EXPOSICION TESIS BECARIOS DE INVESTIGACION 2019

PUBLICACION EN HONOR A LA MEMORIA DEL ING. ENRIQUE GIACCIO

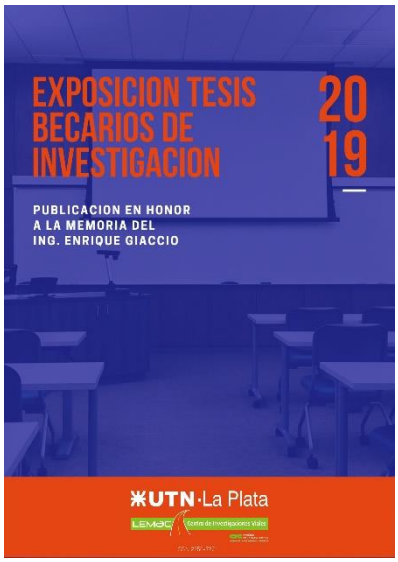
UTN · La Plata

LEMaC Centro de Investigaciones Viales

CIC COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación

ISSN 2250-7221

TESIS DE BECARIOS DE INVESTIGACION
ISSN 2250-7221 | N° 14 |MAYO DE 2020



Sitio Web: https://lemac.frlp.utn.edu.ar/

e-mail: lemac@frlp.utn.edu.ar

Se encuentra registrada en las siguientes bases de datos: **BINPAR** (Bibliografía Nacional de Publicaciones Periódicas Registradas) del CAICYT CONICET, (Argentina); Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal **Latindex** (México).

Director:
Dr. Ing. Hugo Gerardo Botasso

Subdirector:
Dr. Ing. José Julián Rivera

Responsables de Áreas:

Tecnología de los pavimentos flexibles:
Ing. Enrique Fensel

Tecnología de los pavimentos rígidos y estructuras:
Ing. Marcelo Barreda

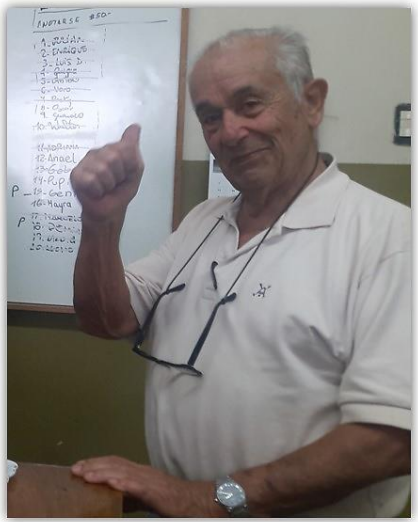
Gestión y diseño vial:
Dr. Ing. José Julián Rivera

Corrección de estilo y Diagramación:
Arq. Gustavo A. Das Neves

Se presentan en este número las memorias sintéticas de la Tesis de Becarios 2019 efectuadas en el LEMaC. Como sucede todos los años, cada Alumno Becario cuenta con el apoyo de al menos un Docente Investigador del LEMaC, cumpliendo el rol de Director de Tesis. Si bien estos últimos intervienen en la redacción de las memorias de cada trabajo, son los Becarios los encargados finales de las mismas, revistiendo en la mayoría de los casos su primera publicación de un trabajo técnico. Comúnmente estas memorias son luego adaptadas y ampliadas en su redacción, para pasar a formar parte, en forma aislada o en conjunto con otros estudios asociados, de publicaciones en Reuniones Científicas o Revistas Indexadas, dada su pertenencia a una línea de estudio o un proyecto I+D del LEMaC.

Este año, el inicio por parte de los Becarios de la preparación final del material que compone esta publicación coincidió con el inicio de la cuarentena por la pandemia del COVID-19. Dicha cuarentena obligó a que las instalaciones del LEMaC tuvieran que ser cerradas, sin posibilidad de ingreso para terminar ensayos finales en desarrollo ni para extraer información digital existente. Por dicha razón, las versiones de las tesis que aquí se vuelcan son aquellas que se han podido lograr con el material disponible de manera particular por los Becarios y Tutores, que en muchos casos no es la totalidad del generado. En vistas a esta situación se decide generar la presente publicación con versiones que, en algunos casos, en función del avance de la cuarentena, serán complementadas en una nueva edición a ser generada en el segundo semestre de este 2020.

En esta ocasión, la publicación lleva, como homenaje a su memoria, el nombre del Ing. Enrique Giaccio, integrante del LEMaC desde su creación, fallecido recientemente; quien, con su siempre generoso aporte, formó parte del desarrollo de innumerables tesis de Becarios, formándolos y acompañándolos en el camino de la investigación y el desarrollo.



Ing. Enrique Giaccio (1930-2020)

INDICE

página

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL EMPLEO DE RAP Y RESIDUOS ACEITOSOS PARA LA CONSTITUCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS A BAJAS TEMPERATURAS PARA BAJO TRÁNSITO. Silvina Barbeito, Julián Rivera. 7

ANÁLISIS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON FILLER RESIDUO DE TRITURACIÓN DE ROCAS DE LA ZONA DE OLAVARRÍA. Jorge Loza Panozo, Luciano Brizuela, Nicolás de Abajo Freire. 13

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE ROCAS GRANÍTICAS UTILIZADAS COMO AGREGADO GRUESO Y SU INFLUENCIA EN EL GRADO DE DESGASTE PRODUCIDO EN EL ENSAYO MICRO DEVAL. Rocío Insaurralde, Florencia Lajoinie. 19

DESARROLLO DE HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES DESTINADOS A MOBILIARIO URBANO. Nicolas Battista, Camila Diaz, Wilson Antieco, Marcelo Barreda. 23

EMPLEO DE "DESGOMADO DE SOJA" EN EL MEJORADO DE VIAS NO PAVIMENTADAS EN LA CIUDAD DE AMERICA, (MUNICIPIO DE RIVADAVIA, BS. AS.). Anael Porro, Julián Rivera. 29

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS FINOS RECICLADOS Y SU VINCULACIÓN CON EL HORMIGÓN DE ORIGEN. Candela Altamira, Eva Sosa. 33

TRACCION INDIRECTA. Nicolás Gullino, Enrique Fensel. 39

RELEVAMIENTOS Y CENSOS PARA CÁLCULO DE OCUPACIÓN Y RENOVACIÓN DE ESTACIONAMIENTO DE VEHÍCULOS EN CENTROS URBANOS. EL CASO DE ENSENADA. Beatriz Abraham, Gustavo Das Neves. 43

FABRICACIÓN DE PANELES PARA CONSTRUCCIÓN EN SECO, CON RESIDUOS DEL PAPEL CELULOSA TISSUE. Nicolás Peñalva, Oscar Rebollo. 49

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN O PUNZONADO. Mayra Atoche Ayala, Oscar Rebollo. 55

MOLDEO Y ENSAYO DE DIFERENTES MEZCLAS ASFÁLTICAS, PARA SER ENSAYADA A FATIGA, MEDIANTE EL ENSAYO DE LA SEMI PROBETA. Nicolás Gullino, Luis Delbono. 61

ANÁLISIS DEL CBR EN SUELO CON LA INCORPORACIÓN DE MATERIALES GEOSINTÉTICOS A DISTINTOS ESPESORES DE CAPAS. Walter López, Luis Delbono 67

UTILIZACION DE NUEMATICOS FUERA DE USO EN ELEMENTOS DE DEMARCACION Y SU DIFUSION EN LA COMUNIDAD. Delfina Borgogno; Adriana Huespe Mercado; Aldana Orellana; Nehuen Ortega, Gerardo Botasso 73

UTILIZACION DE NUEMATICOS FUERA DE USO EN ELEMENTOS DE DEMARCACION Y SU DIFUSION EN LA COMUNIDAD. Antonella Dalmarini, Verónica Mechura 79

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL EMPLEO DE RAP Y RESIDUOS ACEITOSOS PARA LA CONSTITUCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS A BAJAS TEMPERATURAS PARA BAJO TRÁNSITO

Becario/s; Silvina Abril Barbeito (abril.sb95@gmail.com)

Director/res; Rivera Julián (jjulianrivera@hotmail.com); Porro Anael (anaelrp@gmail.com)
LEMaC, Centro de investigaciones viales, La Plata, Argentina; lemac@frlp.utn.edu.ar

Área: Gestión y Diseño Vial. **PID Asociado: "**Empleo de residuos y materiales subvalorados en capas viales" (PID interno del Área).

Resumen

El aumento demográfico actual lleva a que sea necesario pavimentar o renovar un pavimento existente con el fin de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. En cada repavimentación se obtienen volúmenes considerables de RAP (pavimento recuperado asfáltico) lo cual se traduce en grandes acopios en las plantas asfálticas. De este volumen mencionado, un muy bajo porcentaje es utilizado para la constitución de mezclas asfálticas nuevas y otro poco es empleado en la pavimentación de áreas suburbanas, desperdiciando un recurso que, en comparación con números internacionales, puede ser de gran aceptación. En el presente trabajo se logra brindar un marco teórico a una práctica empleada en la actualidad, como es el uso de RAP en la constitución de capas superficiales en frío mejorado con diversos residuos aceitosos, evaluando las condiciones mecánicas y la simplicidad de su uso en las tareas de pavimentación en zonas suburbanas, en donde las condiciones de tránsito son bajas. De esta manera se arriban a conclusiones motivadoras, en las que si bien faltan aún investigaciones más específicas para lograr números aceptables, se llegan a resultados tolerables para las condiciones que se propusieron en análisis. Estos números nos permiten concluir, desde una perspectiva general, que es posible lograr una mayor masividad del empleo de RAP en la constitución de mezclas asfálticas nuevas, lo que se traduciría en un método tanto sustentable como económico en comparación de los métodos tradicionales actuales.

Palabras clave: RAP, mezclas asfálticas, residuos aceitosos, desgomado de soja.

1. Introducción

En algunos pavimentos internos de urbanizaciones o emprendimientos comerciales; y en vías de bajo tránsito de municipios de la zona de influencia del LEMaC, se ha observado del empleo de capas de rodamiento asfálticas constituidas por RAP compactado mediante equipo pesado o el uso de los propios camiones de obra. En ciertas ocasiones, esa capa la constituye, además del RAP, algún residuo aceitoso, aplicado con la finalidad de disminuir la viscosidad del cemento asfáltico que contiene dicho material y permitir un mayor grado de consolidación. Esta práctica se efectúa al incorporar de manera tentativa la dotación de ese residuo aceitoso, y efectuar el mezclado mediante encaballetado o en la tolva de una terminadora. En este último caso, dicha tolva al estar calefaccionada le otorga al mezclado un leve aumento de la temperatura que facilita el mezclado del residuo aceitoso con el cemento asfáltico aportado por el RAP.

Actualmente, el acopio de RAP en las plantas asfálticas de la zona de La Plata constituye un volumen importante, del cual solo entre un 15 % a 20 % se utiliza en la constitución de mezclas asfálticas para pavimentos nuevos.

Las prácticas anteriormente descriptas y la situación mencionada, sirven de disparador para que en el LEMaC se decida encarar un estudio en tal sentido, que permita optimizar la metodología de trabajo descripta, incrementar el empleo de RAP en la constitución de nuevos pavimentos y evaluar la posible respuesta estructural esperable para la capa.

Para ello, se establece como una situación deseada en análisis la metodología de mezclado y colocación constituida por el uso de la terminadora descripto y la compactación de la mezcla mediante un rodillo neumático de peso suficiente. De este modo se considera que se trata de mezclas que permitirían alcanzar una temperatura de mezclado mínima de 60 °C y con una densidad comparable a la Densidad Marshall obtenible en laboratorio, lo que a los efectos de este trabajo da lugar a las que denominaremos como "mezclas asfálticas a bajas temperaturas de RAP y residuos aceitosos".

De acuerdo a lo señalado, se establece para el estudio el empleo de una metodología modificada del Método Marshall para la obtención de los contenidos óptimos de diversos residuos aceitosos a ser utilizado con un RAP de referencia y su caracterización volumétrica y estructural asociada.

La consideración estructural empleable

Una herramienta sencilla de emplear para la caracterización estructural a ser encarada, la constituye la Guía AASHTO93, la cual en versiones anteriores, como es el caso de la versión 1986 (EICAM, 1998), se cuenta con gráficas que permiten asociar el a_i al valor de Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica en cuestión.

Como el texto citado no establece la ecuación de correlación empleada, se decide confeccionar la Tabla 1, en la cual se correlacionan los valores de Estabilidad señalados con los ai correspondientes establecidos de manera visual.

