



**“Ensayo uniaxial de compresión cíclica con confinamiento
para caracterización de mezclas asfálticas a deformación
permanente”**

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

ALUMNO:

ZORZUTTI, LUIS (LEGAJO N° Z 1074/1)

DIRECTORA: Mter. Ing^a. Marina Cauhapé Casaux

ASESOR: Dr. Ing. Fernando Martinez

TITULAR DE CÁTEDRA: ING. RUBÉN LOPEZ

(FEBRERO 2023)

PROYECTO IV 2022

ÍNDICE

1. RESUMEN	3
2. OBJETIVOS	5
3. DESARROLLO TEÓRICO	5
3.1 La estructura de pavimento	7
3.1 Las mezclas asfálticas	7
3.2 Ensayo Wheel Tracking Test o Rueda cargada	12
3.3 Ensayo uniaxial de compresión cíclica con confinamiento o creep	15
4. NORMAS DE ENSAYO	16
5. DESARROLLO EXPERIMENTAL	18
5.1 Mezclas en estudio	18
5.2 Preparación de las probetas	19
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CORRELACIONES	24
7. IMPACTO AMBIENTAL	40
7.1 Huella de carbono, HC. (Carbon footprint, CF.)	40
7.2 Importancia de la caracterización de materiales bajo el enfoque de la sustentabilidad	40
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
8.1 Propuesta a futuro	43
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
10. ANEXOS	46

1. RESUMEN

Los pavimentos son una estructura formada por una o varias capas sobre la que actúan cargas en superficie. En particular las capas de rodamiento y base pueden elaborarse con mezclas asfálticas. (Figura 1)

Éstas deben ser capaces de transmitir durante toda su vida útil las tensiones generadas por el tránsito y el clima en profundidad, de tal forma que no se superen ni tensiones ni deformaciones admisibles, tanto en el suelo de fundación como en las capas que componen el paquete estructural, garantizando además condiciones de seguridad y confort para los usuarios. Cabe destacar que los pavimentos son permanentemente sometidos a las solicitaciones mecánicas y térmicas combinadas con fenómenos químicos, como la oxidación del asfalto por acción de los rayos solares y el agua, influyendo más o menos rápidamente en los niveles de solicitación, constituyendo los elementos responsables de las degradaciones de los mismos.

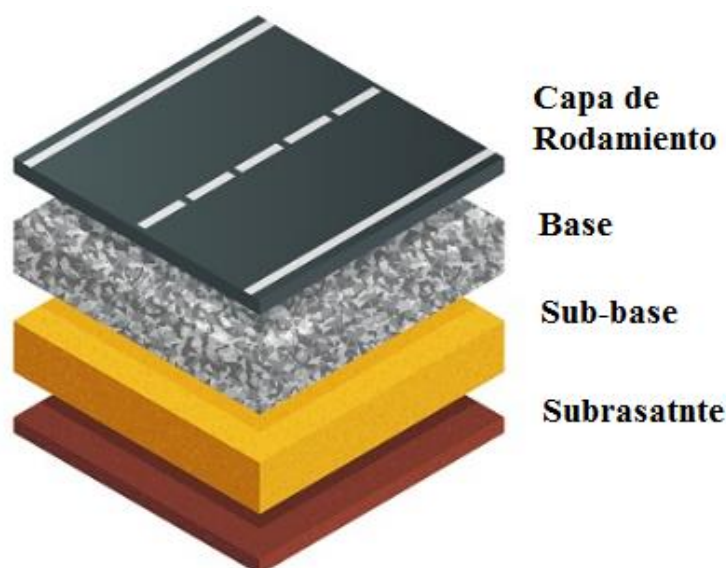


Figura 1. Perfil de un pavimento flexible.

Cuando se superan dichas tensiones y/o deformaciones, se produce la falla de la estructura, la cual puede materializarse de diferentes maneras, entre las que pueden nombrarse:

- Deformaciones permanentes, debidas a la acumulación de deformaciones irreversibles, (ahuellamiento)
- Fisuras de superficie aisladas que dan lugar a otras más generalizadas
- Degradaciones superficiales, pulido de los agregados, pérdida de los mismos, peladuras y baches.

Las deformaciones permanentes son debidas, entre otros, a la característica visco elástica que le infiere el ligante asfáltico a los pavimentos, éstas conducen a la formación de “ahuellamientos”. Al ahuellamiento se lo puede definir como un deterioro de la superficie y se presenta como ondulaciones bajo la huella de circulación vehicular. Este tipo de falla se puede generar debido a la acumulación de deformación plástica en las capas de rodamiento o base asfáltica, o por falla en las capas granulares que forman el paquete estructural.

Los factores que más inciden en la formación del ahuellamiento son la magnitud y la frecuencia de aplicación de cargas, junto con las condiciones climáticas. Una carga debida al tránsito pesado, la circulación a una velocidad baja; y altas temperaturas, son las condiciones más desfavorables a las que se puede someter una mezcla asfáltica.

El fenómeno de fisuración puede deberse tanto al fenómeno de fatiga como a la acción de bajas temperaturas, en el primer caso como consecuencia de la repetición de cargas pesadas en el tiempo y depende del contenido de asfalto y su rigidez.

Un contenido elevado de asfalto posibilita la deformación elástica de la mezcla evitando la fisuración bajo cargas repetidas. Las películas de asfalto espesas, producen mezclas flexibles y durables, mientras que las delgadas producen mezclas quebradizas, con excesiva tendencia a fisurarse y desintegrarse.

La resistencia a fatiga depende además del espesor de la estructura asfáltica en el pavimento y del nivel de solicitaciones de cargas.

Y con respecto a las posibles fisuras formadas a causa de bajas temperaturas se debe tener en cuenta el tipo del cemento asfáltico a utilizar.

Respecto a las capas asfálticas en particular y conociendo los dos fenómenos de falla principales que pueden aparecer en las mismas (la fisuración y el ahuellamiento) reduciendo su vida en servicio, provocando constantes reparaciones y mantenimientos periódicos que incrementan el impacto ambiental debido a la reelaboración de las mismas, sumado a una disminución del confort del usuario lo que constituye además un riesgo para la circulación de los mismos.

La importancia de un diseño adecuado de las estructuras de pavimento implica garantizar que se cumplan valores límites, pero no solo de tensiones sino también de deformaciones, con el objetivo de cumplir un nivel de servicio esperado o proyectado en un periodo de tiempo, bajo solicitaciones de tránsito determinadas, que generarán profundidades de huella mínimas.

Se debe entonces, adoptar criterios de falla obtenidos a través de diversos mecanismos tales como análisis de datos in situ, tramos de prueba, y/o ensayos de laboratorio.

De todo este análisis se desprende la importancia de elaborar un buen diseño de la mezcla asfáltica en laboratorio en primer término, verificando posteriormente el desempeño in situ. Para esto se debe realizar un control durante el proceso de elaboración de las mezclas asfálticas en laboratorio y en planta, y un control de calidad durante su colocación en obra como también a lo largo de toda la vida en servicio de los pavimentos.

El presente trabajo se centra en la evaluación de la falla producto de la acumulación de las deformaciones en estado plástico de las mezclas asfálticas, y su caracterización en laboratorio mediante la aplicación del ensayo uniaxial de compresión cíclica con confinamiento (Creep), de manera que se puedan simular las condiciones in situ de temperatura y cargas cíclicas. Se analiza la influencia de distintos modos de compactación, comparando mezclas asfálticas elaboradas con diferentes ligantes y agregados pétreos.

Para ello se pretende establecer si existe una correlación de los valores hallados en Creep con resultados obtenidos a partir del ensayo de Wheel Tracking Test (WTT).

Finalmente, en base al análisis realizado se concluye sobre las aptitudes de los ensayos mencionados para describir el comportamiento de las mezclas asfálticas frente a las deformaciones plásticas, se proponen correlaciones entre los resultados de ambos ensayos y finalmente se plantea la posibilidad en un futuro, basándose en un mayor número de experiencias, del empleo de las mismas para realizar un control expeditivo in situ de las mezclas asfálticas.

2. OBJETIVOS

Se plantea como objetivo general para el presente trabajo:

- Caracterizar el comportamiento de mezclas asfálticas frente a la deformación permanente a partir del Ensayo uniaxial de compresión cíclica con confinamiento (Creep) y el ensayo de Rueda cargada WTT

Se proponen además los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la posibilidad de correlacionar los resultados obtenidos a partir de ambos ensayos.
- Estudiar la viabilidad de establecer una metodología de ensayo de testigos calados in situ para el ensayo Creep, con la finalidad de lograr un control de calidad en obra.
- Plantear las bases sobre las cuales generar un proyecto de investigación a desarrollar dentro del Laboratorio Vial IMAE, colaborando con la caracterización de mezclas asfálticas en lo que respecta a la falla por deformación permanente para poder aplicarlo en el diseño balanceado de las mismas.

3. DESARROLLO TEÓRICO

Se conoce que el ahuellamiento constituye una de las fallas más frecuentes en los pavimentos, además de reducir su vida en servicio, provoca riesgos en la circulación de los usuarios al mismo tiempo de una disminución en el confort, parámetros fundamentales desde el punto de vista del usuario.

Se ha comprobado en numerosas investigaciones como mencionan Fonseca, Elsa, & Cárdenas, Jaleydi (2009) [1] que las características reológicas del ligante asfáltico influyen significativamente en el comportamiento visco elástico de las mezclas asfálticas, es por ello que se recurre en oportunidades a aditivos que modifiquen el ligante, mejorando así sus propiedades.

También, diversas investigaciones hacen hincapié en la importancia de una metodología de diseño adecuada que tenga en cuenta las deformaciones permanentes producidas por el comportamiento visco elástico de las mezclas asfálticas, por ejemplo, Spinel, et al. (2003) [2] mencionan que una de las consecuencias más importantes del ahuellamiento es la disminución del nivel de servicio de la estructura, mencionando que en el diseño mecanicista de pavimentos se controlan los esfuerzos verticales que soporta la capa de subrasante, con el fin de evitar la formación de huellas en superficie. Hoy en día todos los métodos de diseño conocidos toman en consideración a las deformaciones permanentes, pero para ello se debe utilizar una metodología,

que determine los valores ingresados en el modelo utilizado, lo más representativa del comportamiento in situ que tendrán los materiales que componen el pavimento.

El tránsito da lugar a cargas cíclicas, y en cada ciclo se realiza una transmisión de energía que deforma la superficie del pavimento, debido a una combinación de densificación y deformación por corte. La densificación implica una disminución de volumen del material mientras la deformación por corte involucra un flujo plástico del material con o sin cambios de volumen según Morea, F (2013) [3].

La densificación del material, por una parte, está relacionada con mezclas que tienen un porcentaje alto de vacíos o una compactación incompleta durante la elaboración de la capa, la que es compactada posteriormente por la circulación del tránsito sin elevación de las zonas laterales a la huella.

Mientras que, por otra parte, la deformación debida al corte, genera mayores ahuellamientos con desplazamiento de los laterales, y son debidos a las condiciones de temperatura y carga para los cuales tienen una baja resistencia al corte; las deformaciones en esta etapa se producen sin cambio de volumen.



Figura 2. Deformación de calzada debido al tránsito pesado.

Resulta entonces fundamental desde el punto de vista del diseño de una mezcla asfáltica que resista las deformaciones permanentes bajo densificación. El comportamiento de la mezcla en esta fase definirá la aptitud de la misma para afrontar condiciones climáticas y de carga extremas con deformaciones permanentes aceptables que no afecten el desempeño y seguridad de los vehículos.

3.1 La estructura de pavimento

Un pavimento desde el punto de vista del ingeniero, es una estructura formada por una o varias capas sobre la que actúan cargas en superficie. Éstas deben ser capaces de transmitir durante toda su vida útil las tensiones generadas por el tránsito en profundidad, de tal forma que no se superen ni tensiones ni deformaciones admisibles, tanto en el suelo de fundación como en las capas asfálticas.

Esta definición difiere un poco cuando se tiene un punto de vista como usuario, donde aspectos como la seguridad y el confort toman mayor relevancia, el pavimento debe permitir la circulación del tránsito bajo estas condiciones en cualquier estado climático durante un tiempo prolongado.

Existen pavimentos flexibles constituidos por lo general por las capas de rodamiento, base, sub base y subrasante o pavimentos rígidos en cuyo caso las capas que lo constituyen son las losas de hormigón, la base y la subrasante. En este trabajo se realiza el estudio sobre el primer tipo de pavimento mencionado y se muestra a continuación un perfil tipo de las capas que lo componen.

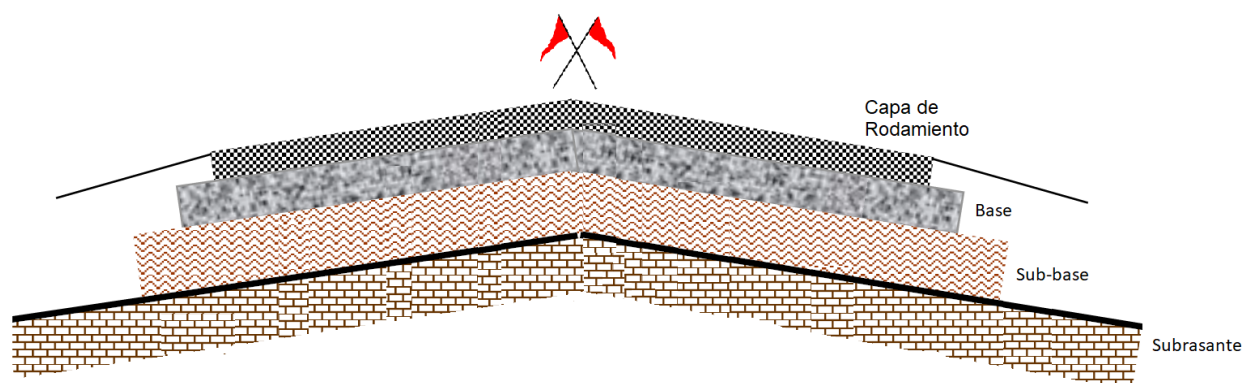


Figura 3. Perfil típico de las capas de un pavimento flexible.

Subrasante: Superficie de apoyo de la superestructura. Normalmente constituida por el terreno natural, escarificado y compactado en un espesor entre 0,20 y 0,30 m.

Subbase: Capa constituida por materiales no ligados.

Base: Capa constituida por mezcla asfáltica o materiales no ligados.

Capa de rodamiento: Capa constituida por mezcla asfáltica.

Todas las capas están debidamente compactadas y adheridas unas a otras por riegos de emulsiones asfálticas por lo general, estos riegos cumplen distintas funciones como curado de capas con agentes hidráulicos, impermeabilización y adherencia. [4]

3.1 Las mezclas asfálticas

Definición

Una mezcla asfáltica es un material compuesto, conformado por una combinación de agregados pétreos y un material asfáltico que actúa como ligante.

Agregado pétreo es el nombre genérico para arena, piedra, grava, piedra partida, materiales minerales y material reciclado en su estado natural o procesado.

Se producen en plantas asfálticas fijas o móviles, se transportan, distribuyen y compactan en el lugar de colocación.

Propiedades

Las propiedades normalmente requeridas para las mezclas asfálticas de acuerdo a su uso, principalmente en la capa de rodamiento, plantean seguridad y confort como se ha mencionado anteriormente, como también cierta permeabilidad para favorecer el drenaje e impermeabilidad para resguardar las capas inferiores y con respecto a la estructura del pavimento se busca resistencia y flexibilidad, durabilidad en los materiales empleados (ligantes y agregados), trabajabilidad entre otras.

Existen numerosas clasificaciones para las mezclas asfálticas, en caliente, tibias, frías, de acuerdo a su granulometría mezclas drenantes, SMA, etc. Los criterios de clasificación para las diferentes mezclas se encuentran detallados en los pliegos de especificaciones técnicas: [5]

- Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos.
- Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos, con aporte de RAP.
- Pliego de especificaciones técnicas generales para microaglomerados asfálticos en caliente y semicaliente del tipo F.
- Pliego de especificaciones técnicas generales para microaglomerados asfálticos en caliente y semicaliente del tipo M.
- Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo SMA.
- Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo drenantes.

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Temperatura de Elaboración	Calientes
	Tibias
	Frías
Vacíos de aire en la mezcla	Densas ($V < 6\%$)
	Semidensas ($6\% < V < 12\%$)
	Abiertas ($V > 12\%$)
	Porosas ($V > 20\%$)
Tamaño máximo del agregado	Gruesas ($T \text{ máx} > 10 \text{ mm}$)
	Finas ($T \text{ máx} < 10 \text{ mm}$)
Granulometría	Continuas
	Discontinuas
Espesor de colocación	Delgadas $\leq 40 \text{ mm}$
	Gruesas $> 40 \text{ mm}$

Figura 4. Tabla resumen clasificación de mezclas asfálticas.

No serán objeto de este trabajo todas las mezclas mencionadas, centrándose solamente en las mezclas asfálticas convencionales tipo densas en caliente con CA30.[6]

Las mezclas asfálticas convencionales están compuestas de las siguientes proporciones aproximadas en peso: 95 % de agregados bien graduados, junto al filler (relleno mineral), el asfalto completa el total con aproximadamente el 5 %. Además pueden incorporar algunos aditivos que favorecen el desempeño de la misma.

Para su *diseño*, usualmente se utilizan métodos empíricos combinando las tres variables que se pueden modificar, el porcentaje de ligante, de agregados y la combinación entre ellos, existen varios procedimientos de diseño, Superpave o Marshall por ejemplo, donde el modo de sollicitación difiere mucho al que se someten in situ, y no permiten determinar propiedades intrínsecas del material. Se requiere, entonces, de experiencia práctica para concluir el comportamiento in situ de la mezcla asfáltica. En Argentina, uno de los métodos que caen en esta clasificación es el procedimiento Marshall, siendo el más usual y difundido

El Método Marshall es un método de diseño de mezclas asfálticas que fue desarrollado durante la 2da. Guerra Mundial, adaptado posteriormente para su uso en carreteras. En nuestro país se encuentra indicado en la Norma de Vialidad Nacional, VN E9-86: ensayo de Estabilidad y fluencia por el Método Marshall [7].

Está pensado para diseño en laboratorio y control en obra de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa y semi densa, siendo un ensayo de naturaleza empírica.

Para su realización se emplean moldes metálicos de 101,7 mm de diámetro por 63,5 mm de altura. La mezcla se compacta con un martillo que aplica la carga en toda la superficie de la probeta (su peso es de 4,540 Kg y la altura de caída de 45,7 cm). Habitualmente se aplican 75 golpes por cara de la probeta, aunque esta energía puede ser menor en casos de pavimentos con tránsitos bajos.

Se moldean tres probetas por cada uno de los cinco contenidos de ligante, los que varían entre uno y otro en 0,25 o 0,50 %.

A las probetas se les determina su densidad, posteriormente se someten a un baño termostático en agua a 60 °C para realizar el ensayo mecánico. El mismo consiste en una compresión semi inconfiada, para una velocidad de deformación de 50,8 mm/minuto.

La carga máxima se denomina Estabilidad Marshall y la deformación diametral en correspondencia con ella se llama Fluencia Marshall.

El método de diseño de mezclas asfálticas establecido por SUPERPAVE es un diseño del tipo volumétrico basado en buscar el contenido de asfalto adecuado tal que la mezcla alcance un 96% de la densidad teórica máxima de la mezcla del pavimento (que se correspondería a la densidad de la mezcla sin considerar los vacíos de aire), después de la compactación y la apertura al tráfico. La mezcla con el contenido óptimo de asfalto debe cumplir con todos los parámetros volumétricos y con las especificaciones relacionadas con la susceptibilidad a la humedad, concepto no estudiado bajo el método de diseño Marshall. Aunque el fenómeno sí es contemplado dentro de las especificaciones a partir de la verificación del ensayo de resistencia conservada para las mezclas diseñadas mediante el método Marshall.

Además, SUPERPAVE ha ajustado los ensayos y análisis de los agregados que componen las mezclas con el fin de mejorar el desempeño de éstas in situ, como también el acondicionamiento de la mezcla y su compactación mediante compactador giratorio en lugar de impacto.

Respecto al dimensionamiento dentro de un paquete de pavimento, se mencionan a continuación dos métodos de diseño estructural: Método AASHTO ´93 y Método Shell ´78:

El método AASHTO de diseño de estructuras de pavimentos tiene su origen en una experiencia de gran magnitud y a escala real, denominada “AASHO ROAD TEST”.

En el año 1986 se publica la primera Guía. En base a la experiencia acumulada por el uso de este método durante más de 25 años, sumado a la mayor y mejor información y técnicas disponibles para caracterizar a los materiales, al tránsito y al medioambiente, se efectuó una revisión general del método. Si bien en esta nueva versión se respetó el algoritmo original del método, se introdujeron significativas modificaciones y nuevos conceptos en cuanto al tratamiento de los parámetros básicos de diseño.

- Confiabilidad (R)
- Se reemplaza el CBR por el Módulo Resiliente (MR), como parámetro que caracteriza a la subrasante
- Se introduce un Coeficiente de Drenaje (m) en el cálculo del Número Estructural (SN)
- Se utiliza el concepto de Pérdida de Serviciabilidad (Δ PSI) tanto por efecto del tránsito como por efectos ambientales

Finalmente, en el año 1993 se presenta una nueva versión, conocida corrientemente como “**Método AASHTO ´93**”, y es la que se encuentra en uso a la fecha. Similar a la de 1986, especialmente en lo que respecta al diseño de pavimentos nuevos, habiéndose introducido algunas modificaciones solamente en el proceso de diseño de refuerzos de pavimentos, en particular en el diseño de refuerzos según el criterio de “vida remanente”.

El **Método Shell ´78** es un método racional de diseño de espesores de pavimentos flexibles y/o semirígidos. Está basado en la teoría de la elasticidad, en la medición de las propiedades de los materiales de las distintas capas y en el análisis de la performance de esa estructura en el tiempo, en base a criterios de falla de los distintos materiales.

Consta de un manual que brinda numerosas cartas de diseño, en las cuales están consideradas las variables de diseño:

- Acción de las cargas del tránsito
- Propiedades mecánicas de la subrasante y materiales de las capas constitutivas
- El clima a través de la temperatura ambiente.

La estructura real del pavimento está modelada como un sistema tricapa de comportamiento elástico lineal, en el cual los materiales son asumidos homogéneos e isótropos y están caracterizados por su espesor (H), módulo de elasticidad (E) y coeficiente de Poisson (μ). Para una estructura de pavimento flexible, la capa superior está constituida por los materiales ligados

con cemento asfáltico, la capa intermedia por los materiales no ligados, y la inferior por la subrasante.

