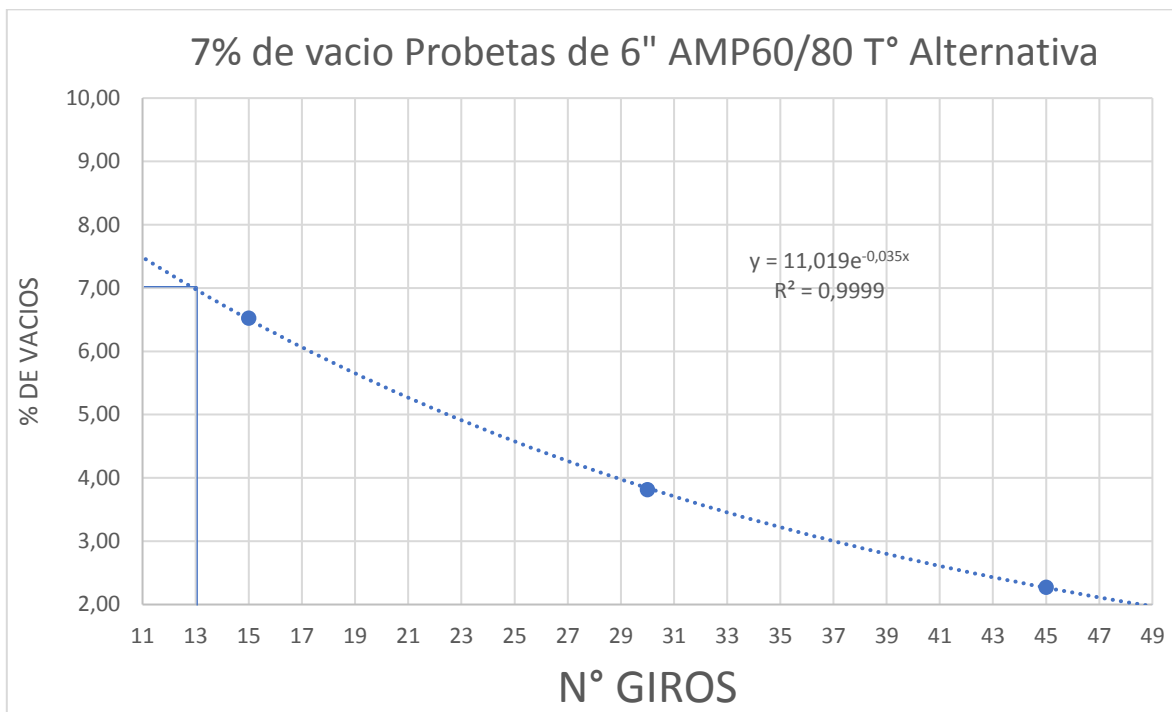


Imagen 15 - Interpolación para buscar el 7% de vacío en probetas de 6" con RAP 1/2". Ligante AMP60/80 a T° Alternativa.



3.8. Módulo de Rigidez

En las siguientes tablas se presentan los resultados en detalle de las probetas compactadas al 7±1% de vacíos de aire que se les realizó el ensayo de módulo de rigidez mediante las indicaciones de la norma EN 12697-26 (CEN-CENELEC Management Center, 2015). Las probetas de 4" se confeccionaron según indica el M.C. 8.302.40 (MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021, p. 636).

3.8.1. Módulo de Rigidez para briquetas de 4" mezcladas con ligante PG76-22

En la **Tabla 21** se presentan los resultados del ensayo de módulo de rigidez para las briquetas de 4" tipo Marshall compactadas a 23 golpes a temperatura nominal y a 15 golpes a temperatura alternativa. Además, se pueden apreciar los informes arrojados por el programa del equipo medidor de módulo en el **ANEXO C**.

Tabla 21 - Modulo de rigidez en briquetas de 4" con ligante PG76-22.

	PG76-22 T° Nominal				PG76-22 T° Alternativa			
N° Briquetas	1	2	3	4	5	6	6	7
% Asf	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
P. material (gr)	1098,5	1098,2	1098,6	1100,9	1098	1098,4	1099,3	1097,3
P. árido (gr)	1098,5	1098,2	1098,6	1100,9	1098	1098,4	1099,3	1097,3
P. asfalto (gr)	53,8	53,8	53,8	53,9	53,8	53,8	53,9	53,8
P. Total Mez. (gr)	1152,3	1152,0	1152,4	1154,8	1151,8	1152,2	1153,2	1151,1
Diámetro (mm)	101,48	101,48	101,63	101,35	101,48	101,85	101,4	101,48
Altura (mm)	62,73	63,83	63,86	63,14	64,15	63,09	64	64,01
P. aire (gr)	1136,1	1139,6	1144	1144,1	1135,9	1147,4	1144,6	1140,2
P. agua (gr)	655,7	657,6	661,5	660,9	654,2	659,5	660,4	656,4
P.s.s.s. (gr)	1144,4	1148,9	1154,1	1152,7	1149	11587	1159,2	1152,7
Vol. (cm3)	488,7	491,3	492,6	491,8	494,8	10927,5	498,8	496,3
Abs. Agua (gr)	1,70	1,89	2,05	1,75	2,65	95,54	2,93	2,52
Den. Agua (gr/cm3)	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Vol. Hidr. (gr/cm3)	490,1	492,7	494,0	493,2	496,2	10959,3	500,3	497,7
Área (mm2)	808818	808818	811211	806747	808818	814727	807543	808818
Densidad (gr/cm3)	2,318	2,313	2,316	2,320	2,289	0,105	2,288	2,291
% de vacíos	6,154	6,363	6,250	6,089	7,327	95,761	7,366	7,258
Módulo de rigidez Lectura 1	6107	5378	4664	4944	5884	4750	5016	5088
Módulo de rigidez Lectura 2	5979	4650	4461	5184	5692	4993	5055	4934
Módulo de Rigidez Prom.	6043	5014	4562,5	5064	5788	4871,5	5035,5	5011

3.8.2. Módulo de Rigidez para briquetas de 4" con RAP de ½" y ligante AMP60/80

En la **Tabla 22** se presentan los resultados del ensayo de módulo de rigidez para las briquetas de 4" tipo Marshall compactadas a 17 golpes a temperatura nominal y 18 golpes a temperatura alternativa.

Tabla 22 - Modulo de rigidez en briquetas de 4" con RAP 1/2" y ligante AMP60/80.

	PG76-22 T° Nominal				PG76-22 T° Alternativa			
N° Briquetas	1	2	3	4	5	6	7	8
% Asf	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
P. material (gr)	1098,5	1097,2	1098,7	1097,3	1099	1097,9	1098,1	1097,7
P. árido (gr)	1098,5	1097,2	1098,7	1097,3	1099	1097,9	1098,1	1097,7
P. asfalto (gr)	51,6	51,6	51,6	51,6	51,7	51,6	51,6	51,6
P. Total Mez. (gr)	1150,1	1148,8	1150,3	1148,9	1150,7	1149,5	1149,7	1149,3
Diámetro (mm)	101,8	101,75	102,8	101,65	101,8	101,55	101,7	101,6
Altura (mm)	63,23	62,8	64,13	63,2	63,23	63,05	62,88	64,77
P. aire (gr)	1138,5	1136	1136,7	1145,1	1134,1	1134,7	1141,7	1136,1
P. agua (gr)	656,8	655,7	656,8	660,7	654,1	656,1	658,4	655,5
P.s.s.s. (gr)	1149,3	1148,9	1149,5	1156,7	1146,1	1146,1	1151,4	1146,2
Vol. (cm3)	492,5	493,2	492,7	496	492	490	493	490,7
Abs. Agua (gr)	2,19	2,62	2,60	2,34	2,44	2,33	1,97	2,06
Den. Agua (gr/cm3)	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Vol. Hidr. (gr/cm3)	493,9	494,6	494,1	497,4	493,4	491,4	494,4	492,1
Área (mm2)	813927	813128	829996	811530	813927	809934	812329	810732
Densidad (gr/cm3)	2,305	2,297	2,300	2,302	2,298	2,309	2,309	2,309
% de vacíos	6,832	7,169	7,017	6,953	7,323	6,895	6,891	6,913
Módulo de rigidez Lectura 1	5683	5914	5569	5847	5145	5316	5752	5843
Módulo de rigidez Lectura 2	5398	5947	5206	5721	4698	4810	5357	4850
Módulo de Rigidez Promedio	5540,5	5930,5	5387,5	5784	4921,5	5063	5554,5	5346,5

3.9. Efecto de la humedad en las mezclas Asfálticas, TSR.

Con el propósito de medir el efecto del agua en la resistencia a la tracción de las mezclas asfálticas confeccionadas en laboratorio se realiza el ensayo de tracción indirecta a probetas acondicionadas en agua a 60°C por 24 horas y a 25°C con diferentes tiempos de saturación.

Se confeccionaron para cada ensayo por lo menos 6 probetas del tipo Marshall de aproximadamente 4" de diámetro y 2,5" de altura, compactadas según indica M.C. 8.302.40 (MOP-DGOP-Dirección de Vialidad, 2021), donde tres fueron ensayadas en seco y tres ensayadas después de una saturación parcial en condiciones de humedad.

Las probetas fueron compactadas al $7\pm1\%$ de huecos de aire, para ello se utilizaron las cantidades de golpes señalados en las tablas del **ANEXO B**.

Una vez compactadas las probetas y determinadas sus diámetros y alturas se procedió a calcular sus densidades reales para luego dejarlas acondicionándose y realizar el ensayo TSR como lo indica la norma ASTM D4867.(ASTM, 2014).

Ya con los resultados del ensayo de tracción indirecta se procedió a calcular la resistencia a la tracción indirecta utilizando la **Ecuación 2**.

$$ST = 2000 * P * t * D(KPa)$$

Ecuación 2 - Resistencia a la Tracción, kPa.

Donde:

ST= Resistencia a la tracción, kPa.

P= Carga máxima, N.

t= Altura de la probeta inmediatamente antes del ensayo resistencia a tracción, mm.

D= Diámetro de la probeta, mm.

Finalmente se realizó el cálculo del TSR utilizando la **Ecuación 3**.

$$TSR = \left(\frac{Stm}{Std} \right) * 100$$

Ecuación 3 - Resistencia a la tracción en %.

Donde:

TSR = Resistencia a la tracción, %.

Stm = Resistencia a la tracción promedio del grupo acondicionado en húmedo, kPa.

Std = Resistencia a la tracción promedio del grupo de probetas secas, kPa.

3.9.1. Resultados del ensayo TSR para briquetas de 4" tipo Marshall con ligante PG76-22

Los resultados tanto para las briquetas mezcladas y compactadas a temperatura nominal como para las que se mezclaron y compactaron a temperatura alternativa están en la **Tabla 23** y **Tabla 24** respectivamente.

Tabla 23 - TSR PG76-22 Temperatura Nominal.

Acondicionamiento	PG76-22 Temperatura Nominal									
	Agua a 60°C x 24 horas					Aire a 25°C x 24 horas				
N° Briqueta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Densidad, gr/cm ³	2,30	2,32	2,31	2,32	2,32	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
huecos hídricos, %	7,02	6,09	6,36	6,25	6,15	6,8	6,7	6,7	6,7	6,7
Saturación, %	77,8	78,1	73,3	77,3	77,5					
Lect. Carga	80	110	97	94	86	225,0	227,0	205,0	220,0	220,0
Trac. Ind. kPa	344,7	482,5	419,4	405,4	377,4	986,9	989,0	891,6	961,3	944,8
TSR	42,5									

Tabla 24 - TSR PG76-22 Temperatura Alternativa.

	PG76-22 Temperatura Alternativa								
Acondicionamiento	Agua a 60°C x 24 horas					Aire a 25°C x 24 horas			
N° Briqueta	1	2	3	4	6	7	8	9	10
densidad	2,29	2,29	2,30	2,30	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
huecos hídricos	7,40	7,29	6,92	7,01	7,5	7,4	7,3	6,9	7,8
saturación	77,8	74,8	73,3	75,8	70,3				
Lect. Carga	89	80	106	90	81,0	210,0	190,0	245,0	219,0
Trac Ind kPa	382,5	347,3	457,9	386,9	347,4	915,0	826,4	1085,2	947,5
TSR	40,7								

Se adjuntan las tablas con mayor detalle en

3.9.2. Resultados del ensayo TSR para briquetas de 4" tipo Marshall con Rap de ½" y ligante AMP80/60.

Los resultados tanto para las briquetas mezcladas y compactadas a temperatura nominal como para las que se mezclaron y compactaron a temperatura alternativa están en la **Tabla 25** y la **Tabla 26** respectivamente.

Tabla 25 - Resultado ensayo TSR AMP60/80 con RAP 1/2" temperatura nominal.

	AMP 60/80 T° Nominal					
	Agua a 60°C x 24 horas			Aire a 25°C x 24 horas		
N° Briqueta	1	2	3	4	5	6
Densidad [g/cm³]	2313,00	2282,00	2305,00	2297,0	2300,0	2302,0
huecos hídricos %	6,51	7,36	6,83	7,2	7,0	7,0
Saturación %	77,5	73,8	76,1			
Lect. Carga [kg]	125	131	134	193,0	169,0	200,0
Trac Ind [kPa]	545,5	563,4	586,0	853,5	730,6	880,0
TSR	68,8					

Tabla 26 - Resultado ensayo TSR AMP60/80 con RAP 1/2" temperatura alternativa.

	AMP 60/80 T° Alternativa					
	Agua a 60°C x 24 horas			Aire a 25°C x 24 horas		
N° Briqueta	1	2	6	3	4	5
Densidad [g/cm³]	2298,00	2309,00	2311,00	2295,0	2309,0	2315,0
huecos hídricos %	7,34	6,90	6,81	7,5	6,9	6,7
Saturación %	72,9	70,9	73,0			
Lect. Carga [kg]	114	113	106	195,0	171,0	210,0
Trac Ind [kPa]	497,4	495,6	466,3	861,7	734,3	932,1
TSR	57,7					

3.10. Ahuellamiento en seco a 60°C

Se presentan los resultados en la **Tabla 27** correspondiente a los resultados obtenidos del ensayo de ahuellamiento en seco a 60°C para los dos tipos de mezcla asfálticas utilizando briquetas de 6" compactadas en el compactador giratorio a temperaturas nominales y alternativas para ambos casos. Además, se pueden apreciar la deformación producto de cada pasada en los gráficos respectivos a cada mezcla en el **ANEXO D**.

Tabla 27 - Resultados del ensayo de resistencia al ahuellamiento para las mezclas realizadas con ligantes PG76-22 y AMP 60/80.

Ligante	PG76-22 T° nominal	AMP 60/80 T° nominal
Dmm, kg/m3	2470	2474
Densidad, kg/m3	2294	2310,5
Vacíos, %	7,1	6,6
Deformación en seco a 10000 pasadas, %	6,0	8,1
Deformación en seco a 20000 pasadas, %	7,1	10,2
WTS, mm/1000 ciclos	0,17	0,23
Ligante	PG76-22 T° menor	AMP 60/80 T° menor
Dmm, kg/m3	2473	2480
Densidad, kg/m3	2296	2329
Vacíos, %	7,1	6,1
Deformación en agua a 10000 pasadas, %	6,27	7,39
Deformación en agua a 20000 pasadas, %	7,51	9,03
WTS, mm/1000 ciclos	0,16	0,17

Ademas se pueden apreciar las deformaciones de cada pasada de la rueda de hamburgo para cada mezcla asfatica en los graficos adjuntos en el **ANEXO D**.

En la **Imagen 16** se puede observar cómo quedo una briketa después de las 2000 pasadas de la Rueda de Hamburgo.

Imagen 16 - Resultado del ensayo de ahuellamiento de briquetas 120 y 121.



3.11. Compactabilidad con STA a 75 giros

Se confeccionaron 4 tipos de mezclas de 5100 [gr] aproximadamente compactadas a distintas temperaturas (nominal y alternativa) según las especificaciones Superpave utilizando el compactador giratorio las cuales 2 se acondicionaron por dos horas en un horno a su temperatura de compactación y las otras 2 se acondicionan a 30°C menos de su temperatura de compactación por dos horas, todo esto con el fin de inducir un envejecimiento simulando condiciones que sufre la mezcla en la práctica convencional. Finalmente, los resultados se pueden apreciar en la **Tabla 28**.

Los pasos a seguir para realizar el ensayo de Compactabilidad son con respecto a las Norma AASHTO R 35-1415 (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2015, p. 26 y 27) y se pueden visualizar con más detalle en el **ANEXO E** donde se pueden observar los gráficos de Compactabilidad y revisar con más detalles los cálculos realizados.

Tabla 28 - Detalles del ensayo de curvas de compactación para ambos ligantes a distintas temperaturas.

	PG76-22 T° Nominal		PG76-22 T° Alternativa		AMP 60/80 T° Nominal		AMP 60/80 T° Alternativa	
T° compactación nominal	166	166	157	157	157	157	150	150
Densidad hídrica, kg/m ³	2399	2412	2416	2417	2417	2423	2375	2377
Vacíos, %	2,9	2,4	2,3	2,2	2,304	2,1	4,2	4,2
Densidad a N inicial (7 giros), kg/m ³	2208	2218	2207,3	2219,3	2229	2324	2178	2180
Densidad a N inicial (7 giros), % del DMM	89,4	89,8	89,3	89,8	90,1	93,9	87,8	87,9
Giros para 8% de vacíos, N°	16,47	14,4	15,93	14,36	13,5	12,7	25,1	24,5
Promedio Giros para 8% de vacíos, N°	15,48		15,1		13,1		24,8	
T° compactación -30°C	136	136	127	127	127	127	120	120
Densidad hídrica, kg/m ³	2409	2404	2391	2368	2408	2420	2389	2391
Vacíos, %	2,47	2,68	3,30	4,23	2,67	2,2	3,7	3,6
Densidad a N inicial (7 giros), kg/m ³	2212	2211	2196	2167	2227	2239	2201	2202
Densidad a N inicial (7 giros), % del DMM	89,551	89,510	88,813	87,641	90	90,5	88,75	88,8
Giros para 8% de vacíos, N°	15,318	15,709	18,915	25,513	15,6	13,5	22,79	21,7
Promedio Giros para 8% de vacíos, N°	15,51		22,2		14,5		22,2	
Razón de giros	1,07		1,47		1,11		0,92	

4. ANALISIS DE RESULTADOS

En esta sección del informe se presentan los resultados del análisis comparativo entre los distintos ensayos realizados a las mezclas asfálticas y briquetas de 4" y 6" que comparten el mismo ligante asfáltico a diferentes temperaturas de mezclado y compactación entregadas por el Perfil de viscosidad rotacional (T° Nominal) y Steady Shear Flow (T° Alternativa).

4.1. Temperatura de mezclado y compactación en laboratorio de los ligantes asfálticos PG76-22 y AMP 60/80.

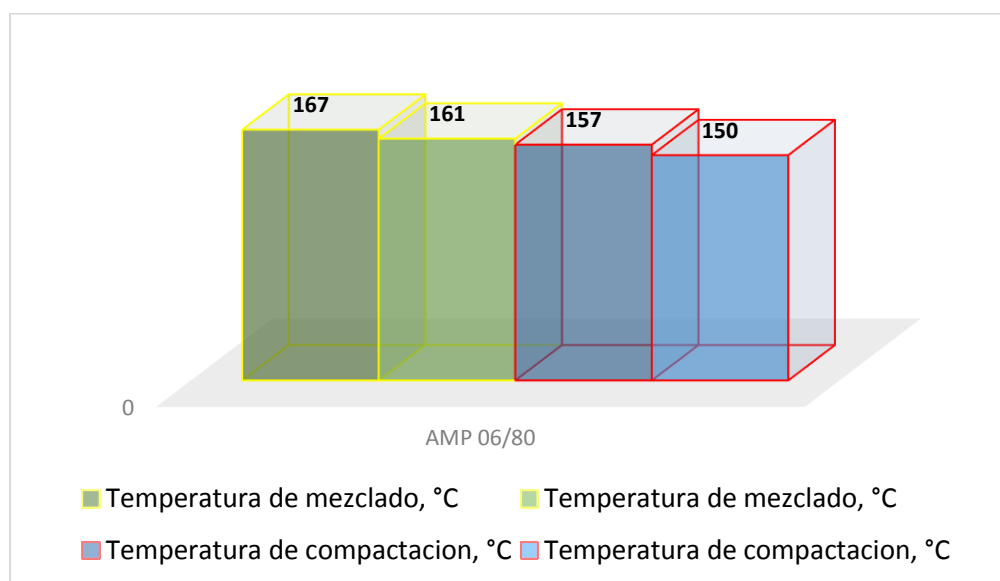
Tabla 29 - Diferencias de temperaturas entre los ensayos.