Tabla 1. Valor de a_i estimado para una capa de rodamiento asfáltica en función de la Estabilidad
Fuente: elaboración propia

N	a_i
1800	0,22
2700	0,25
3600	0,27
4400	0,30
5300	0,33
6200	0,36
7100	0,39
8000	0,41
8900	0,43

Si se aplica una regresión logarítmica a estos valores, puede obtenerse la curva de tendencia que se observa en la Figura 1. Dicha curva presenta un R^2 superior al límite empírico de 0,90 adoptable, por lo cual resulta estadísticamente aceptable.

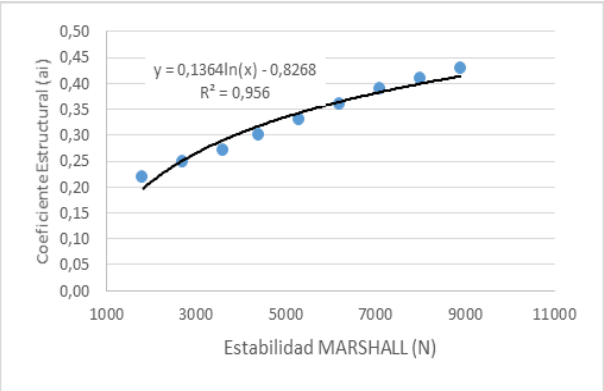


Figura 1. Regresión entre a_i y Estabilidad Marshall
Fuente: elaboración propia

De esta manera se tiene la Ecuación 1 que expresa una relación aproximada utilizable.

$$a_i = 0{,}1364 \ln E - 0{,}8268 \quad (1)$$

Dónde:

a_i = coeficiente estructural de la capa de rodamiento asfáltica [1/pulg]

E = Estabilidad Marshall de la capa de rodamiento asfáltica [N]

2. Metodología

2.1. Procedimiento para la elaboración de las mezclas asfálticas en estudio

- Obtener por cuarteo una muestra de RAP a temperatura ambiente (secada previamente en estufa a 60 °C), en cantidad suficiente para confeccionar un pastón a ser utilizado en la elaboración de 3 probetas Marshall y la determinación de la Densidad Rice.
-Incorporar el residuo aceitoso con el porcentaje predefinido. Ambos materiales se mezclan uniformemente a fin de obtener la mayor homogeneidad posible entre ellos. El porcentaje de residuo se expresa en porciento de peso de residuo respecto del 100% del peso de RAP seco.
-Dejar reposar a temperatura ambiente durante 24 horas, con mezclados periódicos para garantizar su homogeneidad.

2.2. Procedimiento para el curado inicial de las mezclas asfálticas en estudio

- Llenado de 3 moldes Marshall de compactación: Primero se coloca un disco de papel de filtro u otro papel absorbente en el fondo del mismo. Luego, se colocan 1200 g de la mezcla aplicando 15 golpes distribuidos en el perímetro y 10 en su interior, y se nivela la superficie del material.
- Toma de muestra no menor a 1000 g para realizar la determinación del peso específico empleando el procedimiento de J. Rice (saturación por vacío).
- Los moldes que contienen la mezcla y la bandeja con la muestra para la determinación de la Densidad Rice son llevados a estufa a 60 °C por un período de 24 horas.

2.3. Procedimiento para el moldeo de las probetas con las mezclas asfálticas en estudio

- Se retira de la estufa el molde y se lo coloca sobre el pedestal de compactación Marshall, sujetándolo con el aro de ajuste. Se le coloca un disco de papel sobre la superficie para evitar que la muestra quede adherida al pisón y se aplican con este último 75 golpes por cara (la energía de compactación entregada es debido a la semejanza con una CAC-D12).
- Terminada la compactación de la probeta se retira el molde del pedestal y se coloca en un recipiente con agua fría por un lapso de 1 minuto.
- Con el extractor se desmolda la probeta ya compactada.
- Se identifica la probeta y se la deja reposar durante 24 horas sobre una superficie lisa y ventilada.
- Se moldean 3 probetas para cada porcentaje de residuo, repitiendo las operaciones indicadas anteriormente

.2.4. Procedimiento para el ensayo de las probetas con las mezclas asfálticas en estudio

- Se determina la densidad de la probeta siguiendo la Norma VN-E12–67.
- Se determina el peso específico máximo teórico (Densidad Rice) siguiendo la Norma VN–E27-84.
- Se ensayan las probetas para establecer la Estabilidad y Fluencia promedio para cada contenido de residuo aceitoso, de acuerdo a la Norma VN-E9-86.

2.5. La determinación de las mezclas asfálticas óptimas para cada tipo de residuo aceitoso analizado

Se decide establecer como contenido óptimo de residuo aceitoso en cada una de las mezclas a ser analizadas, a aquel que permita arribar a los mayores valores de Estabilidad; aunque observando también los valores asociados de la Relación E/F y Vacíos.

2.6. La consideración de la respuesta estructural de las mezclas asfálticas en estudio

Para analizar en forma relativa las respuestas estructurales para cada uno de los contenidos óptimos de los diversos residuos aceitosos analizados, se decide emplear la Ecuación 1.

3. Materiales

3.1. El RAP utilizado en las experiencias

Se obtiene una muestra de RAP en cantidad suficiente de una obra de la periferia de la ciudad de La Plata. Sobre esa muestra se determina mediante el procedimiento LEMaC-A01/06 (LEMaC, 2019) el Contenido de Cemento Asfáltico de 4,0 % y la curva granulométrica de los áridos recuperados. La cual se compara con los límites granulométricos establecidos para las mezclas CAC-D12 y MAAC, según el PETG-DNV2017 (DNV, 2017).
Se observa en el análisis que el tipo de mezcla asociable a la granulometría de los áridos recuperados sería la CAC-D12.

3.2. El aceite usado de autos empleado

Se trata de un aceite marca El Aion, del tipo 15W40, proveniente del recambio de un automóvil naftero, luego de haber sido utilizado durante 10.000 km.

3.3. El aceite comestible usado empleado

Se trata de un aceite mezcla de girasol marca Caracas, proveniente del recambio en una freidora industrial utilizada en la preparación de comidas.

3.4. El desgomado de soja empleado

Este producto se obtiene en la planta de la empresa América Pampa SA, ubicada en el Partido de Rivadavia, en la cual se efectúa la extracción del aceite de soja. Durante una visita a dicha planta, personal del LEMaC realiza la toma de una muestra representativa de dicho material.

4. Resultados

4.1 Mezcla de RAP y aceite usado de autos

Los resultados obtenidos para estas mezclas se observan en la Tabla 2, graficados en la Figura 2. Se observa allí que el contenido óptimo de aceite usado de autos, para los materiales analizados, se ubica en el 1,0 % por encima del 100 % de peso de RAP.

Tabla 2. Resultados Marshall de la mezcla de RAP y aceite usado de autos
Fuente: elaboración propia

% Aceite	Estabilidad prom (N)	E/F (KN/mm)	Vacíos (%)
0,0	1577	0,46	14,7
0,5	1728	0,48	9,8
1,0	2357	0,65	5,1
1,5	2125	0,71	3,8
2,0	1493	0,39	3,3

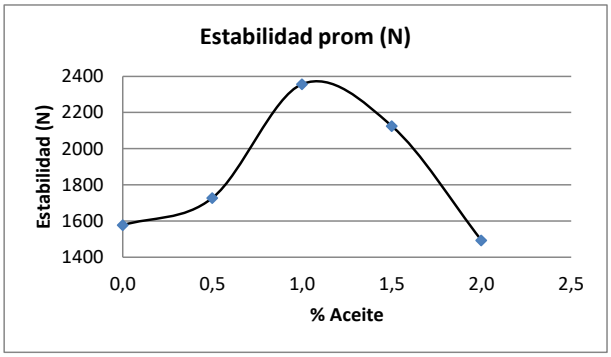


Figura 2. Gráfica de Estabilidad versus contenido de aceite en mezclas de RAP y aceite usado de autos
Fuente: elaboración propia

En función de estos resultados y de la Ecuación 1, puede establecerse que el coeficiente de aporte estructural máximo asignable a_i para este tipo de mezcla sería de 0,23 1/pulg y que para el RAP solo sería de 0,18 1/pulg.

4.2. Mezcla de RAP y aceite comestible usado

Los resultados obtenidos para estas mezclas se observan en la Tabla 3, graficados en la Figura 3. Se observa allí que el contenido óptimo de aceite comestible usado, para los materiales analizados, se ubica en el 1,0 % por encima del 100 % de peso de RAP.

Tabla 3. Resultados Marshall de la mezcla de RAP y aceite comestible usado
Fuente: elaboración propia

% Aceite	Estabilidad prom (N)	E/F (KN/mm)	Vacíos (%)
0,0	1567	0,46	14,7
0,5	1648	0,53	10,0
1,0	1911	0,55	6,0
1,5	1614	0,62	3,2
2,0	1366	0,46	2,5

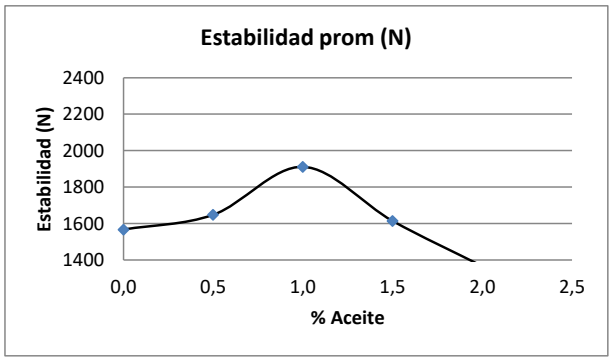


Figura 3. Gráfica de Estabilidad versus contenido de aceite en mezclas de RAP y aceite comestible usado
Fuente: elaboración propia

En función de estos resultados y de la Ecuación 1, puede establecerse que el coeficiente de aporte estructural máximo asignable a_i para este tipo de mezcla sería de 0,20 1/pulg.

4.3. Mezcla de RAP y desgomado de soja

Los resultados obtenidos para estas mezclas se observan en la Tabla 4, graficados en la Figura 4. Se observa allí que el contenido óptimo de desgomado de soja, para los materiales analizados, se ubica en el 3,0 % por encima del 100 % de peso de RAP.

Tabla 4. Resultados Marshall de la mezcla de RAP y desgomado de soja
Fuente: elaboración propia

% Aceite	Estabilidad prom (N)	E/F (KN/mm)	Vacíos (%)
0,0	1567	0,46	14,7
2,0	1605	0,55	7,2
3,0	1682	0,67	7,1
5,0	849	0,34	5,3

En función de estos resultados y de la Ecuación 1, puede establecerse que el coeficiente de aporte estructural máximo asignable a_i para este tipo de mezcla sería de 0,19 1/pulg.

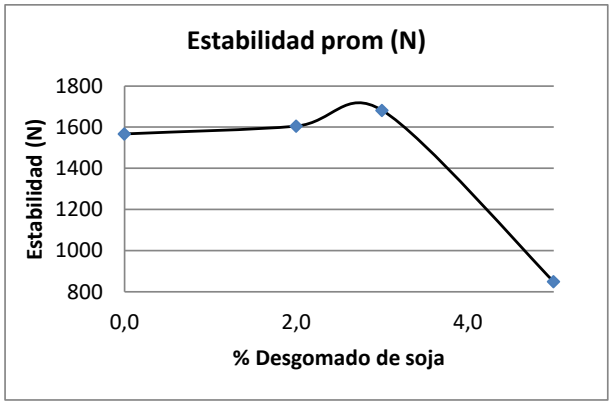


Figura 4. Gráfica de Estabilidad versus contenido de residuo aceitoso en mezclas de RAP y desgomado de soja
Fuente: elaboración propia

4.4. Análisis de los resultados de coeficiente de aporte estructural para las distintas mezclas

De acuerdo a los resultados obtenidos, para los materiales analizados, se puede arribar al cuadro de resumen de la Tabla 5.

Tabla 5. Resumen de resultados de aporte estructural
Fuente: elaboración propia

Dosificación	Coeficiente de aporte estructural (1/pulg)
100% RAP	0,18
100% Rap + 1,0% aceite usado de autos	0,23
100% Rap + 1,0% aceite comestible usado	0,20
100% Rap + 3,0% desgomado de soja	0,19

En la publicación del EICAM (1998) se cita que es común aceptar como mínimo Estabilidades de 2220 N lo cual se alcanza con la máxima Estabilidad obtenida (2357 N) para el caso del empleo aceite usado de motor. Esto implica que se estarían obteniendo materiales de baja aptitud pero que podrían ser de aceptación.
Por otro lado, la versión de la guía AASHTO 1971 admite otorgar a una capa de rodamiento constituida por un tratamiento superficial triple (en un espesor cercano a la pulgada) coeficientes de aporte estructural de hasta 0,16; por lo tanto, los coeficientes de aporte estructural obtenidos en todos los casos verificarían esta condición.