El diseño de pavimentos considera un análisis de fatiga, donde muchas reiteraciones de pequeñas tensiones y deformaciones generan la falla de la estructura. Los esfuerzos considerados críticos son: la deformación específica por tracción en la base de las capas asfálticas, y la deformación específica de compresión en la superficie de la subrasante. [8]

La resistencia de la mezcla a deformaciones plásticas está relacionada a uno o más de los siguientes aspectos:

- **Características de los agregados:** Conveniente que posean cierta angularidad no tan redondeadas, además deben cumplir ensayos como Los Ángeles, micro Deval, etc.
- **Granulometría:** Restricción en la cantidad de finos redondeados
- **Viscosidad del ligante a altas temperaturas:** Tomar como parámetro de diseño las temperaturas de verano, incorporar cal si el ligante no cumple las especificaciones, mejora la susceptibilidad térmica.
- **Contenido de ligante:** Se debe tener cuidado en no exceder el contenido de asfalto, que si bien un exceso provee una buena trabajabilidad puede resultar contraproducente

Debe señalarse que el procedimiento de diseño Marshall, no provee información sobre los siguientes aspectos de la mezcla:

- **Resistencia a las deformaciones plásticas.**
- **Resistencia a la acción del agua.**
- **Módulo dinámico.**

Se conoce que la mezcla debe ser resistente a la fatiga, no debe fisurarse consecuencia de cargas pesadas en el tiempo, y tampoco debido a las diferencias de temperatura en su vida útil.

Este fenómeno genera fisuras en superficie reduciendo la vida en servicio del paquete estructural debido a infiltraciones del agua, además de otros efectos negativos.

También se conoce que la mezcla debe ser resistente a las deformaciones plásticas, y centrándose en este fenómeno, se establecerán todos los ensayos y evaluaciones para poder cuantificarlo y proyectar si la mezcla será apta o no de acuerdo a las especificaciones exigidas.

Se establecen como consideraciones iniciales, de acuerdo a lo expuesto previamente, que la deformación permanente de la mezcla asfáltica puede generarse producto de fallas en el diseño de la subrasante o deficiencias en el diseño de la mezcla asfáltica propiamente dicha (Figura 5).

Este trabajo se centrará en las mezclas asfálticas que se encuentran en la capa de rodamiento y en la base. Al ser un problema común de las mezclas asfálticas, en Argentina, Vialidad Nacional desde el año 2017 postula en su pliego de especificaciones técnicas, una serie de requerimientos mínimos a cumplir para las mezclas asfálticas diseñadas tipo densas en caliente y semicaliente en la etapa de diseño de dichas mezclas como se indicará más adelante en el presente trabajo. [5]



Figura 5. Def. permanente/subrasante débil (a), ahuellamiento/mezcla asfáltica débil (b). [9]

Por lo general, el control en la etapa de elaboración se cumple con una densidad de referencia, controlando el porcentaje de compactación, y un contenido de ligante asfáltico, previamente determinado por alguno de los métodos de diseño, aunque estos dos parámetros no son suficientes para su aprobación. Se debe determinar el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada entre otros parámetros como el VAM (vacíos de agregado minera) y RBV (relación betún vacíos), además se debe establecer el contenido de ligante que deberá cumplir con lo especificado para la mezcla a controlar.

Respecto a las metodologías de laboratorio para la evaluación del comportamiento frente a las deformaciones permanentes es común que se vincule la Estabilidad Marshall con la resistencia a las deformaciones plásticas bajo tránsito pesado. Sin embargo resulta muy pobre la correlación entre ambos elementos. Por ende corresponde realizar ensayos que posibiliten dar un panorama claro sobre esta característica como son el ensayo de rueda cargada WTT y el Ensayo de Creep.

3.2 Ensayo Whell Tracking Test o Rueda cargada

El comportamiento de los pavimentos frente a la acción de las cargas puede explicarse a partir del esquema de la Figura 6, donde al ser aplicada una tensión se produce el desarrollo instantáneo de deformaciones específicas de tipo elástico seguidas luego por otras de tipo viscoso y dependientes del tiempo.

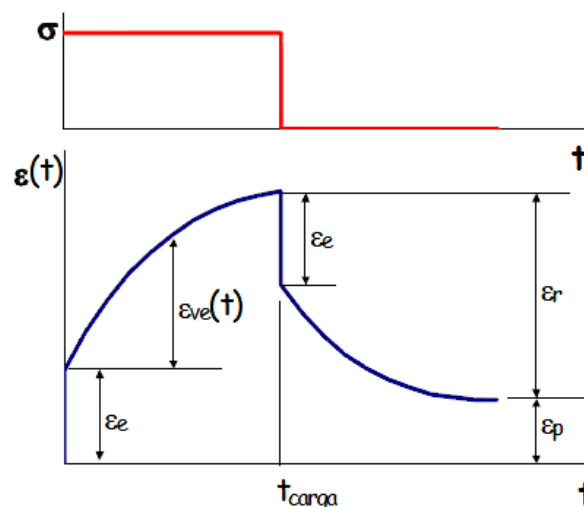


Figura 6. Pulso de carga recuperación elástica y deformación plástica.

Durante la descarga, la deformación elástica se recupera en forma inmediata y luego lo hacen otras deformaciones, fundamentalmente de tipo visco-elástica que dependen del tiempo para quedar finalmente una deformación plástica irrecuperable. Si la carga que se aplica es de tipo

cíclico la acumulación de deformaciones plásticas se va produciendo en forma gradual a lo largo del tiempo en que se aplique la sollicitación. [10]

El ensayo de rueda cargada (Wheel Tracking Test) es un ensayo capaz de aportar información con mayor aproximación al comportamiento real de la mezcla asfáltica bajo cargas producto de la circulación del tránsito pesado.

Es un ensayo que se encuentra dentro de los ensayos de simulación. Para alcanzar una validación correcta entre lo que sucede en laboratorio e in situ, el ensayo debe reproducir las condiciones de tensiones que se desarrollan dentro del pavimento y para un rango de temperaturas amplio que permita abarcar condiciones desfavorables de sollicitaciones, como temperaturas del orden de los 60 °C.

El procedimiento general de ensayo consiste en medir la velocidad de deformación o la deformación vertical que se produce en un espécimen de mezcla asfáltica, ante la acción de una carga dinámica, aplicada mediante una rueda cargada a una determinada frecuencia de sollicitación y temperatura de ensayo. Es así que mediante la aplicación de ciclos de carga y descarga se registra la deformación permanente acumulada en cada ciclo, esta carga es efectuada a partir del paso de una rueda que se desplaza hacia delante y hacia atrás durante el tiempo del ensayo mediante distintos mecanismos.

La metodología de ensayo se establece en la norma EN 12697-22 tipo b para probetas pequeñas. La misma indica que la duración del mismo es de 10000 ciclos o 20mm de ahuellamiento, lo que ocurra primero. La temperatura de ensayo debe ser de 60 °C. Para el moldeo de la probeta de ensayo se deben utilizar los procedimientos establecidos en las Normas EN 12697-32 o EN 12697-33. Se debe informar el porcentaje de vacíos alcanzado en las probetas. El espesor de la probeta asfáltica debe ser de cincuenta milímetros (50 mm).

El laboratorio vial del IMAE cuenta con el equipamiento para realizar el ensayo Wheel Tracking, el mismo se observa en la Figura 7, respetando los requerimientos del ensayo temperatura 60° y 10000 ciclos con una carga estática mediante un brazo de palanca que genera una carga de 700 KN sobre la probeta, la lectura de la deformación se registra mediante un adquisidor de datos de manera continua utilizando un LVDT.

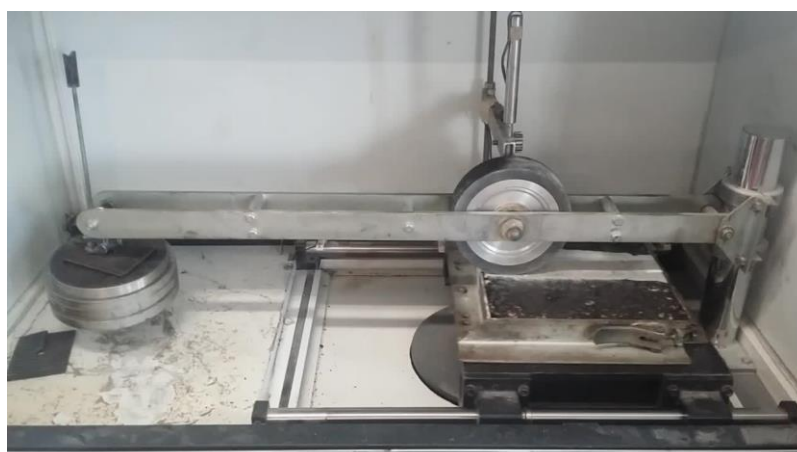
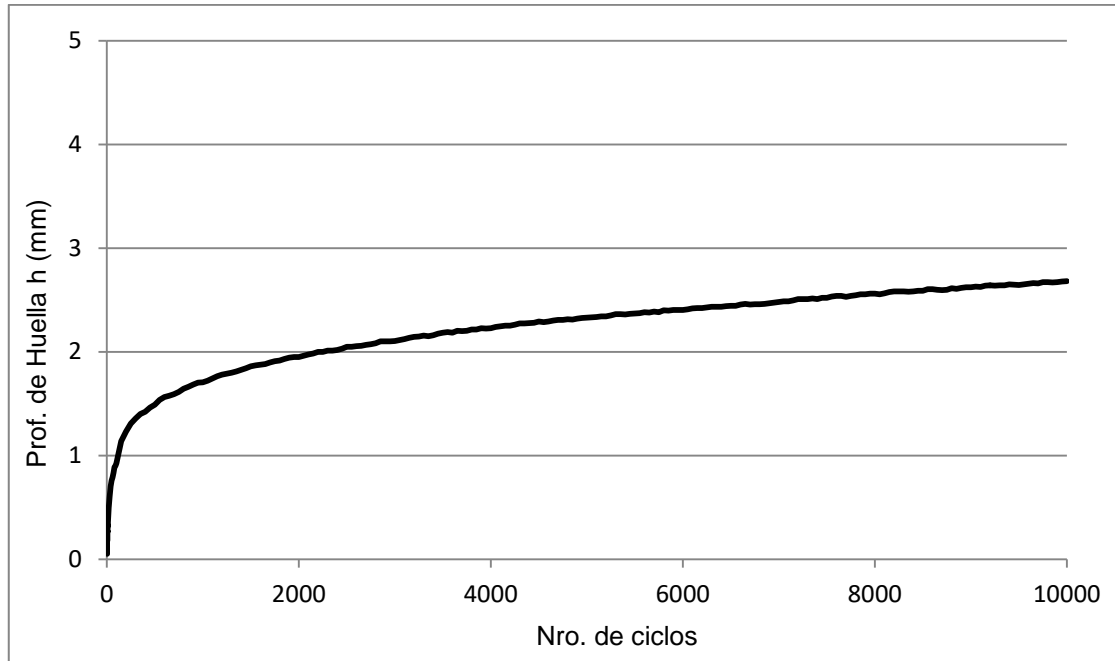


Figura 7. Equipamiento para ensayo de rueda cargada o WTT, Laboratorio Vial – IMAE.

Para expresar los resultados del ensayo se grafica la evolución de la profundidad de huella H (mm) en función del número de ciclos aplicados N. A continuación, en la Gráfica 1, se puede observar el ejemplo de una curva correspondiente a una probeta ensayada.



Gráfica 1. Curva Prof. Huella vs N° de ciclos. Ensayo WTT.

Con la medición de la profundidad de huella H en función del número de ciclos aplicados, se pueden calcular los siguientes valores:

Pendiente de ahuellamiento, WTS_{aire} :

$$WTS_{aire} = \frac{H_{10000} - H_{5000}}{5} \left[\frac{\text{mm}}{10^3 \text{ ciclos}} \right] \quad (\text{I})$$

donde H_i es la profundidad de la huella para el ciclo i, en mm.

Profundidad de ahuellamiento proporcional, PR_{aire} :

Es la profundidad de la huella H_i respecto del espesor de la probeta expresada en porcentaje $\pm 0,1\%$, para N ciclos de carga.

$$PR_{aire} = \frac{H_i}{h} \cdot 100 \text{ [\%]} \quad (\text{II})$$

donde h es el espesor de la probeta en mm.

3.3 Ensayo uniaxial de compresión cíclica con confinamiento o creep

El ensayo de Creep con o sin confinamiento lateral, es también capaz de brindar datos sobre el comportamiento de la mezcla asfáltica cuando se la somete a cargas repetitivas generando una deformación permanente. Debido a su simplicidad es uno de los ensayos más ampliamente utilizados a nivel mundial.

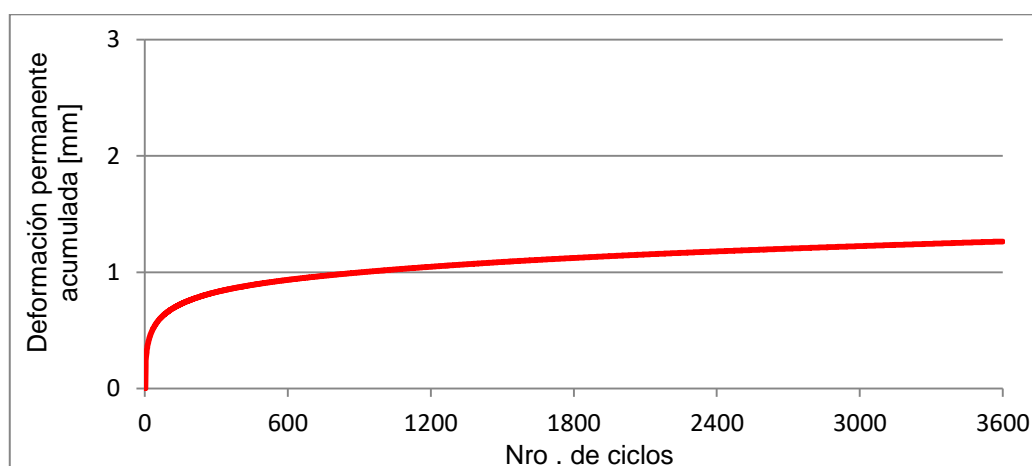
Es un ensayo simple, objeto principal de la puesta en valor del mismo en las metodologías de diseño en la actualidad, frente a las técnicas convencionales descritas anteriormente. Sus resultados expresan la evolución de la deformación específica permanente en función del tiempo, para una carga aplicada y temperatura de ensayo. El ensayo de creep puede ser ejecutado con o sin confinamiento lateral y con carga estática o cíclica.(pulsante)

Consiste en un ensayo de 2 horas de duración donde se toman las lecturas de la deformación vertical que sufre una probeta de 15 cm de diámetro, mediante LVDTs dispuestos a ambos lados de la probeta, luego que se le aplican 3600 ciclos de 724 N el equivalente a 100 Kpa de presión, en la parte central de la probeta debido al cabezal superior de 110 mm de diámetro.



Figura 8. Equipamiento para ensayo creep con y sin contención lateral.

Se grafica la evolución de la deformación permanente acumulada (mm) en función del número de ciclos aplicados N. A continuación, en la Gráfica 2, se puede observar una curva de una probeta ensayada sin confinamiento.



Gráfica 2. Curva Def. Permanente vs N° de ciclos. Ensayo Creep.

4. NORMAS DE ENSAYO

Se presenta a continuación una comparativa entre el Ensayo de compresión cíclica uniaxial con confinamiento EN 12697-25 Método A según la norma europea [11], con el ensayo Wheel Tracking Test según norma EN 12697-22 Procedimiento B [12].

En primera instancia la forma de aplicación de la carga difiere entre un ensayo y el otro. Mientras que en el ensayo de WTT el paso de la rueda cargada genera tensiones que varían al desplazarse la rueda, en el ensayo de Creep la presión es producto de un pulso, que no varía en la zona de aplicación.

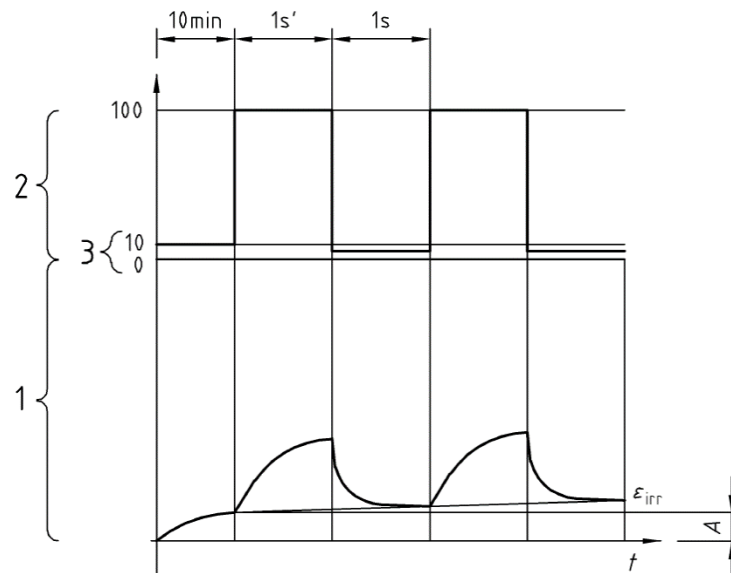


Figura 9. Forma de aplicación de carga EN 12697-25 Método A.

Dónde:

1: Tensión [%]

t: Tiempo [s]

2: Presión [kpa]

A: Tensión de precarga [%]

3: Precarga [kpa]

ϵ_p : Deformación permanente [%]

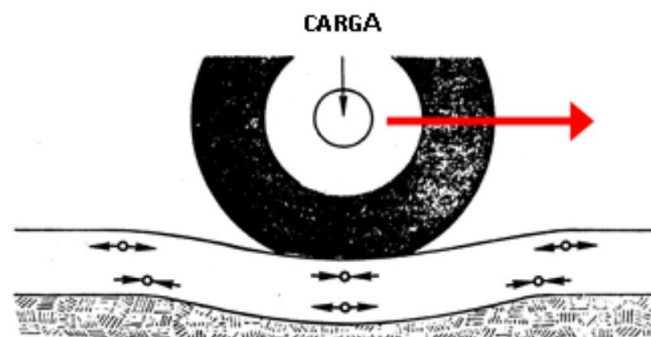


Figura 10. Aplicación de carga ensayo WTT.

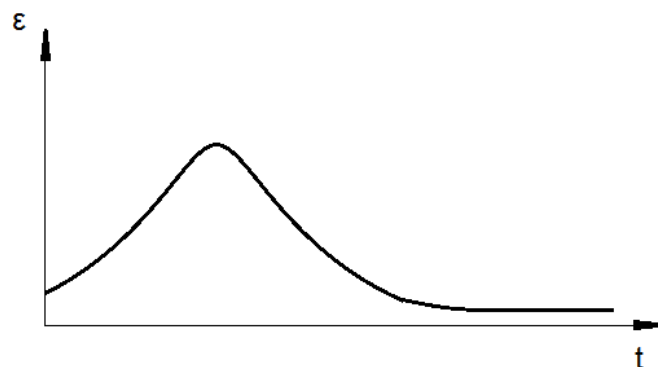


Figura 11. Forma de aplicación de carga EN 12697-22

Cabe mencionar que en la norma EN 12697-22 se especifican parámetros de ensayo para varias modalidades dependiendo de las dimensiones de las probetas y del procedimiento, bajo agua o al aire.

En este caso solo se analizará el procedimiento B al aire, y la probeta de menor dimensión que establece la norma como (S).

Se mencionan a continuación en la siguiente tabla algunos de los parámetros que intervienen en cada ensayo:

Tabla 1. Cuadro comparativo.

Norma	EN 12697-25 Método A	EN 12697-22 Procedimiento B.
Carga [N]	724 ±14	700 ±10
Presión	(100 ± 2) Kpa	
Frecuencia	0,5 Hz	26.1 ciclo/min
Duración del ensayo	3600 ciclos o 20mm	10000 ciclos o 20mm
Dimensiones de probeta [cm]	14,8 ± 0,5	Mínimo 26x30, Cilínd. Ø 20
Espesor [cm]	6 ± 0,2	Igual espesor que en el pavimento o s/ tamaño máximo del agregado ¹
Nº de muestras	2	2
Acondicionamiento previo al ensayo	Seco hasta peso constante a 20°C Precarga de (72 ± 7) N por 2 min.	Función del espesor nominal e ≤ 6cm ; 4hs (mínimo) e > 6cm ; 6hs (mínimo) 24hs máximo
Temperatura de ensayo	Entre 30 y 50 ° C	60 ° C - Variable
¹ Espesor [mm] 2.5; 4; 6 u 8 de acuerdo al tamaño máx. del agregado [mm](<8; 8 y 16; 16 y 22; 22 y 32)		

La normativa vigente en el país respecto al ensayo WTT se encuentra detallada en el pliego de especificaciones técnicas de vialidad nacional tomando como base a la norma EN 12697-22. (Figura 12), mientras que en la actualidad no existe una normativa o requerimiento que establezca los límites para el ensayo Creep a nivel nacional.

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AHUELLAMIENTO “Wheel Tracking Test” (Norma ENE-EN 12697-22 – Procedimiento B)				
Pendiente Media de Deformación (WTS AIRE) [mm/1000 ciclos de carga] en el intervalo de 5000 a 10000 ciclos y Profundidad Media de la Huella (PRD) [%]				
Tipo de capa	Clasificación por tránsito			
	T1	T2	T3	T4
Rodamiento	WTS aire ≤ 0,08 PRD ≤ 5%	WTS aire ≤ 0,10 PRD ≤ 8%	WTS aire ≤ 0,12 PRD ≤ 10%	WTS aire ≤ 0,15 PRD ≤ 10%
Base	WTS aire ≤ 0,10 PRD ≤ 8%	WTS aire ≤ 0,12 PRD ≤ 10%	WTS aire ≤ 0,15 PRD ≤ 10%	WTS aire ≤ 0,15 PRD ≤ 12%

Figura 12. Requisitos para la resistencia al ahuellamiento. [5]

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Mezclas en estudio

Se analizaron los resultados de diversas mezclas asfálticas ensayadas en el laboratorio vial del IMAE, seleccionando aquellas que tuvieron un muy buen desempeño al ahuellamiento, tanto en el valor final a los 10000 ciclos, como en la pendiente promedio PRaire.

En este estudio se emplearon un total de 5 mezclas diferentes. Respecto al método de compactación aplicado, 8 probetas fueron obtenidas por compactación de rodillo, 4 probetas por compactador giratorio y 4 probetas marshall.

Se obtuvieron probetas caladas a partir de una probeta tipo WTT obtenida por compactación por rodillo.

Para el estudio de este proyecto se seleccionaron 8 probetas identificadas como F5-01 y F4-02; P2A y P2B; CA30A y CA30B; AM3A y AM3B. Las mismas han sido compactadas mediante un compactador de rodillo de laboratorio. Las características geométricas y densidades obtenidas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos de las probetas caladas de WTT.

IDENTIFICACION PROBETA	P2		F4	F5	CA30		AM3	
	PA	PB	P2	P1	PA	PB	PA	PB
Densidad [kg/dm ³]	2.355	2.355	2.331	2.338	2.631	2.634	2.629	2.625
Espesor promedio [mm]	50.5	50.5	51.0	50.6	50.6	50.9	47.8	49.1
Densidad de referencia Marshall [kg/dm ³]	2.345		2.339		2.582		2.582	
Compactación [%]	100.4	100.4	99.7	100.0	101.9	102.0	103.7	103.9
Densidad Teórica Máxima [kg/dm ³]	2.448		2.441		2.690		2.690	
Vacíos [%]	3.80	3.80	4.51	4.22	2.19	2.08	2.27	2.42

Tabla 3. Datos de las probetas a partir de Compactador Giratorio.