Muestra	Perfil de viscosidad rotacional		Steady Shear Flow		Diferencia de temperatura	
	Temperatura de mezclado, $^\circ\text{C}$	Temperatura de compactación, $^\circ\text{C}$	Temperatura de mezclado, $^\circ\text{C}$	Temperatura de compactación, $^\circ\text{C}$	Diferencia de temperatura, Mezclado	Diferencia de temperatura, compactación
AMP60/80	167	157	161	150	6	7
PG76-22	177	166	166	157	11	9

4.1.1. Ligante AMP60/80

Las diferencias de temperaturas de mezclado y compactación son de 6°C y 7°C respectivamente siendo estas las menores entre los ensayos. Las diferencias se pueden observar de otra manera en el **Imagen 17**.

Imagen 17 - Comparación de las distintas temperaturas de mezclado y compactación del ligante AMP60/80.

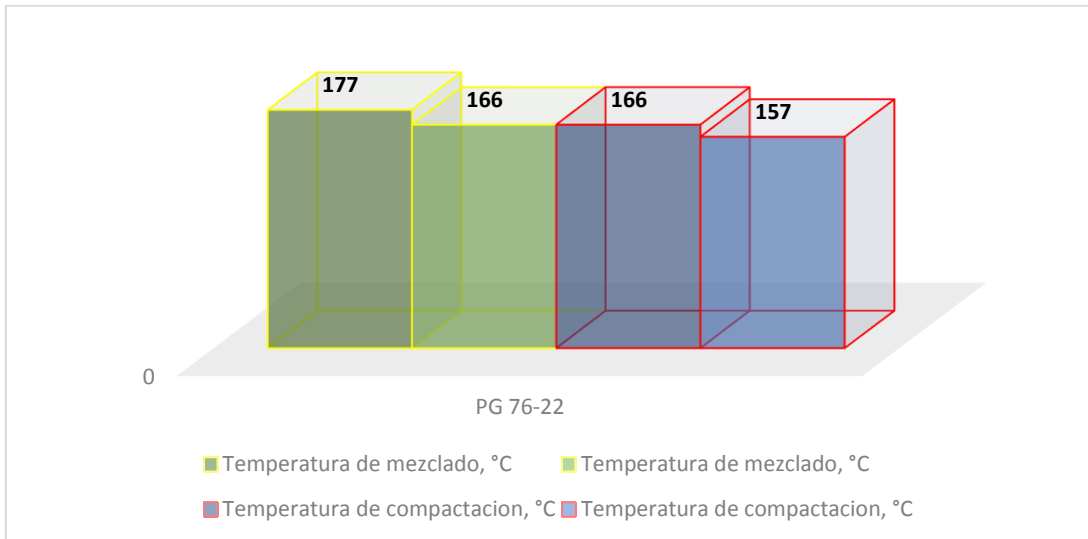


4.1.2. Ligante PG76-22

La diferencia de temperatura en el mezclado y compactación que arrojaron los ensayos realizados al ligante PG76-22 son de 11°C y 10°C respectivamente.

Con respecto a los resultados del ensayo SSF se aprecia una disminución significativa, además en el ligante PG76-22 se observa la mayor variación de temperatura disminuyendo en promedio 10,5°C con respecto al ensayo “viscosidad rotacional”, mientras que el ligante AMP60/80 las temperaturas de mezclado y compactación en promedio disminuyeron 6,5°C. Se puede apreciar de otra forma en la **Imagen 18**.

Imagen 18 - Comparación de las distintas temperaturas de mezclado y compactación del ligante AMP60/80.



4.2. Resultados de los ensayos realizados para las briquetas compactadas con el método Marshall

4.2.1. Ensayo de cubrimiento

Se experimenta una leve baja en el nivel de cubrimiento de partículas en la mezcla que utilizó el ligante AMP60/80 a *Temperatura de mezclado alternativa*, esta fue la que obtuvo el porcentaje más bajo de cubrimiento con un 95% del total de partículas cubiertas.

Mientras que para las mezclas que utilizaron PG76-22 se observó un aumento de las partículas totalmente cubiertas siendo este el primer ensayo que se ve una mejora en la comparación.

4.2.2. Densidad máxima sin compactar. DMM

En este ensayo se experimenta para ambas mezclas que utilizaron el *método alternativo* un aumento leve en su DMM en un 0,0026% en promedio con respecto a las mezclas que utilizaron el método alterativo.

4.2.3. Estabilidad y Fluencia

En ambos casos se experimentó una disminución en el resultado promedio de estabilidad. Mientras que en la fluencia solo ubo un aumento en las briquetas mezcladas con ligante AMP60/80 a temperatura nominal.

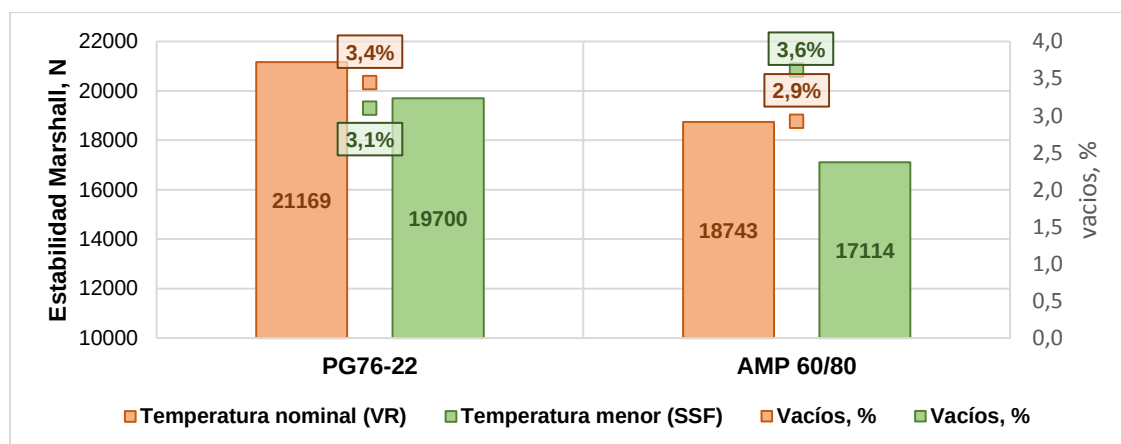
Con respecto al porcentaje promedio de vacíos de aire para las briquetas mezcladas con ligante pg76-22 disminuyeron un 0,3% la cantidad de vacíos de aire, por otra parte, el porcentaje de vacíos de aire en las briquetas mezcladas con el ligante AMP60/80 experimentaron un aumento de 0,7% de vacíos.

Se presenta a continuación en la **Tabla 30** un resumen comparativo del promedio de la estabilidad y fluencia, y en la **Imagen 19** un gráfico comparativo de la estabilidad Marshall y sus porcentajes de vacíos en las mezclas compactadas.

Tabla 30 - Análisis de la Estabilidad y Fluencia de las mezclas.

	T° Nominal	T° menor	T° Nominal	T° menor
	PG76-22	PG76-22	AMP 60/80	AMP 60/80
Vacíos, %	3,4	3,1	2,9	3,6
Promedio Estabilidad, N	21169	19700	18743	17114
Intervalo de confianza, N	332	936	1893	325,8
Fluencia	23,7	14,68	12,2	15,2

Imagen 19 - Gráfico comparativo de la estabilidad Marshal en ambos ligantes a distintas temperaturas con su porcentaje promedio de vacíos de aire en las briquetas correspondientes.



4.2.4. Módulo de Rigidez

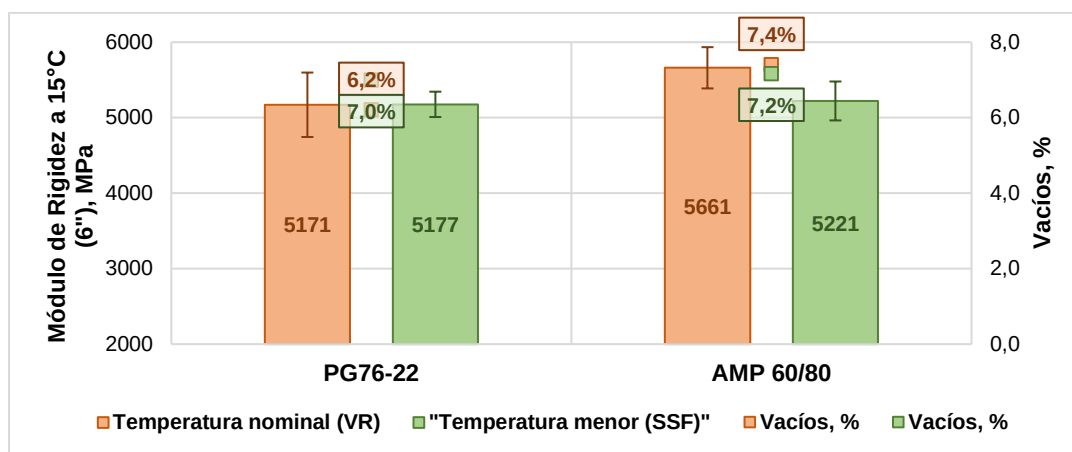
Las probetas mezcladas con el ligante PG76-22 experimentaron un leve aumento del módulo de rigidez y las probetas mezcladas con el ligante AMP60/80 notaron una disminución en sus resultados promedio. Se puede observar el resumen del promedio de los resultados en la **Tabla 31** y un gráfico comparativo en la **Imagen 20**

Cabe destacar que existe una gran diferencia entre los intervalos de confianza en los resultados obtenidos de las probetas mezcladas con PG76-22, esto puede deberse a la diferencia promedio de los vacíos de aire en las probetas. No obstante, los resultados de del módulo de rigidez no varían mucho entre sí y los promedios de los porcentajes de vacíos están dentro de lo requerido.

Tabla 31 - Comparación de resultados del ensayo Módulo de Rigidez.

	T° Nominal PG76-22	T° Nominal PG76-22	T° Nominal AMP 60/80	T° menor AMP 60/80
Vacíos, %	6,2	7,0	7,4	7,2
Módulo de Rigidez promedio 4" a 15°C	5171	5177	5661	5221
Intervalo de confianza, N	427	168	273	258

Imagen 20 – Comparación gráfica de los resultados promedio obtenidos del ensayo Módulo de Rigidez.



4.2.5. Análisis de los resultados del efecto de la humedad en las mezclas Asfálticas, TSR.

Con respecto a las briquetas mezcladas con el ligante PG76-22 se experimentó una disminución en el ensayo TSR de un 4,65% con respecto a valor nominal y para las briquetas mezcladas con el ligante AMP60/80 se experimentó una disminución en el ensayo TSR de un 15,94% siendo esta la variación más alta entre los resultados obtenidos en el ensayo realizado. se puede observar el resumen de resultados en la **Tabla 32**.

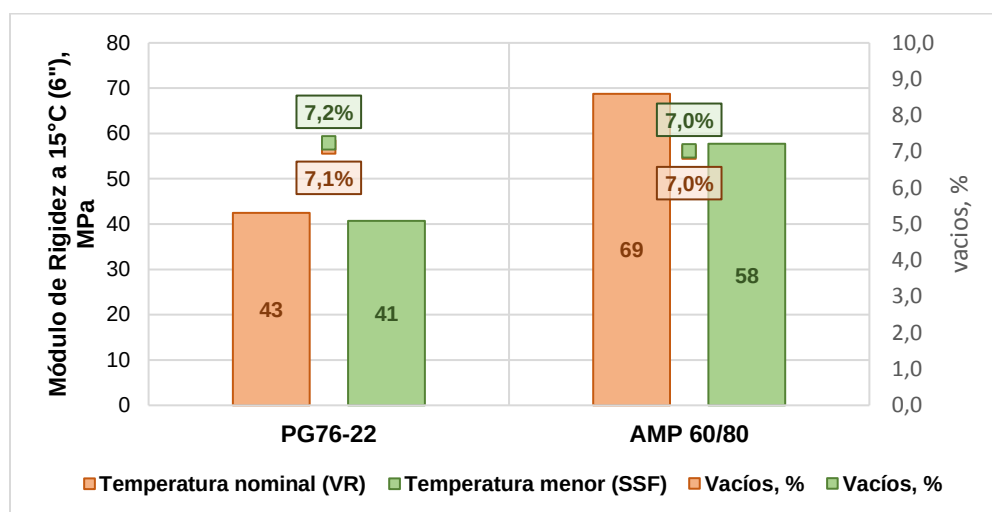
Cabe destacar que los promedios de los porcentajes de vacíos de cada ensayo realizado tienen muy poca dispersión entre ellos acercándose todos al valor que se esperó obtener.

Tabla 32 - Resumen del análisis del ensayo TSR.

	T° Nominal PG76-22	T° Menor PG76-22	T° Nominal AMP 60/80	T° Menor AMP 60/80
Vacíos, %	7,1	7,2	7,0	7,0
TSR	43	41	69	58
Intervalo de confianza, N	203	210	104	142

Se pueden observar las diferencias desde otra perspectiva en la **Imagen 21**.

Imagen 21 - Comparación gráfica de los resultados promedio obtenidos del ensayo TSR.



4.3. Resultados de los ensayos realizados para las briquetas compactadas con el compactador giratorio utilizando los dos ligantes asfálticos modificados PG76-22 Y AMP 60/80

4.3.1. Curvas de compactación

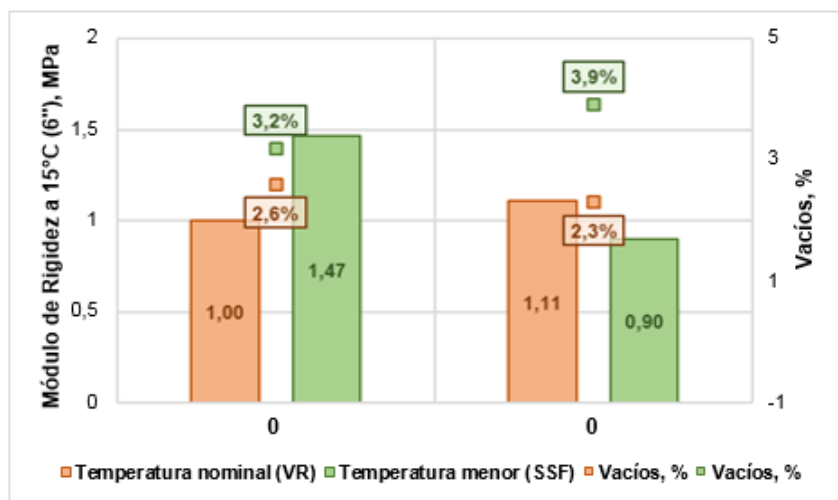
En la **Tabla 33** se muestran los resultados de la razón de giro de cada Curva de Compactación realizada a las briquetas de 6". El criterio de Compactabilidad recomendado es una relación de giro menor o igual a 1,25 (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2015, p. 27). Según este criterio las briquetas de 6" mezcladas con ligante PG76-22 a temperatura Alternativa su razón de giro esta por sobre lo recomendado por ende no cumple los requisitos, no obstante, con respecto a las briquetas de 6" mezcladas con el ligante AMP60/80 a temperatura Alternativa fueron las que arrojaron la menor razón de giro con un valor de 0,9 (R.G.) contra un 1,11 (R.G.) que arrojaron las que se mezclaron con el mismo ligante a temperatura nominal.

Tabla 33 - Razón de giros para las mezclas que utilizaron ambos ligantes.

	T° Nominal	T° Alternativa	T° Nominal	T° Alternativa
	PG76-22	PG76-22	AMP 60/80	AMP 60/80
Promedio Vaciós, %	2,6	2,2	2,3	4,2
Razón de giros, -	1,00	1,47	1,11	0,90

Se pueden apreciar los resultados de las relaciones de giro desde otra perspectiva en la representación gráfica de la **Imagen 22** donde se ve claramente la diferencia obtenida en las briquetas que utilizaron ligante PG76-22.

Imagen 22 - Representación Gráfica de la razón de giro para las briquetas de 6".



4.3.2. Resistencia al ahuellamiento

Para los resultados de los ensayos de ahuellamiento en seco cabe destacar que los valores obtenidos de los “WTS, mm/1000 ciclos” (pendiente de seguimiento de la rueda, en micras por ciclos) están dentro de los parámetros de exigencia (1,5 mm/1000 ciclos). En este ensayo ambas muestras confeccionadas con sus temperaturas alternativas disminuyeron sus resultados con respecto a las preparadas a temperaturas nominales. Cabe destacar que al ser asfaltos modificados son más resistentes al ahuellamiento que los no modificados.

En este caso las muestras que arrojaron la mayor variación fueron las confeccionadas con el ligante AMP60/80.

Ademas se pueden apreciar las deformaciones de cada pasada de la rueda de hamburgo para cada mezcla asfatica en los graficos adjuntos en el **ANEXO D**.

Tabla 34 - Análisis de los resultados obtenidos del ensayo de Ahuellamiento.

	T° Nominal	T° Nominal	T° menor	T° menor
	PG76-22	AMP 60/80	PG76-22	AMP 60/80
Vacios, %	7,1	6,6	7,1	6,1
WTS, mm/1000 ciclos	0,170	0,230	0,160	0,170

5. CONCLUSION

Se realizaron una serie de mezclas asfálticas con dos ligantes asfálticos modificados con polímeros: AMP60/80 y PG76-22 mezcladas y compactadas con temperaturas calculadas con el método *Perfil de Viscosidad Rotacional* para el caso de las llamadas “Temperaturas Nominales” y a temperaturas calculadas con el método Steady Shear Flow llamadas “Temperaturas Alternativas” con el fin de realizar una comparación de desempeño con el fin de demostrar si las mezclas asfálticas cumplen con los requisitos para satisfacer los distintos requerimientos de mezclado, compactación y desempeño en planta.

A continuación, se detallan los comentarios y las conclusiones obtenidas al finalizar la etapa de revisión bibliográfica y trabajo en laboratorio.

- Con respecto a las briquetas mezcladas con ambos ligantes no es mucha la variación del esfuerzo necesario para compactarlas al 7% de vacío, para el PG76-22 en las briquetas de 4” se presenció una disminución de 4 golpes. Las briquetas de 6” compactadas con el compactador giratorio se necesitó aumentar en 2 giros para alcanzar lo deseado, por lo que no se percibió una tendencia clara debido al cambio de temperatura realizado, se puede decir que prácticamente no se ve afectado en este ámbito. Lo mismo para las briquetas mezcladas con el ligante AMP60/80, prácticamente se mantuvo intacto el esfuerzo necesario para alcanzar el 7% de vacío de aire.
- Ambas mezclas experimentaron un aumento en su densidad máxima sin compactar (DMM) en un promedio de 4,5 (Kg/m³) por lo que hubo una pequeña mejora en la densidad para ambas mezclas, pero la cifra es tan pequeña que prácticamente no marca la diferencia por lo que se considera irrelevante.
- Las dos mezclas asfálticas disminuyeron su estabilidad, esto se traduce que en la práctica resistirían menos carga de vehículos pesados.
- En las briquetas de 4” que utilizaron PG76-22 disminuyó su valor promedio de la fluencia obtenida en un 38,1% esto se traduce una menor capacidad de la fluencia del pavimento, como por ejemplo más resistente al ahuellamiento y para las briquetas que utilizaron un AMP60/80 aumento su valor promedio de la fluencia en un 10,2% adquiriendo una mayor deformación.
- Las briquetas de 4” que utilizaron el ligante PG76-22 no experimentaron un gran cambio en el promedio del módulo de rigidez aumentando apenas un 0,12% por lo que prácticamente se mantuvo su resistencia a la deformación. No obstante, para las briquetas de 4” que utilizaron AMP60/80 experimentaron una disminución de un 7,77% que en la práctica es un valor considerable por lo que se ve afectada negativamente la velocidad con la que se deforma la mezcla compactada.
- Nuevamente se mantiene la baja variación promedio de los resultados obtenidos en el ensayo TSR disminuyendo apenas en 4,65% para las briquetas que utilizaron un PG76-22, esto se traduce a una pérdida en la capacidad de resistir cargas en un ambiente húmedo. Para las briquetas que utilizaron un AMP60/80 como ligante en promedio experimentaron una baja en la resistencia a la deformación en ambientes húmedos en un 16% con respecto a la mezcla

patrón. En general las briquetas de 4" se ve que al disminuir sus temperaturas de mezclado y compactación pierden propiedades de adherencia sometido a ambientes húmedos, esto puede deberse la perdida de rigidez de ligante asfáltico por la disminución en su temperatura de trabajo provocando que el asfalto quede un poco más blando.