4.5. Estudio preliminar de la potencialidad de deformación plástica permanente

Con la mezcla de mayor coeficiente de aporte estructural, se decide encarar el estudio de su potencial resistencia a las deformaciones plásticas permanentes (ahuellamiento). Esta característica se puede valorar, por ejemplo, a través del ensayo Wheel Tracking Test (WTT) mediante la Norma UNE-EN 12697-22 (AENOR, 2008) y UNE-EN-12697-33 (AENOR, 2007).
En relación a estas determinaciones, el PETG-2017 (DNV, 2017) establece en las mezclas CAC-D12 utilizadas en capas de rodamiento, valores límites de ciertos parámetros, en vías con un índice de tránsito T4 (se trata del menor nivel de tránsito y corresponde a un nivel de demanda menor a 199 vehículos pesados diarios). Estos parámetros de referencia son la Pendiente Media de Deformación en el intervalo de 5000 a 10000 ciclos (WTS de su sigla en inglés) y la Profundidad Media Proporcional de la Huella (PRD de su sigla en inglés).
Se moldea entonces una probeta con la mezcla en análisis y se la somete al ensayo especificado tal como se observa en la Figura 5.

Figura 5. Probeta de WTT ensayada
Fuente: elaboración propia

Como con el ensayo en cuestión se arriba a una deformación cercana a los 20 mm (límite impuesto por Norma) en aproximadamente 2.000, no se puede obtener los valores indicativos a los 10.000 ciclos. Por esta razón y de acuerdo a la experiencia realizada, no es dable pensar utilizar este tipo de mezclas en vías rurales (ya sean de jurisdicción nacional, como también probablemente en las de jurisdicción provincial), aunque dichas vías cuenten con niveles mínimos de tránsito pesado. Esto reduciría su ámbito de aplicación al campo actual de empleo existente.

5. Conclusiones

Innovar en un proceso no es del todo sencillo; sin embargo, se puede aspirar en un futuro no muy lejano, a elevar el porcentaje de empleo del pavimento asfáltico recuperado (RAP) en la constitución de nuevos pavimentos. Existen ejemplos en otros países, con menores recursos naturales que el nuestro, en los cuales se han confeccionado mezclas asfálticas en caliente que emplean entre un 75 % y 80 % de RAP.

Hoy en día, el acopio de RAP en las plantas asfálticas de la zona de La Plata constituye un volumen importante. De éste, solo entre un 15 % a 20 % se utiliza en la actualidad en la constitución de mezclas asfálticas para pavimentos nuevos.

Por otro lado, es necesario mejorar los caminos suburbanos o de bajo tránsito para que puedan modificarse las condiciones habitacionales de las zonas más alejadas de los centros urbanos, las cuales generalmente se encuentran desprovistas de la infraestructura necesaria para la convivencia. Esto debería lograrse de una manera económica y que considere la facilidad y rapidez en el llevado a cabo de la tarea.

A través de la presente investigación se logra dar un marco teórico, con procesos y metodologías, a una práctica en esta línea de pensamiento que se estaba ya llevando a cabo; es decir, la constitución de capas de rodamiento mediante RAP compactado a baja temperatura.

Los resultados de las experiencias realizadas demuestran que existe una mejoría en cuanto al aporte estructural que posee el RAP con algún aditivo aceitoso respecto del que tenía en condiciones naturales. También se observa que la mejor respuesta, desde el punto de vista de la Estabilidad, se obtiene con la inclusión de un bajo contenido de aceite usado de autos, arribándose en este caso de estudio a un coeficiente de aporte estructural de 0,23 1/pulg.

Referencias bibliográficas

AASHTO, “Guide for design of pavement structures 1993”, American Association of State Highway and Transportation Officials, ISBN 1-56051-055-2, EEUU, 1993.

AENOR, “Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente, Parte 22 ensayo de rodadura”, UNE-EN 12697-22, Asociación Española de Normalización y Certificación, España, 2008.

AENOR, “Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente, Parte 33 elaboración de probetas con compactador de placa”, UNE-EN 12697-33, Asociación Española de Normalización y Certificación, España, 2007.

EICAM, “Curso de actualización de diseño estructural de caminos, método AASHTO93”, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, 1998.

LEMaC. “Guía de metodologías y procedimientos para uso vial desarrollados en el LEMaC – Centro de Investigaciones Viales (edición 2019)”, Editorial edUTecNe (ISBN 978-987-4998-27-9), Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. 2019.

DNV, “Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos”, Dirección Nacional de Vialidad, Argentina, 2017.

BONFIM, V., “Fresado de pavimentos asfálticos”, Editorial Exceçao, primera edición, Brasil, 2008.

ANÁLISIS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON FILLER RESIDUO DE TRITURACIÓN DE ROCAS DE LA ZONA DE OLAVARRÍA

Becario; Sr. Jorge Loza Panozo
LEMaC, Centro de investigaciones viales, Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
jorgerlozapanozo@gmail.com

Directores; Ing. Luciano Brizuela, Sr. de Abajo Freire Nicolás
LEMaC, Centro de investigaciones viales, Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
brizuelalucianog@gmail.com.ar, niolasdeabajofreire@gmail.com

Área: Gestión y Diseño Vial. **PID Asociado:** "Empleo de residuos y materiales subvalorados en capas viales ". Código: PID Interno del área.

Resumen
En muchas ocasiones nos encontramos frente a materiales locales que en su condición natural no califican como aptos para su utilización en la obra. Es así que debemos recurrir a técnicas constructivas que mejoren el comportamiento mecánico de los mismos para poder hacer uso de ellos. Particularmente, este trabajo se encuentra desarrollado entorno a la investigación de materiales granulares necesarios para las capas de paquetes estructurales utilizados en caminos. En función de las causas de la inaptitud del material existen diferentes soluciones para adaptarlo, las mismas pueden ser escasez de valor portante, susceptibilidad a la absorción de humedad y variación de volumen, susceptibilidad al congelamiento, entre otros. El propósito de recurrir a la estabilización de suelos pone de manifiesto el énfasis con el cual el ingeniero recurre al aprovechamiento de los materiales locales por razones de índole económicas y ambientales. El criterio de elección del tipo de estabilizado, se sustenta en razones de eficacia del agente estabilizante sobre el suelo a estabilizar, de disponibilidad de dicho recurso y fundamentalmente del costo comparativo con otros agentes estabilizantes. La investigación se ha desarrollado con la finalidad de evaluar los cambios en las propiedades físicas y mecánicas de suelos de baja calidad, estabilizados granulométricamente con un polvo residuo de la trituración de rocas graníticas generado a partir del tamizado en seco de las fracciones de menor tamaño de partículas.

Palabras clave: Suelo – Filler – Estabilizaciones – Camino

1. Introducción

El presente trabajo de investigación surge de la necesidad de estabilización de un suelo de a partir de la mezcla de diferentes materiales con propiedades complementarias, de forma que se obtenga un nuevo material de mayor calidad. Las propiedades que generalmente se pretenden mejorar con este tipo de estabilización son la plasticidad y la granulometría. En este caso esperábamos que indirectamente se produzca también una mejora en la capacidad portante.
En esta investigación se pretende determinar el procedimiento de análisis, mediante los distintos tipos de ensayos, para evaluar la estabilización de suelo mediante un agregado de polvo producido durante la trituración de rocas. Para esto se utilizaron los ensayos regidos bajo las normas de Vialidad Nacional.

2. Metodología

2.1. Material inicial

El material inicial con el que se contaba en el laboratorio no cumplía con las condiciones necesarias para el desarrollo de esta investigación, ya que este calificaba como suelo apto para subrasante por lo que no era necesario ningún método de tratamiento. Por lo que antes de realizar cualquier tipo de corrección se tuvo que obtener un suelo que presente menor aptitud vial. Lo que se hizo fue mezclar el suelo original con otro de mayor plasticidad, para así poder obtener el material necesario con las características correspondientes para la realización del trabajo de investigación.
El primer suelo contaba con una clasificación H.R.B. A-4 lo que lo hace un suelo de excelente calidad para una subrasante, a este suelo se lo mezcló con un suelo de alta plasticidad obteniendo así un suelo apto para la realización de los distintos ensayos. Se mezclaron dos partes iguales del material, la mezcla se realizó a mano utilizando como herramienta de medición las balanzas del laboratorio.
Con la mezcla de suelo obtenida se realizó, primero un ensayo de clasificación de suelo H.R.B. (VN - E2 - 65, VN - E3 - 65), lo que nos dio que la mezcla de suelo tiene una clasificación H.R.B A-6, lo que le otorga un comportamiento generalmente pobre como material para subrasante. Este es el tipo de suelo que estábamos buscando para poder realizar el análisis con el filler de trituración de roca.

2.2. Experimental

En primera instancia se programó la comparación de las propiedades físicas y mecánicas de dos tipos de suelo, uno es el suelo de baja calidad y el otro es el suelo estabilizado granulométricamente con un polvo de trituración de roca, la primera muestra solo contenía el suelo sin el agregado y la segunda contenía un porcentaje de agregado del 30%.

Para estas dos muestras se realizaron dos tipos de ensayo a cada uno, el primero es el ensayo de *Compactación de suelo* (VN – E5 – 93). Esta norma detalla el procedimiento a seguir para estudiar las variaciones del peso unitario de un suelo en función de los contenidos de humedad, cuando se lo somete a una determinada energía de compactación. En este ensayo determinamos la humedad óptima con la que se obtiene el mayor valor del peso unitario, para una energía específica.
El segundo ensayo es el de *Determinación del valor soparte e hinchamiento de los suelos* (VN – E6 – 84). Esta norma detalla el procedimiento a seguir para conocer el "valor soporte relativo" de un suelo y determinar su hinchamiento.
El Valor Soporte Relativo (V.S.R.) de un suelo es la resistencia que ofrece al punzonado una probeta del mismo, moldeada bajo ciertas condiciones de densificación y humedad, y ensayada bajo condiciones preestablecidas. Se la expresa como porcentaje respecto de la resistencia de un suelo tipo tomado como patrón.
El Hinchamiento es el aumento porcentual de altura, referido a la altura inicial, que experimenta una probeta de suelo cuando la humedad de la misma aumenta por inmersión en agua, desde la inicial de compactación hasta la alcanzada por la probeta al término del periodo de inmersión.
Primero se realizó el ensayo de compactación de suelos de las dos muestras, con este proceso se obliga a las partículas a ponerse mayor en contacto entre ellas. Se realiza generalmente por medios mecánicos, produciéndose la expulsión del aire de los poros. La compactación se mide cuantitativamente por la densidad seca del suelo (peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen). La humedad del suelo es el peso del agua que contiene, expresado respecto del peso del suelo seco. La densidad seca se puede determinar entonces, a partir de determinar la densidad húmeda del suelo y su porcentaje de humedad.
Para realizar el ensayo de compactación de suelo primero se tuvo que saber cuál era la humedad natural del suelo a ensayar.

$$H(\%) = \frac{pi - pf}{pf} \times 100$$

H = Humedad en porcentaje
pi = Peso inicial de la muestra
pf = Peso final de la muestra

Una vez obtenido las humedades naturales de los dos tipos de suelo se procede a realizar el ensayo de compactación de suelo.

H (%) = 9,9. Suelo solo
H (%) = 8,8. Suelo con un contenido de 30% de agregado

Tanto para el suelo solo como para el suelo con el agregado se realizó el mismo ensayo. El procedimiento fue realizado con Proctor Tipo II: se compactó la pastilla en 5 capas de 25 golpes cada una dentro de un molde de 101,6 milímetros de diámetro, con un pisón de 4,53 kg y altura de caída de 45,7 centímetros.