IDENTIFICACION PROBETA	CA30	
	PA	PB
Densidad [kg/dm ³]	2.653	2.610
Espesor promedio [mm]	48.4	47.8
Densidad de referencia Marshall [kg/dm ³]	2.582	
Compactación [%]	101.6	101.6
Densidad Teórica Máxima [kg/dm ³]	2.690	
Vacíos [%]	2.50	2.50

Tabla 4. Datos de las probetas Marshall.

IDENTIFICACION PROBETA	CA30	
	P2	P3
Densidad [kg/dm ³]	2.653	2.610
Espesor promedio [mm]	52.7	53.0
Densidad de referencia Marshall [kg/dm ³]	2.582	
Compactación [%]	102.8	101.1
Densidad Teórica Máxima [kg/dm ³]	2.690	
Vacíos [%]	1.40	3.00

5.2 Preparación de las probetas

A continuación, se describe el procedimiento empleado para la elaboración de las mezclas asfálticas utilizadas para la elaboración de las diferentes probetas a ensayar.

En primer lugar, se procede a la caracterización de los agregados verificando los requerimientos indicados en las normas de vialidad nacional (VN - E7 - 65; VN - E38 - 86) [13] [14]

Luego se procede a la determinación de la dosificación de asfalto necesario de manera tal de lograr un porcentaje de vacíos óptimo según lo indicado en el método de diseño Marshall.

Una vez conseguida la fórmula de obra se mezclan los agregados pétreos, con la incorporación del filler de ser necesario, con el porcentaje de ligante asfáltico obtenido y a temperatura controlada (la misma varía para cada tipo de asfalto en función de su viscosidad). Se deja en horno por espacio de una hora tapada simulando el periodo de tiempo entre la salida de la planta hasta la llegada al punto de colocación.

Se procede a compactar la mezcla asfáltica elaborada en laboratorio controlando en este momento también la temperatura, mediante las diferentes metodologías disponibles: rodillo, compactador giratorio o por impacto (tipo Marshall).

La probeta que resulta de la compactación por rodillo es la utilizada para el ensayo Wheel Tracking Test mencionado anteriormente, esta se realiza aplicando presión mediante un pistón hidráulico,

simulando el paso de un rodillo de compactación en obra. Se realizan varias pasadas en una dirección y luego se lo rota 90° para completar la compactación.

Las dimensiones de las probetas son de 30cm x 30cm de lado y una altura de 5cm.

Otra de las metodologías de compactación propuesta es la de compactador giratorio, se utiliza principalmente para el diseño de mezclas asfálticas utilizando el método Superpave. Se pueden conseguir probetas de 15cm de diámetro con alturas de 10cm y 15cm.

Y por último, el compactador por impacto tipo Marshall realiza el proceso de compactación mediante golpes en ambas caras de una probeta de 10cm de diámetro y aproximadamente 6 cm de altura. Es el equipamiento más difundido en la Argentina, y por lo tanto el más utilizado para el diseño de las mezclas asfálticas

En la figura 13 se pueden observar los tres equipos descritos anteriormente que se encuentran en el Laboratorio vial del IMAE y que fueron utilizados para la compactación de las probetas en estudio y en la figura 14 las probetas compactadas por cada equipo.

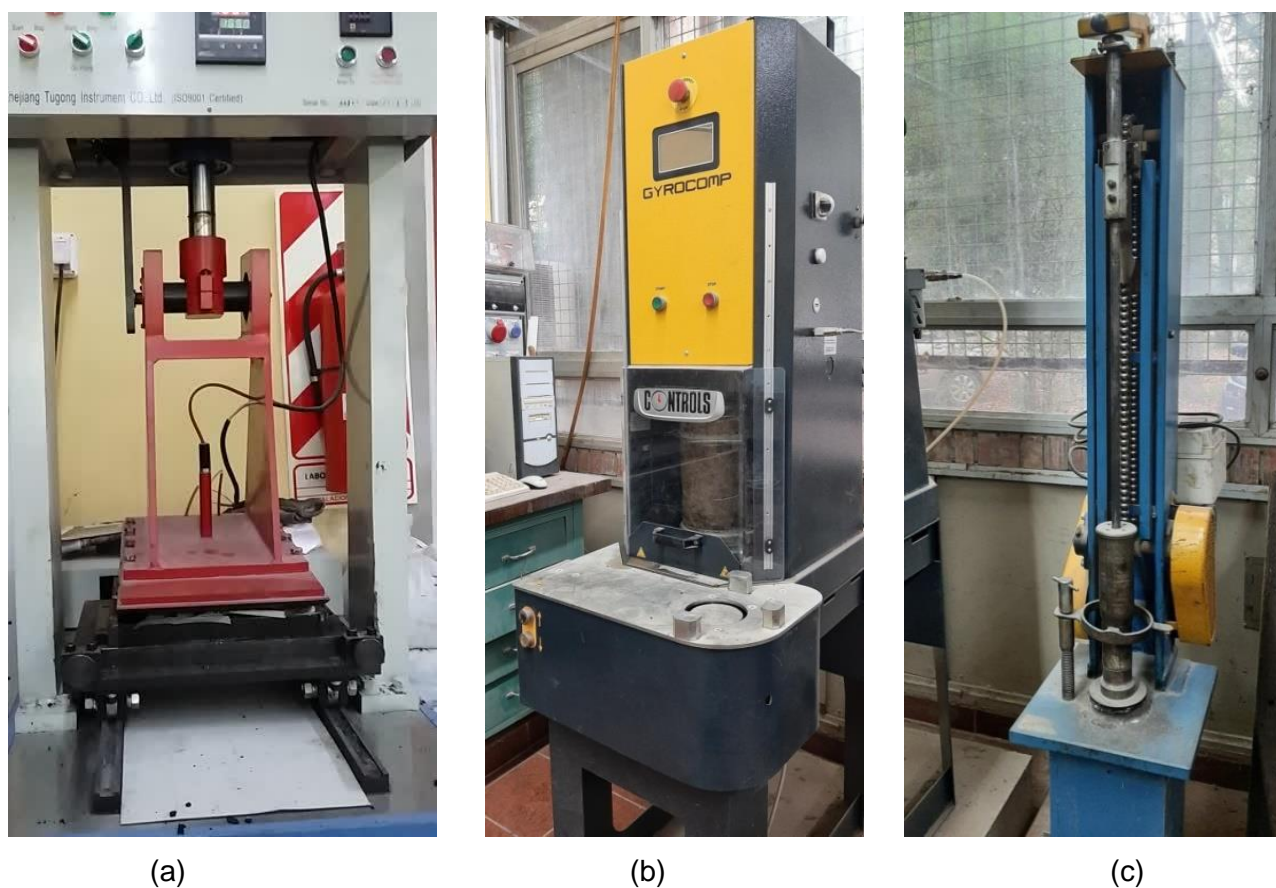


Figura 13. Compactador a rodillo (a), giratorio (b) y Marshall (c), Laboratorio Vial – IMAE



Figura 14. Apariencia de probetas compactadas en laboratorio según rodillo, giratorio y Marshall.

Para poder realizar el ensayo de creep propiamente dicho, a partir de las probetas compactadas por rodillo, se recurrió a realizarles un calado vertical de 10 cm de diámetro para ensayarlas sin confinamiento lateral, y de 15 cm de diámetro para el ensayo con confinamiento. (Figura 15 a Figura 19)



Figura 15. Calado de probetas de 15 cm de diámetro.



Figura 16. Calado de probetas de 10 cm de diámetro.

El calado de los mismos se realiza en forma diagonal en las zonas por fuera de la huella formada luego del ensayo WTT, logrando así probetas en las mismas condiciones de compactación con la misma estructura interna, igual porcentaje de vacíos y densidad.

Se opta por este procedimiento para eliminar la mayor cantidad de variables que se pueden crear en el momento de la compactación y elaboración de las distintas probetas en laboratorio.

Parte del análisis se centrará en cuantificar estas variaciones producidas por la compactación mediante metodología Marshall y compactador giratorio, respecto a la compactación mediante rodillo.



Figura 17. Procedimiento de calado de probetas de 10 cm de diámetro con refrigeración.



Figura 18. Calados de 10cm y 15 cm de diámetro a partir de probeta de WTT.



Figura 19. Resultado final de calados de las 8 probetas analizadas.

Un detalle que hubo que tener en cuenta fue que para realizar los ensayos se debía contar con probetas cuya superficie fuera lo suficientemente regular para no generar puntos de contacto puntuales (debido a la segregación de los agregados que queda en superficie por la compactación en laboratorio) al aplicar las cargas y que las mismas se distribuyan de manera homogénea en la base de apoyo.

Para ello se recurrió a la implementación del yeso como material rectificador de la superficie logrando así una mejor base para el apoyo de las placas superior e inferior que se colocan en el ensayo de Creep luego de realizados todos los calados correspondientes para ser ensayados posteriormente mediante el procedimiento de carga cíclica con y sin confinamiento, con el objeto de determinar si existe variación en los resultados obtenidos a partir de una u otra metodología. (Figura 20 y Figura 21)



Figura 20. Mezcla de yeso para regularizar superficie.



Figura 21. Apariencia de las probetas luego de aplicado el yeso.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CORRELACIONES

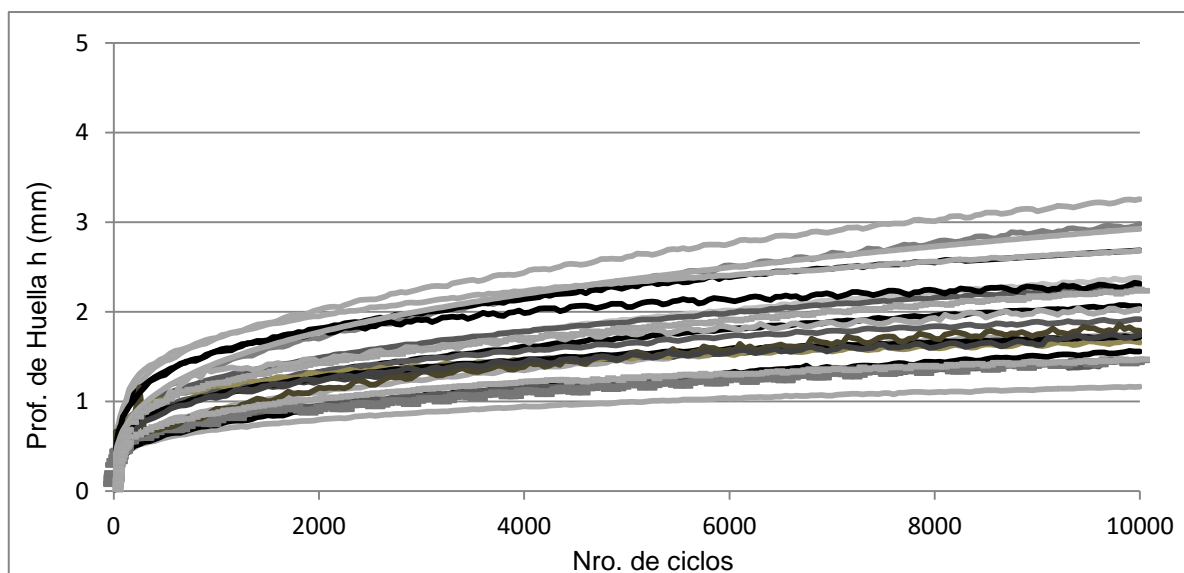
Una vez obtenidas todas las probetas en las condiciones requeridas se procede al ensayo de las mismas para ambas metodologías. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

Ensayo de Rueda cargada WTT.

Se analizaron los resultados de 32 mezclas asfálticas ensayadas en el laboratorio vial del IMAE con anterioridad, seleccionando aquellas que tuvieron un muy buen desempeño frente al ahuellamiento, tanto en el valor final a los 10000 ciclos, como en la pendiente promedio PRaire. Como resultado se seleccionaron 4 tipos de mezclas. El criterio de selección fue el de abarcar la mayor cantidad de variantes posibles con las mezclas que se disponían en el momento de comenzar este trabajo.

Las mezclas asfálticas varían en relación a sus densidades y vacíos como se puede observar en la Tabla 1, presentada en el ítem anterior, pero también en el origen de los agregados, desde piedra partida de basalto, hasta piedra partida de canto rodado.

A continuación, se muestra la gráfica 3 con el resultado de las mediciones en milímetros de la profundidad de la huella en función del número de ciclos, para todas las probetas ensayadas en el equipo de Wheel Tracking Test del Laboratorio Vial del IMAE.



Gráfica 3. Resultado de las 32 mezclas asfálticas ensayadas por WTT.

En la Tabla 5 se detalla, en forma general, la influencia de algunos de los factores mencionados anteriormente, sobre los parámetros que rigen el comportamiento a la deformación permanente de las mezclas asfálticas en base a estudios anteriores realizados por Angelone, et al.. [10]

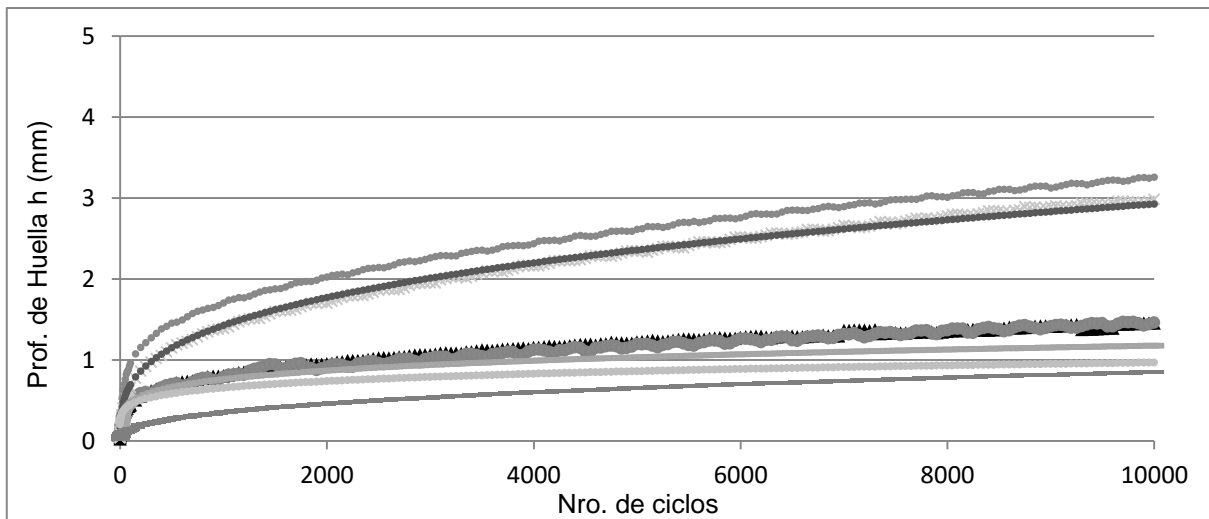
Tabla 5. Influencia de algunos factores en los parámetros de la deformación permanente.

FACTOR	ϵ_p	a	b
Temperatura	Muy alta	Muy alta	Moderada
Tensor Desviador	Muy alta	Alta	Ninguna
Tipo de Agregado	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Tipo Asfalto	Moderada	Alta	Ninguna
% Asfalto	Ninguna	Moderada	Moderada
% Vacíos	Moderada	Moderada	Moderada

Por todo lo mencionado hasta aquí y por los tiempos acotados para la ejecución de este trabajo, se presentan los parámetros característicos calculados de las 8 probetas seleccionadas (Tabla 6) y sus gráficas correspondientes (Gráfica 4).

Tabla 6. Resultados del ensayo WTT de las mezclas seleccionadas en estudio.

Probeta	H5000 [mm]	H10000 [mm]	WTS aire	WTSaire prom	PRaire 5000	PRaire 10000	PRaire prom
PA	1.22	1.19	0.046	0.045	2.40%	2.90%	2.8%
PB	1.19	1.41	0.044		2.30%	2.70%	
F4 02	2.35	2.95	0.119	0.114	4.60%	5.80%	6.0%
F5 01	2.64	3.18	0.109		5.20%	6.20%	
CA30 A	2.36	2.93	0.114	0.063	4.70%	5.80%	4.5%
CA30 B	2.83	3.01	0.036		5.60%	5.90%	
CA30 Brep	0.65	0.85	0.040		1.30%	1.70%	
AM3 A	1.03	1.18	0.029	0.025	2.20%	2.50%	2.3%
AM3 B	0.86	0.97	0.021		1.80%	2.00%	



Gráfica 4. Resultados del ensayo WTT de las mezclas seleccionadas en estudio.

Ensayo de Creep.

Luego del proceso mencionado en la sección 5 del presente trabajo, se procede a realizar el ensayo de Creep sobre los testigos calados de las probetas compactadas a rodillo. También se ensayaron las probetas compactadas mediante compactador Marshall y giratorio. (Gráfica 5)

Identificación de probetas ensayadas:

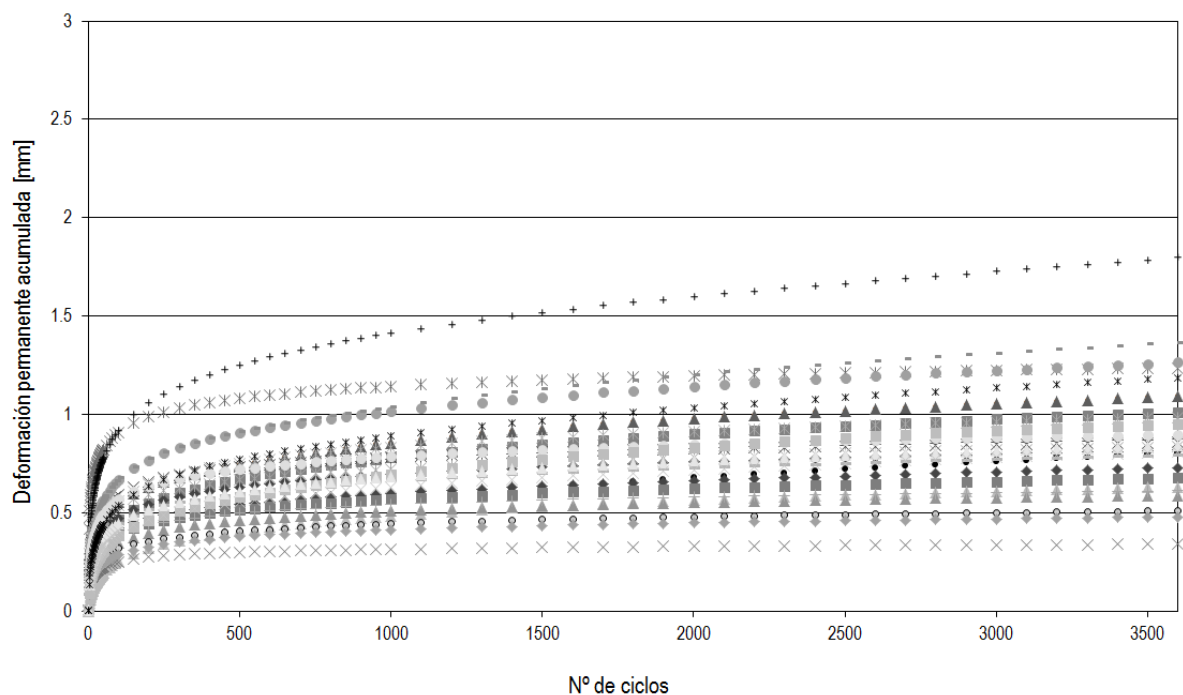
P – Probeta

W – Wheel Tracking Test

G – Compactador Giratorio

M – Compactación Marshall

10/15 – Diámetro de la probeta



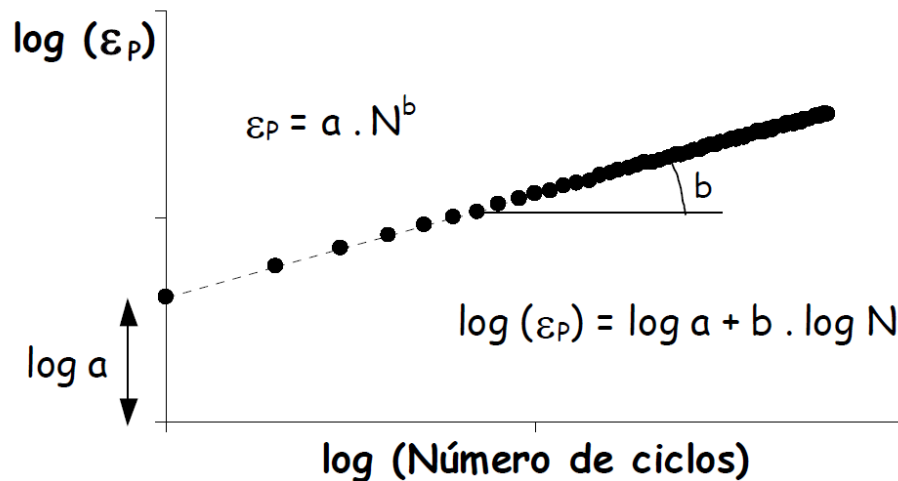
● P2M10CA30	◆ P3M10CA30	■ PAG15CA30	▲ PBG15CA30
× PAW10AM3	× PBW10AM3	● PAW10CA30	+ PBW10CA30
▲ PAW15AM3	× PBW15AM3	× PAW15CA30	● PBW15CA30
◆ P1W10P2A	■ P2W10P2A	+ P1W15P2A	○ P2W15P2A
▲ P1W10P2B	× P2W10P2B	- P1W15P2B	◆ P2W15P2B
+ PAW10F4	- PBW10F4	× PAW15F5	× PBW15F5
■ PAW15F4	▲ PBW15F4		

Gráfica 5. Resultados de ensayos a probetas con y sin confinamiento (Creep).

Se descartan para el análisis los resultados las probetas PAW10F5 y PBW10F5, debido a grandes deformaciones que llevaron a la rotura, correspondientes a los calados de 10 cm de la probeta de WTT de la Mezcla F5.

Análisis comparativo de ambos ensayos

Para lograr correlacionar los resultados de los 2 ensayos analizados, se recurre a Gráficas en escala logarítmica para ambos ejes, como la que se observa a continuación, Gráfica 6, donde a partir de un N° determinado de ciclos (generalmente 100), queda bien definida una recta. Mediante la aplicación de este criterio, se puede establecer una ecuación simple de tipo lineal de acuerdo a la pendiente de la misma y lograr comparar los resultados de ambos ensayos.