- Para el ensayo de Compactabilidad, mientras menor sea la razón de giro con un valor máximo de 1,25 mejor será el comportamiento de la mezcla asfáltica al momento de ser compactada con cierto grado de envejecimiento inducido en laboratorio. Para las briquetas de 6" que utilizaron un PG76-22 al disminuir su temperatura de mezclado y compactación el valor obtenido se escapa de lo recomendado obteniendo una razón de giro de un 1,47. Para las briquetas de 6" que utilizaron un AMP60/80 su razón de giro mejoró, disminuyendo de 1,11 a 0,9 traduciéndose esto a una mejora de la mezcla al momento de ser mezclada y compactada a menor temperatura.
- Con respecto a las briquetas de 6" que fueron ensayadas con la Rueda de Hamburgo las que utilizaron un PG76-22 experimentaron una leve baja en su deformación de 0,170 a 0,160 [mm/1000 ciclos] esto se traduce a una mejora en su resistencia al ahuellamiento. Para las briquetas de 6" que utilizaron un AMP60/80 experimentaron una baja considerable de 0,230 a 0,170 [mm/1000 ciclos], por lo que nuevamente se experimentó un aumento en la resistencia al ahuellamiento.

Al momento de analizar los resultados comparativos entre las mezclas mezcladas y compactadas a una temperatura nominal (VR) y otra alternativa (SSF) la variación en los resultados del desempeño obtenido en los distintos ensayos realizados en laboratorio no marcan una tendencia a afectar drásticamente en las propiedades del pavimento asfáltico. Se tiene que considerar la gran variabilidad que existe entre un ensayo y otro ya sea por distintos factores externos a los pasos a seguir. A su vez la baja variación en los resultados obtenidos se debe a la correcta ejecución de las actividades previas a realizar un ensayo, ya sea desde el cálculo granulométrico y preparación de bandejas hasta el correcto mezclado y compactado de las mezclas asfálticas ya que se deben cumplir los parámetros de las dosificaciones que se utilizaron. Por lo que se considera que se cumplieron los objetivos principales del estudio que es la validación del método utilizado siempre y cuando cumpla con los requisitos solicitados por el mandante. De todas formas, se recomienda seguir replicando la experiencia con otras muestras del ligante modificado ya que existen variaciones entre un lote de asfalto y otro obteniendo un mayor grado de confianza del estudio.

De esta forma se puede reducir los costos energéticos, el nivel de contaminación ambiental, disminuir el envejecimiento en planta y a su vez disminuir la tasa de enfermedades producidas por la emanación de gases que pueden ser tóxicos a largo plazo para los trabajadores.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2019). *Standard Method of Test for Determining Degree of Particle Coating of Asphalt Mixtures. T 195-18*, 1–3.
hm.digital.transportation.org/Print.html?file=http://hm.digital.transportation.org/HM/Part_II_Tests/Bituminous_Materials/t_034.aspx?deleted=true&versi
- AASHTO T 312-14. (2015). *Standard Method of Test for Preparing and Determining the Density of Asphalt Mixture Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor (T 312-4)*. http://hm.digital.transportation.org/HM/34/HM-34/Part_II_Tests/Bituminous_Materials/t_053.aspx?mode=print
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2015). *Standard Practice for Superpave Volumetric Design for Asphalt Mixtures, R35-1415*.
<http://www.ltppbinding.com>
- American Association of state Highway Transportation Officials. (2010). *THE NATIONAL ACADEMIES PRESS Mixing and Compaction Temperatures of Asphalt Binders in Hot-Mix Asphalt: Vol. project 9-39*. <https://doi.org/10.17226/14367>
- Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes. AASHTO. (2019). *Standard Method of Test for Viscosity Determination of Asphalt Binder Using Rotational Viscometer: Vol. T 316-19*.
hm.digital.transportation.org/Print.html?file=http://hm.digital.transportation.org/HM/Part_II_Tests/Bituminous_Materials/t_025.aspx?deleted=false&versi...
- ASTM. (2014). *Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures 1 (D4867/4867M-09)*. *American Society for Testing and Materials*, 1–5.
https://doi.org/10.1520/D4867_D4867M-09R14
- CEN-CENELEC Management Center. (2015). *BS EN 12697-26 Bituminous mixtures - Test methods, Part 26: Stiffness*. <http://drafts.bsigroup.com/>
- Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo. (2021). *Etapas II Plan Experimental: Mezclado y compactación en laboratorio. II*, 1–21.
- Group Headquarters. (2013). *BS EN 12697-22 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt*. <http://drafts.bsigroup.com/>
- MOP-DGOP-Dirección de Vialidad. (2021). *VOLUMEN N° 8 ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE MUESTREO, ENSAYE Y CONTROL MANUAL DE CARRETERAS*. <https://mc.mop.gob.cl/>
- Muñoz M. José - Rebolledo Francisco. (2019). *Etapas I: Estudio Temperaturas de Mezclado y Compactación de Asfaltos Modificados*.
- Serviu Metropolitano. (2020). *Cap N8 Especificaciones Técnicas - Asfalto Convencional*. En *Manual de Obras de Vialidad, Pavimentación y Aguas Lluvias: Vol. versión 2020* (pp. 1–36). <http://pavimentacion.metropolitana.minvu.cl/mpall3.asp>

ANEXO A: Estudio de dosificación, PG76-22 y AMP60/80 con un tamaño máximo de 19 mm Tránsito Pesado. (Etapa II plan experimental: mezclado y compactación en laboratorio, mezclado y compactación de mezclas asfálticas con ligante modificado con polímero)

Ligantes

Se utilizarán dos tipos de ligantes con los que se realizarán las mezclas, AMP 60/80 NP1801 y ligante PG76-22 NP1803. Las propiedades de los ligantes se indican en la **Tabla 35** y **Tabla 36**.

Tabla 35: Certificado de calidad AMP 60/80 NP1801 (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 1).

Parámetro	Unidad	Resultado	Especificación	Método
Penetración 25°C, 100g, 5 seg	0.1 mm	62	Mín. 60 Máx. 80	MC 8.302.3
Punto de ablandamiento	°C	72,4	Mín. 60	MC 8.302.16
Ductilidad a 25°C, 5cm/min	cm	112	Mín. 80	MC 8.302.8
Índice de penetración	°C	3.8	Mín. +2.0	MC 8.302.21
Índice de Fraass	%	-15	Máx. -15	MC 8.302.17
Recuperación elástica lineal a 13°C, 20cm, 1hr	°C	85	Mín. 50	MC 8.302.19
Punto de inflamación, copa abierta Cleveland	%	>300	Mín. 235	MC 8.302.9
Recuperación elástica por torsión a 25°C	°C	72	Mín. 60	NLT 329
Estabilidad al almacenamiento, dif. Pto. Ablandam.		<4	Informar	ASTM D5892
Grado de desempeño PG		64H-22	Informar	AASHTO M332
Temperatura de mezclado (2 poises)	°C	177 ± 5	-	-
Temperatura de compactación de probetas (3 poises)	°C	165 ± 5	-	-

Tabla 36: Certificado de calidad PG76-22 NP1803 (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 2).

Parámetro	Unidad	Resultado	Especificación	Método
Condición original				
Punto de inflamación	°C	312	Mín. 230	MC 8.302.9
Viscosidad Rotacional a 135°C	Pa s	1,7	Máx. 3	MC 8.302.24
Rigidez a temperatura alta, G*/sen (δ) a 76°C	kPa	1,80	Mín. 1.00	MC 8.302.22
Película Delgada Rotatoria (RTFOT)				MC 8.302.33
Pérdida de masa	%	-0,321	Máx. 1	MC 8.302.33
Rigidez a temperatura alta, G*/sen (δ) a 76°C	kPa	3,83	Mín. 2.20	MC 8.302.22
Envejecimiento acelerado (PAV) a 100°C				MC 8.302.23
Rigidez a temperatura intermedia, G*Sen(δ) a 31°C	kPa	1784	Máx. 5000	MC 8.302.22
Rigidez por Creep, S a -12°C	MPa	183	Máx. 300	MC 8.302.25
Coeficiente de Relajación, m a -12°C	-	0,304	Mín. 0,300	MC 8.302.25
Temperatura de mezclado (2 poises)	°C	185 ± 5	-	-
Temperatura de compactación de probetas (3 poises)	°C	175 ± 5	-	-

Áridos y mezclas asfálticas

En la **Tabla 37** y **Tabla 38** se indican las características de la mezcla asfáltica IV-A-12 con ligante PG76-22 (dosificación A 3533/20).

Tabla 37: Dosificación áridos en peso (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 3).

Material	Origen	Proporción
Gravilla 3/4"	Maipú	22%
Gravilla 1/2"	Maipú	27%
Polvo Roca 1/4"	Maipú	49%
Filler Recuperado	Maipú	2%

Imagen 23: Granulometría mezcla asfáltica IV-A-12 con ligante PG76-22 (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Gráfico 2-1).

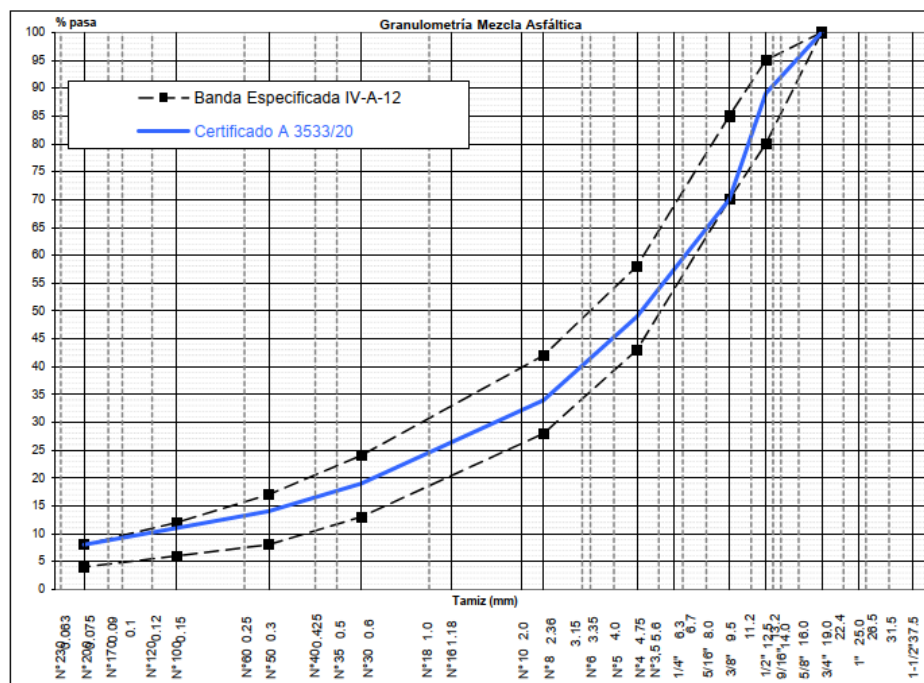


Tabla 38: Parámetros Marshall, 75 golpes por cara (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 4).

Parámetros Marshall							
PG 76-22	% ref. ag.	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	Rangos
Asfalto Total	% ref. ag.	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
DMM	Kg/m ³	2520	2503	2486	2470	2454	
Densidad hídrica	Kg/m ³	2344	2354	2362	2358	2355	
% de vacíos	%	7,0	5,9	5,0	4,5	4,0	4 - 6
V.A.M	%	15,4	15,4	15,6	16,1	16,6	Mín. 15
Fluencia	0,01"	12,2	14,4	15,4	16,0	17,3	8 - 16
Estabilidad	N	16228	18705	18404	17126	16584	Mín. 9000
Densidad Marshall						Kg/m ³	2361
Contenido Optimo de asfalto						%	4,9 ± 0,3

En la **Tabla 39** y **Tabla 40** se indican las características de la mezcla asfáltica con RAP y AMP 60/80 (dosificación A 3525/20).

Tabla 39: Dosificación áridos en peso (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 5).

Material	Origen	Proporción
Gravilla 3/4"	Maipú	21%
Gravilla 1/2"	Maipú	28%
Polvo Roca 1/4"	Maipú	39%
RAP 1/2"	Maipú	10%
Filler Recuperado	Maipú	2%

Imagen 24: Granulometría mezcla asfáltica IV-A-12 con AMP 60/80 (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Gráfico 2-2).

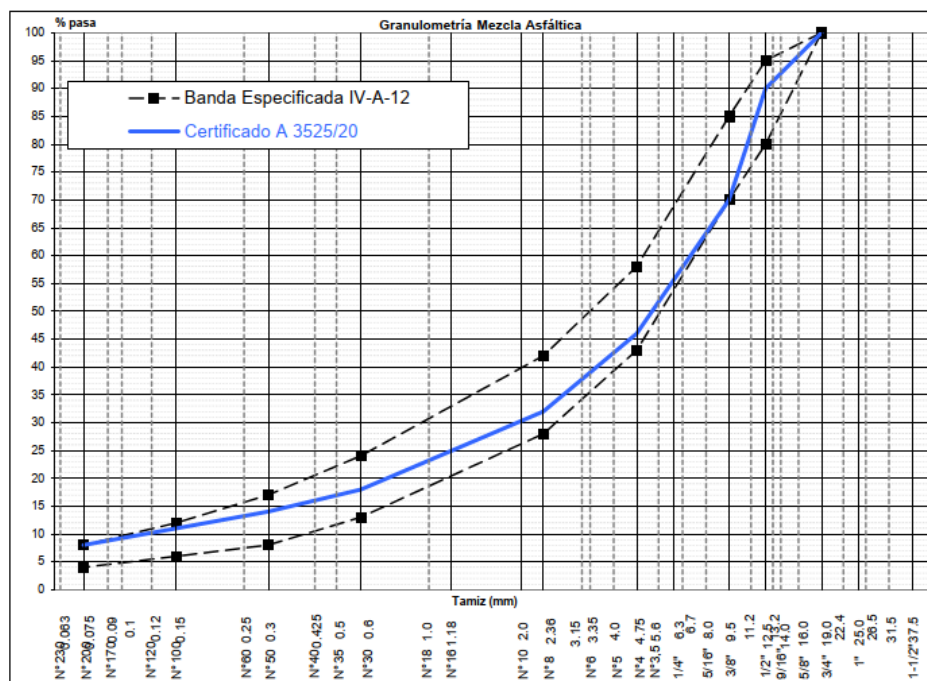


Tabla 40: Parámetros Marshall, 75 golpes por cara (Ermo Arriagada - Francisco Rebolledo, 2021, fig. Tabla 6).

Parámetros Marshall							
AMP 60/80	% ref. ag.	3,4	3,9	4,4	4,9	5,4	Rangos
Asfalto Total	% ref. ag.	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
DMM	Kg/m ³	2520	2502	2484	2467	2450	
Densidad hídrica	Kg/m ³	2344	2358	2375	2376	2373	
% de vacíos	%	7,0	5,7	4,4	3,7	3,1	4 - 6
V.A.M	%	15,3	15,2	15,0	15,4	15,9	Mín. 15
Fluencia	0,01"	14,6	15,0	15,5	15,9	17,4	8 - 16
Estabilidad	N	16819	16809	16250	15817	15274	Mín. 9000
Densidad Marshall						Kg/m ³	2367
Contenido Optimo de asfalto						%	4,7± 0,3

***ANEXO B: Resultados del
ensayo Standard Test Method for
Effect of Moisture on Asphalt concrete
paving Mixture (Sensibilidad a la
humedad por medio de ensayo de
tensión indirecta TRS).***

Resultado más detallado del ensayo TSR **Tabla 41.**

Tabla 41 - Resultado del ensayo TSR PG 76-22 Temperatura nominal.

TSR PG76-22 Temperatura Nominal										
N° Briquetas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Condición	Agua a 60°C x 24 horas					Aire a 25°C x 24 horas				
% Asf	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
P. material, gr	1100	1101	1098	1099	1099	1099	1098	1098	1100	1099
P. árido, gr	53,9	53,9	53,8	53,8	53,8	53,9	53,8	53,8	53,9	53,9
P. asfalto, gr	1153,5	1154,8	1152,0	1152,4	1152,3	1153,0	1151,9	1151,5	1153,4	1153,3
P. Total Mez, gr	10,18	10,14	10,15	10,16	10,15	10,16	10,16	10,16	10,18	10,18
Diámetro, cm	6,36	6,314	6,383	6,386	6,273	6,348	6,391	6,398	6,36	6,47
Altura, cm	1140	1144	1140	1144	1136	1148	1146	1148	1146	1145
P. aire, gr	658,2	660,9	657,6	661,5	655,7	659,6	658,7	662,2	660,4	660,4
P. agua, gr	1153	1153	1149	1154	1144	1157	1155	1159	1156	1156
P.s.s.s, gr	494,8	491,8	491,3	492,6	488,7	497,2	495,9	496,6	495,9	495,7
Vol. Cm³	491,84					496,26				
Prom. Vo. Cm³	34,72	29,94	31,26	30,79	30,07	33,97	33,44	33,09	33,32	33,40
Promedio V.V.A.	31,36					33,44				
Abs. Agua	2,69	1,75	1,89	2,05	1,70	1,87	1,81	2,13	2,10	2,20
Den. Agua	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
Vol. Geom.	517,7	509,4	516,3	518,0	507,4	514,7	518,1	518,7	517,5	526,6
Vol. Hidr.	496,2	493,2	492,7	494,0	490,1	498,6	497,3	498,0	497,3	497,1
Área (mm2)	8139	8067	8088	8112	8088	8107	8107	8107	8136	8139
Den. Geom.	2,202	2,246	2,207	2,208	2,239	2,230	2,211	2,214	2,214	2,175
Densidad, gr/cm³	2,297	2,320	2,313	2,316	2,318	2,301	2,303	2,305	2,304	2,304
Promedio, gr/cm³	2,313					2,304				
N° Golpes	23					23				
huecos Geo.	10,86	9,07	10,63	10,59	9,34	9,73	10,49	10,38	10,34	11,96
Huecos Hidr. %	7,02	6,09	6,36	6,25	6,15	6,83	6,74	6,66	6,72	6,74
St. Previa (min.)	10	10	10	10	10					
Presión (mmHG)	250	250	250	250	250					
T° Agua °C	25	25	25	25	25					
P. agua Sat. gr	672,3	672,8	672,8	675,9	671,1					
P.s.s.s. Sat. gr	1167	1168	1163	1168	1159					
Volumen Sat. Cm³	494,4	494,7	489,7	491,9	488,3					
Vol. Abs. Agua cm³	27	23,4	22,9	23,8	23,3					
% Saturación	77,8	78,1	73,3	77,3	77,5					
% Promedio Sat.	76,8									
% Hinchamiento	-0,08	0,59	-0,33	-0,14	-0,08					
lectura Carga	80	110	97	94	86	225	227	205	220	220
Trac. Ind. kPa	344,66	482,49	419,40	405,39	377,44	986,91	989,04	891,58	961,31	944,78
Promedio T.I.	405,88					954,72				
TSR	42,51									
Dmm	2470					2470				
Promedio Huecos %	6,4					6,7				

Resultado ensayo TSR **Tabla 42.**

Tabla 42 - Resultado ensayo TSR PG76-22 temperatura alternativa.