2.2.1. Ensayo Proctor
Para este fueron necesarios, aproximadamente, 2900 gramos de material seco para cada punto de la curva humedad-densidad. El ensayo requiere cinco puntos, tres en la rama ascendente y dos en la descendente de la curva Humedad-Densidad. Para los dos tipos de suelo se prepararon 5 puntos de humedades estimadas, con cada punto estimado de humedad se realiza el mismo procedimiento, cuando se considere que la humedad está uniformemente distribuida sobre el suelo a ensayar se arma el Molde (en este caso utilizamos un molde con un peso de 5078g y un volumen de 942.5cm3) y se lo apoya sobre una base firme. Con una cuchara de almacenero, o cualquier otro elemento adecuado, se coloca dentro del molde una cantidad de material suelto que alcance una altura un poco mayor del tercio o del quinto de la altura del molde con el collar de extensión. Con el pisón especificado de 4,54 Kg se aplica el número de golpes previstos, en este caso de 25 golpes, uniformemente distribuidos sobre la superficie del suelo, para esto debe cuidarse que la camisa guía del pisón apoye siempre sobre la cara interior del molde, se mantenga bien vertical y se la desplace después de cada golpe de manera tal, que al término del número de golpes, se haya recorrido varias veces la superficie total del suelo. Se repite la operación anterior las veces que sea necesaria para completar la cantidad de capas previstas, poniendo en tal caso, la cantidad de suelo necesaria para que, al terminar de compactar la última capa, el molde cilíndrico quede lleno y con un ligero exceso, 5 a 10 mm. En caso contrario, debe repetirse íntegramente el proceso de compactación. Se retira con cuidado el collar de extensión y con una regla metálica se limpia el exceso de material de la parte superior del molde, también se limpia exteriormente el molde con un pincel y se pesa, una vez hecho esto se retira la probeta del molde, ayudado con una espátula se toma una porción de suelo que sea promedio de todas las capas, se coloca en un pesa filtro y se pesa, luego se lleva el pesa filtro con la muestra de suelo a una estufa de 100-105°C hasta peso constante, para efectuar la determinación de humedad. Este proceso se realiza para cada uno de los puntos estimados de humedad. Con los valores de la humedad porcentual en abscisas, y en ordenadas los de la densidad seca se procede al trazado de la curva humedad – densidad. Los puntos así obtenidos se unen por un trazo continuo obteniéndose de este modo una curva que va ascendiendo con respecto a la densidad, pasa por un máximo y luego desciende.
Como resultado de este ensayo obtenemos la densidad seca máxima y el valor de la humedad optima de los dos tipos de suelo, con estos valores se prosigue con el ensayo de valor soporte relativo e hinchamiento.

2.2.2. Ensayo de Valor Soporte Relativo e Hinchamiento
Una vez hallados los valores del ensayo de compactación de suelos que son la densidad seca máxima y la humedad óptima correspondiente se procede a realizar el ensayo de valor soporte relativo de los dos tipos de suelo, el método de ensayo que se escogió es el de *Método Dinámico №1 (simplificado)*. Para esto primero separamos 7 kg de material de cada tipo de suelo para agregarle agua hasta llevarla a la humedad óptima previamente determinada en el ensayo PROCTOR, mezclamos cuidadosamente cada muestra para obtener una humedad homogénea, cuando se llega a la humedad óptima la muestra está lista para ser compactada. Para la compactación se prepara el molde con la base y el collar de expansión, como estamos utilizando el método dinámico simplificado, la probeta se va a compactar en 5 capas con 56

golpes en cada una utilizando como pisón uno de 4,57 kg de peso, obteniendo una pastilla de 12 cm de altura. Para la determinación de humedad de cada probeta se saca una muestra representativa del suelo, antes de la compactación y otra del material sobrante una vez terminada la misma. Una vez terminada de compactar la pastilla con 5 capas se quita el collar de expansión y se enrasa la pastilla con una regla metálica recortándola al ras del borde, se retira el molde de la base para darle vuelta de manera que la parte superior quede abajo. Fijamos a la base perforada, colocamos un papel de filtro en la cara ahora superior y lo ajustamos a la base, ahora la muestra está lista para realizar el ensayo de hinchamiento.
Para el ensayo de hinchamiento, se coloca sobre la superficie del suelo un disco de papel de filtro, u otro de naturaleza absorbente, de 15,2 cm. de diámetro, sobre éste se coloca el plato perforado, y las pesas adicionales que sean necesarias, para este caso se utilizó una pesa de 2,27 kg. Se coloca sobre el molde el trípode con extensómetro de 25 mm de carrera, con precisión de 0,1 mm, se regula el vástago del plato hasta que su extremo superior toque el vástago del dial que debe estar a cero, se lleva el conjunto a la pileta llena de agua, de tal modo que se cubra totalmente el molde, para los dos tipos de suelo la probeta se mantuvo en inmersión durante 5 días, completado el 5º día de inmersión y después de haberse leído el hinchamiento total, en valor absoluto, se retira el molde de la pileta. Se elimina el agua libre inclinando el molde durante un minuto.
Ahora se procede a colocar la probeta sin el plato perforado pero con la pesa anular a la prensa con el aro dinamométrico especificado, para el suelo solo se utilizó un aro con una constante de 3.13 y para el suelo con 30% de filler se utilizó un aro con una constante de 3.73, una vez puesta la probeta en la prensa con el pistón de penetración y los extensómetros requeridos para medir la carga y la penetración se procede a aplicar una carga suavemente a una velocidad de avance del pistón igual a 1,27 mm/minuto. Se anotan las lecturas del dial del aro dinamométrico obtenidas para penetraciones de 0,64 mm, 1,27 mm, 1,91 mm, 2,54 mm, 5,1 mm, 7,6 mm, 10,2 mm, y 12,7 mm. Los valores obtenidos se vuelcan a una gráfica, se llevan en abscisas los valores de penetración y sobre las ordenadas los valores de las lecturas del aro dinamométrico. Estos valores experimentales se unen por un trazo continuo. Una vez realizadas las gráficas para los dos tipos de suelo, calculado el valor soporte relativo del suelo solo y del suelo con un 30% de contenido de filler, se quiere analizar si reduciendo el contenido de filler a el suelo este presenta cambios en sus características mecánicas y física, para esto se realizaron el ensayo de valor soporte relativo e hinchamiento para muestras de suelo que contengan un 5 %, 10 % y 20 % de contenido de filler.

2.3. Cálculo

Primero se realizó el cálculo de la densidad seca máxima y del valor de humedad optima de las dos muestras (del suelo solo y del suelo con un 30 % de filler).
Suelo solo: para este se tomaron 5 puntos estimativos de humedad, como este contaba con una humedad natural de 9,9 % los puntos que se estimaron fueron de 15 %, 17 %, 19 %, 21 % y 22,8 %.
Suelo con un 30 % de agregado: para este se tomaron 5 puntos estimativos de humedad, como este contaba con una humedad natural de 8,8 % los puntos que se estimaron fueron de 13 %, 15 %, 17 %, 19 % y 21 %.
Para cada contenido de humedad de la probeta, se calculan:

La densidad húmeda (Dh) del suelo compactado, aplicando la fórmula:

$$Dh = \frac{Ph - Pm}{V}$$

Donde:
Ph = Peso del molde con el material compactado húmedo.
Pm = Peso del molde.
V = Volumen interior del molde.

Humedad Estimada (%)	Densidad Húmeda (g/cm3)
15.00	1.895
17.00	1.951
19.00	2.061
21.00	1.989
22.80	2.011

***Tabla 1**. Densidad húmeda en cada punto estimativo de humedad del suelo solo.*

Humedad Estimada (%)	Densidad Húmeda (g/cm3)
13.00	1.957
15.00	2.035
17.00	2.051
19.00	2.045
21.00	2.017

***Tabla 2.** Densidad húmeda en cada punto estimativo de humedad del suelo con 30 % de filler.*

También se calculó la densidad seca de cada punto estimativo de humedad, este se obtiene con las muestras de los pesafiltros que fueron llevadas al horno de 100°C, primero calculamos cada contenido de humedad de cada pesa filtro con la fórmula:

$$H(\%) = \frac{peso\ mues\ hum\ - peso\ mues\ sec}{peso\ mues\ sec} \times 100$$

Donde:
H(%) = Humedad de la muestra en el pesa filtro.
Peso mues hum = Peso de la muestra húmeda.
Peso mues sec = Peso de la muestra seca.

Con las humedades de cada pesa filtro podemos calcular la densidad seca de cada punto estimativo de humedad con la fórmula:

$$Ds = \frac{Dh \times 100}{100 + H}$$

Donde
Ds = Densidad seca
Dh = Densidad humedad
H = Humedad de cada muestra en el pesafiltro

H. Estim. (%)	Humedad (%)	D. Seca (g/cm^3)
15.00	13.23	1.644
17.00	14.60	1.702
19.00	16.86	1.766
21.00	18.90	1.674
22.80	19.16	1.692

Tabla 3. *Densidad seca de cada punto del suelo solo.*

H. Estim. (%)	Humedad (%)	D. Seca (g/cm3)
13.00	10.77	1.766
15.00	13.02	1.801
17.00	15.01	1.783
19.00	17.31	1.744
21.00	19.24	1.691

Tabla 4. *Densidad seca de cada punto del suelo con 30% de filler.*

Con las densidades secas y las humedades estimativas se procede a realizar el grafico de la curva humedad-densidad para cada tipo de suelo, obteniendo del grafico la humedad óptima y la densidad seca máxima

Los resultados del ensayo PROCTOR fueron que en la muestra de suelo tuvimos una humedad óptima de 16.8 % con una densidad seca máxima de 1.764 g/cm^3, para el suelo con 30 % de filler los resultados fueron una humedad óptima de 13.5 % con una densidad seca máxima de 1.790 g/cm^3.

Para calcular el valor soporte e hinchamiento de las dos muestras de suelo se obtienen los resultados del ensayo VN - E6 - 84, para el hinchamiento utilizamos la siguiente formula,

$$H(\%) = \frac{(Lf - Li) \times 100}{120}$$

Donde
H (%) = Hinchamiento
Lf = Lectura final del extensómetro en mm
Li = Lectura inicial del extensómetro en mm

Para el suelo solo se obtuvo un hinchamiento de 5,6 % y para el suelo con el agregado del 30 % de filler se obtuvo un hinchamiento de 1,2 %. Una vez obtenidos los resultados de hinchamiento procedimos a realizar la penetración con la prensa para así poder determinar el valor soporte relativo de cada muestra de suelo lo que nos dio como resultado:

Filler (%)	VSR (%)
0	2.5
30	5.3

Tabla 5. *VSR - Porcentaje de adición.*

2.3.1 Cálculo de humedad optima y densidad seca máxima para 5 %, 10 % y 20 % de contenido de filler

Para poder obtener los valores de humead optima y densidad seca máxima de los valores intermedios de las muestras de suelo con contenido de filler del 5 %, 10 %, 20 %, se planteó una hipótesis lineal con los valores de humedad optima y densidad seca máxima de las muestras de suelo solo y del suelo con 30 % de filler, con esta suposición se pudieron obtener los valores sin tener que repetir el ensayo de compactación de suelo para cada valor intermedio.

Mediante la siguiente gráfica podemos definir que la densidad seca máxima para los suelos con contenido de filler de 5 %, 10 % y 20 % son de 1.768 g/cm^3, 1.772 g/cm^3 y 1.780 g/cm^3 respectivamente.

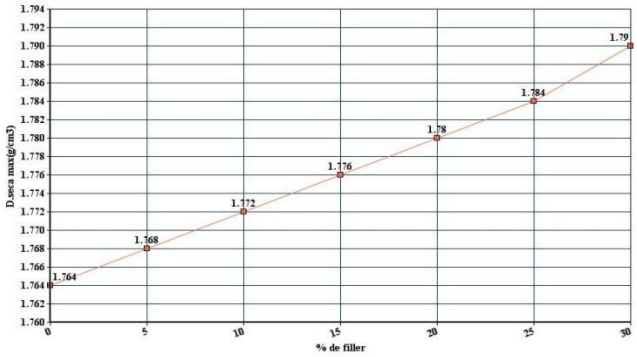


Gráfico 1*. Densidad seca máxima para los valores intermedios.*

Por la gráfica obtenemos que los porcentajes de humedades óptimas para el suelo con el contenido de filler de 5 %, 10 % y 20 % son de 16.3 %, 15.6 % y 14.5 % respectivamente.

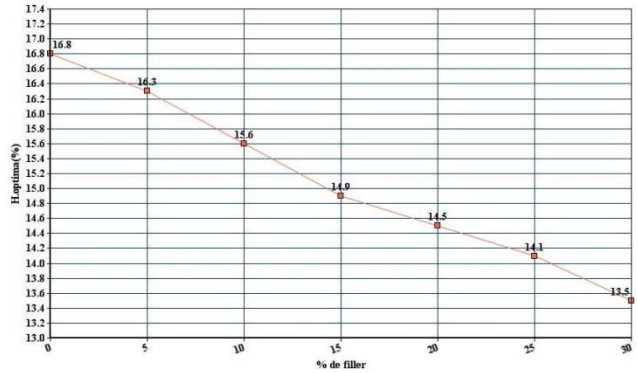


Gráfico 2. *Humedad óptima para los puntos intermedios.*

Con los valores de humedad óptima y densidad seca máxima de los porcentajes de filler de 5 %, 10 % y 20 % se procede a realizar el ensayo de valor soporte e hinchamiento a cada una de las muestras.

Filler (%)	D.S.M. (gr/cm^3)
5	1.768
10	1.772
20	1.780

Tabla 6. *Densidad Seca Máxima - Porcentaje de adición.*

Ahora se quiere comparar los valores de las densidades húmedas y secas de los suelos con contenido de filler de 5 %, 10 %, y 20 % con los valores que supusimos en el **Gráfico 1** y en el **Gráfico 2**, para esto anotamos el peso de las probetas de V.S.R. y la humedad con que fueron compactadas.