Gráfica 6. Modelo de la deformación acumulada en función del N° ciclos.

$$\epsilon_p = a \cdot N^b \quad (III)$$

Dónde:

N: número de ciclos

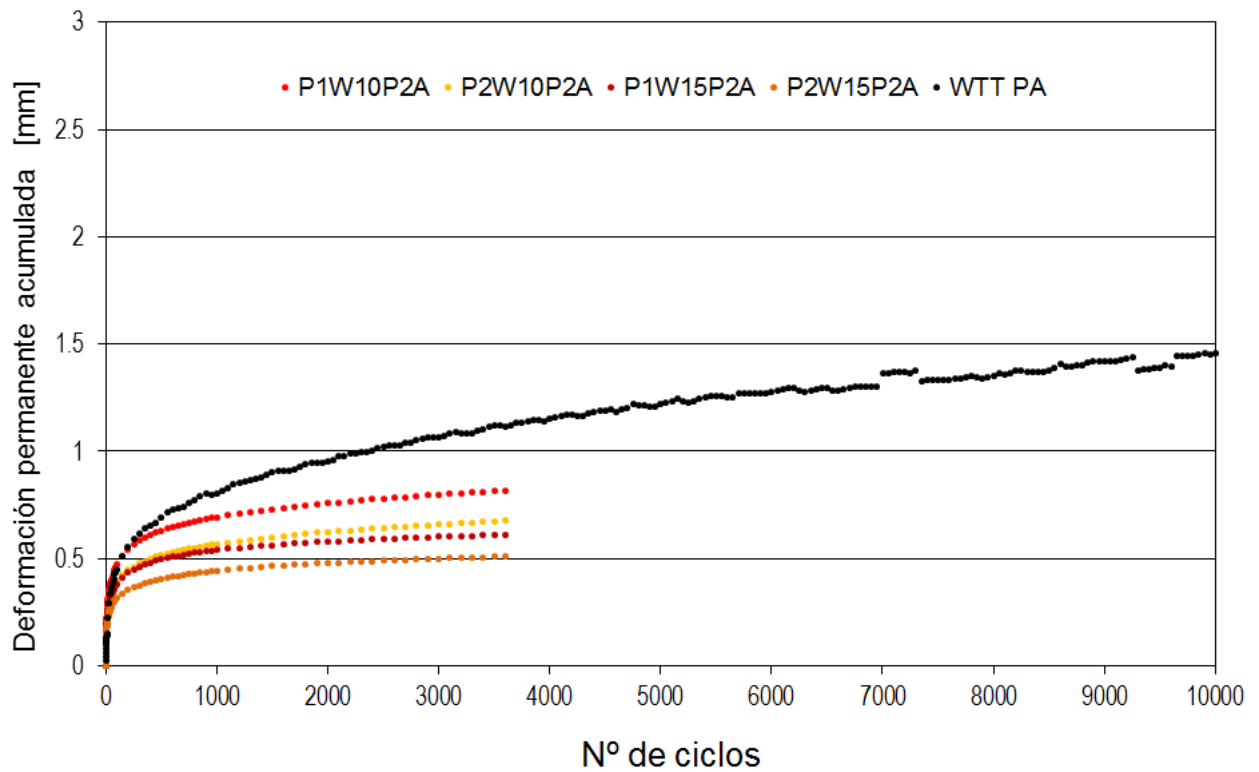
ϵ_p : deformación específica axial permanente

a y b : coeficientes de ajuste

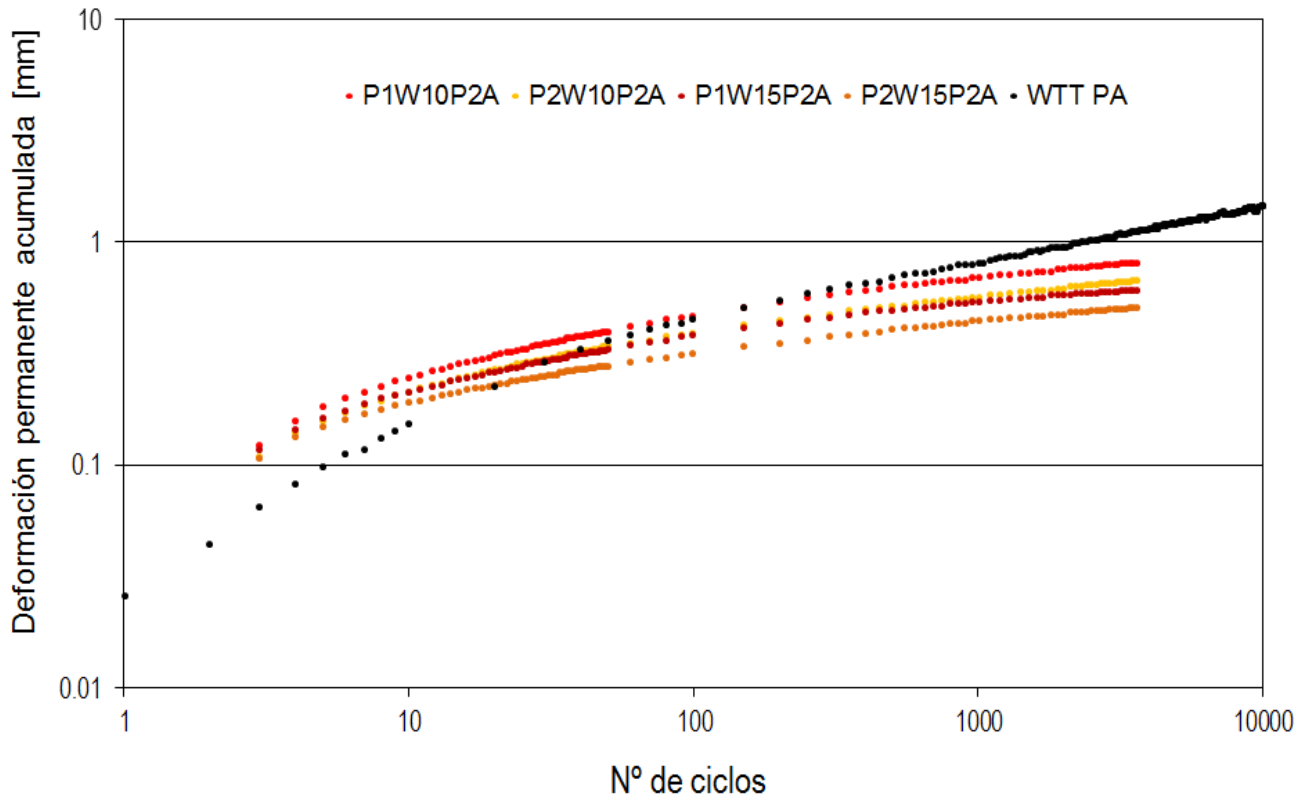
En la sección de Anexos, en la Tabla 12 a la Tabla 18 se pueden cotejar los resultados de las mezclas ensayadas con confinamiento y sin confinamiento, diámetros de 10 cm y 15 cm respectivamente.

Luego de analizados los resultados preliminares de ambos ensayos, se decidió agrupar por mezcla asfáltica (F5-01 y F4-02; P2A y P2B; CA30A y CA30B; AM3A y AM3B), los resultados del ensayo de WTT junto con los resultados del ensayo de Creep con y sin confinamiento (estos últimos a partir de los calados de la probeta del ensayo WTT).

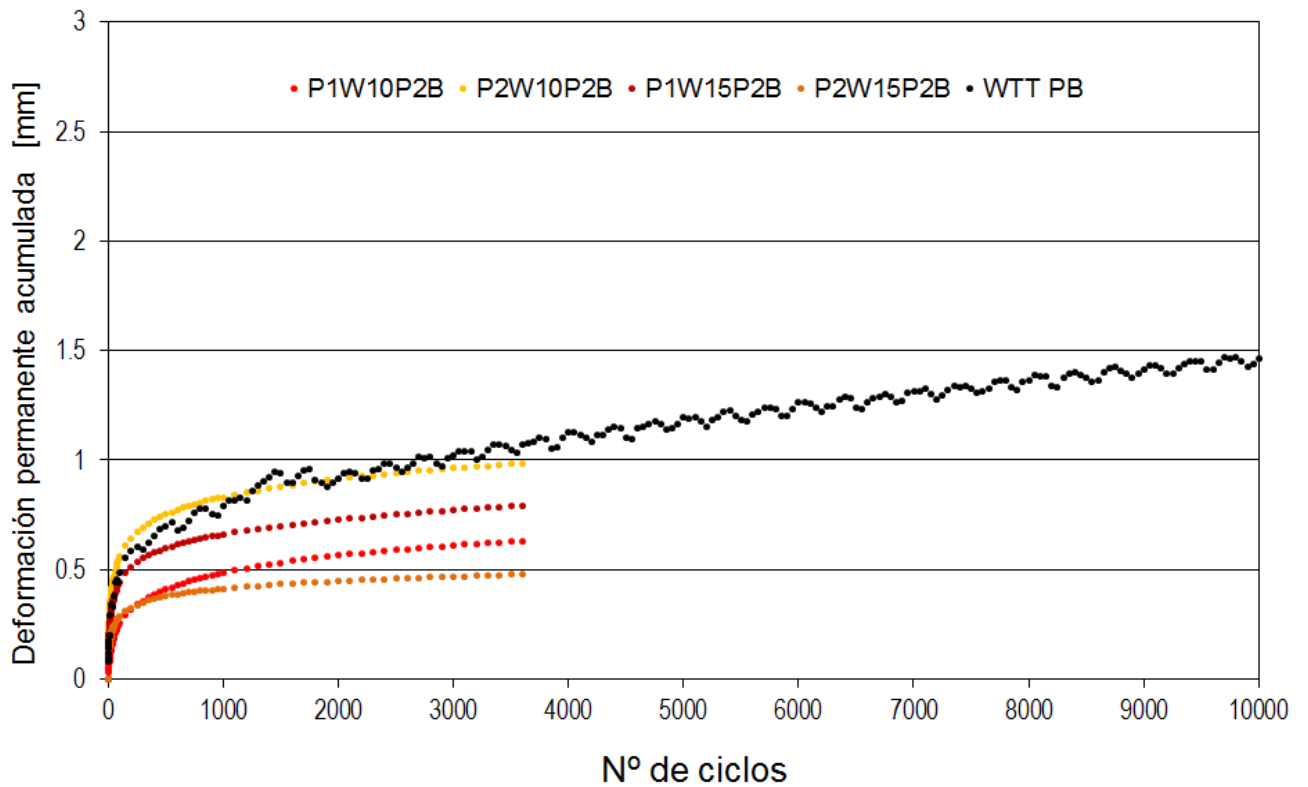
Se muestran a continuación desde la Gráfica 7 a 20 una serie de representaciones donde se puede observar para cada mezcla, la deformación permanente acumulada en ambos ensayos en función del número de ciclos aplicados. Con el objetivo de poder interpretar los resultados de los coeficientes de ajuste mencionados en la ecuación (III) se grafican además los resultados en escala doble logarítmica.



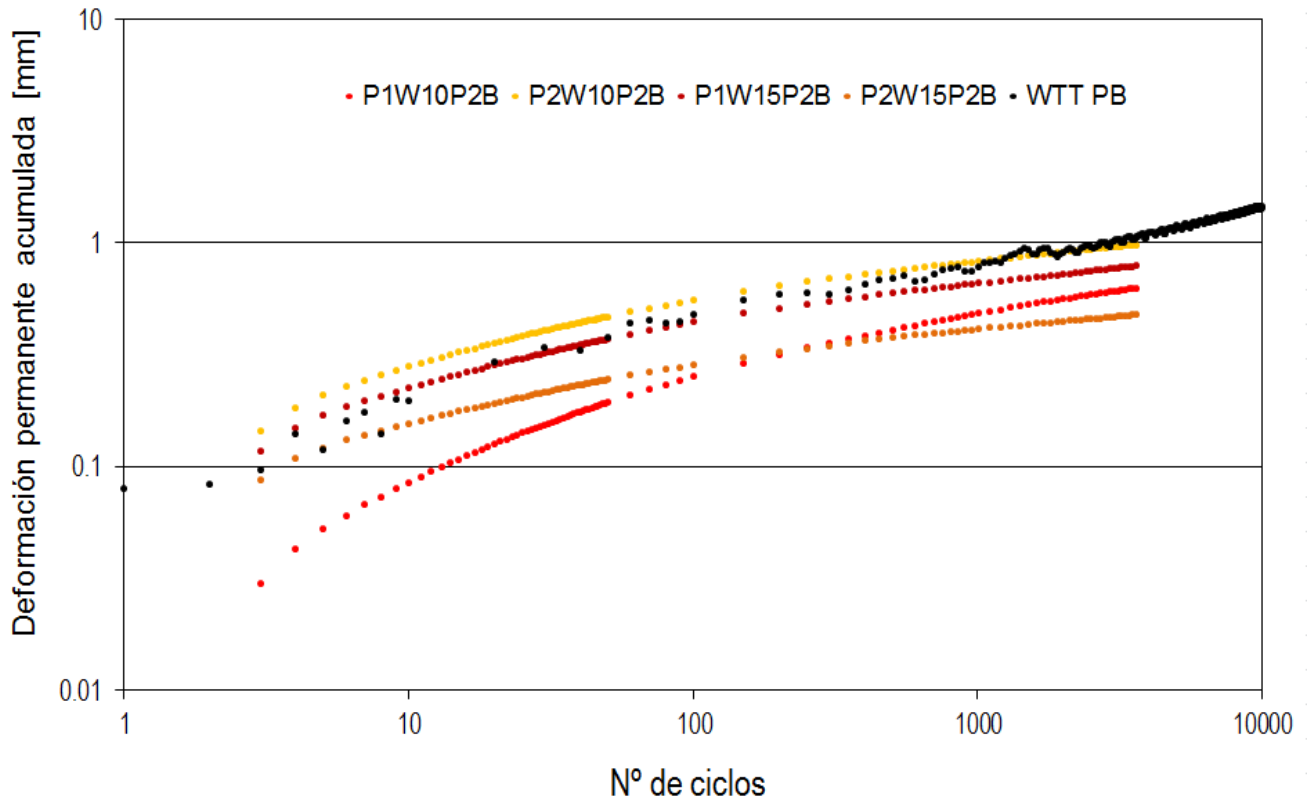
Gráfica 7. Resultados de ensayos WTT y Creep.



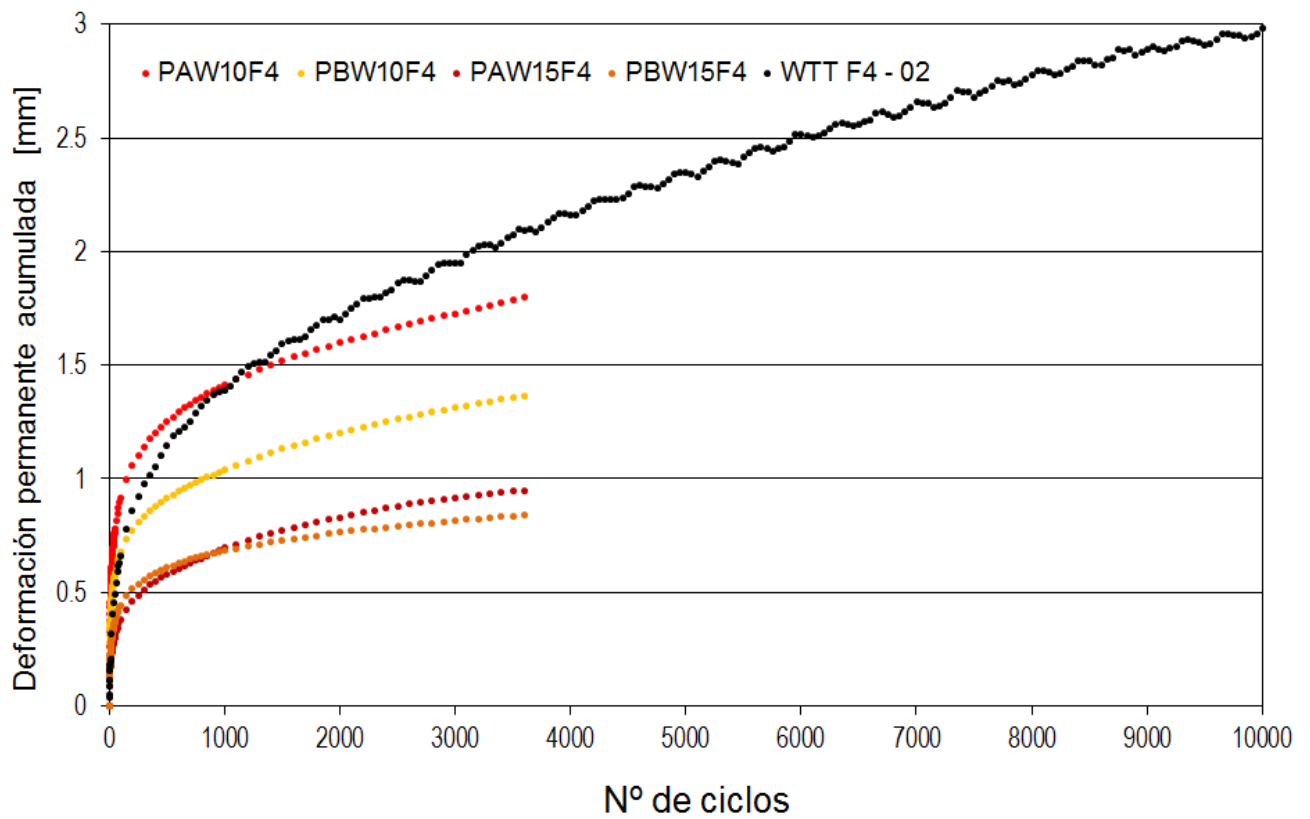
Gráfica 8. Def. Acumulada vs N° de ciclos, escala doble logarítmica.



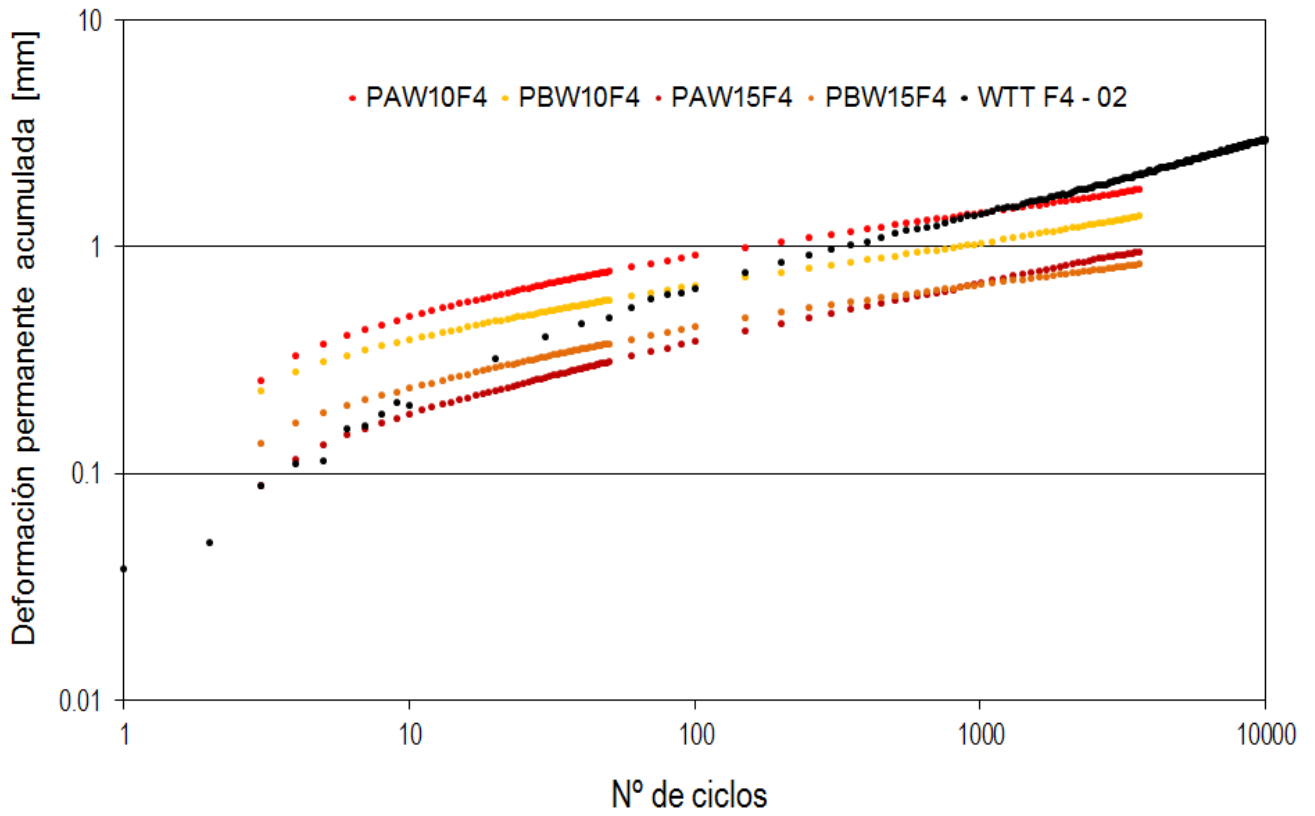
Gráfica 9. Resultados de ensayos WTT y Creep.



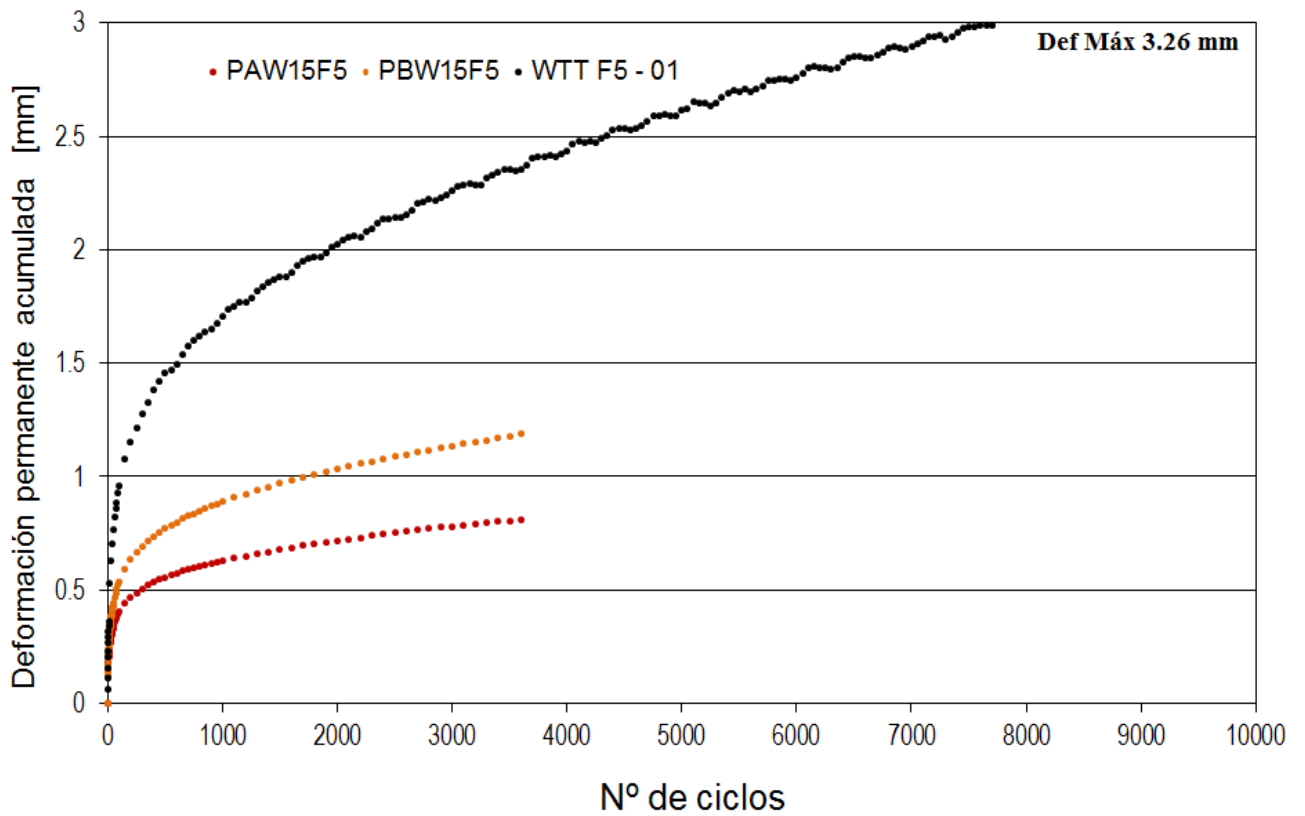
Gráfica 10. Def. Acumulada vs N° de ciclos, escala doble logarítmica.