N° Briquetas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Condición	Agua a 60°C x 24 horas					Aire a 25°C x 24 horas			
% Asf	4,90	4,90	4,90	4,90	4,9	4,90	4,90	4,90	4,90
P. material, gr	1098	1098,4	1098,5	1100,2	1099,80	1099,3	1097,3	1099,3	1099,8
P. árido, gr	53,8	53,8	53,8	53,9	53,9	53,9	53,8	53,9	53,9
P. asfalto, gr	1151,8	1152,2	1152,3	1154,1	1153,7	1153,2	1151,1	1153,2	1153,7
P. Total Mez, gr	10,148	10,185	10,16	10,18	10,165	10,14	10,148	10,143	10,175
Diámetro, cm	6,41	6,309	6,391	6,39	6,4	6,4	6,401	6,3	6,425
Altura, cm	1135,9	1147,4	1142,3	1145,1	1146,2	1144,6	1140,2	1141,4	1132,1
P. aire, gr	654,2	659,5	656,9	658	660	660,4	656,4	658,5	653
P. agua, gr	1149	1158,7	1151,9	1154,7	1159,6	1159,2	1152,7	1152,8	1148,2
P.s.s.s, gr	494,8	499,2	495	496,7	499,6	498,8	496,3	494,3	495,2
Vol. Cm³	497,06					496,15			
Prom. Vo. Cm³	36,63	36,39	34,24	34,82	37,27	36,74	36,02	33,53	38,19
Promedio V.V.A.	35,87					36,12			
Abs. Agua	2,65	2,26	1,94	1,93	2,68	2,93	2,52	2,31	3,25
Den. Agua	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Vol. Geom.	518,5	514,0	518,1	520,1	519,4	516,8	517,7	509,1	522,4
Vol. Hidr.	496,2	500,7	496,4	498,1	501,1	500,3	497,7	495,7	496,6
Área (mm2)	8088	8147	8107	8139	8115	8075	8088	8080	8131
Den. Geom.	2,191	2,232	2,205	2,202	2,207	2,215	2,202	2,242	2,167
Densidad, gr/cm³	2,289	2,292	2,301	2,299	2,288	2,288	2,291	2,302	2,280
Promedio, gr/cm³	2,294					2,290			
N° Golpes	15					15			
huecos Geo.	11,37	9,70	10,82	10,93	10,73	10,34	10,84	9,22	12,27
Huecos Hidr. %	7,40	7,29	6,92	7,01	7,46	7,37	7,26	6,78	7,71
St. Previa (min.)	10	10	10	10	10				
Presión (mmHG)	250	250	250	250	250				
T° Agua °C	25	25	25	25	25				
P. agua Sat. gr	668,8	677,8	670,3	673,8	668,1				
P.s.s.s. Sat. gr	1164,4	1174,6	1167,4	1171,5	1172,4				
Volumen Sat. Cm³	495,6	496,8	497,1	497,7	504,3				
Vol. Abs. Agua cm³	28,5	27,2	25,1	26,4	26,2				
% Saturación	77,8	74,8	73,3	75,8	70,3				
% Promedio Sat.	74,4								
% Hinchamiento	0,16	-0,48	0,42	0,20	0,94				
lectura Carga	89	80	106	90	81	210	190	245	219
Trac. Ind. kPa	382,54	347,27	457,93	386,92	347,40	915,00	826,44	1085,19	947,51
Promedio T.I.	384,41					943,53			
TSR	40,74								
Dmm	2472					2470			
Promedio Huecos %	7,2					7,3			

Resultado ensayo TSR AMP60/80 con RAP 1/2" Temperatura nominal **Tabla 43.**

Tabla 43 - Resultado ensayo TSR AMP60/80 con RAP 1/2" Temperatura nominal.

	1	2	3	4	5	6
N° Briquetas	Agua a 60°C x 24 horas			Aire a 25°C x 24 horas		
Condición	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
% Asf	1098,6	1097,8	1099,2	1098,8	1097,9	1098,7
P. material, gr	1098,6	1097,8	1099,2	1098,8	1097,9	1098,7
P. árido, gr	51,7	51,6	51,6	51,6	51,6	51,6
P. asfalto, gr	1150,3	1149,4	1150,8	1150,4	1149,5	1150,3
P. Total Mez, gr	10,17	10,16	10,18	10,175	10,18	10,165
Diámetro, cm	6,34	6,44	6,323	6,28	6,413	6,32
Altura, cm	1140,6	1136	1138,5	1136	1136,7	1145,1
P. aire, gr	658,6	654,1	656,8	655,7	656,8	660,7
P. agua, gr	1150,3	1148,4	1149,3	1148,9	1149,5	1156,7
P.s.s.s, gr	491,7	494,3	492,5	493,2	492,7	496
Vol. Cm³	492,8333333			493,9666667		
Prom. Vo. Cm³	32,00	36,46	33,65	35,36	34,57	34,49
Promedio V.V.A.	34,04			34,81		
Abs. Agua	1,97	2,51	2,19	2,62	2,60	2,34
Den. Agua	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Vol. Geom.	515,0	522,1	514,6	510,6	522,0	512,9
Vol. Hidr.	493,1	495,7	493,9	494,6	494,1	497,4
Área (mm2)	8123	8107	8139	8131	8139	8115
Den. Geom.	2,215	2,176	2,212	2,225	2,178	2,233
Densidad, gr/cm³	2,313	2,292	2,305	2,297	2,300	2,302
Promedio, gr/cm³	2,303			2,300		
N° Golpes	23			19		
huecos Geo.	10,48	12,05	10,58	10,08	11,98	9,76
Huecos Hidr. %	6,51	7,38	6,83	7,17	7,02	6,95
St. Previa (min.)	10	10	10			
Presión (mmHG)	250	250	250			
T° Agua °C	25	25	25			
P. agua Sat. gr	673,9	674,6	669,5			
P.s.s.s. Sat. gr	1165,4	1162,9	1164,1			
Volumen Sat. Cm³	491,5	488,3	494,6			
Vol. Abs. Agua cm³	24,8	26,9	25,6			
% Saturación	77,5	73,8	76,1			
% Promedio Sat.	75,8					
% Hinchamiento	-0,04	-1,21	0,43			
lectura Carga	125	131	134	193	169	200
Trac. Ind. kPa	545,20	563,44	586,02	853,50	730,64	879,97
Promedio T.I.	564,89			821,37		
TSR	68,77					
Dmm	2474			2474		
Promedio Huecos %	6,9			7,0		

Resultado ensayo TSR AMP60/80 con RAP 1/2" Temperatura alternativa **Tabla 44.**

Tabla 44 - Resultado detallado ensayo TSR AMP60/80 con RAP 1/2" temperatura alternativa.

N° Briquetas	1	2	3	4	5	6
Condición	Agua a 60°C x 24 horas			Aire a 25°C x 24 horas		
% Asf	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
P. material, gr	1099	1097,9	1097,3	1098,1	1097,7	1098,1
P. árido, gr	51,7	51,6	51,6	51,6	51,6	51,6
P. asfalto, gr	1150,7	1149,5	1148,9	1149,7	1149,3	1149,7
P. Total Mez, gr	10,18	10,155	10,17	10,17	10,16	10,155
Diámetro, cm	6,323	6,305	6,27	6,288	6,47	6,273
Altura, cm	1134,1	1134,7	1129,3	1141,7	1136,1	1137
P. aire, gr	654,2	656,1	653	658,4	655,5	656,2
P. agua, gr	1146,2	1146,1	1140,2	1151,4	1146,2	1146
P.s.s.s, gr	492	490	487,2	493	490,7	489,8
Vol. Cm³	489,7333333			491,1666667		
Prom. Vo. Cm³	35,66	33,42	32,79	33,60	33,56	32,29
Promedio V.V.A.	33,96			33,15		
Abs. Agua	2,46	2,33	2,24	1,97	2,06	1,84
Den. Agua	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971	0,9971
Vol. Geom.	514,6	510,7	509,3	510,8	524,5	508,1
Vol. Hidr.	493,4	491,4	488,6	494,4	492,1	491,2
Área (mm2)	8139	8099	8123	8123	8107	8099
Den. Geom.	2,204	2,222	2,217	2,235	2,166	2,238
Densidad, gr/cm³	2,298	2,309	2,311	2,309	2,309	2,315
Promedio, gr/cm³	2,306			2,311		
N° Golpes	23			19		
huecos Geo.	11,07	10,33	10,52	9,80	12,60	9,69
Huecos Hidr. %	7,25	6,82	6,73	6,82	6,84	6,59
St. Previa (min.)	10	10	10			
Presión (mmHG)	250	250	250			
T° Agua °C	25	25	25			
P. agua Sat. gr	668,4	670,3	667,8			
P.s.s.s. Sat. gr	1160,1	1158,4	1153,3			
Volumen Sat. Cm³	491,7	488,1	485,5			
Vol. Abs. Agua cm³	26	23,7	24			
% Saturación	72,9	70,9	73,2			
% Promedio Sat.	72,3					
% Hinchamiento	-0,06	-0,39	-0,35			
lectura Carga	114	113	106	195	171	210
Trac. Ind. kPa	497,40	495,60	466,31	861,74	734,30	932,15
Promedio T.I.	486,44			842,73		
TSR	57,72					
Dmm	2478			2478		
Promedio Huecos %	6,9			6,7		

***ANEXO C: Informe del módulo
resiliente por compresión diametral
(EN 12697-26:2004) para briquetas de
4" con ligante PG76-22.***

Informe módulo resiliente por compresión diametral para briquetas de 4", PG76-22 T° Nominal.

Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-NU14)-NU14)

No. De serie del informe de ensayo: 26.08.2021

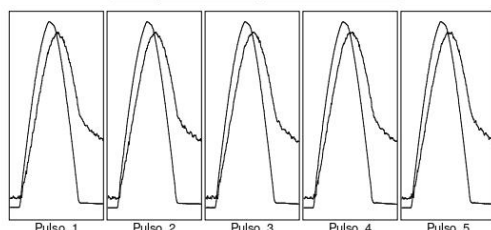
Dirección del laboratorio de ensayo

Fecha de impresión: 26:08:2021
 Ensayo realizado por: Ermo Arriagada
 Referencia de la probeta: Briqueta n° 1
 Temperatura de la probeta: 15°C
 Diámetro de la probeta: 101.5 mm
 Espesor de la probeta: 62.7 mm
 Densidad aparente: 2318 (kg/m³)
 Coeficiente de Poisson: 0.35
 Tiempo de subida deseada (ms): 124 ms
 Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm
 Número de pulsos de preparación: 15
 Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

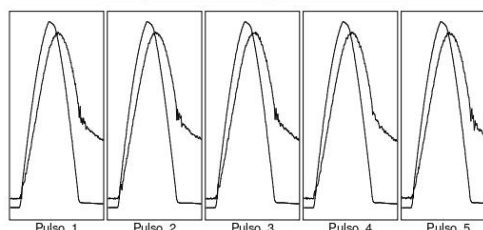
Feach y hora del ensayo :	26:Ago:2021 15:22	Nombre del cliente :	CDI MEMORISTA
---------------------------	-------------------	----------------------	---------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	Carpeta 19 mm. con Kaomin
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall
Condiciones de almacenamiento	15° C
Método de determinación de la densidad aparente	Hídrica

Ensayo sobre el primer diámetro



Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		3.06	3.07	3.07
Esfuerzo horizontal (kPa)		306.1	307.0	306.6
Factor de área de carga	0.60	0.61	0.61	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms):	124	124.0	125.0	124.4
Módulo resiliente medido (MPa)		6017	6126	6081
Módulo resiliente ajustado (MPa)		6035	6158	6107

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		3.00	3.01	3.00
Esfuerzo horizontal (kPa)		300.0	300.6	300.4
Factor de área de carga	0.60	0.60	0.61	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms):	124	123.0	124.0	123.2
Módulo resiliente medido (MPa)		5907	6008	5959
Módulo resiliente ajustado (MPa)		5926	6035	5979

Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	123.8
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	6020
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	6043

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (2)

<u>Responsable del ensayo</u>	<u>Firmado</u>
Ermo Arriagada	
	<u>Fecha de emisión del informe de ensayo</u> 26:08:2021

Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-NU14)-NU14)

No. De serie del informe de ensayo: 26.08.2021

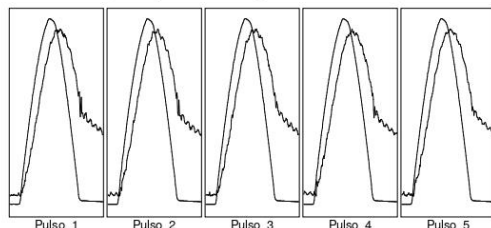
Dirección del laboratorio de ensayo

Fecha de impresión: 26:08:2021
 Ensayo realizado por: Ermo Arriagada
 Referencia de la probeta: briqueta pg76-22 n°2
 Temperatura de la probeta: 15°C
 Diámetro de la probeta: 101.5 mm
 Espesor de la probeta: 63.8 mm
 Densidad aparente: 2313 (kg/m³)
 Coeficiente de Poisson: 0.35
 Tiempo de subida deseada (ms): 124 ms
 Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm
 Número de pulsos de preparación: 15
 Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

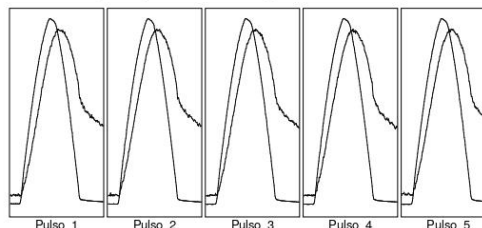
Feach y hora del ensayo :	26:Ago:2021 15:32	Nombre del cliente :	CDI MEMORISTA
---------------------------	-------------------	----------------------	---------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	Carpeta 19 mm. con Kaomin
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall
Condiciones de almacenamiento	15° C
Método de determinación de la densidad aparente	Hidrica

Ensayo sobre el primer diámetro



Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.73	2.73	2.73	2.73
Esfuerzo horizontal (kPa)	268.2	268.9	268.6	268.6
Factor de area de carga	0.60	0.61	0.61	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	124.0	125.0	124.6
Módulo resiliente medido (MPa)		5315	5398	5352
Módulo resiliente ajustado (MPa)		5345	5428	5378

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.39	2.40	2.39	2.39
Esfuerzo horizontal (kPa)	235.1	235.5	235.3	235.3
Factor de area de carga	0.60	0.60	0.61	0.60
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	123.0	125.0	124.4
Módulo resiliente medido (MPa)		4619	4662	4643
Módulo resiliente ajustado (MPa)		4624	4676	4650

Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	124.5
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	4998
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	5014

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (14)

<u>Responsable del ensayo</u>	<u>Firmado</u>
Ermo Arriagada	
	<u>Fecha de emisión del informe de ensayo</u> 26:08:2021

Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-NU14)-NU14)

No. De serie del informe de ensayo: 26.08.2021

Dirección del laboratorio de ensayo

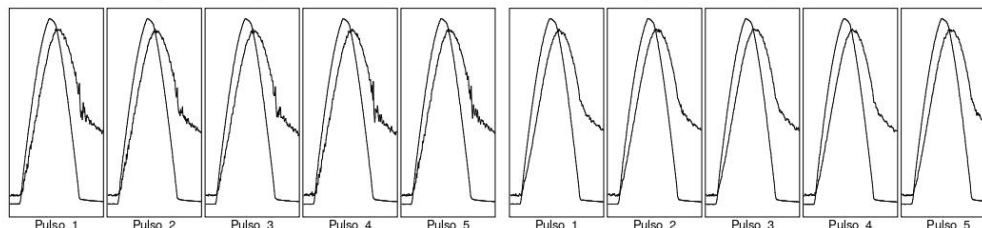
Fecha de impresión: 26:08:2021
 Ensayo realizado por: Ermo Arriagada
 Referencia de la probeta: Biqueta PG76-22 N°3
 Temperatura de la probeta: 15°C
 Diámetro de la probeta: 101.6 mm
 Espesor de la probeta: 63.9 mm
 Densidad aparente: 2316 (kg/m³)
 Coeficiente de Poisson: 0.35
 Tiempo de subida deseada (ms): 124 ms
 Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm
 Número de pulsos de preparación: 15
 Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Feach y hora del ensayo :	26:Ago:2021 15:50	Nombre del cliente :	CDI MEMORISTA
---------------------------	-------------------	----------------------	---------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	Carpeta 19 mm. con Kaomin
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall
Condiciones de almacenamiento	15° C
Método de determinación de la densidad aparente	Hídrica

Ensayo sobre el primer diámetro

Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.43	2.43	2.43	
Esfuerzo horizontal (kPa)	238.3	238.6	238.4	
Factor de área de carga	0.60	0.60	0.61	0.60
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	124.0	125.0	124.4
Módulo resiliente medido (MPa)	4627	4705	4655	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	4632	4709	4664	

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.30	2.30	2.30	
Esfuerzo horizontal (kPa)	225.2	225.6	225.3	
Factor de área de carga	0.60	0.60	0.61	0.60
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	123.0	125.0	124.2
Módulo resiliente medido (MPa)	4428	4492	4453	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	4440	4508	4461	

Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	124.3
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	4554
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	4563

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (4)

<u>Responsable del ensayo</u>	<u>Firmado</u>
Ermo Arriagada	
	<u>Fecha de emisión del informe de ensayo</u> 26:08:2021

Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-NU14)-NU14)

No. De serie del informe de ensayo: 26.08.2021

Dirección del laboratorio de ensayo

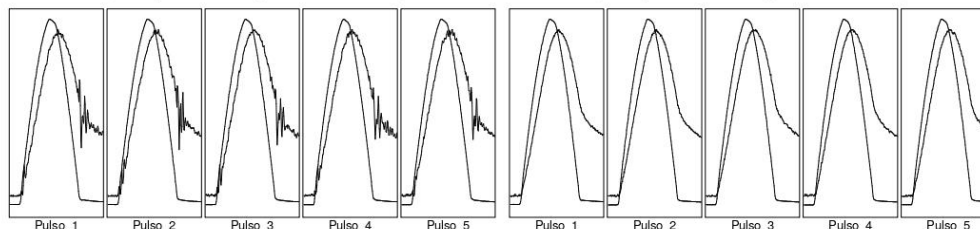
Fecha de impresión: 26:08:2021
 Ensayo realizado por: Ermo Arriagada
 Referencia de la probeta: Briqueta PG76-22 N°4
 Temperatura de la probeta: 15°C
 Diámetro de la probeta: 101.35 mm
 Espesor de la probeta: 63.14 mm
 Densidad aparente: 2320 (kg/m³)
 Coeficiente de Poisson: 0.35
 Tiempo de subida deseada (ms): 124 ms
 Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm
 Número de pulsos de preparación: 15
 Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Feach y hora del ensayo :	26:Ago:2021 15:59	Nombre del cliente :	CDI MEMORISTA
---------------------------	-------------------	----------------------	---------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	Carpeta 19 mm. con Kaomin
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall
Condiciones de almacenamiento	15° C
Método de determinación de la densidad aparente	Hídrica

Ensayo sobre el primer diámetro

Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.54	2.55	2.54	
Esfuerzo horizontal (kPa)	252.4	253.3	252.9	
Factor de área de carga	0.60	0.61	0.61	
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.2	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	123.0	126.0	124.6
Módulo resiliente medido (MPa)	4803	4991	4912	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	4825	5022	4944	

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.62	2.62	2.62	
Esfuerzo horizontal (kPa)	260.1	260.9	260.5	
Factor de área de carga	0.60	0.61	0.61	
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	124.0	126.0	124.4
Módulo resiliente medido (MPa)	5124	5214	5165	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	5137	5228	5184	

Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	124.5
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	5039
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	5064

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (-5)

<u>Responsable del ensayo</u>	<u>Firmado</u>
Ermo Arriagada	
	<u>Fecha de emisión del informe de ensayo</u> 26:08:2021

Informe módulo resiliente por compresión diametral para briquetas de 4", PG76-22 T° Alternativa.

Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-NU14)-NU14)

No. De serie del informe de ensayo: 09.09.2021

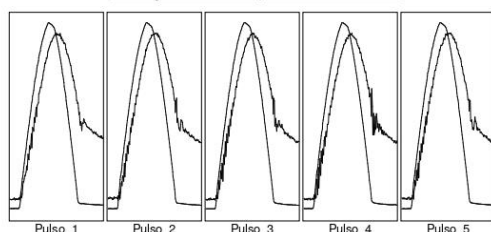
Dirección del laboratorio de ensayo

Fecha de impresión: 10:09:2021
 Ensayo realizado por: Ermo Arriagada
 Referencia de la probeta: Briqueta N°1
 Temperatura de la probeta: 15°C
 Diámetro de la probeta: 101.48 mm
 Espesor de la probeta: 64.15 mm
 Densidad aparente: 2289 (kg/m³)
 Coeficiente de Poisson: 0.35
 Tiempo de subida deseada (ms): 124 ms
 Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm
 Número de pulsos de preparación: 15
 Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

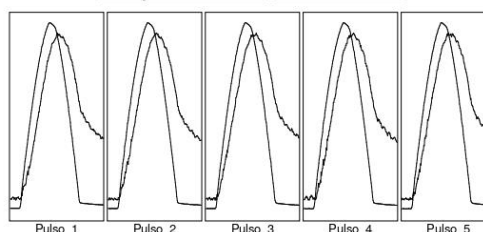
Feach y hora del ensayo :	10:Sep:2021 14:25	Nombre del cliente :	cdi memorista
---------------------------	-------------------	----------------------	---------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	Carpeta 19 mm. MR 8 (Prueba)
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	marshall
Método de compactación	Marshall
Condiciones de almacenamiento	15° C
Método de determinación de la densidad aparente	Hídrica

Ensayo sobre el primer diámetro



Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		3.04	3.04	3.04
Esfuerzo horizontal (kPa)		296.8	297.4	297.2
Factor de área de carga	0.60	0.60	0.61	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms):	124	122.0	124.0	123.2
Módulo resiliente medido (MPa)		5807	5938	5855
Módulo resiliente ajustado (MPa)		5823	5961	5884

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		2.90	2.90	2.90
Esfuerzo horizontal (kPa)		283.4	284.0	283.8
Factor de área de carga	0.60	0.61	0.61	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.8	5.1	4.9
Tiempo de carga (subida) (ms):	124	124.0	126.0	125.2
Módulo resiliente medido (MPa)		5512	5788	5669
Módulo resiliente ajustado (MPa)		5536	5809	5692

Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms):	124.2
Deformación horizontal (µm):	5.0
Deformación horizontal (%):	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa):	5762
Módulo resiliente ajustado (MPa):	5788

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (3)

<u>Responsable del ensayo</u>	<u>Firmado</u>
Ermo Arriagada	
	<u>Fecha de emisión del informe de ensayo</u> 10:09:2021

Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-NU14)-NU14)

No. De serie del informe de ensayo: 09.09.2021

Dirección del laboratorio de ensayo

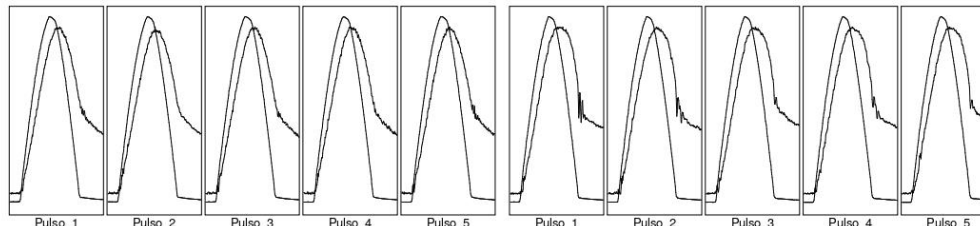
Fecha de impresión: 10:09:2021
 Ensayo realizado por: Ermo Arriagada
 Referencia de la probeta: Briqueta N°2
 Temperatura de la probeta: 15°C
 Diámetro de la probeta: 101.85 mm
 Espesor de la probeta: 63.09 mm
 Densidad aparente: 2292 (kg/m³)
 Coeficiente de Poisson: 0.35
 Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms
 Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm
 Número de pulsos de preparación: 15
 Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Feach y hora del ensayo :	10:Sep:2021 14:38	Nombre del cliente :	cdi memorista
---------------------------	-------------------	----------------------	---------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	Carpeta 19 mm. MR 8 (Prueba)
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	marshall
Método de compactación	Marshall
Condiciones de almacenamiento	15° C
Método de determinación de la densidad aparente	Hídrica

Ensayo sobre el primer diámetro

Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.42	2.42	2.42	
Esfuerzo horizontal (kPa)	239.8	240.3	240.1	
Factor de área de carga	0.60	0.60	0.61	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	123.0	128.0	125.0
Módulo resiliente medido (MPa)	4683	4781	4729	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	4704	4808	4750	

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.58	2.58	2.58	
Esfuerzo horizontal (kPa)	255.2	255.7	255.5	
Factor de área de carga	0.60	0.60	0.61	0.60
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.1	5.1	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	124.0	122.8
Módulo resiliente medido (MPa)	4952	4994	4984	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	4965	5009	4993	

Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	123.9
Deformación horizontal (µm) :	5.1
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	4857
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	4872

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (-5)

<u>Responsable del ensayo</u>	<u>Firmado</u>
Ermo Arriagada	
	<u>Fecha de emisión del informe de ensayo</u> 10:09:2021

Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-NU14)-NU14)

No. De serie del informe de ensayo: 09.09.2021

Dirección del laboratorio de ensayo

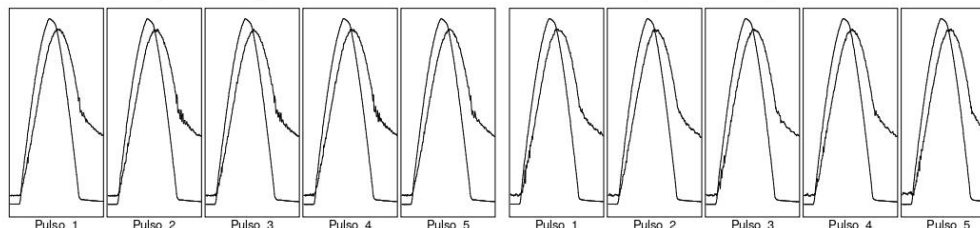
Fecha de impresión: 10:09:2021
 Ensayo realizado por: Ermo Arriagada
 Referencia de la probeta: Briqueta N°3
 Temperatura de la probeta: 15°C
 Diámetro de la probeta: 101.4 mm
 Espesor de la probeta: 64 mm
 Densidad aparente: 2288 (kg/m³)
 Coeficiente de Poisson: 0.35
 Tiempo de subida deseada (ms): 124 ms
 Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm
 Número de pulsos de preparación: 15
 Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Feach y hora del ensayo :	10:Sep:2021 14:47	Nombre del cliente :	cdi memorista
---------------------------	-------------------	----------------------	---------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	Carpeta 19 mm. MR 8 (Prueba)
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	marshall
Método de compactación	Marshall
Condiciones de almacenamiento	15° C
Método de determinación de la densidad aparente	Hidrica

Ensayo sobre el primer diámetro

Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.58	2.58	2.58	2.58
Esfuerzo horizontal (kPa)	253.0	253.5	253.2	253.2
Factor de area de carga	0.60	0.60	0.61	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	123.0	127.0	124.4
Módulo resiliente medido (MPa)		4972	5020	4993
Módulo resiliente ajustado (MPa)		4991	5040	5016

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.54	2.55	2.55	2.55
Esfuerzo horizontal (kPa)	249.5	250.2	250.0	250.0
Factor de area de carga	0.60	0.61	0.61	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.8	5.0	4.9
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	125.0	123.8
Módulo resiliente medido (MPa)		4962	5113	5035
Módulo resiliente ajustado (MPa)		4984	5132	5055

Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	124.1
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	5014
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	5036

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (-0.8)

<u>Responsable del ensayo</u>	<u>Firmado</u>
Ermo Arriagada	
	<u>Fecha de emisión del informe de ensayo</u> 10:09:2021

Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-NU14)-NU14)

No. De serie del informe de ensayo: 09.09.2021

Dirección del laboratorio de ensayo

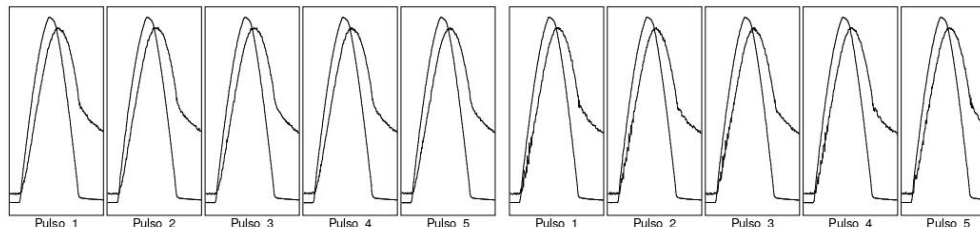
Fecha de impresión: 10:09:2021
 Ensayo realizado por: Ermo Arriagada
 Referencia de la probeta: Briqueta N°4
 Temperatura de la probeta: 15°C
 Diámetro de la probeta: 101.48 mm
 Espesor de la probeta: 64.01 mm
 Densidad aparente: 2291 (kg/m³)
 Coeficiente de Poisson: 0.35
 Tiempo de subida deseada (ms): 124 ms
 Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm
 Número de pulsos de preparación: 15
 Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Feach y hora del ensayo :	10:Sep:2021 14:55	Nombre del cliente :	cdi memorista
---------------------------	-------------------	----------------------	---------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	Carpeta 19 mm. MR 8 (Prueba)
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	marshall
Método de compactación	Marshall
Condiciones de almacenamiento	15° C
Método de determinación de la densidad aparente	Hídrica

Ensayo sobre el primer diámetro

Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.62	2.62	2.62	
Esfuerzo horizontal (kPa)	256.6	257.1	256.9	
Factor de área de carga	0.60	0.60	0.61	0.60
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	125.0	123.6
Módulo resiliente medido (MPa)		5039	5086	5069
Módulo resiliente ajustado (MPa)		5065	5104	5088

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	2.54	2.55	2.54	
Esfuerzo horizontal (kPa)	249.0	249.5	249.3	
Factor de área de carga	0.60	0.61	0.60	
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	121.0	124.0	122.4
Módulo resiliente medido (MPa)		4881	4951	4922
Módulo resiliente ajustado (MPa)		4887	4958	4934

Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	123.0
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	4996
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	5011

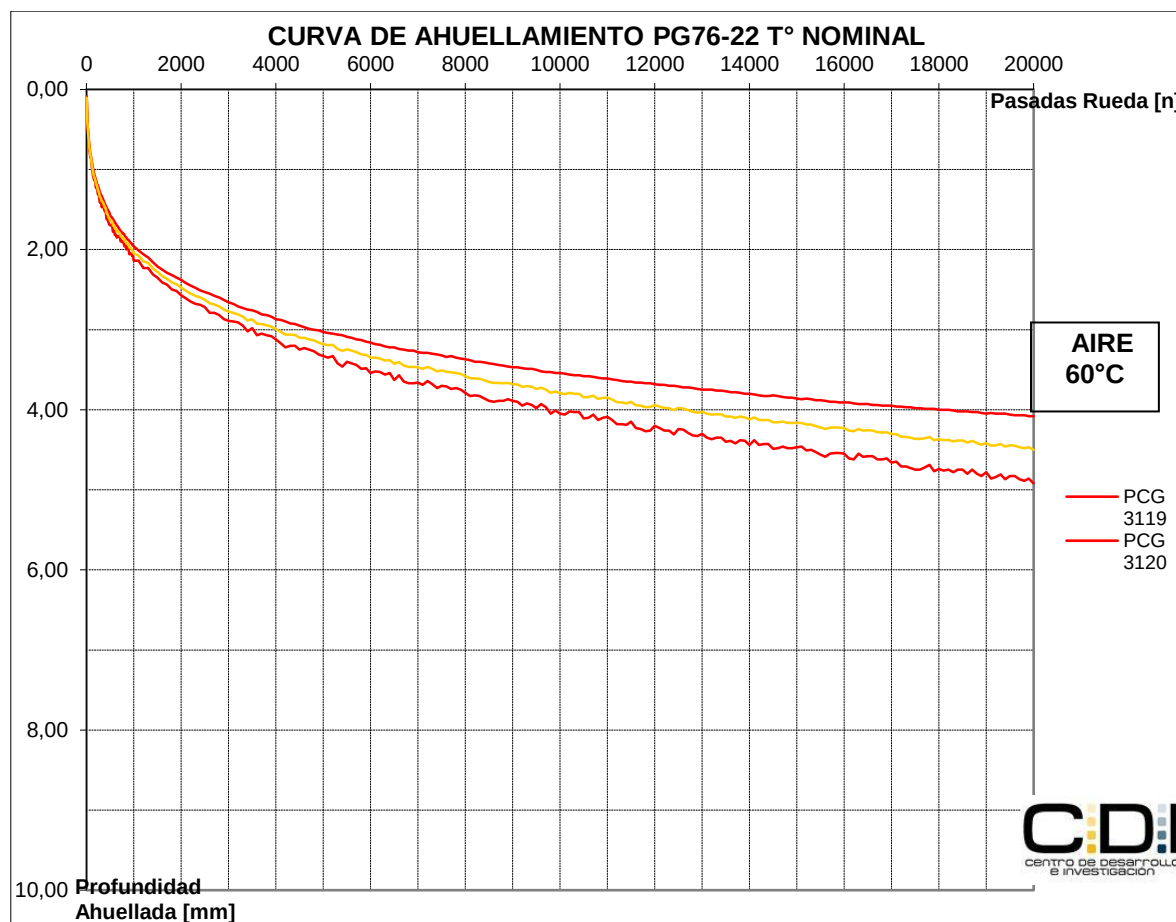
Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (3)

<u>Responsable del ensayo</u>	<u>Firmado</u>
Ermo Arriagada	
	<u>Fecha de emisión del informe de ensayo</u> 10:09:2021

***ANEXO D: Gráficos de
deformación producto del
ahuellamiento en seco a 60°C para
ambos ligantes asfálticos.***

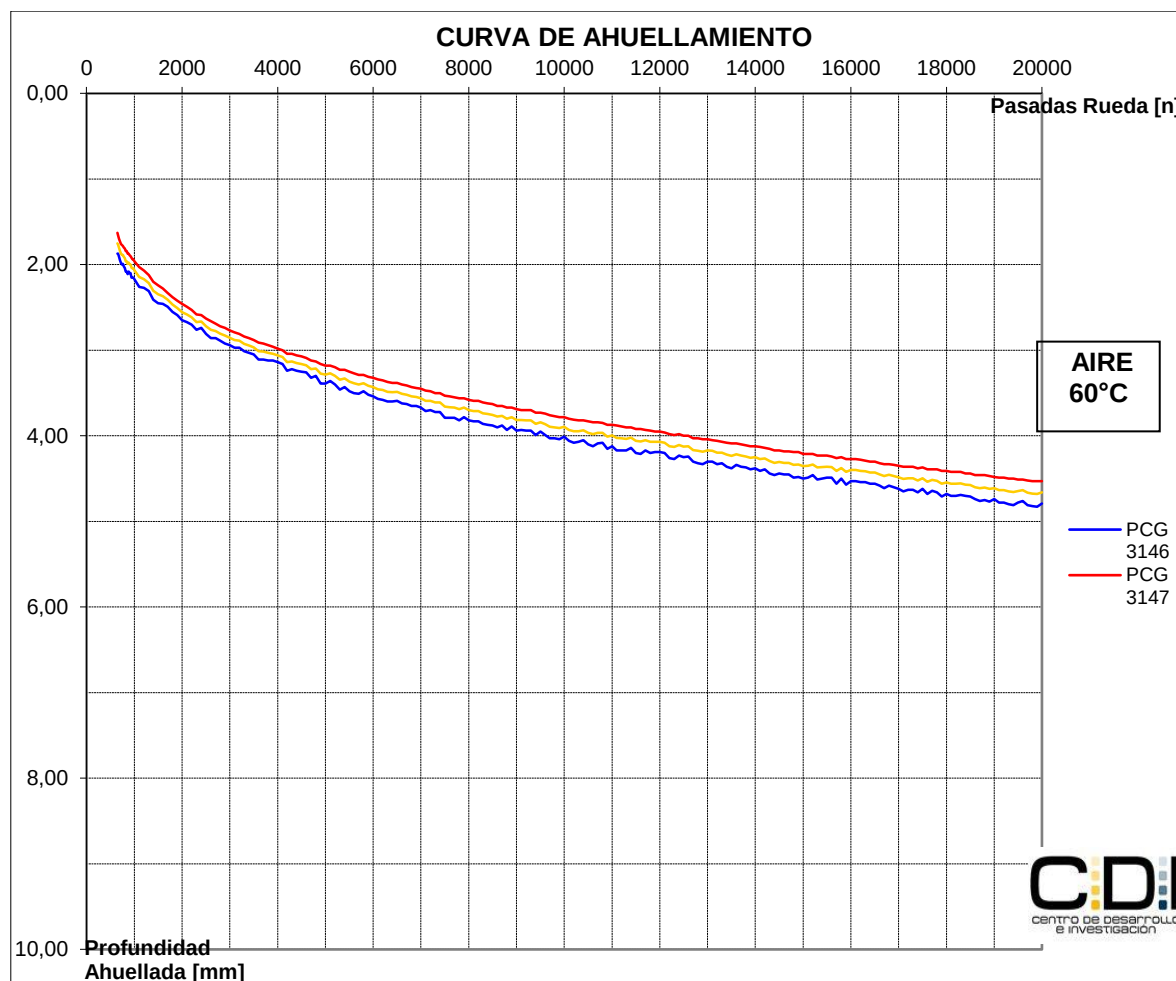
En la **Imagen 25** se puede apreciar la curva de deformación versus el número de pasadas de la rueda de Hamburgo en las briquetas de 6" compactadas en el compactador giratorio.

Imagen 25 - Ahuellamiento en seco PG76-22 T° Nominal



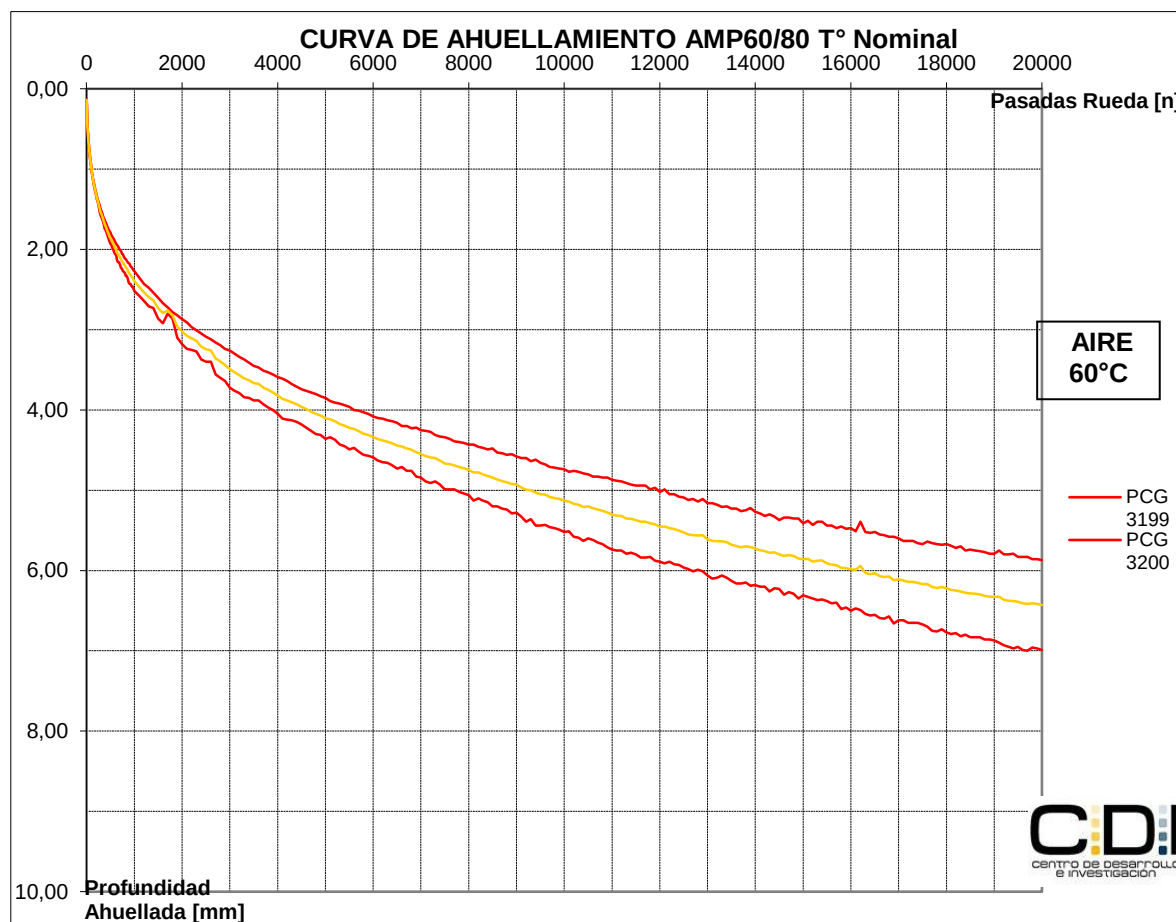
En la **Imagen 26** se puede apreciar la curva de deformación versus el número de pasadas de la rueda de Hamburgo en las briquetas de 6" compactadas en el compactador giratorio.

Imagen 26 - Ahuellamiento en seco PG76-22 T° alternativa.