3. Resultados

Con 5% de filler,
Humedad de compactación 14,50 %
Densidad Seca de 1.776 g/cm^3

Con 10% de filler,
Humedad de compactación 15.45 %
Densidad Seca de 1.788 g/cm^3

Con 20% de filler,
Humedad de compactación 13.15 %
Densidad Seca de 1.798 g/cm^3

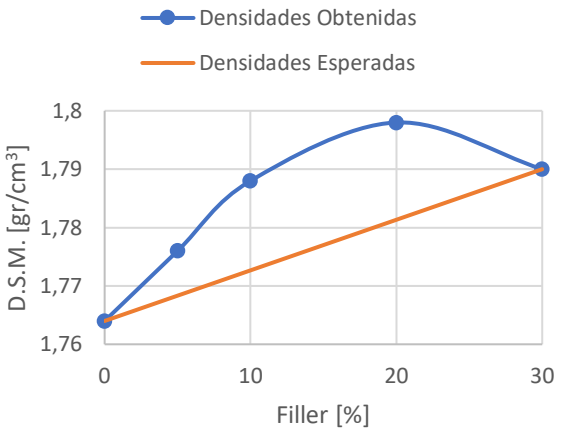


Gráfico 3. *Densidades obtenidas en puntos intermedios vs densidades esperadas.*

El resultado del valor soporte relativo se obtuvo del ensayo VN - E6 – 84 y los valores de densidad seca máxima se obtuvieron de dos maneras, del suelo solo y el suelo con 30 % de filler se obtuvieron mediante el ensayo VN - E5 – 93, para los suelos con 5 %, 10 % y 20 % de filler los resultados se obtuvieron gráficamente mediante una hipótesis lineal.

Filler (%)	V.S.R (%)	D. Seca Máx. (g/cm^3)
0	2.5	1.764
5	5.3	1.776
10	7.1	1.788
20	5.9	1.798
30	5.3	1.790

Tabla 7. *Resultados de Valor Soporte Relativo y Densidad Seca Máxima.*

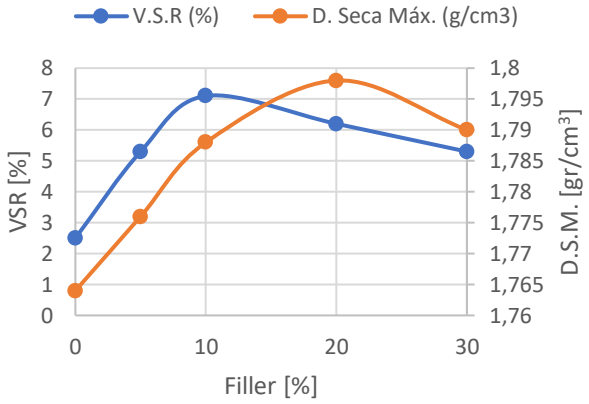


Gráfico 4. *VSR - Densidad Seca Máxima - Porcentaje de adición.*

4. Conclusión

La finalidad de la investigación fue el análisis del comportamiento de un suelo plástico con adición de un filler residuo de trituración de rocas.

En primera instancia se llegó a la conclusión de que el suelo con 30 % de filler presenta una mejora tanto es sus propiedades físicas como en su capacidad portante.

Con el ensayo de la totalidad de los puntos de evaluación se registra un aumento del Valor Soporte Relativo con un 10 % de adición. Contrastando esto con las densidades obtenidas podría suponerse que el cuarto punto la tendencia otorga aun valores mas elevados hasta un punto máximo. Para la evaluación completa de este comportamiento habría que densificar ensayos y tipos de muestras o estudiar particularmente como responde cada material en caso de interesar el uso del filler como estabilizante.

Se puede observar disparidad entre las densidades esperadas por simplificación y las obtenidas en la pastilla compactada, pero son múltiples los factores que inciden en este hecho: las variaciones de humedad, el método de compactación y la técnica de compactación del laboratorista entre otros.

De la globalidad de los resultados se puede inferir que el material podría ser útil para los fines planteados solo que para cada caso particular habría que estudiarlo con mayor detalle. Por otro lado, para generalizar sobre un universo más amplio es necesario continuar trabajando con mayor cantidad y variedad de materiales de origen.

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE ROCAS GRANÍTICAS UTILIZADAS COMO AGREGADO GRUESO Y SU INFLUENCIA EN EL GRADO DE DESGASTE PRODUCIDO EN EL ENSAYO MICRO DEVAL

Becaria; Rocío V. Insaurralde
LEMaC-UTN, Laboratorio de Investigaciones Viales. Universidad Tecnológica Nacional. Berisso, Buenos Aires, Argentina. ro_insaurralde@hotmail.com

Directora; María F. Lajoinie
LEMaC-UTN, Laboratorio de Investigaciones Viales. Universidad Tecnológica Nacional. Berisso, Buenos Aires, Argentina. flajoinie@frlp.utn.edu.ar

Área: Tecnología de los pavimentos flexibles. **PID Asociado: "**Evolución de unidades metamórfico-graníticas de las Sierras Septentrionales y Australes de la provincia de Buenos Aires". Código: UNLP-860.

Resumen
Existe una relación entre el desgaste que sufren los agregados pétreos y el tipo de roca que los constituyen. En el caso de las rocas graníticas (granitos, gneises y milonitas) que comparten similar mineralogía y textura, la estructura o fábrica (isótropa o anisótropa) sería el factor que podría determinar el grado de desgaste posible. Los resultados obtenidos mediante el ensayo Micro Deval (MD) junto con la petrografía de rocas graníticas provenientes del basamento ígneo-metamórfico de la Provincia de Buenos Aires permitió determinar que las fábricas anisótropas de las rocas gnéisicas graníticas, generadas por la orientación de minerales de hábito planar como micas, disminuyen la resistencia de los agregados (coeficiente MD ~9) y aquellas fábricas anisótropas presentes en las milonitas graníticas, producto de la deformación plástica y recristalización dinámica de cuarzo y feldespato, aumentan su resistencia (coeficientes MD ~3-4). Por su parte, las rocas denominadas como granitos con fábrica isótropa poseen valores intermedios (coeficientes MD ~6-7). Teniendo en cuenta que si bien los agregados graníticos poseen coeficientes de desgaste MD aceptables para uso vial (menores a 20), este tipo de información sería de gran utilidad para la optimización del uso y destino de los recursos pétreos de canteras de agregados graníticos.

Palabras clave: Agregados graníticos, resistencia, Micro Deval, petrografía.

1. Introducción

El ensayo de Micro Deval, desarrollado en Francia en el año 1900, está orientado a valorar el desgaste que sufren los agregados gruesos al ser sometidos a la acción combinada de abrasión y molienda con bolas de acero en presencia de agua [1]. En este sentido, su finalidad es representar el desgaste real que sufren los agregados pétreos, tanto en su procesamiento como durante su uso, principalmente en obras viales [2]. En el caso de las vías de comunicación terrestres automotores que son de jurisdicción nacional (Argentina) y sus capas superficiales de calzadas son materializadas con mezclas asfálticas en caliente, las rocas empleadas como agregados deben cumplir con una serie de características que se detallan en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Concretos Asfálticos en Caliente de la Dirección Nacional de Vialidad [3]. Teniendo en cuenta que la resistencia de los agregados pétreos está condicionada por una serie de características combinadas como la textura, estructura o fábrica y composición mineralógica, presentes en las rocas utilizadas [4], es necesario que dichas características se analicen en forma aislada para determinar cuál es su grado de influencia en la resistencia final. En el presente trabajo de investigación se determinó el grado de desgaste de diferentes agregados "graníticos" de similar textura y mineralogía y diferente estructura. De esta forma, se espera iniciar estudios destinados a determinar la relación entre las características estructurales y los coeficientes de desgaste de Micro Deval de diferentes rocas denominadas comercialmente como graníticas.

2. Metodología

Teniendo en cuenta las indicaciones que figuran en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Concretos Asfálticos en Caliente de la Dirección Nacional de Vialidad [3], previo a los ensayos de Micro Deval, los agregados, fueron evaluados según los índices de Lajas y Agujas [5-6], mediante el equipamiento específico para tal caso (Fig. 1). Para el índice de elongación, su determinación sólo consiste en una exigencia obligatoria, es decir, no especifica grado de aceptación. En cambio, para el índice de lajosidad se indica que el mismo no debe superar el 25% de la masa tomada para el ensayo. En este sentido, se destaca que todas las muestras que fueron seleccionadas para su estudio cumplieron con la mencionada exigencia.

Por otro lado, se realizó una caracterización petrográfica bajo lupa binocular y microscopio petrográfico [7-8]. Dicha caracterización incluyó una descripción de la textura (tamaño de grano y morfología de los cristales), la composición mineralógica y la fábrica o estructura de los agregados. Cabe mencionar que la fábrica o estructura hace referencia a la presencia o ausencia de elementos orientados en las distintas rocas y tiene implicancias en la interpretación de los procesos geológico-genéticos ocurridos.

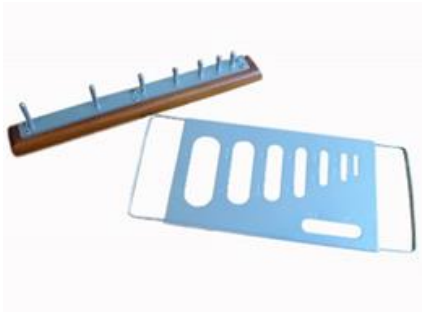


Figura 1. Elementos para realizar la determinación de los índices de aguja y laja (superior e inferior en la imagen, respectivamente).

Para llevar a cabo la descripción petrográfica se seleccionaron fragmentos adecuados y representativos con el fin de realizar las láminas delgadas necesarias para completar el estudio. La confección de las láminas delgadas se realizó mediante el desbastado y pulido de los fragmentos seleccionados que luego fueron montados en portaobjetos de vidrio (de 7,5 x 2,5 cm) mediante el uso de resina epoxy. Con posterioridad, las muestras fueron cortadas para obtener secciones de aproximadamente 80 µm de espesor. Estas últimas, fueron pulidas en condiciones húmedas utilizando carburo de silicio y óxido de aluminio, hasta alcanzar un espesor de aproximadamente 30 µm. Luego, fueron protegidas utilizando cubreobjetos de vidrio que fueron fijados mediante resina epoxy.
Una vez que los agregados fueron evaluados y caracterizados, se realizó el ensayo de Micro Deval.

2.1 Micro Deval
El procedimiento se llevó a cabo según norma [9]. Se prepararon muestras de 1 kg, de agregados con granulometría comprendida entre los tamices IRAM 10 mm (3/8") y 14 mm (5/8") y cuyas curvas granulométricas responden a la siguiente condición:

- El 70% de los agregados deben pasar a través del tamiz IRAM 12.5 mm (1/2") y quedar retenidos por el tamiz IRAM 10 mm (3/8"), y el 30% restante pasar por el tamiz IRAM 14mm (5/8") y quedar retenidos por el tamiz IRAM 12.5 mm (1/2").

Una vez obtenida la muestra modificada con las granulometrías indicadas, las mismas se lavaron mediante rebalse y se secaron en estufa a 100°C durante 24 horas.
Cada muestra, de 1 kg, fue separada mediante un partidor mecánico en 2 muestras, para poder ensayar por duplicado (Fig. 2a). La masa de 500 ±5 gr, indicada como m1, es la masa inicial.
El equipo de ensayo cuenta con 4 cilindros huecos de acero inoxidable (Fig. 2b), cerrados en un extremo, en los cuales se colocó una fracción de muestra de 500gr ±5 gr. Además de la fracción de muestra, en cada cilindro se colocaron 5 kg. de bolillas esféricas de acero inoxidable, que materializan la carga abrasiva, junto con 2,5 ± 0,05 l de agua (Fig. 2c).
Una vez completados, cada cilindró fue tapado y verificado para comprobar un correcto sellado que impida pérdida de material. Finalmente, los cilindros fueron colocados en los soportes que se encuentran ubicados en el equipo (Fig. 2d).

De acuerdo con la norma, los cilindros deben girar a una velocidad de rotación de 100 ±5 v/min, durante 2 horas.
Luego de los ensayos, el material (agregado + bolillas + agua) de cada cilindro, fue volcado en bandejas, evitando cualquier pérdida. Dicho material fue lavado por rebalse y las bolas de acero retiradas mediante un imán. El agregado ensayado fue llevado a estufa a 110 ± 5 °C durante 24 horas. Posteriormente, se tamizó la muestra mediante tamiz IRAM 1,6 mm (12") y se pesó el material retenido, denominado como m2 (masa final del agregado).
Para cada fracción de muestra, se calculó el coeficiente Micro Deval MD, a partir de la siguiente ecuación:

$$MD = \frac{m1 - m2}{\frac{m1}{100}}$$

Siendo:

M_D: Coeficiente Micro Deval
m1: Peso de la muestra en gramos, antes del ensayo.
m2: Peso del material retenido en el tamiz 12", luego del ensayo.