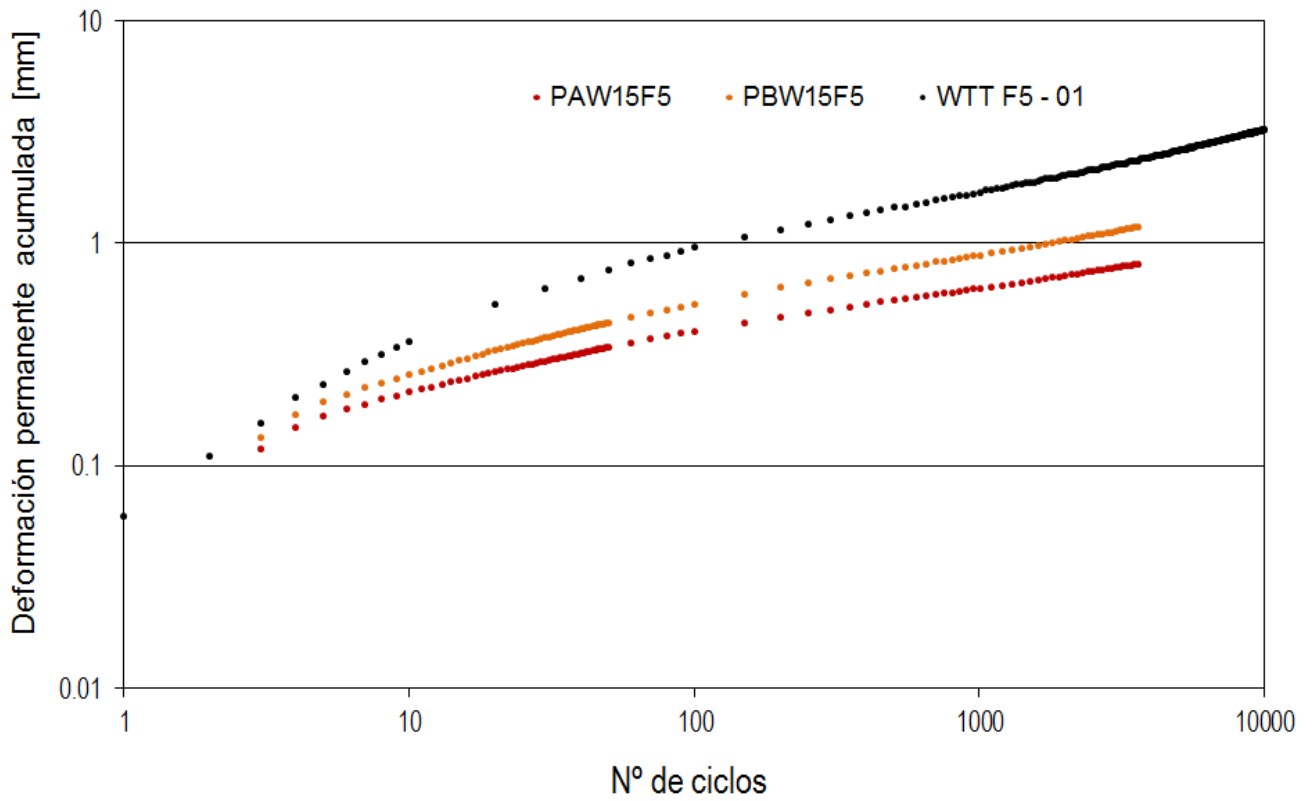
Gráfica 11. Resultados de ensayos WTT y Creep.



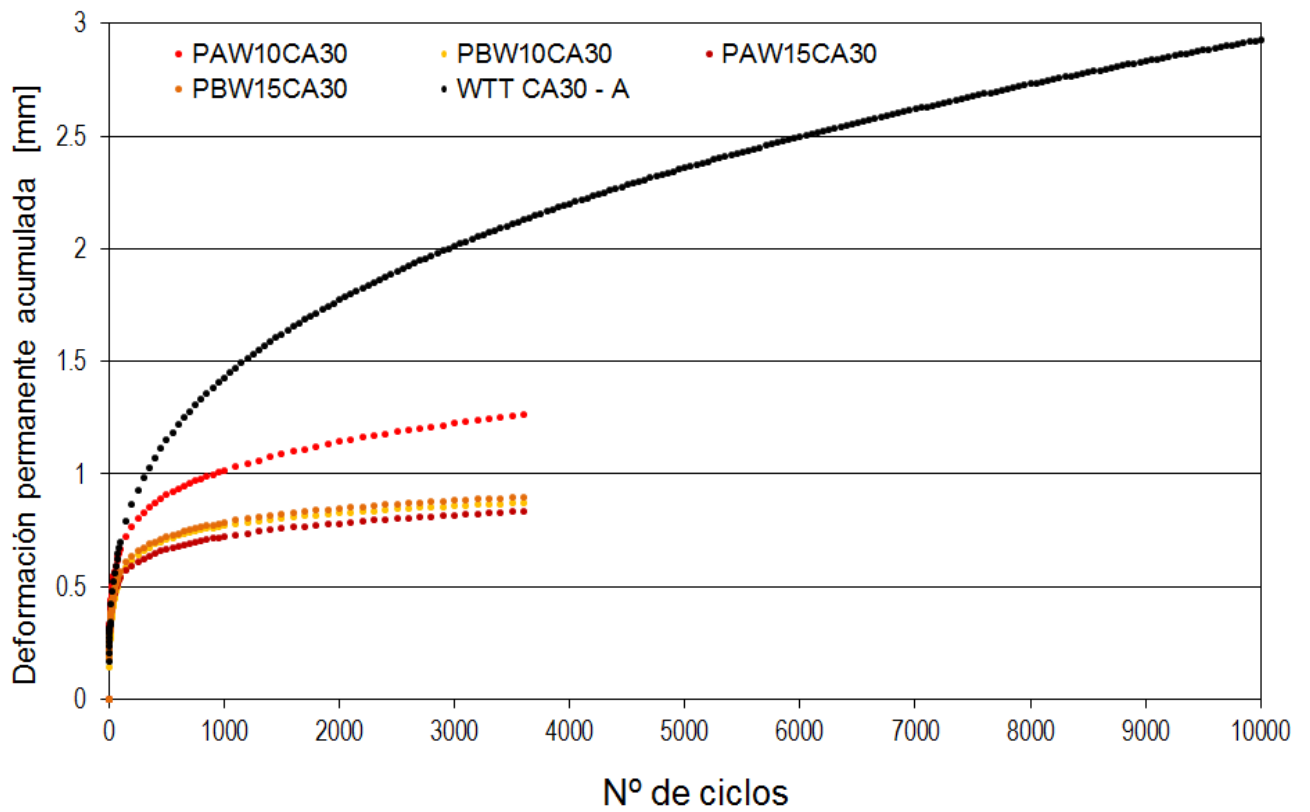
Gráfica 12. Def. Acumulada vs N° de ciclos, escala doble logarítmica.



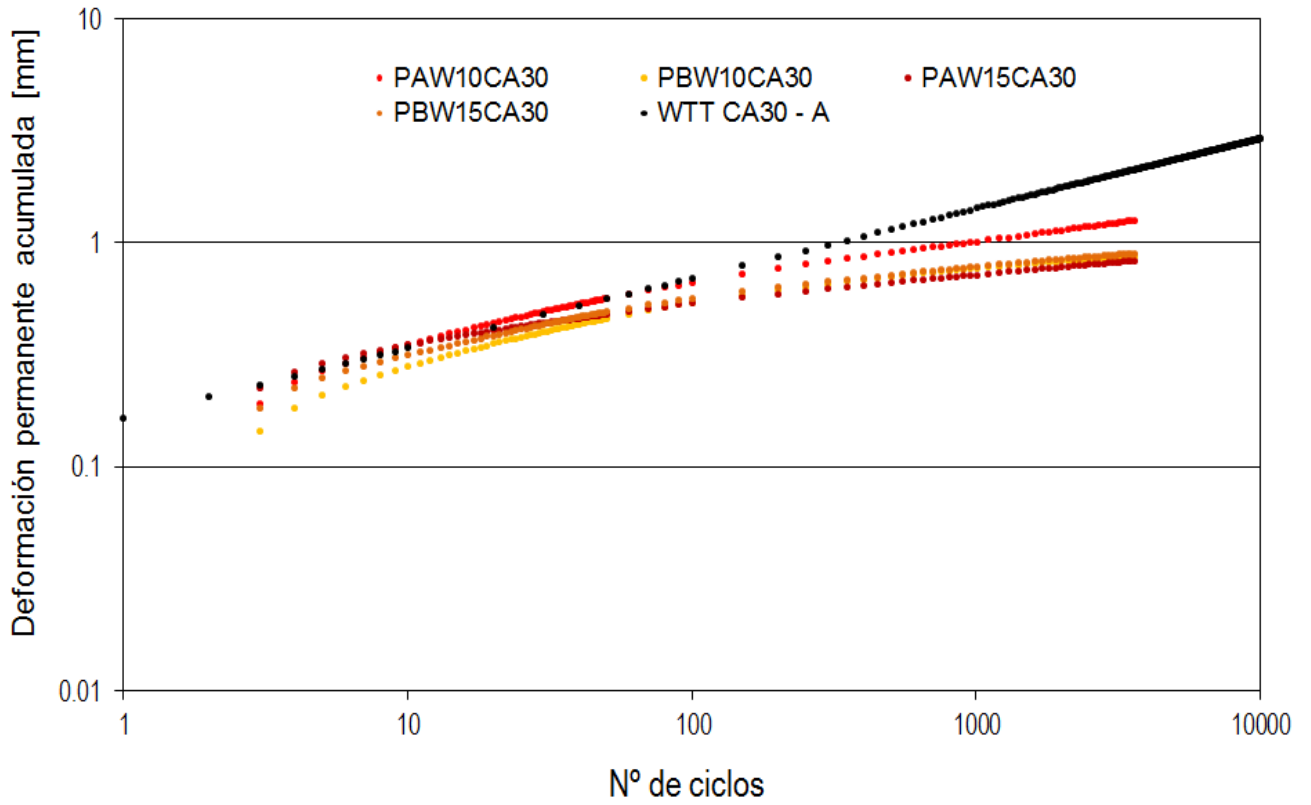
Gráfica 13. Resultados de ensayos WTT y Creep.



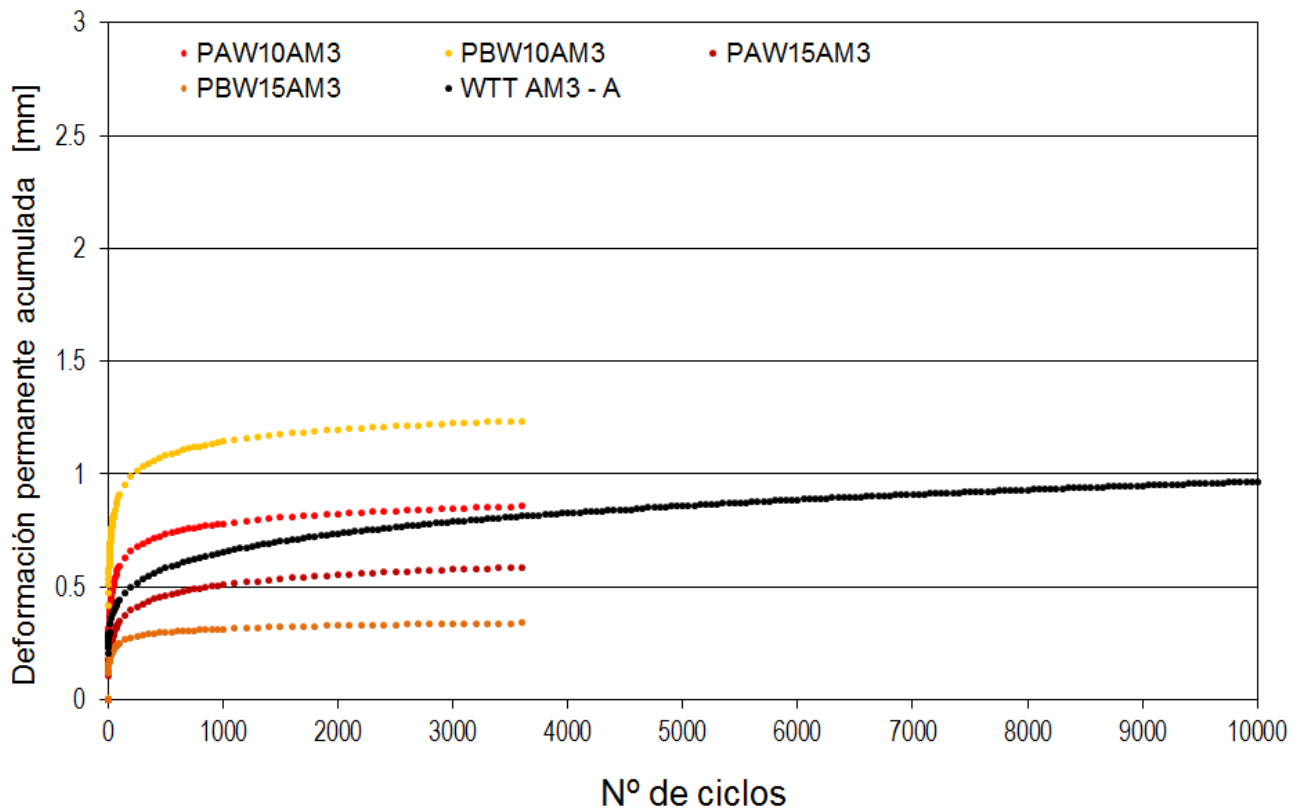
Gráfica 14. Def. Acumulada vs N° de ciclos, escala doble logarítmica.



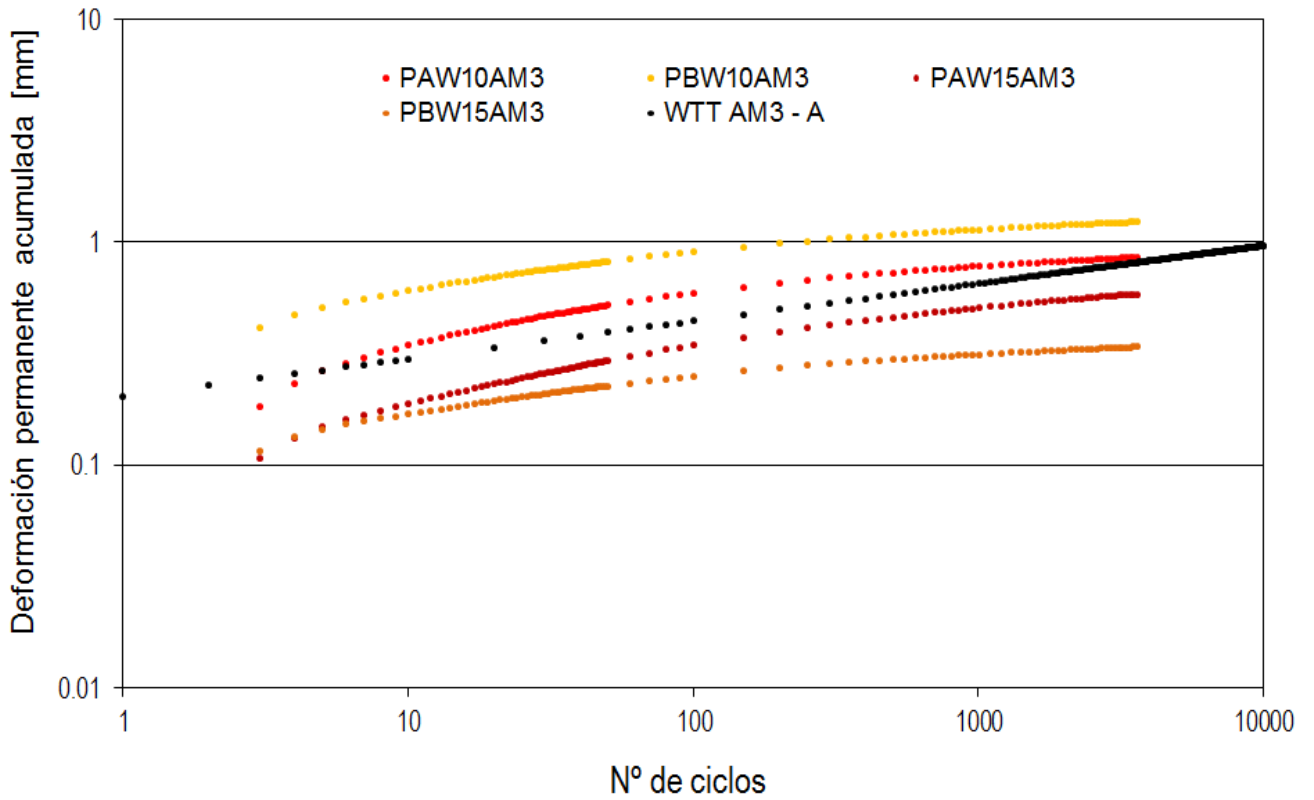
Gráfica 15. Resultados de ensayos WTT y Creep.



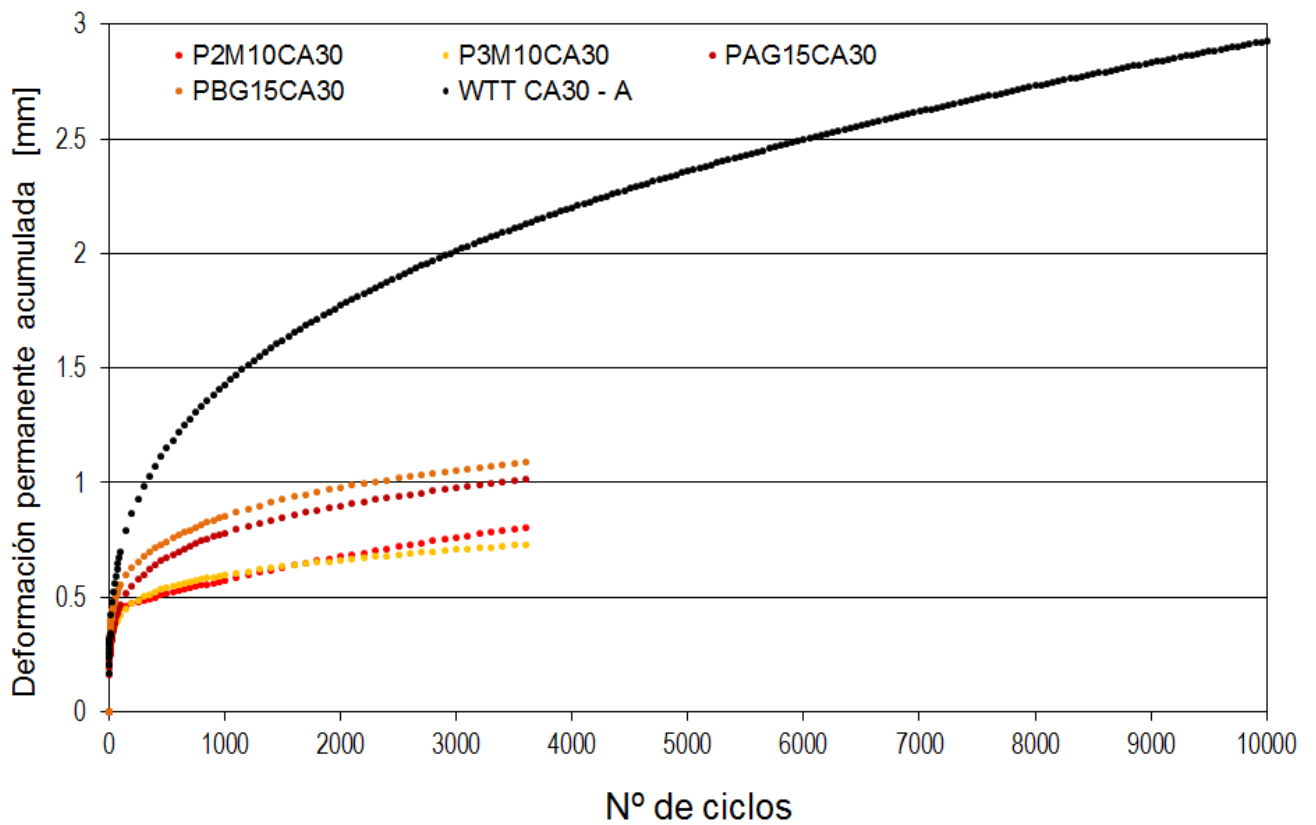
Gráfica 16. Def. Acumulada vs N° de ciclos, escala doble logarítmica.