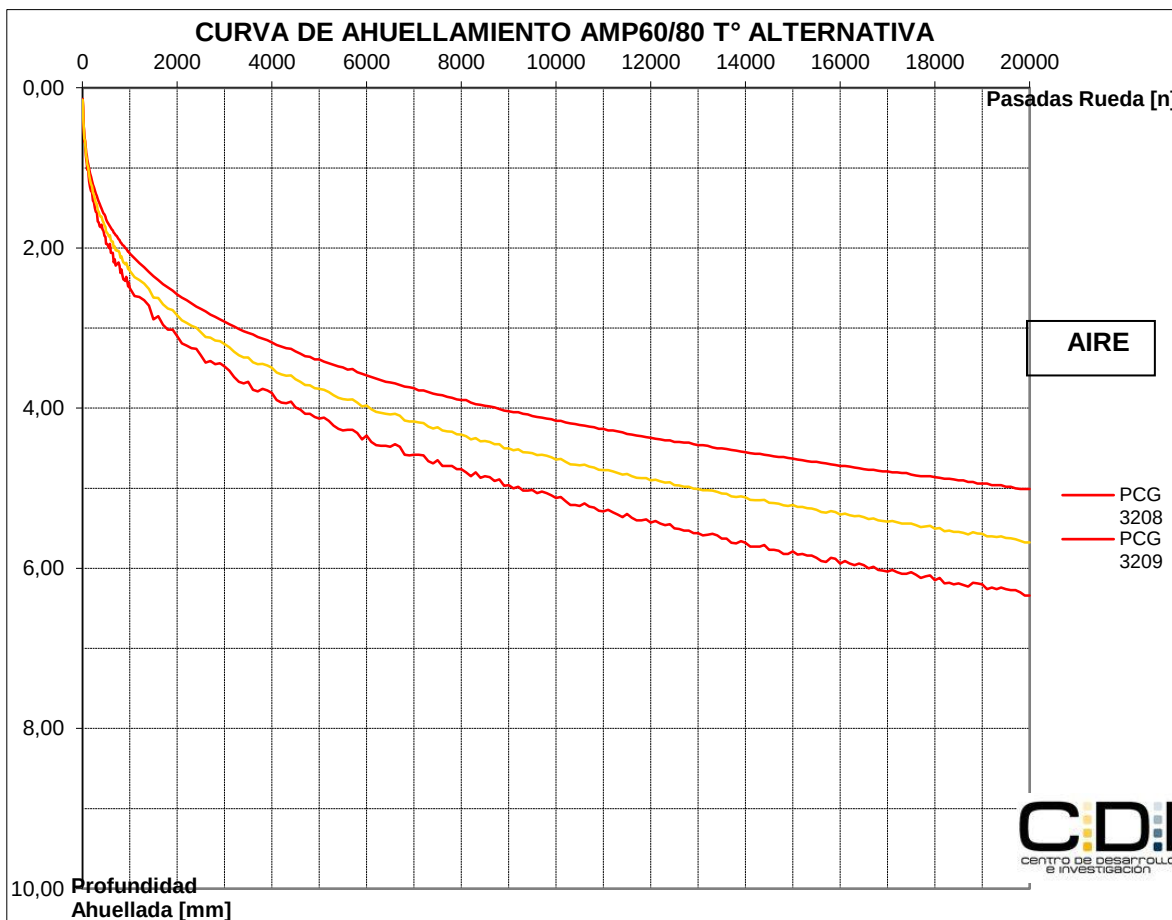
En la **Imagen 27** se puede apreciar la curva de deformación versus el número de pasadas de la rueda de Hamburgo en las briquetas de 6" con RAP ½" y ligante AMP60/80 compactadas en el compactador giratorio a temperatura nominal.

Imagen 27 - Ahuellamiento en seco en briquetas de 6" con RAP 1/2" y ligante AMP60/80 T° Nominal.



En la **Imagen 28** se puede apreciar la curva de deformación versus el número de pasadas de la rueda de Hamburgo en las briquetas de 6" con RAP ½" y ligante AMP60/80 compactadas en el compactador giratorio a temperatura alternativa.

Imagen 28 - Ahuellamiento en seco en briquetas de 6" con RAP 1/2" y ligante AMP60/80 T° Alternativa.



***ANEXO E: Detalles del ensayo
de Curvas de compactación para para
ambos tipos de ligantes utilizados a
distintas temperaturas según lo indica
el ensayo.***

Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35
Prob. N°3123 PG76-22 T° Nominal acondicionada a 166°C por 2 Hrs.

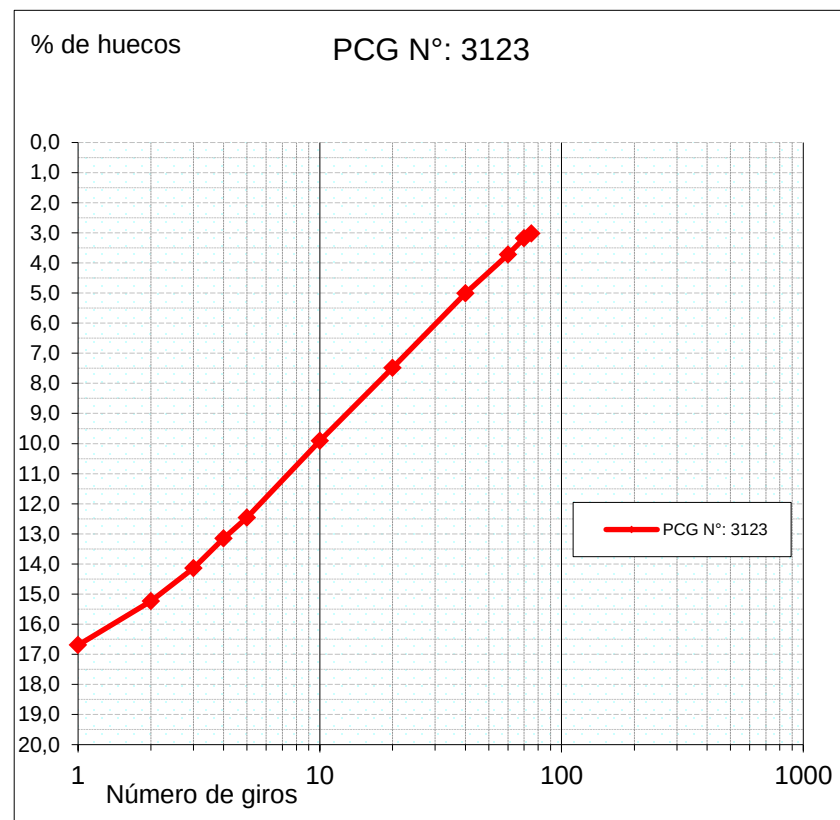
Tipo Ligante	PG76-22
Batch	1803
Temperaturas	
TM (°C)	177
TC (°C)	166

Calculo Gmb	
CA ref. agr, %	4,9
CA ref. Mezcla, %	4,7
Altura, mm	124,5
Altura CG, mm	124,3
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5101,8
Masa Agua, g	3005,6
Masa SSS, g	5129,3
Agua Abs. %	1,3
Volumen H, cm ³	2123,7
Gmb	2,402
Densidad H	2,395
Gmm	2,477
Dmm	2,470
Gmb, Diseño	2,368
Marshall Diseño	2,361
Va, %	3,0
Comp Marshall, %	101,5

	TLig (°C)	177	PCG N°:	3123
	TÁri (°C)	177	N° Giros	75
N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	144,7	2,064	16,7	0,00
2	142,2	2,100	15,2	0,30
3	140,4	2,127	14,1	0,48
4	138,8	2,151	13,2	0,60
5	137,7	2,169	12,5	0,70
10	133,8	2,232	9,9	1,00
20	130,3	2,292	7,5	1,30
40	126,9	2,353	5,0	1,60
60	125,2	2,385	3,7	1,78
70	124,5	2,398	3,2	1,85
75	124,3	2,402	3,0	1,88

						Giros	
y =	8	y = m x + n	x	7	y = m x + n		
x =	1,233	m	n	log x	0,8451	m	n
N =	17,11	-7,67777	17,4681	gmb	2,2052	0,19019	2,04

Imagen 29 - Curva de compactación PG76-22 T° nominal N° 3123 T° 166°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35

Prob. N°3124 PG76-22 T° Nominal acondicionada a 166°C por 2 Hrs

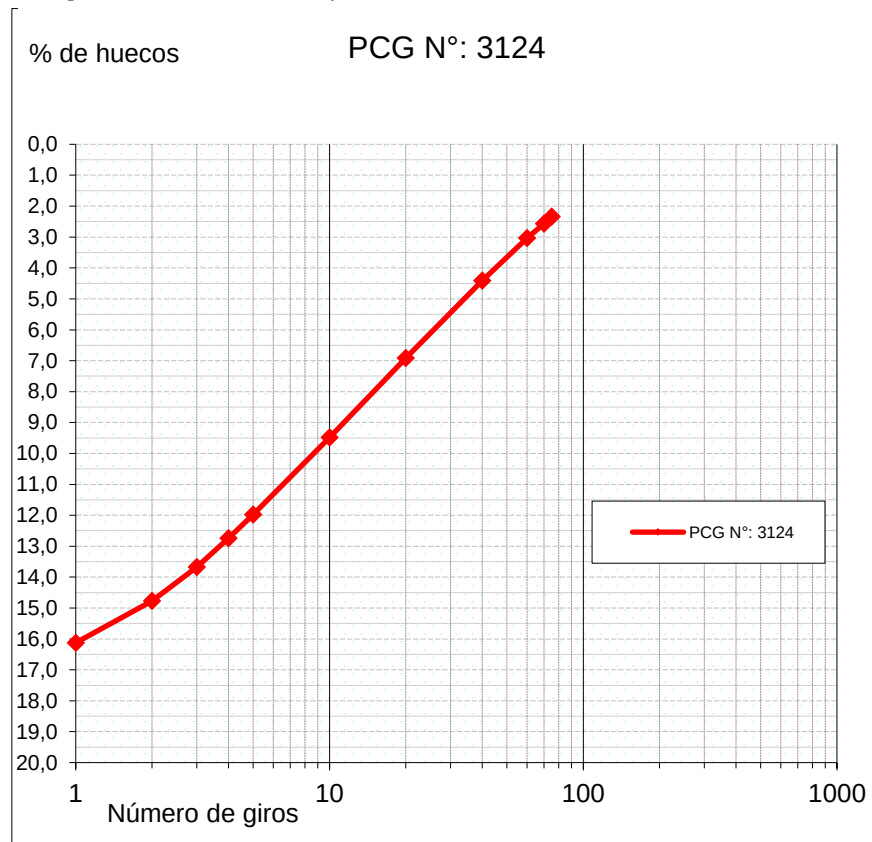
Tipo Ligante	PG76-22	PCG N°:	3124
Batch	1803	N° Giros	75
Temperaturas			
TM (°C)	177		
TC (°C)	166		

Calculo Gmb	
CA ref. agr, %	4,9
CA ref. Mezcla, %	4,7
Altura, mm	124,6
Altura CG, mm	124,1
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5129,2
Masa Agua, g	3022,3
Masa SSS, g	5142,4
Agua Abs. %	0,6
Volumen H, cm ³	2120,1
Gmb	2,419
Densidad H	2,412
Gmm	2,477
Dmm	2,470
Gmb, Diseño	2,368
Marshall Diseño	2,361
Va, %	2,3
Comp Marshall, %	102,2

	TLig (°C)	177		
	TÁri (°C)	177		
N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	144,5	2,078	16,1	0,00
2	142,2	2,111	14,8	0,30
3	140,4	2,138	13,7	0,48
4	138,9	2,162	12,7	0,60
5	137,7	2,180	12,0	0,70
10	133,9	2,242	9,5	1,00
20	130,2	2,306	6,9	1,30
40	126,8	2,368	4,4	1,60
60	125	2,402	3,0	1,78
70	124,4	2,413	2,6	1,85
75	124,1	2,419	2,3	1,88

						Giros	
y =	8	y = m x + n	x	7		y = m x + n	
x =	1,161	m	n	log x	0,8451	m	n
N =	14,49	-7,7809	17,0341	gmb	2,2181	0,19275	2,06

Imagen 30 - Curva de compactación PG76-22 T° nominal N° 3124 T° 166°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35

Prob. N°3121 PG76-22 T° Nominal acondicionada a 136°C por 2 Hrs

Tipo Ligante	PG76-22				PCG N°:	3121	
Batch	1803	TLig (°C)			177	N° Giros	75
Temperaturas		TÁri (°C)			177		
TM (°C):	177	N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)	
TC (°C)	136						

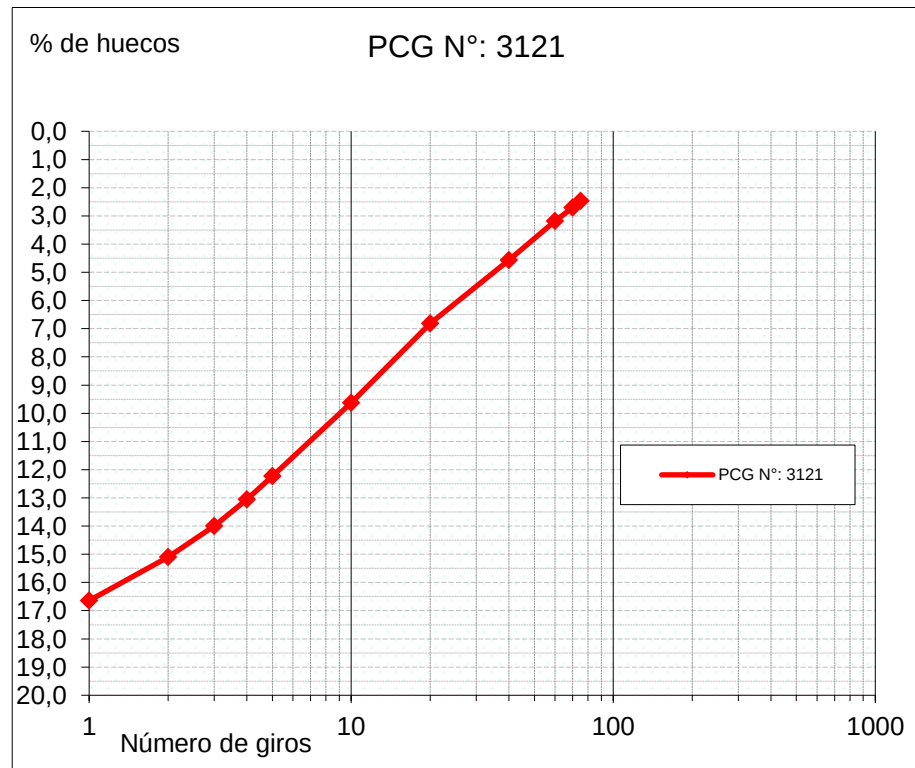
Calculo Gmb

CA ref. agr, %	4,9
CA ref. Mezcla, %	4,7
Altura, mm	122,7
Altura CG, mm	122,3
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5067,5
Masa Agua, g	2986,0
Masa SSS, g	5083,4
Agua Absorbida, %	0,8
Volumen H, cm ³	2097,4
Gmb	2,416
Densidad H	2,409
Gmm	2,477
Dmm	2,470
Gmb, Diseño	2,368
Marshall Diseño	2,361
Va, %	2,5
Comp Marshall, %	102,0

N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	143,1	2,065	16,6	0,00
2	140,5	2,103	15,1	0,30
3	138,7	2,130	14,0	0,48
4	137,2	2,154	13,1	0,60
5	135,9	2,174	12,2	0,70
10	132	2,239	9,6	1,00
20	128	2,308	6,8	1,30
40	125	2,364	4,6	1,60
60	123,2	2,398	3,2	1,78
70	122,6	2,410	2,7	1,85
75	122,3	2,416	2,5	1,88

Giros							
y =	8	y = m x + n		x	8	y = m x + n	
x =	1,185	m	n	log x	0,9031	m	n
N =	15,318	7,96294	17,4377	gmb	2,2234	0,19726	2,05

Imagen 31 - Curva de compactación PG76-22 T° nominal N° 3121 T° 136°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 Prob.

N°3122 PG76-22 T° Nominal acondicionada a 136°C por 2 Hrs

Tipo Ligante	PG76-22
Batch	1803
Temperaturas	
TM (°C)	177
TC (°C)	136

PCG N°:	3122
N° Giros	75

TLig (°C)	177
TÁri (°C)	177

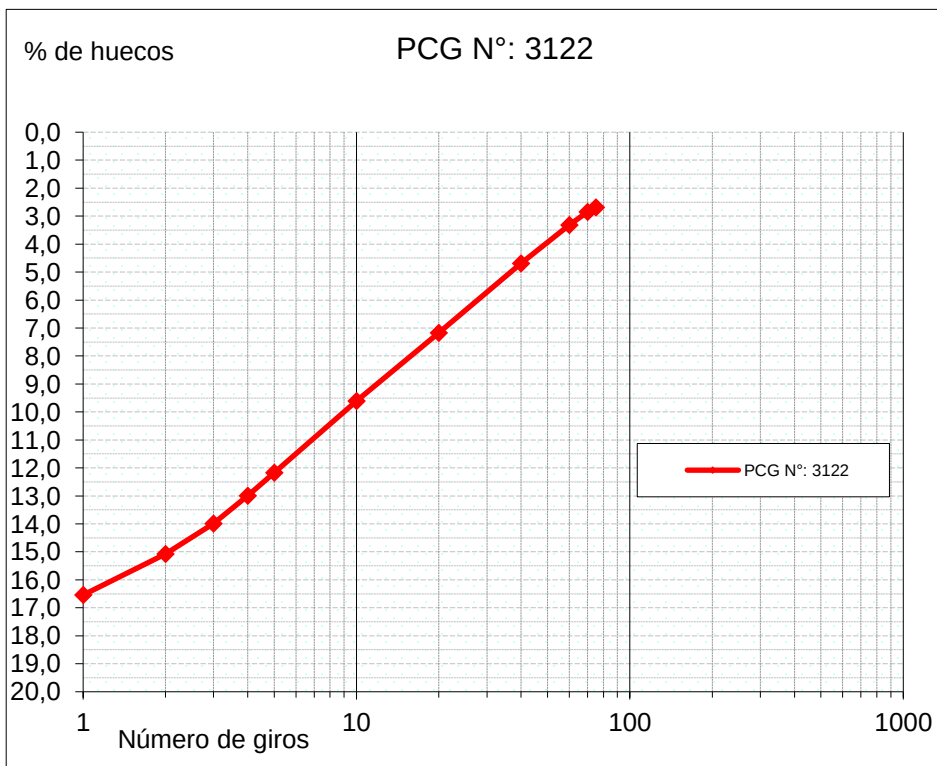
N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	144,7	2,067	16,5	0,00
2	142,2	2,104	15,1	0,30
3	140,4	2,131	14,0	0,48
4	138,8	2,155	13,0	0,60
5	137,5	2,176	12,2	0,70
10	133,6	2,239	9,6	1,00
20	130,1	2,299	7,2	1,30
40	126,7	2,361	4,7	1,60
60	124,9	2,395	3,3	1,78
70	124,3	2,407	2,8	1,85
75	124,1	2,411	2,7	1,88

Calculo Gmb

CA ref. agr, %	4,9
CA ref. Mezcla, %	4,7
Altura, mm	124,6
Altura CG, mm	124,1
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5107,8
Masa Agua, g	3008,7
Masa SSS, g	5127,6
Agua Absorbida, %	0,9
Volumen H, cm ³	2118,9
Gmb	2,411
Densidad H	2,404
Gmm	2,477
Dmm	2,470
Gmb, Diseño	2,368
Marshall Diseño	2,361
Va, %	2,7
Comp Marshall, %	101,8

				Giros			
y =	8	y = m x + n		x	8	y = m x + n	
x =	1,196	m	n	log x	0,9031	m	n
N =	15,709	7,80137	17,3315	gmb	2,2224	0,19325	2,05

Imagen 32 - Curva de compactación PG76-22 T° nominal N°3122 T° 136°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 Prob.

N°3150 PG76-22 T° Alternativa acondicionada a 157°C por 2 Hrs.

Tipo Ligante	PG76-22			PCG N°:	3150
Batch	1803	TLig (°C)		N° Giros	75
Temperaturas		TÁri (°C)			
TM (°C)	166	N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %
TC (°C)	157				log(N)

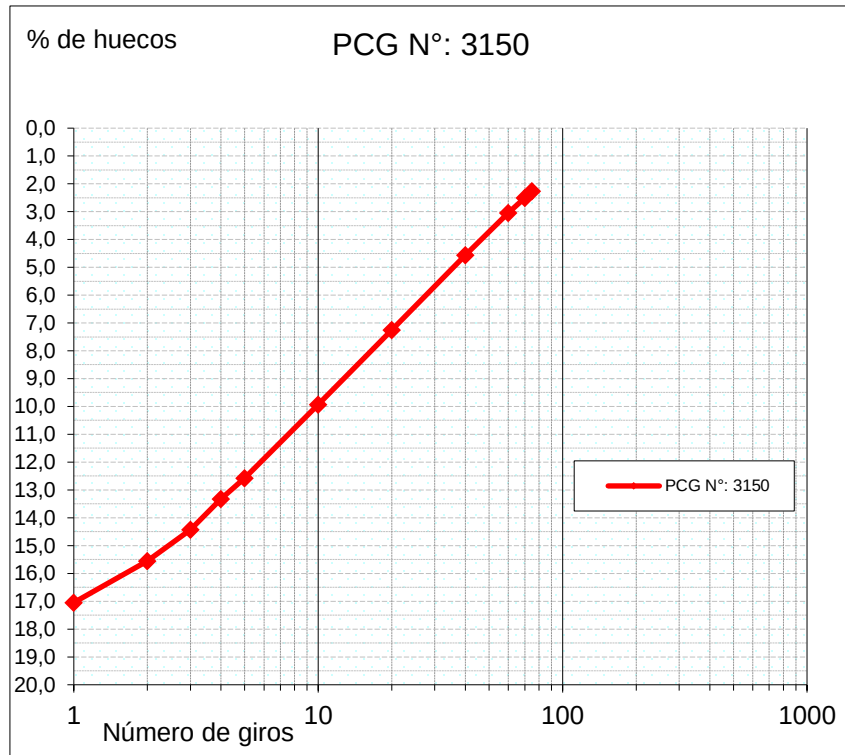
Calculo Gmb

CA ref. agr, %	4,9
CA ref. Mezcla, %	4,7
Altura, mm	124,5
Altura CG, mm	124,6
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5108,6
Masa Agua, g	3014,7
Masa SSS, g	5123,1
Agua Absorbida, %	0,7
Volumen H, cm ³	2108,4
Gmb	2,423
Densidad H	2,416
Gmm	2,479
Dmm	2,472
Gmb, Diseño	2,368
Marshall Diseño	2,361
Va, %	2,3
Comp Marshall, %	102,3

1	146,8	2,057	17,0	0,00
2	144,2	2,094	15,6	0,30
3	142,3	2,122	14,4	0,48
4	140,5	2,149	13,3	0,60
5	139,3	2,167	12,6	0,70
10	135,2	2,233	9,9	1,00
20	131,3	2,299	7,3	1,30
40	127,6	2,366	4,6	1,60
60	125,6	2,404	3,0	1,78
70	124,9	2,417	2,5	1,85
75	124,6	2,423	2,3	1,88

				Giros			
y =	8	y = m x + n		x	7	y = m x + n	
x =	1,202	m	n	log x	0,8451	m	n
N =	15,93	8,308940	17,9898	gmb	2,2073	0,20599	2,03

Imagen 33 - Curva de compactación PG76-22 T° alternativa N°3150 a 157°C.



**Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 Prob.
N°3151 PG76-22 T° Alternativa acondicionada a 157°C por 2 Hrs.**

Tipo Ligante	PG76-22				PCG N°:	3151
Batch	1803				N° Giros	75
Temperaturas						
TM (°C)	166	N° Giros	TÁri (°C)	166		
TC (°C)	157		Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)

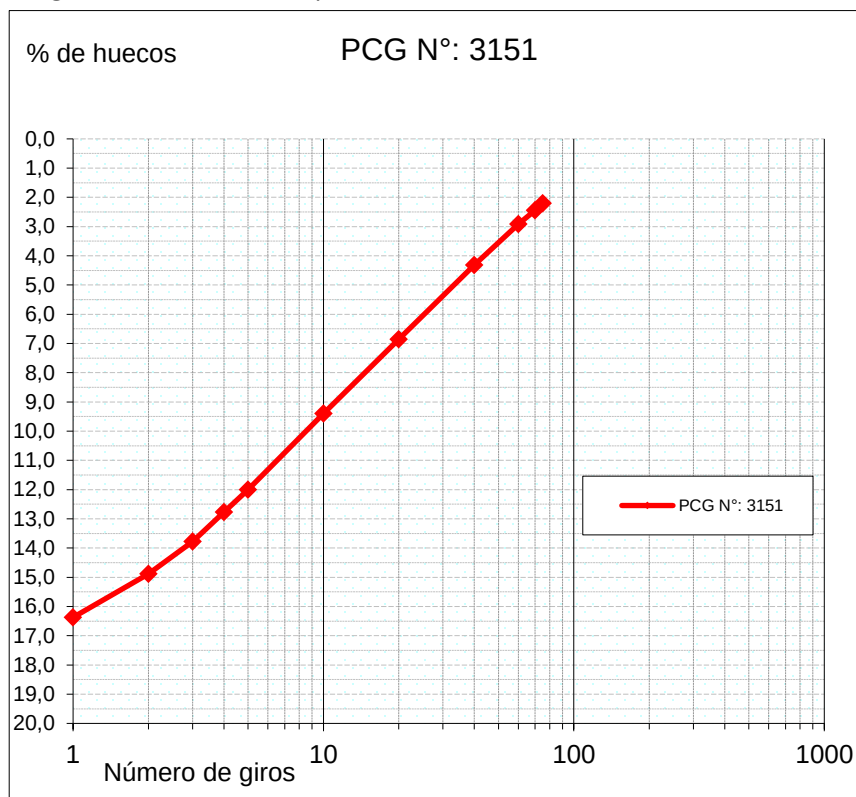
Calculo Gmb

CA ref. agr, %	4,9
CA ref. Mezcla, %	4,7
Altura, mm	122,2
Altura CG, mm	122,2
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5080,1
Masa Agua, g	2997,1
Masa SSS, g	5092,4
Agua Absorbida, %	0,587
Volumen H, cm ³	2095,3
Gmb	2,425
Densidad H	2,417
Gmm	2,479
Dmm	2,472
Gmb, Diseño	2,368
Marshall Diseño	2,361
Va, %	2,2
Comp Marshall, %	102,4

N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	142,9	2,073	16,4	0,00
2	140,4	2,110	14,9	0,30
3	138,6	2,138	13,8	0,48
4	137	2,163	12,8	0,60
5	135,8	2,182	12,0	0,70
10	131,9	2,246	9,4	1,00
20	128,3	2,309	6,9	1,30
40	124,9	2,372	4,3	1,60
60	123,1	2,407	2,9	1,78
70	122,5	2,419	2,4	1,85
75	122,2	2,425	2,2	1,88

						Giros	
y =	8	y = m x + n		x	7	y = m x + n	
x =	1,157	m	n	log x	0,8451	m	n
N =	14,365	-7,95368	17,2048	gmb	2,2193	0,19719	2,05

Imagen 34 - Curva de compactación PG76-22 T° alternativa N°3151 a 157°C.



**Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 Prob.
N°3148 PG76-22 T° Alternativa acondicionada a 127°C por 2 Hrs.**

Tipo Ligante	PG76-22	Nº Giros			PCG Nº:	3148
Batch	1803		T _{Lig} (°C)	166	Nº Giros	75
Temperaturas			T _{Ári} (°C)	166		
TM (°C)	166		Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
TC (°C)	127					

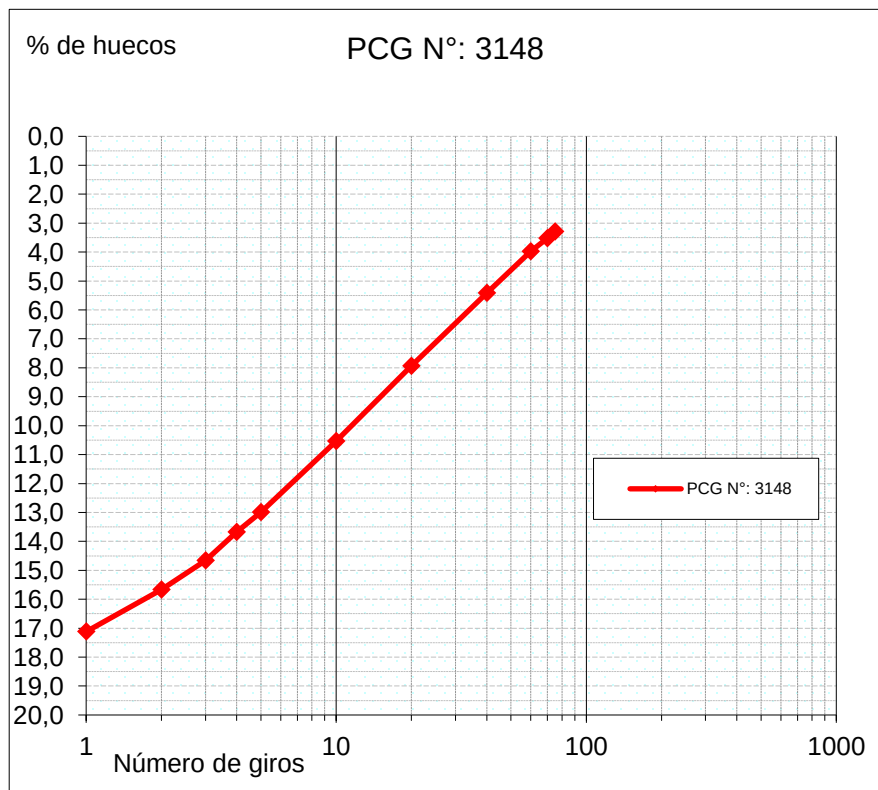
Calculo Gmb

CA ref. agr, %	4,9
CA ref. Mezcla, %	4,7
Altura, mm	124,7
Altura CG, mm	124,6
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5099,3
Masa Agua, g	2990,8
Masa SSS, g	5117,5
Agua Ab. %	0,9
Volumen H, cm ³	2126,7
Gmb	2,398
Densidad H	2,391
Gmm	2,479
Dmm	2,472
Gmb, Diseño	2,368
Marshall Diseño	2,361
Va %	3,3
Comp Marshall, %	101,3

N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	145,4	2,055	17,1	0,00
2	142,9	2,091	15,7	0,30
3	141,2	2,116	14,7	0,48
4	139,6	2,140	13,7	0,60
5	138,5	2,157	13,0	0,70
10	134,7	2,218	10,5	1,00
20	130,9	2,282	7,9	1,30
40	127,4	2,345	5,4	1,60
60	125,5	2,381	4,0	1,78
70	124,9	2,392	3,5	1,85
75	124,6	2,398	3,3	1,88

						Giros	
y =	8	y = m x + n		x	8	y = m x + n	
x =	1,286	m	n	log x	0,9	m	n
N =	19,336	-7,78453	18,0138	gmb	2,21	0,19299	2,03

Imagen 35 - Curva de compactación PG76-22 T° alternativa N°3148 T° 127°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 Prob.
N°3149 PG76-22 T° Alternativa acondicionada a 127°C por 2 Hrs.

Tipo Ligante	PG76-22
Batch	1803
Temperaturas	
TM (°C)	166
TC (°C)	127

TLig (°C)	166
TÁri (°C)	166

PCG N°	3149
N° Giros	75

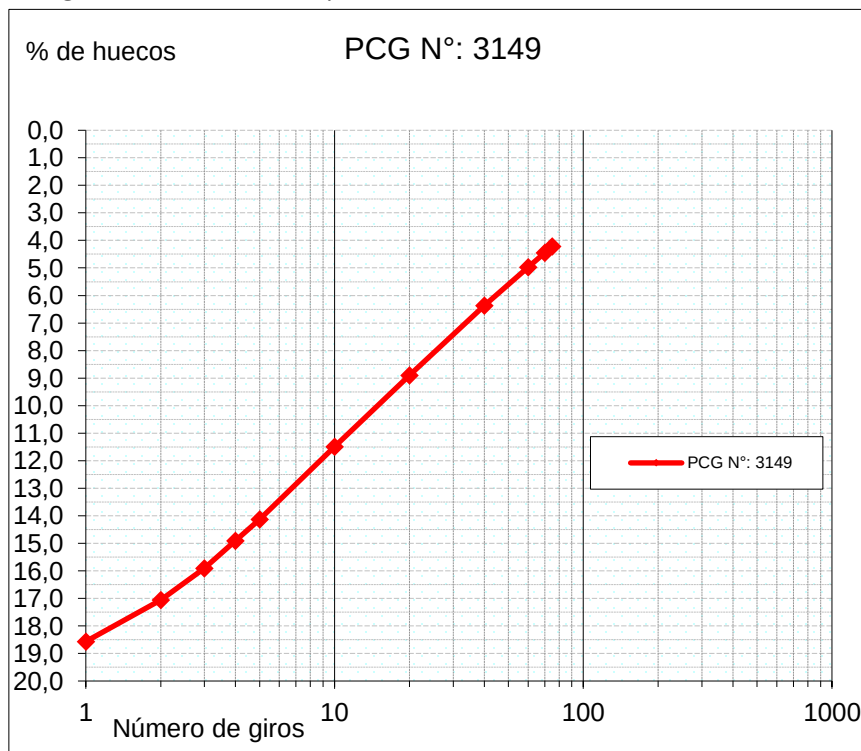
N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	148,9	2,019	18,6	0,00
2	146,2	2,056	17,1	0,30
3	144,2	2,085	15,9	0,48
4	142,5	2,110	14,9	0,60
5	141,2	2,129	14,1	0,70
10	137	2,194	11,5	1,00
20	133,1	2,259	8,9	1,30
40	129,5	2,321	6,4	1,60
60	127,6	2,356	5,0	1,78
70	126,9	2,369	4,4	1,85
75	126,6	2,375	4,2	1,88

Calculo Gmb

CA ref. agr, %	4,9
CA ref. Mezcla, %	4,7
Altura, mm	126,6
Altura CG, mm	126,6
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5111,7
Masa Agua, g	2978,9
Masa SSS, g	5131,6
Agua Ab. %	0,9
Volumen H, cm ³	2152,7
Gmb	2,375
Densidad H	2,368
Gmm	2,479
Dmm	2,472
Gmb, Diseño	2,368
Marshall Diseño	2,361
Va, %	4,2
Comp Marshall, %	100,3

						Giros	
y =	8	y = m x + n		x	8	y = m x + n	
x =	1,416	m	n	log x	0,903	m	n
N =	26,062	-8,04854	19,396	gmb	2,1785	0,19954	2

Imagen 36 - Curva de compactación PG76-22 T° Alternativa N°3149 T° 127°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 Prob.

N°3201 AMP60/80 T° Nominal acondicionada a 157°C por 2 Hrs.

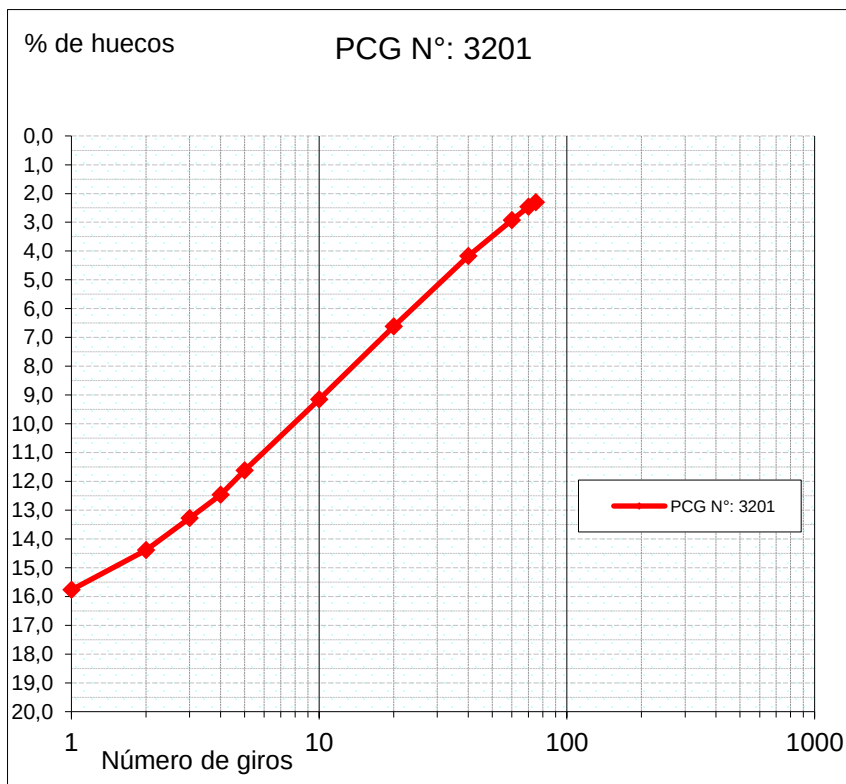
Tipo Ligante		AMP60/80				PCG N°:	3201
Batch		1803				N° Giros	75
Temperaturas							
TM (°C)		167					
TC (°C)		157					
		N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, % log(N)		

Calculo Gmb	
CA ref. agr, %	4,7
CA ref. Mezcla, %	4,5
Altura, mm	123,2
Altura CG, mm	123,2
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5060,3
Masa Agua, g	2987,5
Masa SSS, g	5075,0
Agua Absorbida, %	0,7
Volumen H, cm ³	2087,5
Gmb	2,424
Densidad H	2,417
Gmm	2,481
Dmm	2,474
Gmb, Diseño	2,374
Marshall Diseño	2,367
Va, %	2,3
Comp Marshall, %	102,1

N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	142,9	2,090	15,8	0,00
2	140,6	2,124	14,4	0,30
3	138,8	2,152	13,3	0,48
4	137,5	2,172	12,5	0,60
5	136,2	2,193	11,6	0,70
10	132,5	2,254	9,2	1,00
20	128,9	2,317	6,6	1,30
40	125,6	2,378	4,2	1,60
60	124	2,408	2,9	1,78
70	123,4	2,420	2,5	1,85
75	123,2	2,424	2,3	1,88

				Giros	
y =	8	y = m x + n		x	7
x =	1,129	m	n	log x	0,8451
N =	13,47	-7,62175	16,6068	gmb	2,229
					0,18911
					2,069

Imagen 37 - Curva de compactación AMP60/80 T° Nominal a N°3201 T° 157°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 N°3217

AMP60/80 T° Nominal acondicionada a 157°C por 2 Hrs.

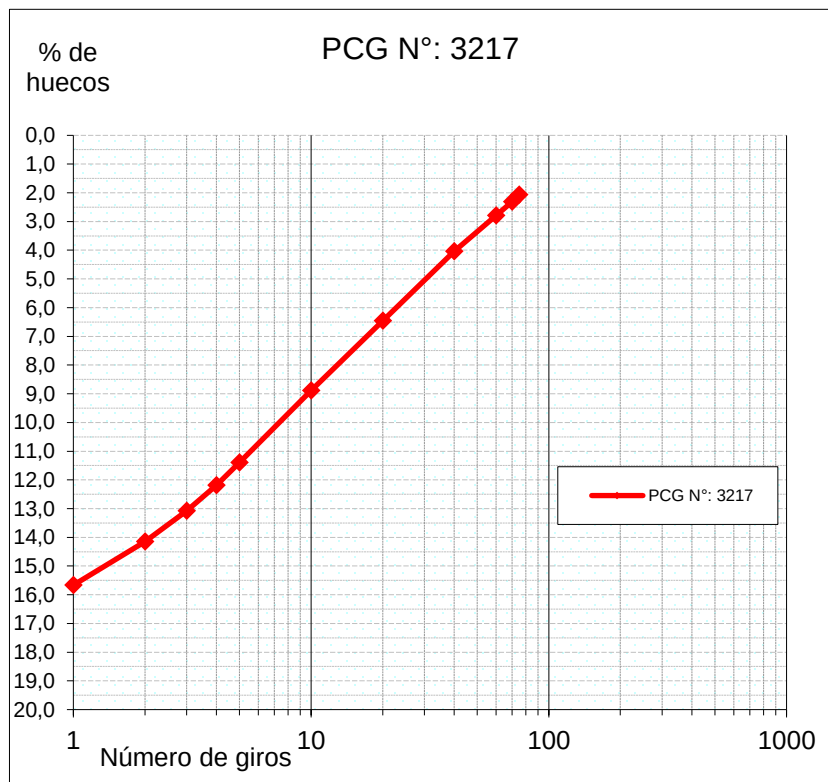
Tipo Ligante	AMP60/80	PCG N°:	3217
Batch	1803	N° Giros	75
Temperaturas			
TM (°C)	167		
TC (°C)	157		

Calculo Gmb	
CA ref. agr, %	4,7
CA ref. Mezcla, %	4,5
Altura, mm	121,8
Altura CG, mm	121,6
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5074,9
Masa Agua, g	2995,4
Masa SSS, g	5084,0
Agua Abs. %	0,436
Volumen H, cm ³	2088,6
Gmb	2,430
Densidad H	2,423
Gmm	2,481
Dmm	2,474
Gmb, Diseño	2,374
Marshall Diseño	2,367
Va, %	2,1
Comp Marshall, %	102,4

	TLig (°C)	167		
	TÁri (°C)	180		
N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	141,2	2,093	15,7	0,00
2	138,7	2,130	14,1	0,30
3	137	2,157	13,1	0,48
4	135,6	2,179	12,2	0,60
5	134,4	2,198	11,4	0,70
10	130,7	2,261	8,9	1,00
20	127,3	2,321	6,5	1,30
40	124,1	2,381	4,0	1,60
60	122,5	2,412	2,8	1,78
70	121,9	2,424	2,3	1,85
75	121,6	2,430	2,1	1,88

						Giros	
y =	8	y = m x + n		x	7	y = m x + n	
x =	1,104	m	n	log x	0,8451	m	n
N =	12,701	-7,60019	16,3895	gmb	2,2339	0,18858	2,07

Imagen 38 - Curva de compactación AMP60/80 T° Nominal N°3217 T° 157°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 N°3216

AMP60/80 T° Nominal acondicionada a 127°C por 2 Hrs.