Figura 2. a) Pesaje del material. b) Cilindro hueco de acero. c) Bolillas de acero. d) Cilindros de acero en el soporte.

3. Resultados

3.1 Caracterización petrográfica de las rocas graníticas
El estudio petrográfico permitió determinar que las rocas correspondientes a las 6 muestras presentan textura equigranular a inequigranular seriada y un tamaño de grano comprendido entre 1 y 4 mm (Fig. 3). La mineralogía presente en estos diferentes tipos litológicos es similar y se encuentra constituida principalmente por cuarzo, feldespato potásico y, menor proporción, por plagioclasas, biotita y anfíboles (Fig. 3a, b, c, d, e y f). Todas las rocas presentan un buen estado de preservación con escasas evidencias de alteración tales como minerales de arcilla reemplazando algunas plagioclasas y una incipiente cloritización de las biotitas (Fig. 3a y c). Las principales diferencias identificadas en las rocas estudiadas están relacionadas a su fábrica. Las muestras G1, G2 y G3 (Fig. 3a, b y c) poseen una disposición aleatoria de los cristales que los componen, o fábrica isótropa, mientras que

las muestras G4, G5 y G6, manifiestan minerales orientados en una dirección dominante, o fábrica anisótropa (Fig. 3d, e y f). De estas últimas, en las primeras dos muestras esta orientación está dada por estiramiento y elongación de cintas de cuarzo recristalizado, en tanto que, en la muestra G6, está relacionada a la disposición preferencial de minerales de hábito planar como las biotitas.

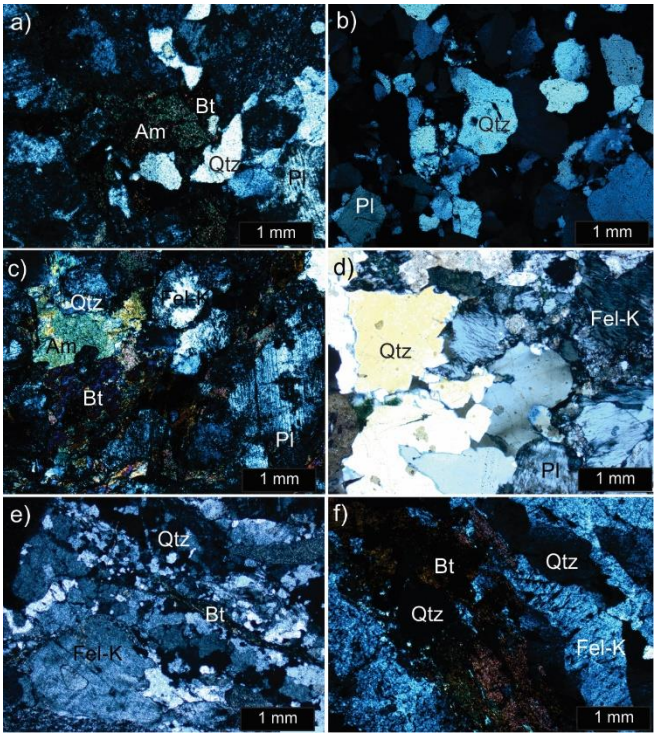


Figura 3. Aspecto microscópico y composición mineral de las muestras, a) G1, b) G2, c) G3, d) G4, e) G5 y f) G6. Abreviaturas minerales [10]. Anfíbol (Am), biotita (Bt), cuarzo (Qtz), Feldespato (Fel-K) y plagioclasa (Pl).

De acuerdo con las características identificadas las muestras G1, G2 Y G3, corresponden a granitos, las muestras G4 y G5 a milonitas y la G6 a un gneis.
Además, algunos agregados de granito (Fig. 4a y b), milonita (Fig. 4c y d) y gneis (Fig. 4e y f), fueron retratados pre y post ensayo para comprobar el grado de desgaste resultante.

3.2 Micro Deval

Los resultados obtenidos luego del ensayo Micro Deval, se detallan en la Tabla 1. Los valores más bajos corresponden a las muestras G4 y G5, los intermedios a las muestras G1, G2 y G3 y el más alto a la muestra G6.

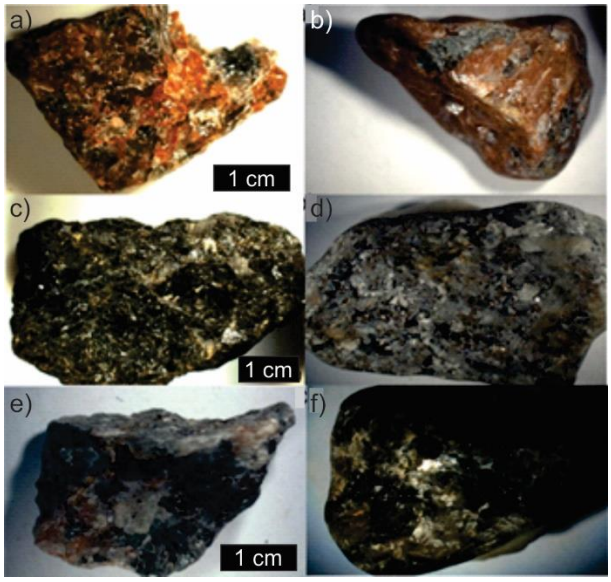


Figura 4. Aspecto de los agregados. a) y b) Granito, pre y post ensayo, respectivamente. c) y d) milonita, pre y post ensayo, respectivamente, e) y f) gneis, pre y post ensayo, respectivamente.

Tabla 1.

	Antes MD		Despues MD		MDE		Promedio
Muestra	m1 (gr)	m2(gr)	m1(gr)	m2(gr)	m1	m2	
G1	500,4	499,4	464,4	465,2	7,2	6,8	7,0
G2	495,02	500,8	459,15	458,8	7,2	8,4	7,8
G3	500,03	501,2	464,2	464,9	7,2	7,2	7,2
G4	498,2	497,6	479,6	479,8	3,7	3,6	3,7
G5	499,6	501,2	475,3	472,6	4,9	5,7	5,3
G6	500,4	499,6	455,5	449,6	9,0	10,0	9,5

Tabla 1. Valores obtenidos de los ensayos Micro Deval.

4. Discusión y conclusiones

En el ámbito del Sistema de Tandilia, Provincia de Buenos Aires, las rocas comercialmente denominadas como graníticas corresponden al menos a tres tipos litológicos: granitos, gneises y milonitas [11]. Esto se debe a que el término "granítico" hace referencia a rocas cuarzo-feldespáticas, con escasa proporción de micas y/o anfíboles, tamaño de grano medio y sin especificación de sus fábricas. La fábrica de una roca se define por la presencia o ausencia de elementos orientados que se generan por procesos dinámicos y/o térmicos ocurridos durante la formación de la roca. En este sentido, pueden diferenciarse dos tipos de fábricas: anisótropas (comunes en gneises y milonitas) e isótropa (común en granitos). Los primeros resultados de los ensayos de desgaste obtenidos sobre estas muestras indican que los valores promedio más altos de coeficientes MD se registraron en agregados correspondientes a un gneis con fábrica anisótropa (~9), mientras que los valores más bajos (3-4), en milonitas también con fábrica anisótropa. Por otro lado, los granitos con fábrica isótropa presentan valores medios (6-7). Si bien estos resultados son preliminares, se podría concluir que mientras que las fábricas anisótropas de las rocas gnéisicas graníticas, generadas por la orientación de minerales, disminuyen la resistencia de los agregados,

aquellas fábricas anisótropas presentes en las milonitas graníticas, producto de la deformación plástica y recristalización dinámica, aumentan su resistencia.

En el primero de los casos, la fábrica anisótropa planar corresponde a un bandeado composicional en el que existe una elevada participación de minerales de hábito planar y baja dureza como las micas, que serían responsables de los menores coeficientes MD para los gneises. Por otro lado, la fábrica anisótropa planar (o foliación milonítica) de las milonitas involucra en su formación procesos dinámicos que llevan a la recristalización de minerales como cuarzo y feldespato. La disminución del tamaño de grano y de minerales con retículos menos deformados, así como la compactación y aplanamiento de los mismos, son algunas de las causas que produjeron un incremento en los coeficientes MD en las milonitas.

Cabe destacar que si bien, en general, los agregados graníticos poseen coeficientes MD aceptables para uso vial (menores a 20), este tipo de información sería de gran utilidad para la optimización del uso y destino de los recursos pétreos de canteras de agregados graníticos.

Si bien en esta investigación se hizo hincapié en las rocas del tipo granítico, existen en la naturaleza diferentes tipos litológicos aptos para uso vial tales como basaltos y cuarcitas, entre otros. Se recomienda, para futuras investigaciones, que para cada tipo litológico se realice una evaluación aislada de rasgos geológicos que permitan la estimación de un coeficiente aproximado de MD. Por ejemplo, evaluar basaltos con y sin presencia de vesículas, amígdalas o fenocristales, o en el caso de las cuarcitas, podría evaluarse el desgaste asociado a diferente proporción de matriz-cemento-clastos o distinto grado de diagénesis.

Agradecimientos

Las autoras de este trabajo desean expresar su agradecimiento al LEMaC por poner a disposición sus instalaciones para llevar a cabo los ensayos realizados en este trabajo. Por otro lado, agradecemos muy especialmente al Dr. Ing. Julián Rivera, al Ing. Oscar Rebollo y al Sr. Nicolás Battista, por la asistencia brindada durante la realización de los estudios, y a la Dra. Mabel Lanfranchini y al INREMI, Instituto de Recursos Minerales (CICBA-FCNyM-UNLP), por la colaboración en la confección de las láminas delgadas para estudios petrográficos.

Bibliografía

[1] Hoare J.B.A.R. 2003. Feasibility of Using the Micro-Deval Test Method as an Aggregate Production Quality Control Tool, Graduate Faculty of Texas Tech University.

[2] Cooley, L.A., James, R.S. 2003. Micro-Deval Testing of Aggregates in the Southeast. Transportation Research Record, 1837: 73-79. https://doi.org/10.3141/1837-08

[3] Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Concretos Asfálticos en Caliente y Semicaliente del tipo Densos. Ministerio de Transporte. Presidencia de la Nación. Edición 2017.

[4] Åkesson U., Lindqvist J.E., Göransson M., Stigh J. 2001. Relationship between texture and mechanical properties of granites, central Sweden, by use of image-analysing technique. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 60: 277-284

[5] Agregados. Método de determinación índice de lajosidad. NORMA IRAM 1687-1.

[6] Agregados. Determinación del índice de elingacion. NORMA IRAM 1687-2.

[7] Agregados gruesos para uso vial. Método de análisis del estado físico de la roca. Norma IRAM 1702. 1981.

[8] Agregados gruesos para uso vial. Características basadas en el análisis del estado físico de la roca. Norma IRAM 1703. 1981.

[9] Agregados. Determinación de la resistencia al desgaste de los agregados pétreos con el equipo Micro-Deval. Norma IRAM 1762. 2000.

[10] Kretz R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. American Mineralogist 68: 277 - 279.

[11] Caballé M. y Coriale N. 2003. Rocas de aplicación de la Provincia de Buenos Aires. Su utilización en la construcción de obras históricas. 2° Jornadas sobre Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio.

DESARROLLO DE HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES DESTINADOS A MOBILIARIO URBANO

Becarios; N. Battista; C. Diaz; W. Antieco
LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Facultad
Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina.
nicolas.d.battista@gmail.com camiladiaz99@hotmail.com
wilson.alexander.antieco@gmail.com

Directores; M. Barreda
LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Facultad
Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina
mbarreda@frlp.utn.edu.ar

Área: Tecnología del hormigón. **PID Asociado**: "Desarrollo de hormigones autocompactantes destinados a mobiliario urbano para el mejoramiento de espacios público". Código: MAUTNLP0007828

Resumen

El hormigón autocompactante (HAC) se caracteriza por su capacidad de fluir a través de obstáculos llenando los encofrados por la acción de su propio peso sin necesidad de vibrado. El HAC resulta ideal para construir elementos prefabricados para mobiliario urbano con cuantías elevadas de armadura y formas muy complicadas, obteniéndose superficies sin defectos.

En este trabajo se realiza una revisión de los ensayos que pueden emplearse para evaluar la autocompactabilidad de las mezclas y se indican los parámetros que deben considerarse en un diseño de mezcla para obtener un HAC.

Palabras clave: Hormigón Autocompactante, HAC, Premoldeados, Capacidad de Fluir

1. Introducción

Los hormigones autocompactantes (HAC) forman parte del grupo de los hormigones denominados de alto desempeño y poseen varias ventajas.