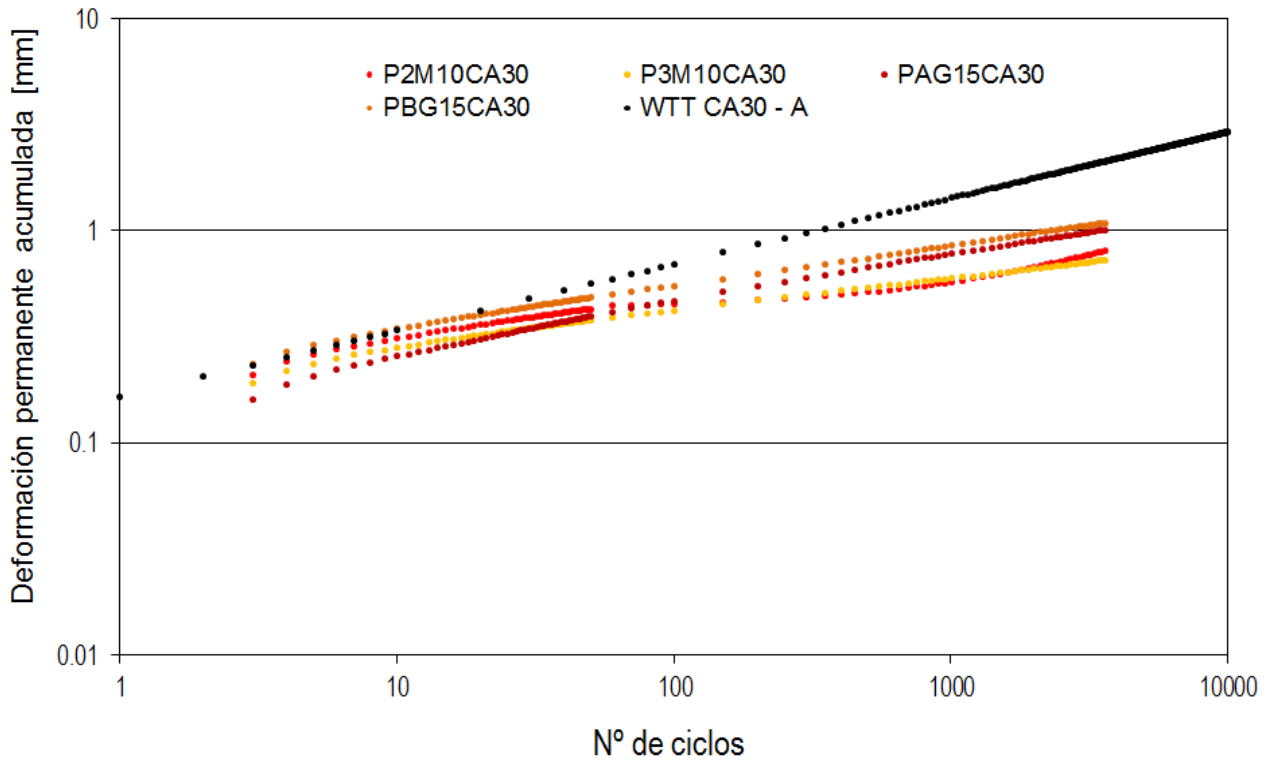
Gráfica 17. Resultados de ensayos WTT y Creep.



Gráfica 18. Def. Acumulada vs N° de ciclos, escala doble logarítmica.



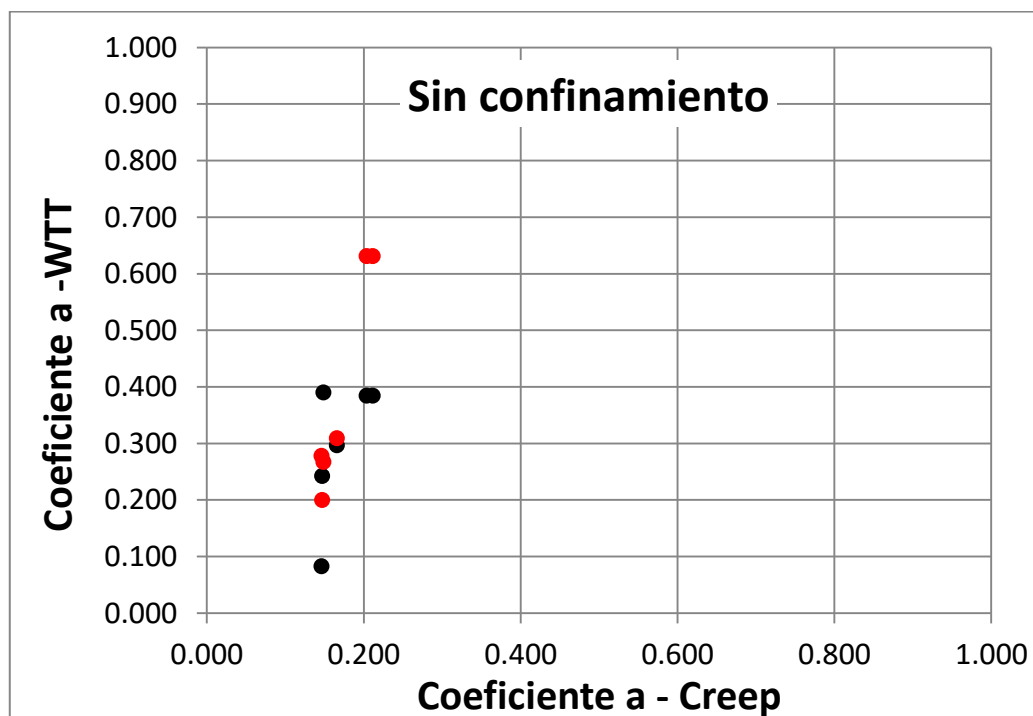
Gráfica 19. Resultados de ensayos WTT y Creep.



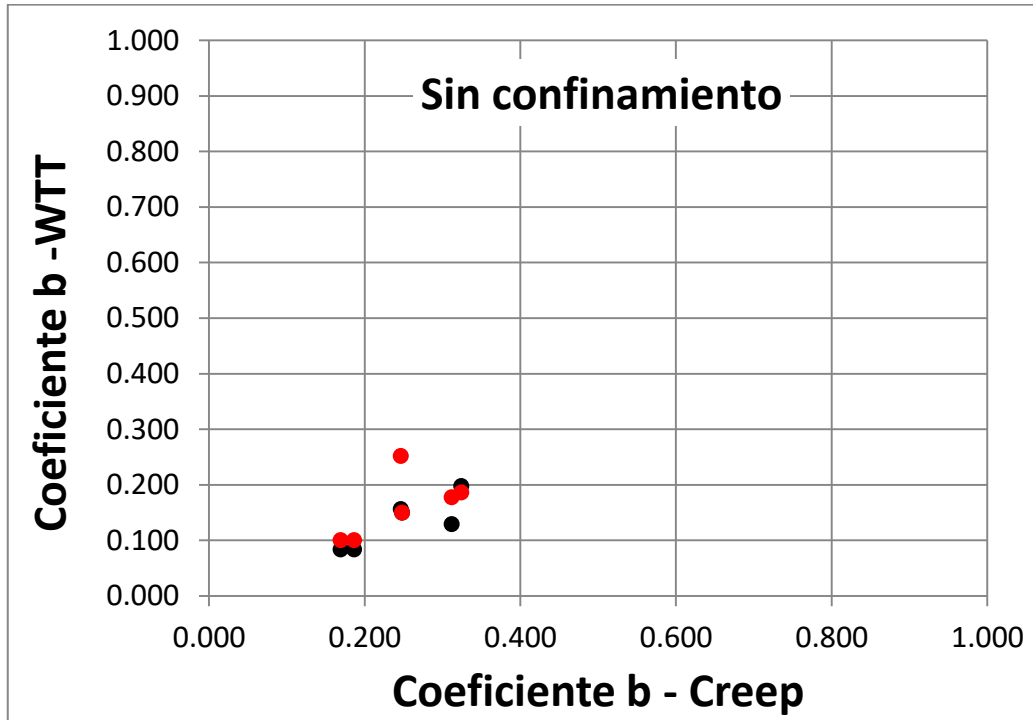
Gráfica 20. Def. Acumulada vs N° de ciclos, escala doble logarítmica.

Dado que se observa en algunas de las gráficas una tendencia de las pendientes de las rectas en las gráficas con escala doble logarítmica, se determinaron para cada probeta de cada mezcla, los coeficientes a y b.

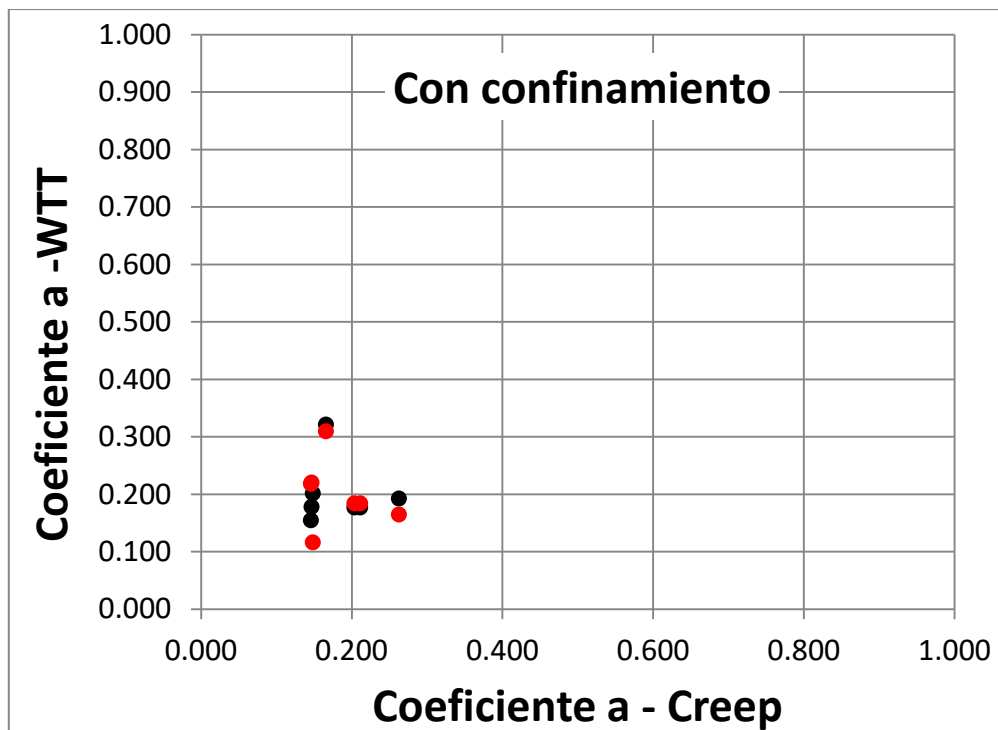
Se comparan los coeficientes de todas las probetas ensayadas sin confinamiento lateral, probetas de 10 cm, con la correspondiente probeta de WTT. (Gráfica 21 a Gráfica 24)



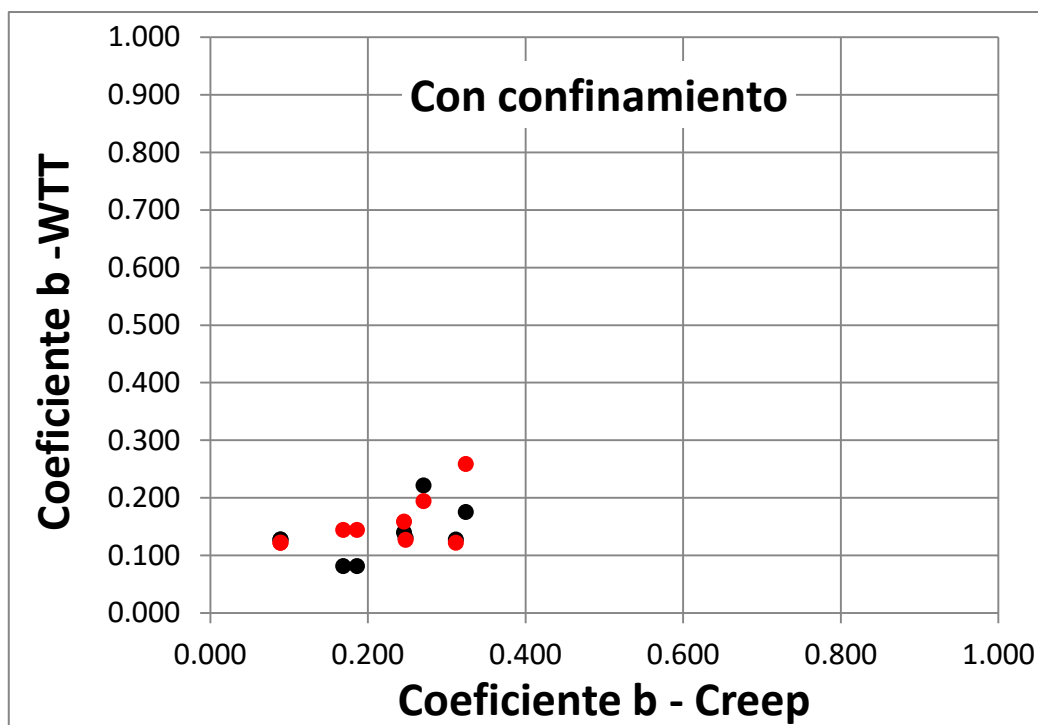
Gráfica 21. Variación de coeficiente de ajuste a - WTT vs Creep.



Gráfica 22. Variación de coeficiente de ajuste b - WTT vs Creep.



Gráfica 23. Variación de coeficiente de ajuste a - WTT vs Creep.



Gráfica 24. Variación de coeficiente de ajuste b - WTT vs Creep.

En base a los resultados obtenidos y analizados, se puede notar una tendencia en los resultados de algunas de las mezclas analizadas. La relación entre los coeficientes de ajuste \underline{a} y \underline{b} para el ensayo WTT y los del ensayo Creep tienden a un valor cercano a 0,8 para el coeficiente \underline{a} , y un valor cercano a 1,6 para el coeficiente \underline{b} . Se muestra a continuación la tabla 7 resumiendo lo mencionado anteriormente.

Tabla 7. Relación entre coeficientes a y b de Ensayo WTT y Creep.

Coef.	PA	PB	F4 - 02	F5 - 01	CA30 - A	CA30 - B	AM3 - A	AM3 - B
a/a	0.709	0.975	0.739	1.481	0.538	4.287	0.808	0.779
b/b	1.791	1.464	1.621	1.308	2.289	0.655	1.914	1.735

Se observa la variación y se descartan algunos valores atípicos como en el caso de la Mezcla con CA30, donde se aleja de la tendencia que demostraron las demás mezclas asfálticas analizadas. Aplicando un criterio de ordenamiento de los valores de los coeficientes de ajuste de mayor a menor obtenidos en ambos ensayos, si se parte del promedio de todos los coeficientes \underline{a} derivados del análisis del ensayo Creep, al comparar para cada mezcla con los coeficientes \underline{a} obtenidos del ensayo WTT, se observa una relación, a excepción de la F5-01, con respecto al valor de dicho coeficiente.

Del mismo modo si se analiza el coeficiente \underline{b} resulta que no hay correspondencia directa, para la mezcla de CA30-A indicada en la Tabla 9, mientras que para el ensayo de WTT resulta una de las menos coincidentes con un valor de \underline{b} alto, es una de las mejores evaluadas en el ensayo Creep. La mezcla AM3-A muestra un buen comportamiento en ambas metodologías de ensayo.

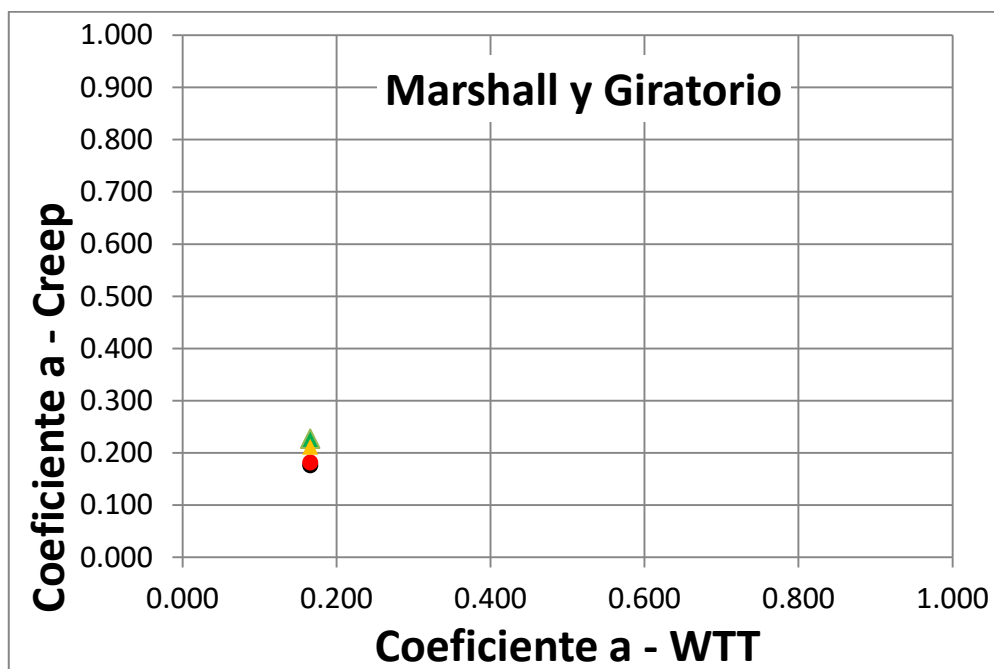
Tabla 8. Orden de los coeficiente de ajuste a.

	Coef a WTT	Coef a Creep
F5 - 01	0.263	0.179
AM3 - A	0.211	0.344
CA30 - A	0.166	0.309
F4 - 02	0.149	0.244
PA	0.147	0.210
PB	0.146	0.183

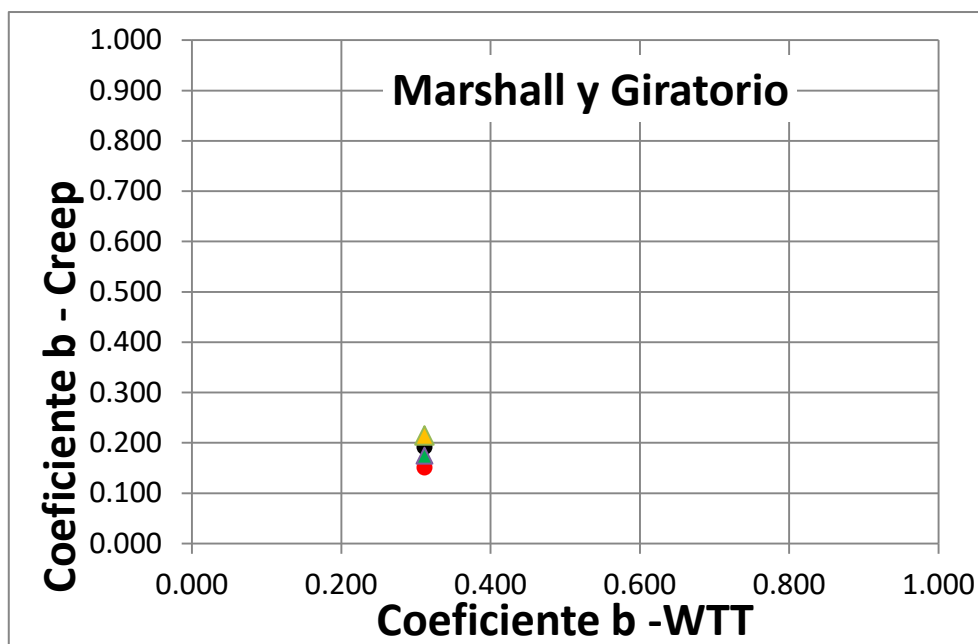
Tabla 9. Orden de los coeficiente de ajuste b.

	Coef b WTT	Coef b Creep
F4 - 02	0.324	0.205
CA30 - A	0.312	0.139
F5 - 01	0.271	0.208
PA	0.248	0.139
PB	0.246	0.177
AM3 - A	0.186	0.103

A modo de complemento y cumpliendo con los objetivos propuestos para este trabajo, respecto a la influencia en la metodología de compactación, se presentan las gráficas que relacionan los coeficientes de ajuste del WTT con los ensayados a partir de las probetas compactadas con compactador giratorio y Marshall. (Gráfica 25 y Gráfica 26)



Gráfica 25. Variación de coeficiente de ajuste a.



Gráfica 26. Variación de coeficiente de ajuste b.

Tabla 10. Relación entre coeficientes a y b de Ensayo WTT y Creep.

Coef.	P2M10CA30	P3M10CA30	PAG15CA30	PBG15CA30
a/a	0.914	0.785	0.945	0.731
b/b	1.787	2.068	1.451	1.624

Como se puede notar también existe una tendencia sobre los valores mencionados de 0,8 y 1,6, tanto para el ensayo con confinamiento como sin confinamiento.

Se visualiza, a partir de los hallazgos encontrados, la posibilidad de utilizar los resultados del ensayo de Creep, afectándolos por coeficientes que deben ser calibrados en función de las variables que intervienen en el momento de ensayar las distintas mezclas asfálticas para correlacionarlos con los ensayos WTT.

De este modo se puede, a partir de un análisis similar al indicado para el ensayo de WTT, aplicando las ecuaciones (I) y (II), caracterizar al material con la pendiente del ahuellamiento y la profundidad de la huella proporcional. (Ver Tabla 15 a 18. Anexos)

Se obtiene por lo tanto, una correlación que ajusta a los valores medidos por el equipo de Creep que dan como resultado dos coeficientes de ajuste a y b. Estos coeficientes pueden ser afectados por constantes como se observó en los resultados, de 0,8 y 1,6 respectivamente.

Se logra de esta manera reconstruir la curva de WTT con dos coeficientes de ajuste a y b, obtenidos a partir del ensayo Creep, y que permiten el cálculo de los parámetros requeridos por vialidad nacional en su pliego.

7. IMPACTO AMBIENTAL

Se reconoce que existen muchos indicadores medioambientales que pueden ser de aplicación en los pavimentos de las carreteras, sin embargo, en este estudio el enfoque se centrará principalmente en la huella de carbono.

7.1 Huella de carbono, HC. (Carbon footprint, CF.)

La huella de carbono mide las emisiones de CO₂ y demás gases de efecto invernadero, asociadas con el uso de combustibles fósiles y otras fuentes. Esta huella se incluye dentro de la Huella Ecológica, ya que las toneladas emitidas se convierten en áreas biológicamente productivas necesarias para absorber este CO₂.

El dióxido de carbono es un gas que se encuentra en forma natural en la atmósfera, pero no es el único que produce el calentamiento global, el metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y otros gases se pueden cuantificar mediante el cálculo de un dióxido de carbono equivalente (en toneladas, kg, etc. CO₂eq), como ejemplo se puede mencionar que 1 ton de metano produce un efecto de calentamiento global de 25 ton de CO₂eq.

Estos gases contribuyen a un fenómeno conocido como Efecto Invernadero, que contribuye al calentamiento global y al cambio climático.

La huella de carbono es un subconjunto de los datos cubiertos por una Evaluación del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) más completa donde pueden considerarse otros indicadores de interés. La ECV es un método normalizado internacionalmente mediante las normas ISO 14040 Análisis de ciclo de vida e ISO 14044 Gestión ambiental, para la evaluación de las cargas ambientales y los recursos consumidos a lo largo del ciclo de vida de un producto o servicio; desde la extracción de materias primas, la fabricación de bienes, el reciclaje, la recuperación de energía y la deposición final.

Una de las categorías de impacto clave que se considera en una ECV es el cambio climático, normalmente utilizando los factores de caracterización del IPCC para los equivalentes de CO₂. [15]

7.2 Importancia de la caracterización de materiales bajo el enfoque de la sustentabilidad

Desde el punto de vista de la sustentabilidad son diversas las variables que pueden tomarse en cuenta al momento de diseñar un pavimento lo más amigable con el medio ambiente.