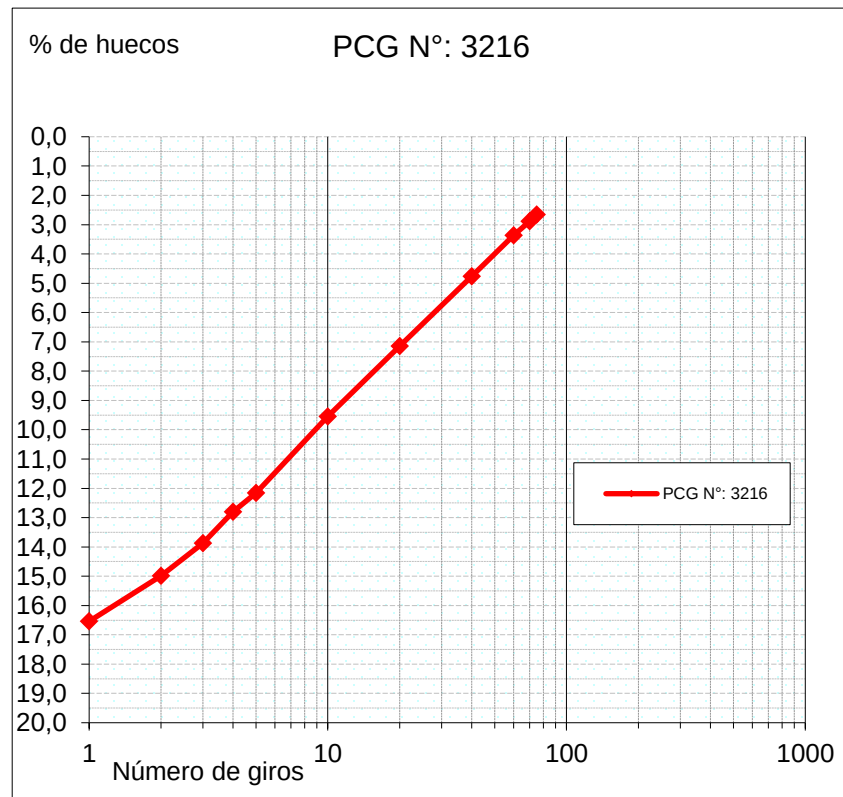
Tipo Ligante	AMP60/80
Batch	1803
Temperaturas	
TM (°C)	167
TC (°C)	127

Calculo Gmb	
CA ref. agr, %	4,7
CA ref. Mezcla, %	4,5
Altura, mm	122,4
Altura CG, mm	122,0
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5061,0
Masa Agua, g	2977,1
Masa SSS, g	5072,4
Agua Absorbida, %	0,5
Volumen H, cm ³	2095,3
Gmb	2,415
Densidad H	2,408
Gmm	2,481
Dmm	2,474
Gmb, Diseño	2,374
Marshall Diseño	2,367
Va, %	2,7
Comp Marshall, %	101,7

	T _{Lig} (°C)	167	PCG N°:	3216
	T _{Ári} (°C)	180	N° Giros	75
N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	142,3	2,071	16,5	0,00
2	139,7	2,109	15,0	0,30
3	137,9	2,137	13,9	0,48
4	136,2	2,164	12,8	0,60
5	135,2	2,180	12,2	0,70
10	131,3	2,244	9,5	1,00
20	127,9	2,304	7,1	1,30
40	124,7	2,363	4,8	1,60
60	122,9	2,398	3,4	1,78
70	122,3	2,409	2,9	1,85
75	122	2,415	2,7	1,88

		Giros	
y =	8	y = m x +	x
x =	1,193	m	n
N =	15,599	-7,73457	17,2281

Imagen 39 - Curva de compactación AMP60/80 T° Nominal N°3216 T° 127°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 N°3204

AMP60/80 T° Nominal acondicionada a 127°C por 2 Hrs.

Tipo Ligante	AMP60/80
Batch	1803
Temperaturas	
TM (°C)	167
TC (°C):	127

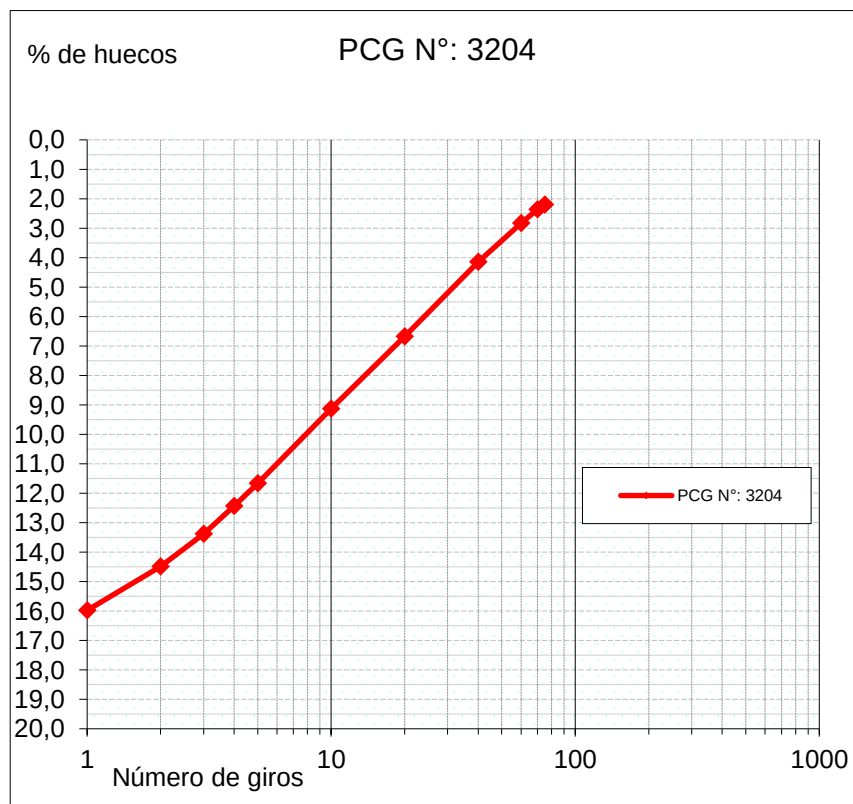
PCG N°:	3204
N° Giros	75

TLig (°C)	167				
TÁri (°C)	180				
N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)	
1	143,4	2,085	16,0	0,00	
2	140,9	2,122	14,5	0,30	
3	139,1	2,149	13,4	0,48	
4	137,6	2,173	12,4	0,60	
5	136,4	2,192	11,7	0,70	
10	132,6	2,255	9,1	1,00	
20	129,1	2,316	6,7	1,30	
40	125,7	2,378	4,1	1,60	
60	124	2,411	2,8	1,78	
70	123,4	2,423	2,4	1,85	
75	123,2	2,427	2,2	1,88	

Calculo Gmb	
CA ref. agr, %	4,7
CA ref. Mezcla, %	4,5
Altura, mm	123,5
Altura CG, mm	123,2
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5084,4
Masa Agua, g	3004,3
Masa SSS, g	5099,6
Agua Abs. %	0,7
Volumen H, cm ³	2095,3
Gmb	2,427
Densidad H	2,420
Gmm	2,481
Dmm	2,474
Gmb, Diseño	2,374
Marshall Diseño	2,367
Va, %	2,2
Comp Marshall, %	102,2

						Giros	
y =	8	y = m x + n		x	8	y = m x + n	
x =	1,129	m	n	log x	0,9031	m	n
N =	13,466	-7,74975	16,7513	gmb	2,2392	0,19229	2,06

Imagen 40 - Curva de compactación AMP60/80 T° Nominal N°3204 T° 127°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 N°3214

AMP60/80 T° Alternativa acondicionada a 150°C por 2 Hrs.

Tipo Ligante	AMP60/80
Batch	1803
Temperaturas	
TM (°C)	161
TC (°C)	150

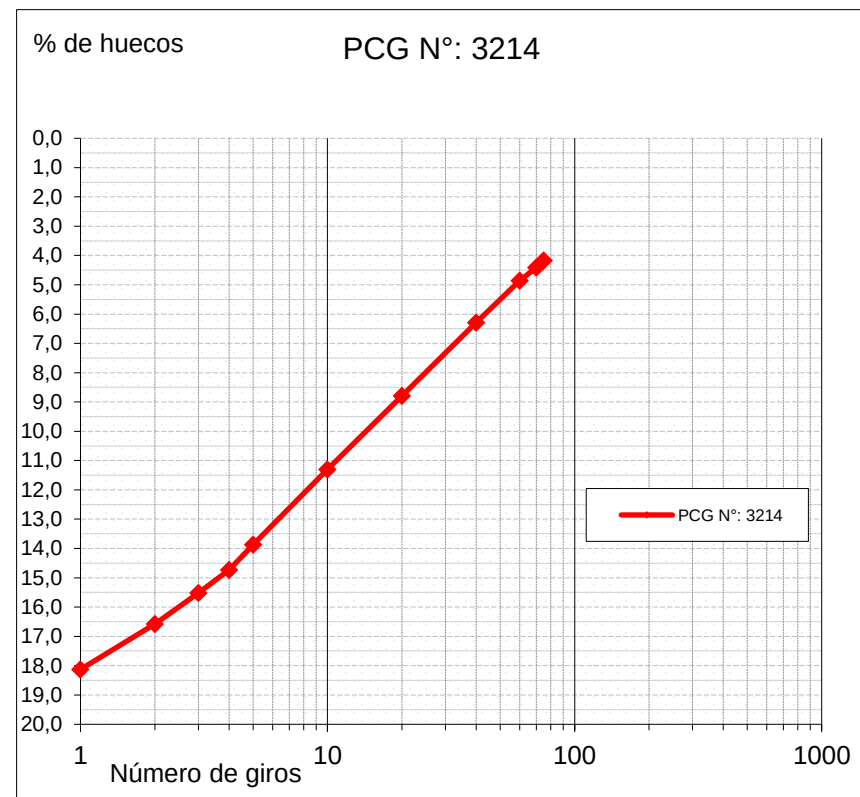
		T _{Lig} (°C)	161	PCG N°:	3214
		T _{Ári} (°C)	170	N° Giros	75
N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)	
1	145,6	2,035	18,1	0,00	
2	142,9	2,073	16,6	0,30	
3	141,1	2,100	15,5	0,48	
4	139,8	2,119	14,7	0,60	
5	138,4	2,141	13,9	0,70	
10	134,4	2,204	11,3	1,00	
20	130,7	2,267	8,8	1,30	
40	127,2	2,329	6,3	1,60	
60	125,3	2,364	4,9	1,78	
70	124,7	2,376	4,4	1,85	
75	124,4	2,381	4,2	1,88	

Calculo Gmb

CA ref. agr, %	4,7
CA ref. Mezcla, %	4,5
Altura, mm	124,8
Altura CG, mm	124,4
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5081,3
Masa Agua, g	2967,6
Masa SSS, g	5101,3
Agua Abs. %	0,9
Volumen H, cm ³	2133,7
Gmb	2,381
Densidad H	2,375
Gmm	2,485
Dmm	2,478
Gmb, Diseño	2,374
Marshall Diseño	2,367
Va, %	4,2
Comp Marshall, %	100,3

				Giros			
y =	8	y = m x + n		x	7	y = m x + n	
x =	1,400	m	n	log x	0,8451	m	n
N =	25,09	-7,83022	18,9587	gmb	2,1785	0,1946	2,01

Imagen 41 - Curva de compactación AMP60/80 T° Alternativa N°3214 T° 150°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 N°3215

AMP60/80 T° Alternativa acondicionada a 150°C por 2 Hrs.

Tipo Ligante	AMP60/80				PCG N°:	3215	
Batch	1803	TLig (°C)			161	N° Giros	75
Temperaturas		TÁri (°C)			170		
TM (°C)	161	N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)	
TC (°C)	150						

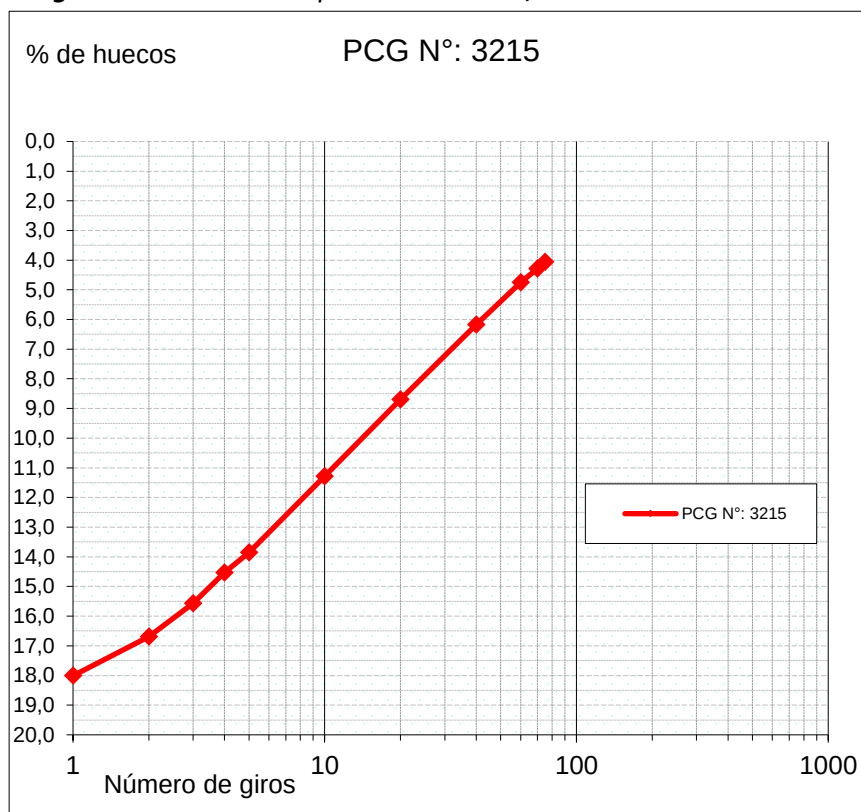
Calculo Gmb

CA ref. agr, %	4,7
CA ref. Mezcla, %	4,5
Altura, mm	124,4
Altura CG, mm	124,0
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5075,6
Masa Agua, g	2961,9
Masa SSS, g	5090,6
Agua Abs. %	0,705
Volumen H, cm ³	2128,7
Gmb	2,384
Densidad H	2,377
Gmm	2,485
Dmm	2,478
Gmb, Diseño	2,374
Marshall Diseño	2,367
Va, %	4,1
Comp Marshall, %	100,4

N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	145,1	2,038	18,0	0,00
2	142,8	2,070	16,7	0,30
3	140,9	2,098	15,6	0,48
4	139,2	2,124	14,5	0,60
5	138,1	2,141	13,9	0,70
10	134,1	2,205	11,3	1,00
20	130,3	2,269	8,7	1,30
40	126,8	2,332	6,2	1,60
60	124,9	2,367	4,7	1,78
70	124,3	2,379	4,3	1,85
75	124	2,384	4,1	1,88

		Giros					
y =	8	y = m x + n		x	7	y = m x + n	
x =	1,388	m	n	log x	0,8451	m	n
N =	24,458	-7,88582	18,9488	gmb	2,1799	0,19598	2,01429

Imagen 42 - Curva de compactación AMP60/80 T° Alternativa N°3215 T° 150°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 N°3210

AMP60/80 T° Alternativa acondicionada a 120°C por 2 Hrs.

Tipo Ligante	AMP60/80
Batch	1803
Temperaturas	
TM (°C)	161
TC (°C)	120

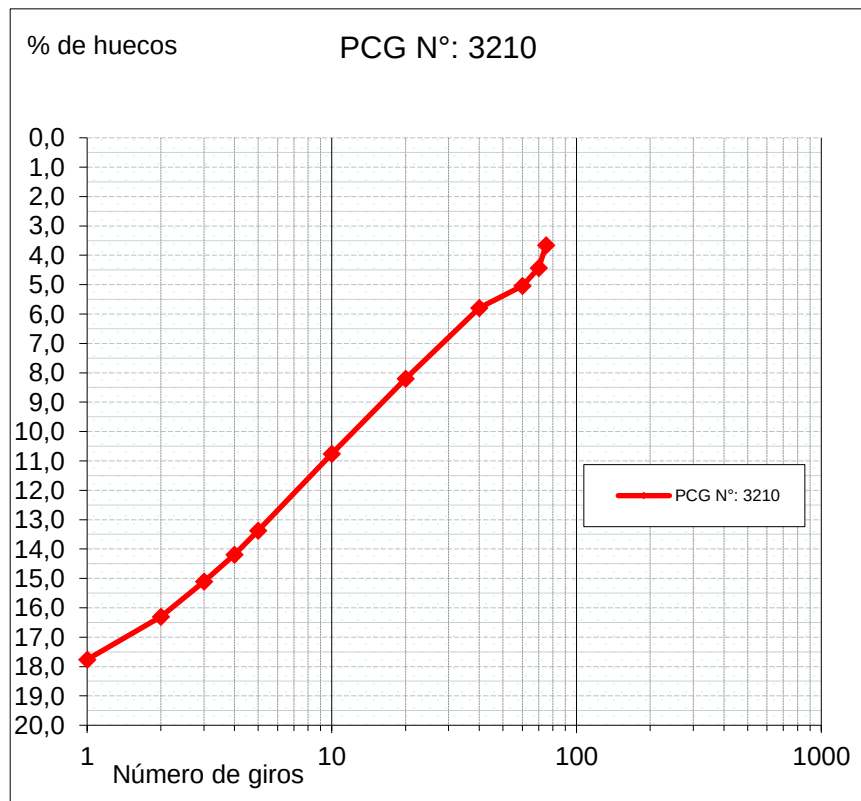
		TLig (°C)	161	PCG N°:	3210
		TÁri (°C)	170	N° Giros	75
N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)	
1	144,1	2,045	17,8	0,00	
2	141,6	2,082	16,3	0,30	
3	139,6	2,111	15,1	0,48	
4	138,1	2,134	14,2	0,60	
5	136,8	2,155	13,4	0,70	
10	132,8	2,220	10,8	1,00	
20	129,1	2,283	8,2	1,30	
40	125,8	2,343	5,8	1,60	
60	124,8	2,362	5,0	1,78	
70	124	2,377	4,4	1,85	
75	123	2,396	3,7	1,88	

Calculo Gmb

CA ref. agr, %	4,7
CA ref. Mezcla, %	4,5
Altura, mm	123,5
Altura CG, mm	123,0
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5064,2
Masa Agua, g	2972,1
Masa SSS, g	5085,4
Agua Abs. %	1,0
Volumen H, cm ³	2113,3
Gmb	2,396
Densidad H	2,389
Gmm	2,487
Dmm	2,480
Gmb, Diseño	2,374
Marshall Diseño	2,367
Va, %	3,7
Comp Marshall, %	100,9

				Giros			
y =	8	y = m x + n		x	8	y = m x + n	
x =	1,358	m	n	log x	0,9031	m	n
N =	22,789	-7,71012	18,4682	gmb	2,2011	0,19177	2,027

Imagen 43 - Curva de compactación AMP60/80 T° Alternativa N°3210 T° 120°C.



Evaluación trabajabilidad de mezclas tibias según AASHTO R35 N°3211

AMP60/80 T° Alternativa acondicionada a 120°C por 2 Hrs.

Tipo Ligante	AMP60/80
Batch	1803
Temperaturas	
TM (°C)	161
TC (°C)	120

Calculo Gmb

CA ref. agr, %	4,7
CA ref. Mezcla, %	4,5
Altura, mm	123,9
Altura CG, mm	123,6
Diámetro, mm	149,7
Masa Aire, g	5086,2
Masa Agua, g	2977,2
Masa SSS, g	5098,0
Agua Abs. %	0,6
Volumen H, cm ³	2120,8
Gmb	2,398
Densidad H	2,391
Gmm	2,487
Dmm	2,480
Gmb, Diseño	2,374
Marshall Diseño	2,367
Va, %	3,6
Comp Marshall, %	101,0

TLig (°C)	161
TÁri (°C)	170

PCG N°:	3211
N° Giros	75

N° Giros	Altura (mm)	Gmb (Est)	Va, %	log(N)
1	145,1	2,043	17,9	0,00
2	142,4	2,082	16,3	0,30
3	140,5	2,110	15,2	0,48
4	138,8	2,136	14,1	0,60
5	137,7	2,153	13,5	0,70
10	133,7	2,217	10,9	1,00
20	130	2,280	8,3	1,30
40	126,5	2,343	5,8	1,60
60	124,6	2,379	4,4	1,78
70	123,9	2,392	3,8	1,85
75	123,6	2,398	3,6	1,88

		Giros					
y =	8	y = m x + n		x	8	y = m x + n	
x =	1,336	m	n	log x	0,9031	m	n
N =	21,679	-7,9741	18,6537	gmb	2,2024	0,19833	2,02

Imagen 44 - Curva de compactación AMP60/80 T° Alternativa N°3211 T° 120°C.