El hormigón autocompactante ofrece una rápida adaptación al encofrado, por lo que disminuye el plazo de construcción y disminuye los problemas de colocación por alta densidad de armado. La fluidez y la resistencia a la segregación del HAC aseguran un buen nivel de homogeneidad, una mínima porosidad en el hormigón y una resistencia constante, proporcionando unos mejores niveles de acabado y una mayor durabilidad de la estructura. El HAC se elabora normalmente con una relación agua-cemento bastante baja por lo que se obtiene una mayor resistencia, un desencofrado más rápido y una entrada en servicio de las estructuras en menor tiempo. La eliminación de los elementos de vibrado disminuye notablemente el impacto ambiental, en la obra y en sus proximidades, así como en las plantas de prefabricación, reduciendo el tiempo y la intensidad de exposición de los trabajadores al ruido y a las vibraciones.

La mayor facilidad de uso en la construcción, combinados con los beneficios para la salud y ambientales, hacen del HAC una solución atractiva tanto para el hormigón prefabricado como para el hormigón de obra civil y edificación.[7].

1.2. Propiedades del hormigón fresco

1.2.1 Reología

La propiedad básica que influye en el desempeño del hormigón en estado fresco es su comportamiento reológico. La reología del hormigón, mortero y la pasta constituyen herramientas de mucho valor para comprender el comportamiento y la optimización en la etapa de diseño.

El modelo reológico más simple que se aplica al hormigo fresco es el modelo de Bingham. En este caso el hormigón se comporta como un sólido hasta que la tensión tangencia aplicada supera un umbral o tensión critica τ_0. En ese momento comienza a comportarse como un líquido representando una relación lineal entre la tensión aplicada y la deformación (γ). La ecuación de la recta en este caso es:

$$\tau = \tau_0 + \mu' \gamma \quad \textbf{(1)}$$

Donde γ es la velocidad de deformación (en 1/s), τ_0 es la tensión critica o umbral de cizallamiento (en Pa) y μ' es similar al coeficiente de viscosidad de los líquidos Newtonianos y se lo denomina "viscosidad plástica" (en Pa x seg). La Figura 1 muestra la recta del modelo descripto en comparación con un fluido Newtoniano. [5].

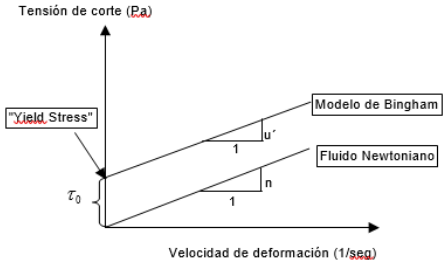


Figura 1: Comportamiento Reológico

El HAC constituye un material que posee la deformabilidad necesaria como para poder llenar los encofrados sin necesidad de compactación mecánica interna ni externa, sin segregación de los materiales componentes y con un bajo riesgo de bloqueo con las armaduras.

El comportamiento reológico del hormigón queda definido entonces, de acuerdo a lo ya comentado, por dos variables: el umbral de cizallamiento (τ_0) y la viscosidad plástica (μ'), lo cual para que el hormigón adquiera la propiedad de autocompactabilidad deberá cumplirse un delicado equilibrio entre ambas variables.

- Un valor muy pequeño o nulo del τ_0 cercano a un fluido Newtoniano.
- Un valor moderado de μ' con el fin de proveer una adecuada resistencia a la segregación de los materiales componentes.

Los antecedentes consultados por Fava [5], indican que el valor τ_0 de la mezcla debe manejarse con los aditivos superfluidificantes, sin embrago esto no es suficiente ya que esto conduciría a la obtención de mezclas segregables.

Por tal motivo, con el objetivo de controlar la segregación y evitar el bloqueo con las armaduras, la tendencia es la siguiente:

- Contenidos finos o polvo elevados, en el orden de los 450 a 600 kg/m^3 de hormigón. Junto con el cemento portland se pueden utilizar adicionales tales como: Escoria de alto horno molida, Filler calcáreo, Humo de sílice, Ceniza volante, etc.
- Cuando no se utilicen estas adiciones, es necesaria la incorporación de un aditivo modificador de la viscosidad (AMV).
- Contenido de agregado grueso inferiores a los hormigones convencionales con tamaños máximos menores. Esto tiene como objeto disminuir la friccion entre las partículas de agregado brindándole al hormigón la capacidad suficiente para sortear obstáculos mayores sin problemas.

La pasta de cemento puede ser considerada por sí misma el medio de suspensión de las partículas de arena. Así mismo, el mortero es el medio de suspensión que contiene a los áridos gruesos. La Figura 2 muestra que la reología de la pasta es función de la reología del agua, la reología del mortero de la pasta y finalmente la reología del hormigón es función de la reología del mortero. Billberg [1] indica que la reología del hormigón autocompactante debe ser optimizada desde la etapa de pasta y mortero hasta llegar al hormigón.

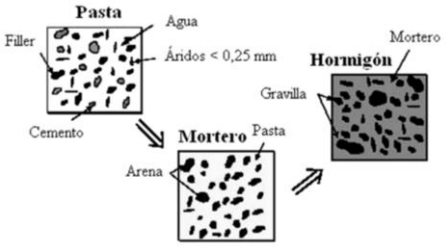


Figura 2: Reología de las fases del hormigón

Cuando el hormigón fluye a través de las barras de refuerzo (Figura 3), se cambia la ubicación relativa de las partículas de árido grueso en el espacio. Este desplazamiento relativo causa esfuerzos de corte en la pasta entre los áridos, además de esfuerzos de compresión. Por lo tanto, para que el hormigón fluya a través de los obstáculos sin segregación, el esfuerzo de corte generado debe ser suficientemente pequeño para permitir el desplazamiento relativo y no se produzca un grado de fricción e interferencia que evite el flujo y cause separación de los materiales, en especial los áridos gruesos del mortero. En el diseño de HAC, el árido fino y/o aditivo viscosante confiere a la mezcla la capacidad de disminuir la segregación desarrollando en la pasta fuerzas cohesionantes y de compresibilidad. En resumen, se tiene que compatibilizar un alto grado de deformabilidad y baja viscosidad (bajando la razón agua/finos junto a mayores dosis de aditivo superplastificante), junto con la generación de una baja transferencia de presión en la pasta (limitando el contenido de árido grueso).[5]

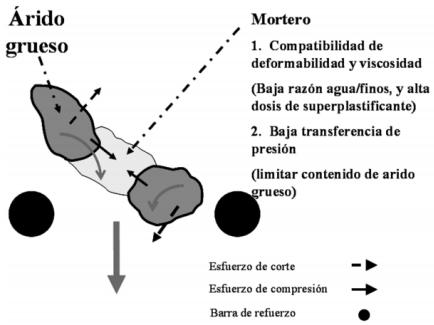


Figura 3. Generación de esfuerzos debido a desplazamiento relativo entre partículas de áridos gruesos

1.2.2 Trabajabilidad

En términos de trabajabilidad, se puede definir como "autocompactabilidad" a la habilidad que posee el hormigón para fluir luego de su descarga, solo por acción de su peso, y de llenar todos los espacios dentro del encofrado con el objeto de obtener un hormigón sin defectos y de calidad uniforme. [5.]

Para lograr dicha autocompactabilidad, se requiere que un HAC posea tres propiedades particulares:

1. Capacidad de llenado
   El HAC debe ser capaz de deformarse o cambiar de forma por acción de su propio peso.
   El requerimiento de capacidad de llenado involucra: la capacidad de deformación, en términos de la distancia que puede fluir o desplazarse desde el punto de descarga, y la velocidad de deformación, en términos de la velocidad con la que puede fluir.
   Para alcanzar una adecuada capacidad de llenado, deberá existir un adecuado equilibrio entre la capacidad de deformación y la velocidad de deformación.[5].
2. Resistencia a la segregación – Estabilidad
   La resistencia a la segregación es fundamental para la homogeneidad y calidad in situ del HAC. Éste puede sufrir segregación durante la colocación y también después de la aplicación y antes del fraguado. La segregación que se produzca después de la colocación será más perjudicial en elementos altos y en pavimentos, ya que ello puede producir defectos superficiales como fisuración o debilitar la superficie.[5].
3. Capacidad de pasaje entre pequeñas aberturas – obstáculo
   Se presentan casos en que el hormigón debe fluir a través de pequeñas aberturas en el encofrado o a través de una gran congestión de armaduras. En tales casos el HAC debe cumplir con un requisito adicional para poder evitar el bloqueo de los agregados gruesos en dichas aberturas.
   Por tal motivo deberá existir una compatibilidad entre el tamaño y cantidad de partículas grandes en el HAC y el espacio libre entre barras de armaduras y aberturas de los encofrados a través de los cuales debe fluir el hormigón.

Un claro resumen de los requerimientos necesarios para obtener un HAC con condiciones adecuadas de trabajabilidad, es el cuadro que presentó Khayat [6] en la Universidad de Sherbrooke (Canadá) y que se muestra a continuación:

EXCELENTE DEFORMABILIDAD	BAJA O NULA TENDENCIA A LA SEGREGACION (estabilidad)	RIESGO BAJO DE BLOQUEO
1. Incrementar la deformabilidad de la pasta: a.- Utilización de SP b.- Relación W/P balanceada	**1. Reducir la segregación de sólidos** a.- Limitar el contenido de agregados b.- Reducir el TMA c.- Incrementar la viscosidad para lo cual hay dos caminos: • Baja relación W/P • Utilización de un AMV	**1. Reducir la separación de agregados mientras fluye la mezcla:** a.- Baja relación W/P b.- Utilizar AMV
2. **Reducir la fricción entre partículas**: a.- Se debe tener un volumen bajo de agregado grueso con un elevado volumen de pasta b.- Distribución continua de partículas.	**2. Minimizar la exudación (agua libre)** a - Bajo contenido de agua b - Baja relación W/P c - Utilización de polvos con una alta superficie especifica d – Utilización de AMV	**2. Separación compatible entre las barras de armadura, el tamaño máximo y el contenido de agregado grueso:** a.- Bajo contenido de agregado grueso b.- Bajo TMA

Tabla 1: Requisitos de trabajabilidad.

2. Metodología

2.1. Ensayos en estado fresco

Para poder estimar los parámetros reológicos del HAC sin recurrir a instrumentos costosos solo se realizó el ensayo de extendido, considerando que la autocompactabilidad depende de la capacidad de llenado, de la capacidad de fluir y la resistencia a la segregación.
Estas propiedades no son independientes y se relacionan entre sí en mayor o menor medida grado. Debido a estos los ensayos no evalúan propiedades aisladas y cubren varios aspectos en forma simultánea.
Existe varios ensayos para poder evaluar sus propiedades, a continuación, enunciaremos los ensayos y la propiedad que logran evaluar respectivamente mediante la Tabla 2, y sus valores minios y máximos mediante la Tabla 3:

Propiedad	Métodos de ensayo		
	Laboratorio (diseño de mezcla)	Campo (Control de Calidad)	Modificación del ensayo según el tamaño máx. de los áridos
Capacidad de relleno	1 flujo de asentamiento 2 flujo asentamiento T_{50cm} 4 Embudo V 10 Orimet	1 flujo de asentamiento 2 flujo asentamiento T_{50cm} 4 Embudo V 10 Orimet	Ninguno Máx. 20 mm
Capacidad de paso	6 Caja en L 7 Caja en U 8 Caja de relleno	3 Anillo J	Distintas aperturas en caja en L, caja en U y anillo J
Resistencia a la segregación	9 Ensayo GTM 5 Embudo V a $T_{5\ minutos}$	9 Ensayo GTM 5 Embudo V a $T_{5\ minutos}$	Ninguno

Tabla 2: Propiedades de trabajabilidad del HAC y métodos de ensayo alternativos.

	Método	Unidad	Margen habitual de valores	
			Mínimo	Máximo
1	Flujo asentamiento por cono Abrams	mm	650	800
2	Flujo de asentamiento $T_{50\ mm}$	segundos	2	5
3	Anillo J	mm	0	10
4	Embudo V	segundos	6	12
5	Embudo V a $T_{5\ min}$	segundos	0	+3
6	Caja en L	(h_2/h_1)	0,8	1,0
7	Caja en U	(h_2-h_1) mm	0	30
8	Caja de relleno	%	90	100
9	Ensayo de estabilidad GTM	%	0	15
10	Orimet	segundos	0	5

Tabla 3: Criterios de aceptación para el hormigón autocompactable.

Si bien existen varios métodos alternativos, describiremos solamente algunos que son suficientes para evaluar las propiedades necesarias para considerar que dicho hormigón cumple con “autocompactabilidad”.[8].