Posiblemente uno de los factores más importantes para reducir el impacto ambiental de la construcción de carreteras es la construcción de pavimentos duraderos.

Los pavimentos duraderos reducen el consumo de materias primas, reducen los retrasos de tráfico y las intervenciones de mantenimiento. Los pavimentos de larga duración tienen como objetivo una mayor disponibilidad de la carretera, durante un período más largo y con menos reparaciones y mantenimiento. Para obtenerlos, es necesario un diseño adecuado, una gestión rigurosa de la calidad durante la fabricación y la construcción y un programa de mantenimiento exhaustivo. [16]

Cuando se trabaja con pavimentos de larga duración, también conocidos como pavimentos perpetuos, se suele hacer énfasis en su diseño compuesto por grandes espesores, pero no se debe olvidar de una correcta caracterización de los materiales empleados para lograr las prestaciones proyectadas en el diseño de los mismos.

Para lograr que su vida en servicio sea de más de 50 años sin requerir mayor rehabilitación estructural o reconstrucción y que sólo necesite reconstrucción de la superficie de rodadura de manera periódica, debido a que los deterioros se presentan únicamente en la parte superior de la estructura, es que se deben incorporar ensayos simples pero que sean más representativos del comportamiento in situ (como por ejemplo el ensayo de Creep).



Figura 22. Esquema de pavimento perpetuo.

De esta manera, la reducción de la huella de carbono se encuentra en la mayor vida útil. En la fase de producción, las exigencias de calidad de los materiales y de la capacidad de carga de las diferentes capas son cada vez mayores y, por lo tanto, los espesores de la estructura son mayores.

La fase de construcción no difiere de la construcción de un pavimento tradicional, aunque es aconsejable una mayor precisión y control; el aseguramiento de la calidad es un parámetro clave. La importante disminución de la huella de carbono se producirá durante la etapa de uso. Si se evitan las grandes obras de rehabilitación, los largos períodos de reparación reducirán la congestión y la utilización de materiales vírgenes productos de procesos industriales de mayor contaminación. Dado que los materiales son de alta calidad, el reciclaje será posible en gran medida. [17] [18]

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El ahuellamiento de los pavimentos flexibles, es uno de los tipos más frecuentes de falla asociado a la aplicación reiterada de las cargas del tránsito y en Argentina es un problema que se presenta con frecuencia debido al tránsito pesado.

Los resultados experimentales obtenidos, su procesamiento y análisis posterior han indicado que:

- Es posible utilizar el ensayo de Creep para realizar una caracterización del comportamiento de las mezclas frente a las deformaciones permanentes y además, tomando como base esos resultados proponer correlaciones, para obtener los parámetros requeridos del ensayo WTT con el objetivo de caracterizar las mezclas bituminosas y su control posterior mediante esta metodología.
- Se pudo verificar que el ensayo de Creep es un ensayo sencillo y rápido a diferencia del WTT, siempre que se posea el equipamiento adecuado.

Tomando en cuenta que ciertos equipos modernos son capaces de llevar a cabo el ensayo de Creep con y sin confinamiento, para distintas condiciones de carga, frecuencia y temperatura, y en vistas al conocimiento adquirido y al análisis de resultados experimentales realizado sobre este ensayo se concluye que:

- Se encontró una tendencia en los resultados de algunas mezclas que indicarían que existe la posibilidad de establecer una correlación entre ambos ensayos.
- Se ensayó un número de mezclas asfálticas suficientes para avalar los resultados y conclusiones alcanzadas.
- Pudo definirse en base al desarrollo del trabajo una metodología de preparación de material, probetas y agregados, para realizar el ensayo de Creep a partir de testigos calados de 10 cm y 15 cm de diámetro.
- No se pudo establecer si la metodología de compactación de las muestras de ensayo influye en el resultado final.
- No se pudo determinar si los resultados del ensayo son susceptibles al grado de compactación de una determinada mezcla asfáltica.
- No se pudo comprobar si los resultados del ensayo son susceptibles al tipo de asfalto empleado y/o la granulometría de los áridos.

Respecto a consideraciones finales, puede indicarse que, como toda obra de ingeniería, además de cumplir con los requerimientos técnicos se debe lograr un correcto diseño para no concurrir en gastos extraordinarios en la vida útil de la misma.

Esta metodología de estudio de las mezclas asfálticas pretende tanto una correcta evaluación de su diseño como también para el control del comportamiento en servicio.

El relevamiento periódico de la condición del pavimento, en forma ordenada y sistemática, es una tarea muy importante. Tal información permite conformar la función de comportamiento de los distintos tramos de la ruta, que permitirán proponer las tareas de mantenimiento necesarias en magnitud y oportunidad.

Resulta conveniente realizar este relevamiento desde el inicio de la vida de la estructura, determinando así el nivel cero o punto de partida de la condición.

Se propone como control de calidad una metodología con el fin de realizar un control in situ de las mezclas asfálticas construidas para garantizar que posean las mismas propiedades y características mecánicas que las diseñadas en laboratorio.

Complementariamente al control habitual que se lleva a cabo durante la construcción de las capas asfálticas, que componen los paquetes estructurales de los caminos, se plantea implementar la auscultación mediante el calado de testigos, que serán adaptados luego en laboratorio para permitir realizar el ensayo de Creep o compresión cíclica con confinamiento para mezclas asfálticas frente a la deformación permanente.

8.1 Propuesta a futuro

Como propuesta a futuro se plantean las bases sobre las cuales seguir trabajando dentro de un proyecto de investigación en el Laboratorio Vial IMAE.

Con el objetivo de modificar algunas variables para lograr un mejor ajuste en los coeficientes obtenidos se propone:

- Variar el nivel de carga aplicada, y por ende la presión ejercida sobre las probetas o testigos.
- Variar las temperaturas de ensayo entre 30 °C y 60 °C
- Variar la frecuencia de aplicación de carga, logrando una aproximación a la frecuencia aplicada en el ensayo WTT.
- Variar la cantidad de ciclos aplicados, en función del punto para el cual ya no se advierte variación en los resultados obtenidos.

Queda como trabajo a futuro el análisis de los resultados obtenidos sobre testigos calados in situ, además de la compactación mediante giratorio y Marshall en mayor cantidad para evaluar la influencia en la metodología de compactación.

Se puede complementar este trabajo con el análisis de ciclo de vida de las mezclas asfálticas colocadas en las distintas capas de los pavimentos, como también las utilizadas en este trabajo, desde las convencionales hasta las mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos modificados.

Los resultados encontrados buscan colaborar con la caracterización de mezclas asfálticas en lo que respecta a la falla por deformación permanente en el diseño balanceado de las mismas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fonseca, Elsa, & Cárdenas, Jaleydi (2009). Modelación del comportamiento reológico de asfalto convencional y modificado con polímero reciclado, estudiada desde la relación viscosidad-temperatura. *Revista eia*, (12),125-137.
- [2] Spinel, S., Triviño, L., Caicedo Hormaza, B. (2003). Modelación del ahuellamiento en mezclas asfálticas de pavimentos. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, *Revista de ingeniería*, 41-47.
- [3] Morea, F. (2013). Análisis del comportamiento al ahuellamiento de diferentes mezclas en los ensayos de rueda cargada según normas BS 598-110 y CEN 12697-22. *Revista N°3 Ciencia y tecnología de los materiales*.
- [4] Pagola, M (2021) Material de apoyo, Perfiles estructurales de pavimentos cátedra Transporte III Escuela de Ingeniería Civil Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura UNR.
- [5] Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos. (2017). Recuperado el 10 de Julio de 2022, de Ministerio de obras públicas, vialidad nacional: <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/vialidad-nacional/licitaciones/pliegos-de-especificaciones-tecnicas>
- [6] Paramo, J. (2015) Material bibliográfico de apoyo. Mezclas asfálticas, conceptos generales. Escuela de Ingeniería Civil Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura UNR.
- [7] Normas de ensayos de la dirección nacional de vialidad (2017). Ensayo de estabilidad y fluencia por el método Marshall VN – E9 - 86.
- [8] Paramo, J. (2017) Material bibliográfico de apoyo. Mezclas asfálticas convencionales procedimiento de dosificación con método de ensayo Marshall. Escuela de Ingeniería Civil Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura UNR.
- [9] “Efecto de la reología de los asfaltos, la temperatura y las condiciones de carga”. Capítulo 2.
- [10] Angelone, S. (2013). Comportamiento de materiales viales. Diseño y control de mezclas asfálticas frente a la deformación permanente [Tesis de doctorado]. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
- [11] EN 12697-25 (2016). Bituminous mixtures - Test methods - Part 25: Cyclic compression test.
- [12] EN 12697-22 (2003). Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 22: Wheel tracking
- [13] Normas de ensayos de la dirección nacional de vialidad (2017). Analisis mecanico de materiales granulares VN – E7 – 65.

- [14] Normas de ensayos de la dirección nacional de vialidad (2017). Determinación de la lajosidad y elongación en agregados VN – E38 - 86.
- [15] Rubén Piacentini, Marcelo Vega. (2020). Medición de la Sustentabilidad a través de la Huella Ecológica y del Análisis del Ciclo de vida [Diapositiva 12]. Campus virtual Fceia. <https://campusv.fceia.unr.edu.ar/mod/resource/view.php?id=24640>
- [16] Newcomb D., Buncher M y I. Huddleston (2001) “Concepts perpetual pavement” Transport Research Circular Number 503
- [17] Newcomb D. (2002) “Perpetual Pavement – a Synthesis, Asphalt Pavement Alliance”, USA,
- [18] Buil M. (2010) “Diseño y caracterización mecánica de mezclas recicladas de alto modulo” Tesina de Especialidad Universidad Politécnica de Cataluña

10. ANEXOS

Tabla 11. Resultados evolución huella ensayo WTT primeros y últimos 1000 ciclos.

WTT	WTT P2A	WTT P2B	WTT F4 - 02	WTT F5 - 01	WTT CA30 - A	WTT CA30 - B	WTT CA30 - Brep	WTT AM3 - A	WTT AM3 - B
N. ciclos	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
1	0.03	0.08	0.04	0.06	0.17	1.32	0.03	0.21	0.20
2	0.04	0.08	0.05	0.11	0.21	1.41	0.03	0.24	0.23
3	0.06	0.10	0.09	0.15	0.23	1.46	0.04	0.26	0.25
4	0.08	0.14	0.11	0.20	0.26	1.50	0.04	0.27	0.26
5	0.10	0.12	0.11	0.23	0.27	1.53	0.05	0.29	0.27
6	0.11	0.16	0.16	0.26	0.29	1.55	0.05	0.30	0.28
7	0.12	0.17	0.16	0.29	0.30	1.57	0.05	0.30	0.28
8	0.13	0.14	0.18	0.32	0.32	1.59	0.06	0.31	0.29
9	0.14	0.20	0.21	0.34	0.33	1.61	0.06	0.32	0.30
10	0.15	0.20	0.20	0.36	0.34	1.62	0.06	0.32	0.30
20	0.23	0.29	0.32	0.53	0.42	1.73	0.08	0.37	0.34
30	0.29	0.34	0.40	0.63	0.48	1.79	0.09	0.40	0.36
40	0.33	0.33	0.46	0.70	0.52	1.84	0.10	0.42	0.38
50	0.36	0.38	0.49	0.77	0.56	1.88	0.11	0.44	0.39
60	0.38	0.44	0.54	0.82	0.59	1.91	0.12	0.45	0.41
70	0.41	0.45	0.59	0.86	0.62	1.93	0.13	0.47	0.42
80	0.43	0.44	0.62	0.88	0.65	1.96	0.13	0.48	0.43
90	0.44	0.45	0.63	0.93	0.67	1.98	0.14	0.49	0.44
100	0.45	0.48	0.66	0.96	0.70	1.99	0.15	0.50	0.44
150	0.51	0.55	0.78	1.08	0.79	2.07	0.17	0.54	0.48
200	0.55	0.59	0.86	1.15	0.86	2.12	0.19	0.57	0.50
250	0.59	0.60	0.92	1.22	0.93	2.16	0.21	0.59	0.52
300	0.62	0.59	0.98	1.27	0.98	2.20	0.22	0.61	0.53
350	0.64	0.62	1.02	1.33	1.03	2.23	0.24	0.63	0.55
400	0.65	0.66	1.05	1.38	1.07	2.26	0.25	0.65	0.56
450	0.67	0.68	1.10	1.42	1.11	2.28	0.26	0.66	0.57
500	0.69	0.70	1.15	1.45	1.15	2.30	0.27	0.67	0.58
550	0.72	0.71	1.19	1.47	1.19	2.32	0.28	0.69	0.59
600	0.73	0.68	1.21	1.49	1.22	2.34	0.29	0.70	0.60
650	0.73	0.69	1.23	1.54	1.25	2.36	0.30	0.71	0.61
700	0.74	0.72	1.25	1.57	1.28	2.37	0.31	0.72	0.62
750	0.76	0.76	1.29	1.60	1.31	2.39	0.32	0.73	0.62
800	0.77	0.78	1.32	1.62	1.33	2.40	0.32	0.73	0.63
850	0.79	0.78	1.35	1.64	1.36	2.41	0.33	0.74	0.64
900	0.80	0.75	1.37	1.65	1.38	2.43	0.34	0.75	0.64
950	0.80	0.75	1.38	1.68	1.41	2.44	0.35	0.76	0.65
1000	0.81	0.79	1.39	1.71	1.43	2.45	0.35	0.77	0.65
9000	1.42	1.41	2.89	3.12	2.83	2.98	0.82	1.15	0.95
9050	1.42	1.43	2.90	3.14	2.84	2.98	0.82	1.16	0.95
9100	1.42	1.43	2.89	3.15	2.84	2.98	0.82	1.16	0.95
9150	1.43	1.42	2.88	3.17	2.85	2.98	0.82	1.16	0.95
9200	1.43	1.40	2.90	3.18	2.85	2.98	0.82	1.16	0.95
9250	1.44	1.40	2.90	3.18	2.86	2.99	0.83	1.16	0.95
9300	1.38	1.42	2.93	3.18	2.86	2.99	0.83	1.16	0.95
9350	1.38	1.44	2.93	3.16	2.87	2.99	0.83	1.16	0.96
9400	1.38	1.45	2.92	3.18	2.87	2.99	0.83	1.16	0.96
9450	1.39	1.45	2.92	3.19	2.88	2.99	0.83	1.16	0.96
9500	1.39	1.45	2.91	3.21	2.88	2.99	0.83	1.17	0.96
9550	1.40	1.41	2.92	3.22	2.89	2.99	0.84	1.17	0.96
9600	1.39	1.41	2.94	3.22	2.89	3.00	0.84	1.17	0.96
9650	1.44	1.45	2.96	3.22	2.90	3.00	0.84	1.17	0.96
9700	1.44	1.47	2.96	3.21	2.90	3.00	0.84	1.17	0.96
9800	1.45	1.47	2.95	3.23	2.91	3.00	0.84	1.17	0.96
9900	1.46	1.43	2.94	3.26	2.92	3.00	0.85	1.17	0.96
10000	1.46	1.46	2.98	3.26	2.93	3.01	0.85	1.18	0.97

Tabla 12. Resultados deformación acumulada ensayo Creep.

RLA	P2M10C A30	P3M10C A30	PAG15 CA30	PBG15 CA30	PAW10 AM3	PBW10 AM3	PAW10 CA30	PBW10 CA30
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.21	0.19	0.16	0.24	0.18	0.42	0.19	0.14
4	0.24	0.22	0.19	0.27	0.23	0.47	0.24	0.18
5	0.26	0.24	0.21	0.29	0.26	0.51	0.27	0.21
6	0.28	0.25	0.22	0.30	0.29	0.54	0.29	0.23
7	0.29	0.26	0.23	0.32	0.30	0.56	0.31	0.24
8	0.30	0.27	0.24	0.33	0.32	0.58	0.33	0.26
9	0.30	0.28	0.25	0.34	0.33	0.59	0.34	0.27
10	0.31	0.28	0.26	0.34	0.34	0.61	0.35	0.28
11	0.32	0.29	0.26	0.35	0.36	0.62	0.36	0.29
12	0.32	0.29	0.27	0.36	0.37	0.63	0.37	0.30
13	0.33	0.30	0.28	0.37	0.37	0.64	0.38	0.31
14	0.34	0.30	0.28	0.37	0.38	0.65	0.39	0.32
15	0.34	0.31	0.29	0.38	0.39	0.66	0.40	0.32
16	0.34	0.31	0.29	0.38	0.40	0.67	0.41	0.33
17	0.35	0.31	0.30	0.39	0.40	0.68	0.42	0.34
18	0.35	0.32	0.30	0.39	0.41	0.69	0.43	0.34
19	0.36	0.32	0.31	0.40	0.42	0.69	0.43	0.35
20	0.36	0.32	0.31	0.40	0.42	0.70	0.44	0.36
21	0.36	0.33	0.31	0.41	0.43	0.71	0.45	0.36
22	0.37	0.33	0.32	0.41	0.43	0.71	0.45	0.37
23	0.37	0.33	0.32	0.42	0.44	0.72	0.46	0.37
24	0.37	0.33	0.33	0.42	0.44	0.72	0.46	0.38
25	0.38	0.34	0.33	0.42	0.45	0.73	0.47	0.38
26	0.38	0.34	0.33	0.43	0.45	0.73	0.47	0.38
27	0.38	0.34	0.34	0.43	0.46	0.74	0.48	0.39
28	0.39	0.34	0.34	0.43	0.46	0.74	0.49	0.39
29	0.39	0.35	0.34	0.44	0.46	0.75	0.49	0.40
30	0.39	0.35	0.35	0.44	0.47	0.75	0.49	0.40
31	0.39	0.35	0.35	0.44	0.47	0.76	0.50	0.40
32	0.40	0.35	0.35	0.44	0.47	0.76	0.50	0.41
33	0.40	0.35	0.35	0.45	0.48	0.77	0.51	0.41
34	0.40	0.36	0.36	0.45	0.48	0.77	0.51	0.42
35	0.40	0.36	0.36	0.45	0.48	0.77	0.52	0.42
36	0.40	0.36	0.36	0.46	0.49	0.78	0.52	0.42
37	0.41	0.36	0.37	0.46	0.49	0.78	0.52	0.43
38	0.41	0.36	0.37	0.46	0.49	0.78	0.53	0.43
39	0.41	0.36	0.37	0.46	0.50	0.79	0.53	0.43
40	0.41	0.37	0.37	0.46	0.50	0.79	0.53	0.43
41	0.41	0.37	0.38	0.47	0.50	0.79	0.54	0.44
42	0.42	0.37	0.38	0.47	0.50	0.80	0.54	0.44
43	0.42	0.37	0.38	0.47	0.51	0.80	0.54	0.44
44	0.42	0.37	0.38	0.47	0.51	0.80	0.55	0.45
45	0.42	0.37	0.39	0.48	0.51	0.81	0.55	0.45
46	0.42	0.37	0.39	0.48	0.51	0.81	0.55	0.45
47	0.42	0.38	0.39	0.48	0.52	0.81	0.56	0.45
48	0.43	0.38	0.39	0.48	0.52	0.82	0.56	0.46
49	0.43	0.38	0.39	0.48	0.52	0.82	0.56	0.46
50	0.43	0.38	0.40	0.49	0.52	0.82	0.57	0.46
60	0.44	0.39	0.41	0.50	0.54	0.84	0.59	0.48
70	0.45	0.40	0.43	0.52	0.56	0.86	0.61	0.50

80	0.45	0.41	0.44	0.53	0.57	0.88	0.63	0.52
90	0.45	0.42	0.46	0.54	0.58	0.89	0.65	0.53
100	0.45	0.42	0.47	0.55	0.59	0.91	0.67	0.54
150	0.46	0.45	0.51	0.60	0.63	0.96	0.73	0.59
200	0.47	0.47	0.55	0.63	0.66	0.99	0.77	0.62
250	0.48	0.49	0.58	0.65	0.68	1.01	0.80	0.64
300	0.49	0.50	0.60	0.68	0.69	1.03	0.83	0.66
350	0.49	0.51	0.62	0.70	0.70	1.05	0.85	0.68
400	0.50	0.52	0.64	0.71	0.72	1.06	0.87	0.69
450	0.51	0.53	0.66	0.73	0.72	1.07	0.89	0.70
500	0.51	0.54	0.67	0.74	0.73	1.08	0.91	0.71
550	0.52	0.55	0.69	0.76	0.74	1.09	0.92	0.72
600	0.53	0.55	0.70	0.77	0.75	1.10	0.93	0.73
650	0.53	0.56	0.71	0.78	0.75	1.11	0.95	0.73
700	0.54	0.57	0.72	0.79	0.76	1.11	0.96	0.74
750	0.55	0.57	0.73	0.81	0.76	1.12	0.97	0.75
800	0.55	0.58	0.74	0.82	0.77	1.12	0.98	0.75
850	0.56	0.58	0.75	0.83	0.77	1.13	0.99	0.76
900	0.56	0.59	0.76	0.84	0.77	1.13	1.00	0.76
950	0.57	0.59	0.77	0.84	0.78	1.14	1.01	0.77
1000	0.57	0.60	0.78	0.85	0.78	1.14	1.02	0.77
1100	0.59	0.61	0.80	0.87	0.79	1.15	1.03	0.78
1200	0.60	0.61	0.81	0.89	0.79	1.16	1.05	0.79
1300	0.61	0.62	0.82	0.90	0.80	1.16	1.06	0.79
1400	0.62	0.63	0.84	0.91	0.80	1.17	1.07	0.80
1500	0.63	0.63	0.85	0.93	0.81	1.18	1.09	0.80
1600	0.64	0.64	0.86	0.94	0.81	1.18	1.10	0.81
1700	0.65	0.65	0.87	0.95	0.82	1.18	1.11	0.81
1800	0.66	0.65	0.88	0.96	0.82	1.19	1.12	0.82
1900	0.67	0.66	0.89	0.97	0.82	1.19	1.13	0.82
2000	0.68	0.66	0.90	0.98	0.82	1.20	1.14	0.83
2100	0.68	0.67	0.91	0.99	0.83	1.20	1.15	0.83
2200	0.69	0.67	0.92	1.00	0.83	1.20	1.16	0.83
2300	0.70	0.68	0.92	1.00	0.83	1.21	1.17	0.84
2400	0.71	0.68	0.93	1.01	0.83	1.21	1.18	0.84
2500	0.72	0.69	0.94	1.02	0.84	1.21	1.19	0.84
2600	0.73	0.69	0.95	1.03	0.84	1.21	1.19	0.85
2700	0.74	0.69	0.96	1.03	0.84	1.22	1.20	0.85
2800	0.74	0.70	0.96	1.04	0.84	1.22	1.21	0.85
2900	0.75	0.70	0.97	1.05	0.85	1.22	1.22	0.86
3000	0.76	0.71	0.98	1.05	0.85	1.22	1.22	0.86
3100	0.77	0.71	0.98	1.06	0.85	1.23	1.23	0.86
3200	0.78	0.72	0.99	1.07	0.85	1.23	1.24	0.86
3300	0.78	0.72	1.00	1.07	0.85	1.23	1.24	0.87
3400	0.79	0.72	1.00	1.08	0.85	1.23	1.25	0.87
3500	0.80	0.73	1.01	1.09	0.85	1.23	1.26	0.87
3600	0.81	0.73	1.01	1.09	0.86	1.24	1.26	0.87

Tabla 13. Resultados deformación acumulada ensayo Creep.

RLA	P1W10 P2A	P2W10 P2A	P1W10 P2B	P2W10 P2B	PAW10 F4	PBW10 F4	P1W15 P2A	P2W15 P2A
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.12	0.11	0.03	0.14	0.26	0.23	0.12	0.11
4	0.16	0.14	0.04	0.18	0.33	0.28	0.15	0.13
5	0.18	0.16	0.05	0.21	0.37	0.31	0.16	0.15
6	0.20	0.17	0.06	0.23	0.41	0.33	0.18	0.16
7	0.21	0.19	0.07	0.24	0.43	0.35	0.19	0.17
8	0.23	0.20	0.07	0.26	0.46	0.37	0.20	0.18
9	0.24	0.21	0.08	0.27	0.48	0.38	0.21	0.18
10	0.25	0.21	0.08	0.28	0.49	0.39	0.21	0.19
11	0.25	0.22	0.09	0.29	0.51	0.40	0.22	0.20
12	0.26	0.23	0.09	0.30	0.52	0.41	0.23	0.20
13	0.27	0.23	0.10	0.31	0.54	0.42	0.23	0.20
14	0.28	0.24	0.10	0.32	0.55	0.43	0.24	0.21
15	0.28	0.24	0.11	0.32	0.56	0.44	0.24	0.21
16	0.29	0.25	0.11	0.33	0.57	0.44	0.25	0.22
17	0.29	0.25	0.12	0.34	0.58	0.45	0.25	0.22
18	0.30	0.26	0.12	0.35	0.59	0.46	0.25	0.22
19	0.31	0.26	0.12	0.35	0.60	0.46	0.26	0.23
20	0.31	0.27	0.13	0.36	0.61	0.47	0.26	0.23
21	0.31	0.27	0.13	0.36	0.62	0.48	0.27	0.23
22	0.32	0.27	0.13	0.37	0.63	0.48	0.27	0.23
23	0.32	0.28	0.14	0.37	0.64	0.49	0.27	0.24
24	0.33	0.28	0.14	0.38	0.65	0.49	0.28	0.24
25	0.33	0.28	0.14	0.38	0.65	0.50	0.28	0.24
26	0.34	0.29	0.14	0.39	0.66	0.50	0.28	0.24
27	0.34	0.29	0.15	0.39	0.67	0.51	0.28	0.25
28	0.34	0.29	0.15	0.40	0.67	0.51	0.29	0.25
29	0.35	0.30	0.15	0.40	0.68	0.51	0.29	0.25
30	0.35	0.30	0.15	0.41	0.69	0.52	0.29	0.25
31	0.35	0.30	0.16	0.41	0.69	0.52	0.29	0.25
32	0.36	0.30	0.16	0.41	0.70	0.53	0.30	0.26
33	0.36	0.31	0.16	0.42	0.70	0.53	0.30	0.26
34	0.36	0.31	0.16	0.42	0.71	0.53	0.30	0.26
35	0.36	0.31	0.17	0.42	0.71	0.54	0.30	0.26
36	0.37	0.31	0.17	0.43	0.72	0.54	0.31	0.26
37	0.37	0.32	0.17	0.43	0.72	0.55	0.31	0.26
38	0.37	0.32	0.17	0.43	0.73	0.55	0.31	0.27
39	0.38	0.32	0.17	0.44	0.73	0.55	0.31	0.27
40	0.38	0.32	0.18	0.44	0.74	0.55	0.31	0.27
41	0.38	0.32	0.18	0.44	0.74	0.56	0.32	0.27
42	0.38	0.33	0.18	0.45	0.75	0.56	0.32	0.27
43	0.39	0.33	0.18	0.45	0.75	0.56	0.32	0.27
44	0.39	0.33	0.18	0.45	0.76	0.57	0.32	0.27
45	0.39	0.33	0.19	0.46	0.76	0.57	0.32	0.28
46	0.39	0.33	0.19	0.46	0.77	0.57	0.32	0.28
47	0.39	0.33	0.19	0.46	0.77	0.58	0.33	0.28
48	0.40	0.34	0.19	0.46	0.77	0.58	0.33	0.28
49	0.40	0.34	0.19	0.47	0.78	0.58	0.33	0.28
50	0.40	0.34	0.19	0.47	0.78	0.58	0.33	0.28
60	0.42	0.35	0.21	0.49	0.82	0.61	0.34	0.29
70	0.43	0.37	0.22	0.51	0.85	0.63	0.36	0.30

80	0.45	0.38	0.23	0.53	0.87	0.65	0.37	0.31
90	0.46	0.39	0.24	0.54	0.90	0.66	0.37	0.31
100	0.47	0.39	0.25	0.56	0.92	0.68	0.38	0.32
150	0.51	0.42	0.29	0.61	1.00	0.73	0.41	0.34
200	0.54	0.45	0.32	0.64	1.06	0.77	0.43	0.35
250	0.56	0.46	0.34	0.67	1.10	0.81	0.45	0.37
300	0.58	0.48	0.36	0.69	1.14	0.83	0.46	0.38
350	0.60	0.49	0.37	0.71	1.17	0.86	0.47	0.38
400	0.61	0.50	0.39	0.73	1.20	0.88	0.48	0.39
450	0.62	0.51	0.40	0.74	1.23	0.90	0.49	0.40
500	0.63	0.52	0.41	0.75	1.25	0.91	0.50	0.40
550	0.64	0.52	0.42	0.76	1.27	0.93	0.50	0.41
600	0.65	0.53	0.43	0.77	1.29	0.94	0.51	0.41
650	0.65	0.53	0.44	0.78	1.31	0.96	0.51	0.42
700	0.66	0.54	0.45	0.79	1.33	0.97	0.52	0.42
750	0.67	0.55	0.45	0.80	1.34	0.98	0.52	0.43
800	0.67	0.55	0.46	0.81	1.36	0.99	0.53	0.43
850	0.68	0.55	0.47	0.81	1.37	1.01	0.53	0.43
900	0.68	0.56	0.47	0.82	1.39	1.02	0.53	0.44
950	0.69	0.56	0.48	0.83	1.40	1.03	0.54	0.44
1000	0.69	0.57	0.48	0.83	1.41	1.04	0.54	0.44
1100	0.70	0.58	0.50	0.84	1.44	1.06	0.55	0.45
1200	0.71	0.58	0.51	0.85	1.46	1.08	0.55	0.45
1300	0.72	0.59	0.51	0.86	1.48	1.10	0.56	0.46
1400	0.72	0.59	0.52	0.87	1.50	1.11	0.56	0.46
1500	0.73	0.60	0.53	0.88	1.52	1.13	0.56	0.46
1600	0.74	0.61	0.54	0.89	1.54	1.15	0.57	0.47
1700	0.74	0.61	0.55	0.90	1.55	1.16	0.57	0.47
1800	0.75	0.62	0.55	0.90	1.57	1.17	0.57	0.47
1900	0.75	0.62	0.56	0.91	1.58	1.19	0.58	0.48
2000	0.76	0.62	0.56	0.91	1.60	1.20	0.58	0.48
2100	0.76	0.63	0.57	0.92	1.61	1.22	0.58	0.48
2200	0.77	0.63	0.57	0.93	1.63	1.23	0.58	0.48
2300	0.77	0.64	0.58	0.93	1.64	1.24	0.59	0.49
2400	0.78	0.64	0.58	0.94	1.65	1.25	0.59	0.49
2500	0.78	0.64	0.59	0.94	1.67	1.26	0.59	0.49
2600	0.78	0.65	0.59	0.95	1.68	1.27	0.59	0.49
2700	0.79	0.65	0.60	0.95	1.69	1.28	0.60	0.49
2800	0.79	0.65	0.60	0.95	1.70	1.29	0.60	0.50
2900	0.79	0.66	0.61	0.96	1.72	1.30	0.60	0.50
3000	0.80	0.66	0.61	0.96	1.73	1.31	0.60	0.50
3100	0.80	0.66	0.61	0.97	1.74	1.32	0.60	0.50
3200	0.80	0.67	0.62	0.97	1.75	1.33	0.61	0.50
3300	0.81	0.67	0.62	0.97	1.76	1.34	0.61	0.50
3400	0.81	0.67	0.62	0.98	1.78	1.35	0.61	0.51
3500	0.81	0.67	0.63	0.98	1.79	1.36	0.61	0.51
3600	0.82	0.68	0.63	0.98	1.80	1.37	0.61	0.51

Tabla 14. Resultados deformación acumulada ensayo Creep.

RLA	P1W15 P2B	P2W15 P2B	PAW1 5F4	PBW1 5F4	PAW1 5F5	PBW1 5F5	PAW15 AM3	PBW15 AM3	PAW15 CA30	PBW15C A30
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.12	0.09	0.09	0.14	0.12	0.13	0.11	0.12	0.23	0.18
4	0.15	0.11	0.12	0.17	0.15	0.17	0.13	0.14	0.27	0.22
5	0.17	0.12	0.13	0.19	0.17	0.19	0.15	0.15	0.29	0.25
6	0.19	0.13	0.15	0.20	0.18	0.21	0.16	0.15	0.31	0.27
7	0.20	0.14	0.16	0.21	0.19	0.22	0.17	0.16	0.32	0.28
8	0.21	0.15	0.17	0.22	0.20	0.24	0.18	0.16	0.33	0.30
9	0.22	0.15	0.18	0.23	0.21	0.25	0.18	0.17	0.34	0.31
10	0.23	0.16	0.18	0.24	0.21	0.26	0.19	0.17	0.35	0.32
11	0.23	0.16	0.19	0.25	0.22	0.27	0.19	0.17	0.36	0.33
12	0.24	0.17	0.20	0.25	0.23	0.28	0.20	0.18	0.37	0.33
13	0.25	0.17	0.20	0.26	0.23	0.28	0.20	0.18	0.37	0.34
14	0.25	0.17	0.21	0.26	0.24	0.29	0.21	0.18	0.38	0.35
15	0.26	0.18	0.21	0.27	0.24	0.30	0.21	0.18	0.38	0.36
16	0.26	0.18	0.22	0.28	0.25	0.31	0.22	0.19	0.39	0.36
17	0.27	0.18	0.22	0.28	0.25	0.31	0.22	0.19	0.39	0.37
18	0.28	0.19	0.23	0.28	0.26	0.32	0.22	0.19	0.40	0.38
19	0.28	0.19	0.23	0.29	0.26	0.32	0.23	0.19	0.40	0.38
20	0.28	0.19	0.23	0.29	0.26	0.33	0.23	0.19	0.41	0.39
21	0.29	0.19	0.24	0.30	0.27	0.34	0.23	0.20	0.41	0.39
22	0.29	0.20	0.24	0.30	0.27	0.34	0.24	0.20	0.41	0.40
23	0.30	0.20	0.24	0.31	0.28	0.35	0.24	0.20	0.42	0.40
24	0.30	0.20	0.25	0.31	0.28	0.35	0.24	0.20	0.42	0.41
25	0.31	0.20	0.25	0.31	0.28	0.36	0.25	0.20	0.42	0.41
26	0.31	0.21	0.25	0.32	0.28	0.36	0.25	0.20	0.43	0.42
27	0.31	0.21	0.26	0.32	0.29	0.37	0.25	0.21	0.43	0.42
28	0.32	0.21	0.26	0.32	0.29	0.37	0.25	0.21	0.43	0.43
29	0.32	0.21	0.26	0.33	0.29	0.37	0.26	0.21	0.44	0.43
30	0.32	0.22	0.27	0.33	0.30	0.38	0.26	0.21	0.44	0.43
31	0.33	0.22	0.27	0.33	0.30	0.38	0.26	0.21	0.44	0.44
32	0.33	0.22	0.27	0.33	0.30	0.39	0.26	0.21	0.44	0.44
33	0.33	0.22	0.27	0.34	0.30	0.39	0.27	0.21	0.45	0.44
34	0.33	0.22	0.28	0.34	0.31	0.39	0.27	0.21	0.45	0.45
35	0.34	0.22	0.28	0.34	0.31	0.40	0.27	0.21	0.45	0.45
36	0.34	0.23	0.28	0.35	0.31	0.40	0.27	0.22	0.45	0.45
37	0.34	0.23	0.28	0.35	0.31	0.40	0.27	0.22	0.46	0.46
38	0.35	0.23	0.29	0.35	0.32	0.41	0.28	0.22	0.46	0.46
39	0.35	0.23	0.29	0.35	0.32	0.41	0.28	0.22	0.46	0.46
40	0.35	0.23	0.29	0.35	0.32	0.41	0.28	0.22	0.46	0.47
41	0.35	0.23	0.29	0.36	0.32	0.42	0.28	0.22	0.46	0.47
42	0.36	0.24	0.30	0.36	0.33	0.42	0.28	0.22	0.47	0.47
43	0.36	0.24	0.30	0.36	0.33	0.42	0.28	0.22	0.47	0.48
44	0.36	0.24	0.30	0.36	0.33	0.42	0.29	0.22	0.47	0.48
45	0.36	0.24	0.30	0.37	0.33	0.43	0.29	0.22	0.47	0.48
46	0.36	0.24	0.30	0.37	0.33	0.43	0.29	0.22	0.47	0.48
47	0.37	0.24	0.31	0.37	0.34	0.43	0.29	0.23	0.48	0.49
48	0.37	0.24	0.31	0.37	0.34	0.44	0.29	0.23	0.48	0.49
49	0.37	0.24	0.31	0.37	0.34	0.44	0.29	0.23	0.48	0.49
50	0.37	0.25	0.31	0.38	0.34	0.44	0.29	0.23	0.48	0.49
60	0.39	0.26	0.33	0.39	0.36	0.46	0.31	0.23	0.50	0.51
70	0.41	0.27	0.34	0.41	0.37	0.49	0.32	0.24	0.51	0.53

80	0.42	0.27	0.36	0.42	0.38	0.50	0.33	0.24	0.52	0.54
90	0.43	0.28	0.37	0.43	0.39	0.52	0.34	0.25	0.53	0.56
100	0.44	0.29	0.38	0.44	0.40	0.54	0.35	0.25	0.54	0.57
150	0.48	0.31	0.43	0.49	0.44	0.59	0.38	0.26	0.57	0.61
200	0.51	0.33	0.46	0.51	0.47	0.63	0.40	0.27	0.59	0.64
250	0.53	0.34	0.49	0.54	0.49	0.67	0.41	0.28	0.61	0.66
300	0.55	0.35	0.51	0.56	0.51	0.69	0.43	0.29	0.63	0.67
350	0.57	0.36	0.53	0.57	0.52	0.72	0.44	0.29	0.64	0.69
400	0.58	0.37	0.55	0.59	0.53	0.74	0.45	0.29	0.65	0.70
450	0.59	0.37	0.56	0.60	0.55	0.75	0.45	0.30	0.66	0.71
500	0.60	0.38	0.58	0.61	0.56	0.77	0.46	0.30	0.67	0.72
550	0.61	0.38	0.59	0.62	0.57	0.79	0.47	0.30	0.67	0.73
600	0.61	0.39	0.60	0.63	0.57	0.80	0.47	0.30	0.68	0.74
650	0.62	0.39	0.62	0.64	0.58	0.81	0.48	0.30	0.69	0.74
700	0.63	0.40	0.63	0.64	0.59	0.83	0.48	0.31	0.69	0.75
750	0.63	0.40	0.64	0.65	0.60	0.84	0.49	0.31	0.70	0.76
800	0.64	0.40	0.65	0.66	0.60	0.85	0.49	0.31	0.70	0.76
850	0.65	0.40	0.66	0.67	0.61	0.86	0.50	0.31	0.71	0.77
900	0.65	0.41	0.67	0.67	0.62	0.87	0.50	0.31	0.71	0.78
950	0.66	0.41	0.69	0.68	0.62	0.88	0.51	0.31	0.72	0.78
1000	0.66	0.41	0.69	0.68	0.63	0.89	0.51	0.31	0.72	0.78
1100	0.67	0.42	0.71	0.69	0.64	0.91	0.52	0.32	0.73	0.79
1200	0.68	0.42	0.73	0.70	0.65	0.92	0.52	0.32	0.74	0.80
1300	0.69	0.43	0.75	0.71	0.66	0.94	0.53	0.32	0.74	0.81
1400	0.69	0.43	0.76	0.72	0.67	0.95	0.53	0.32	0.75	0.82
1500	0.70	0.43	0.77	0.73	0.68	0.97	0.53	0.32	0.76	0.82
1600	0.70	0.44	0.79	0.74	0.69	0.98	0.54	0.32	0.76	0.83
1700	0.71	0.44	0.80	0.74	0.70	1.00	0.54	0.33	0.77	0.83
1800	0.72	0.44	0.81	0.75	0.70	1.01	0.55	0.33	0.77	0.84
1900	0.72	0.45	0.82	0.76	0.71	1.02	0.55	0.33	0.78	0.84
2000	0.73	0.45	0.83	0.76	0.72	1.03	0.55	0.33	0.78	0.85
2100	0.73	0.45	0.84	0.77	0.72	1.05	0.56	0.33	0.79	0.85
2200	0.74	0.45	0.85	0.78	0.73	1.06	0.56	0.33	0.79	0.85
2300	0.74	0.45	0.86	0.78	0.74	1.07	0.56	0.33	0.79	0.86
2400	0.75	0.46	0.87	0.79	0.74	1.08	0.56	0.33	0.80	0.86
2500	0.75	0.46	0.88	0.79	0.75	1.09	0.57	0.33	0.80	0.87
2600	0.76	0.46	0.89	0.80	0.76	1.10	0.57	0.33	0.81	0.87
2700	0.76	0.46	0.90	0.80	0.76	1.11	0.57	0.33	0.81	0.87
2800	0.76	0.46	0.91	0.81	0.77	1.12	0.57	0.34	0.81	0.88
2900	0.77	0.47	0.91	0.81	0.78	1.13	0.57	0.34	0.82	0.88
3000	0.77	0.47	0.92	0.81	0.78	1.13	0.58	0.34	0.82	0.88
3100	0.78	0.47	0.92	0.82	0.79	1.14	0.58	0.34	0.82	0.89
3200	0.78	0.47	0.93	0.82	0.79	1.15	0.58	0.34	0.82	0.89
3300	0.78	0.47	0.93	0.83	0.80	1.16	0.58	0.34	0.83	0.89
3400	0.79	0.48	0.94	0.83	0.80	1.17	0.58	0.34	0.83	0.89
3500	0.79	0.48	0.94	0.84	0.81	1.18	0.59	0.34	0.83	0.90
3600	0.79	0.48	0.95	0.84	0.81	1.19	0.59	0.34	0.84	0.90

Referencias para los resultados de la Tabla 14 a 17:

h1 [mm]
h1800 [mm]
h3600 [mm]
Veloc. Def. 1 - 1800 [mm/10³ ciclos]
Veloc. Def. 1800 - 3600 [mm/10³ ciclos]
Espesor probeta [mm]
P_R 1800 [%]
P_R 3600 [%]
a
b
R2

Tabla 15. Resultados deformación acumulada ensayo Creep primeros y últimos 50 pulsos.

P2M10CA30	P3M10CA30	PAG15CA30	PBG15CA30
0.18	0.21	0.18	0.23
0.67	0.65	0.88	0.96
0.76	0.73	1.02	1.09
0.272	0.246	0.391	0.405
0.048	0.040	0.078	0.076
49.7	48.9	48.8	49.2
1.3%	1.3%	1.8%	1.9%
1.5%	1.5%	2.1%	2.2%
0.181	0.211	0.176	0.227
0.174	0.151	0.215	0.192
0.928	0.999	0.999	1.000

Tabla 16. Resultados deformación acumulada ensayo Creep primeros y últimos 50 pulsos.

PAW10 AM3	PBW10 AM3	PAW10 CA30	PBW10 CA30	PAW15 AM3	PBW15 AM3	PAW15C A30	PBW15 CA30
0.38	0.63	0.30	0.31	0.18	0.18	0.31	0.32
0.82	1.18	1.12	0.82	0.54	0.33	0.77	0.84
0.87	1.26	1.27	0.89	0.60	0.34	0.84	0.91
0.239	0.307	0.459	0.281	0.200	0.083	0.257	0.286
0.033	0.039	0.082	0.043	0.032	0.011	0.038	0.043
50.4	50.5	50.6	50.7	50.3	50.5	50.8	50.4
1.6%	2.4%	2.2%	1.6%	1.1%	0.7%	1.5%	1.7%
1.7%	2.5%	2.5%	1.8%	1.2%	0.7%	1.7%	1.8%
0.384	0.631	0.296	0.309	0.184	0.177	0.309	0.321
0.100	0.084	0.178	0.129	0.145	0.081	0.122	0.128
0.956	0.963	0.996	0.961	0.975	0.962	0.995	0.981

Tabla 17. Resultados deformación acumulada ensayo Creep primeros y últimos 50 pulsos.

P1W10P2A	P2W10P2A	P1W10P2B	P2W10P2B	PAW10F4	PBW10F4
0.24	0.20	0.08	0.28	0.39	0.27
0.75	0.61	0.55	0.90	1.57	1.18
0.83	0.68	0.65	1.00	1.79	1.35
0.280	0.230	0.258	0.345	0.657	0.507
0.045	0.037	0.058	0.057	0.120	0.096
50.4	50.6	50.3	50.8	50.9	51.2
1.5%	1.2%	1.1%	1.8%	3.1%	2.4%
1.7%	1.4%	1.3%	2.0%	3.6%	2.7%
0.243	0.200	0.083	0.278	0.390	0.267
0.150	0.150	0.252	0.157	0.186	0.198
0.982	0.991	0.982	0.982	0.998	0.998

Tabla 18. Resultados deformación acumulada ensayo Creep primeros y últimos 50 pulsos.

P1W15 P2A	P2W15 P2A	P1W15 P2B	P2W15 P2B	PAW15 F4	PBW15 F4	PAW15 F5	PBW15 F5
0.22	0.18	0.22	0.15	0.12	0.20	0.16	0.19
0.57	0.47	0.72	0.44	0.81	0.75	0.71	1.01
0.62	0.52	0.80	0.49	0.96	0.85	0.81	1.18
0.195	0.164	0.277	0.159	0.383	0.305	0.301	0.456
0.029	0.025	0.046	0.025	0.088	0.054	0.057	0.093
50.3	50.5	50.5	50.4	51.0	51.2	50.6	50.7
1.1%	0.9%	1.4%	0.9%	1.6%	1.5%	1.4%	2.0%
1.2%	1.0%	1.6%	1.0%	1.9%	1.7%	1.6%	2.4%
0.220	0.178	0.218	0.155	0.116	0.201	0.165	0.193
0.127	0.130	0.159	0.140	0.259	0.175	0.194	0.222
0.970	0.988	0.985	0.978	0.999	0.993	0.998	0.998