2.1.1. Extendido (Slump Flow Test) y T50.

El extendido tiene por objeto evaluar la capacidad de fluir sin obstáculos. Este ensayo se debe realizar sobre una superficie lisa, nivelada y no absorbente. El mismo consiste en llenar el cono de Abrams sobre la superficie, pero a diferencia de los hormigones convencionales no se compacta. Luego de levantar el cono, se mide el diámetro alcanzado por la mezcla y el tiempo que tarda en alcanzarlo.
Al diámetro alcanzado se lo denomina extendido, y tiene una buena correlación con el valor de $\tau 0$ (tensión critica) y se

recomienda que el extendido se encuentre en el orden de los 65 ± 5 cm. En la figura 5 se muestra un extendido de 65 cm.

Figura 5: Extendido 65 cm

Como parte del extendido también se evalúa el tiempo que tarda en alcanzar los 50 cm, luego de levantado el cono. Este valor permite evaluar cualitativamente la viscosidad plástica de la mezcla, siendo recomendados valores entre 2 y 5 segundos. [5].

2.1.2. U-Box

Este ensayo permite medir la capacidad de sortear obstáculos y la deformabilidad de la mezcla. Por lo tanto, es una medida de la capacidad de llenado y de la capacidad de pasaje entre pequeñas aberturas.

El equipo tiene forma de letra U con una compuerta central con 3 barras de armadura. En la figura 6 se muestra el aspecto del equipo

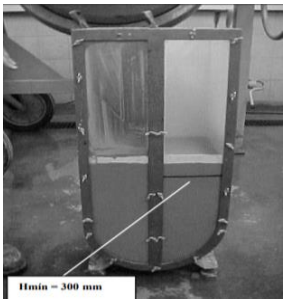


Figura 6: Ensayo U-Box

El ensayo consiste en llenar con hormigón uno de los lados mantenido cerrada la compuerta central. Luego del llenado, se levanta la compuerta ciega y el HAC debe ascender entre las armaduras por la otra mitad. Para que el ensayo se considere aceptable la altura máxima debe superar los 30 cm. La altura máxima que puede obtenerse es de 35cm [5].

2.1.3. L-Box

Es un ensayo que ayuda a observar conjuntamente la capacidad de llenado, la capacidad para sortear un obstáculo (como en el caso del U-Box Test), la resistencia a la segregación y la capacidad de autonivelación de la mezcla. El equipo se muestra en las Figuras 8.

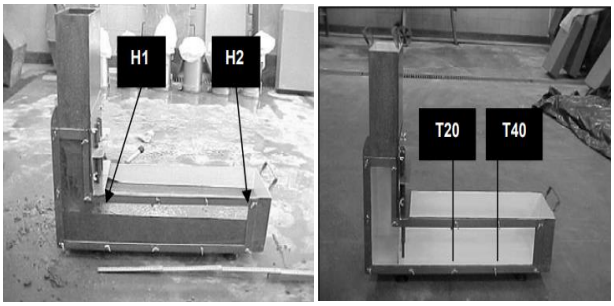


Figura 8: Ensayo L-Box

El ensayo consiste en llenar con hormigón la rama vertical del equipo, manteniendo cerrada la compuerta que la vincula con la rama horizontal. En la unión de las dos ramas, se colocan tres barras de armadura de 12 mm de diámetro con una distancia entre ellas de 34 mm. Estas barras se pueden cambiar por otras de mayor diámetro aumentando o disminuyendo la exigencia del ensayo. Luego se levanta la compuerta para dejar pasar el hormigón entre las barras de armadura.

En primer lugar, se mide la diferencia de alturas que existe en los extremos de la rema horizontal una vez que el HAC deja de fluir: la relación H2/H1 se aconseja que sea mayor a 0.80 (relación entre la altura final e inicia en la rama horizontal)

Como complemento se mide el tiempo que tarda la mezcla en alcanzar los 20 cm y 40 cm por la rama horizontal desde la compuerta de entrada (denominados T20 y T40). Ambos tiempos tienen una relación con la viscosidad plástica como en el caso del T50, aunque no existen referencias comparativas consistentes.[5].

2.1.4V-Funnel para hormigones

El ensayo consiste en llenar un contenedor metálico en forma de V con el HAC y luego medir el tiempo de descarga a través del orificio a partir de la apertura de la misma.

Sus dimensiones constan de una sección transversal superior es de 75 mm x 490 mm y la inferior de 75 mm x 65 mm. La altura es de 575 mm (425 mm + 150 mm del tramo inferior). La Figura 10 muestra el equipo para hormigones.

Figura 10: V-Funnel para hormigones.

Se debe considerar el tamaño del agregado grueso de la mezcla en relación con la abertura del equipo, ya que si es menor nos permitirá evaluar la viscosidad de la mezcla debido a la interacción y colisión entre las partículas es despreciable, sin

embargo, en caso de que los agregados sean más grandes esta interacción y colisión será dominante y el ensayo nos será útil para evaluar la capacidad de pasaje de mezcla a través de pequeñas aberturas.

2.1.5 Anillo J

El ensayo se emplea para determinar la capacidad de paso del hormigón. El equipamiento consiste en una sección rectangular de anillo de acero abierto (30 mm x 25 mm), taladrada verticalmente con agujeros para aceptar secciones roscadas de barras de armado. Estas secciones de barras pueden ser de distintos diámetros y colocarse a intervalos diferentes: de conformidad con las consideraciones de armado normal, 3 veces el tamaño máximo del árido puede ser apropiado. El diámetro del anillo de barras verticales es de 300 mm, y la altura de 100 mm, como se muestra en la Figura 11.

El anillo J puede utilizarse conjuntamente con el ensayo de flujo de asentamiento, el ensayo Orimet o incluso el embudo V. Estas combinaciones comprueban la capacidad de fluidez ***y*** (la contribución del anillo J) la capacidad de paso del hormigón. El período de Orimet y/o extensión del flujo de asiento se miden del modo habitual para valorar las características del flujo. Las barras del anillo J pueden colocarse con el espaciado que se prefiera para imponer una prueba menos severa de la capacidad de paso del hormigón. Después del ensayo, se mide la diferencia de altura entre el hormigón en el interior y justo en el exterior del anillo J. Se trata de una indicación de la capacidad de paso, o del grado en que el paso del hormigón a través de las barras se ve restringido.

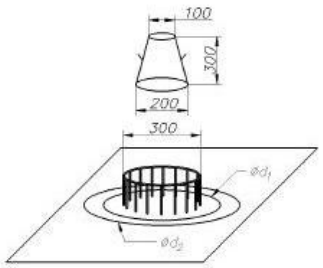


Figura 11: Anillo J utilizado juntamente con el flujo de asentamiento.

Hay que tener en cuenta que, a pesar de que estas combinaciones de ensayos miden el flujo *y* la capacidad de paso, los resultados no son independientes. El flujo medido se ve afectado por el grado en que el movimiento del hormigón está bloqueado por las barras de refuerzo. El alcance del bloqueo se ve mucho menos afectado por las características de flujo y podemos decir que, de manera clara, cuanto mayor sea la diferencia de altura, *menor* será la capacidad de paso del hormigón. El bloqueo y/o segregación también puede detectarse visualmente, con frecuencia de manera más fiable que mediante el cálculo.[8].

Nota: Los resultados del anillo J se ven influidos por el método de combinación seleccionado y los resultados obtenidos con distintas combinaciones no son comparables.

2.2. Componentes de un HAC

Los materiales componentes utilizados en los HAC son los mismos que los empleados en los hormigones de compactación convencional.

2.2.1 Áridos

Se recomienda [2] no utilizar áridos de TMN mayor a 25 mm, siendo lo más recomendable utilizar tamaños máximos comprendidos entre 12 mm y 20 m, en función de la disposición de armaduras.

En las mezclas realizadas en esta investigación se utilizó arena silícea, arena triturada y piedra 6:10

2.2.2 Cementos

La elección del tipo de cemento está sujeta muchas veces a requisitos específicos para cada aplicación o el tipo usado por el promotor, más que por requisitos específicos del HAC.

2.2.3 Aditivos

Un componente esencial del HAC son los aditivos superplastificantes o reductores de agua. Los aditivos moduladores de viscosidad se usan para ayudar a reducir la segregación y la exudación y la sensibilidad a la variación de otros constituyentes de la mezcla, especialmente para el contenido de humedad.

2.3. Dosificación

Los métodos de ensayo y la experiencia internacional muestran que hay una amplia gama de diseños que pueden producir HAC de comportamiento satisfactorio, pero en general, de acuerdo con la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH) hay una serie de parámetros a las que las mezclas deben limitarse:

a) El volumen de agregado grueso es del 30 al 34% del volumen del hormigón.
b) La relación agregado/pasta en volúmenes entre 0.8 y 1.2. Las mezclas con aditivos modificadores de viscosidad (AMV) se ubican en el rango superior.
c) El contenido de agua varía entre 160 y 180 kg7m3 para mezclas sin AMV; y hasta 200kg/m3 cuando se utiliza AMV.
d) El volumen del agregado fino es 40 a 50% del volumen del mortero sin aire.
e) El volumen mínimo de pasta (agua + cemento + adiciones minerales), excluido el aire, debe ser de 340 a 390 litros/m3.

Generalmente, los HAC presenta un contenido de material fino sensiblemente mayor que el correspondiente a un HC, reduciendo en forma notable su capacidad de exudación. Este hecho es beneficioso desde el punto de vista de su estabilidad estática (especialmente en elementos estructurales verticales), pero produce una mezcla muy susceptible a la fisuración por contracción plástica en elementos estructurales de gran superficie expuesta en relación a su volumen (losas, tableros de puentes, etc.). Por tal motivo se debe prestar especial atención a

la protección y el curado de los mismos para evitar o disminuir el riesgo de fisuración.

3. Resultados

Se realizaron algunas mezclas de carácter preliminar con los materiales disponibles (cemento CPC 40, arena silicea, piedra partida granítica de tamaño máximo 9,5 mm y aditivo superfluidificante) considerando las recomendaciones de la bibliografía consultada, donde se indican los parámetros que debe cumplir un diseño para obtener en la práctica un HAC.

Estas mezclas deberán ajustarse hasta lograr que las proporciones de los componentes sean las adecuadas y serán publicadas oportunamente.

Hasta el momento de elaboración del presente trabajo sólo se dispone del equipo para realizar el ensayo de extendido y T_{50}. Cuando se disponga de los dispositivos para realizar los ensayos de embudo en V y anillo J se podrá evaluar la aptitud de las mezclas en forma completa.

4. Conclusiones

La condición fundamental que se debe considerar en el diseño de un HAC es la de lograr su autocompactabilidad, es decir, alcanzar capacidad de relleno, capacidad de paso y resistencia a la segregación satisfactorias.

Para que un HAC tenga una adecuada autocompactabilidad deberá tener una fluidez elevada y una adecuada resistencia a la segregación. La fluidez elevada se puede lograr mediante el uso de aditivos superfluidificantes mientras que para controlar la segregación y evitar el bloqueo de las armaduras se puede utilizar un contenido elevado de material fino o polvo y emplear una cantidad de agregado grueso inferior al correspondiente a una mezcla de hormigón convencional y con un tamaño máximo menor.

Como la condición de autocompactabilidad gobierna el contenido de pasta e influye sobre la relación agua/polvo, la resistencia en estado endurecido se satisface para la mayor parte de los requerimientos estructurales.

Si bien existen numerosos ensayos propuestos para evaluar la autocompactabilidad del hormigón, se considera conveniente, por facilidad de ejecución y costo de los equipos, aplicar los ensayos de extendido y T_{50}, embudo en V y anillo J para controlar las propiedades de los HAC en estado fresco.

Referencias

[1] Billberg, Peter. *"Self Compactingconcrete for civil engineering structures- The Swedish esperienc*e "Rapport Report. 1999

[2] Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE 08) *Anejo 17: Recomendaciones para la utilización del hormigón autocompactante.* Artículo 17. Edición 2008

[3] The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use.* Annexed C. Edition 2005

[4] American Concrete Institute237-07 *Self-Consolidating Concrete* Chapter 4. First Edition 2007.

[5] Fava C., Hormigón Autocompactante. Desarrollo y Caracterización., Tesis de Magister en Tecnología y Construcciones de Hormigón, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, 2003.

[6] Khayat: "Workability, Testing and performance of Self Compacting Concrete". ACI Materials Journal, Mayo-Junio, 1999, pp. 346-353. .

[7] ANAFH: "Directrices europeas HAC" Febrero, 2006.

[8] European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete (ENFARC): "Especificaciones y directrices para HAC". Febrero 2002.

EMPLEO DE “DESGOMADO DE SOJA” EN EL MEJORADO DE VIAS NO PAVIMENTADAS EN LA CIUDAD DE AMERICA (MUNICIPIO DE RIVADAVIA – BS. AS.)

Becaria: A. Porro.
LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina. anaelarp@gmail.com

Director: J. Rivera
LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina. jrivera@frlp.utn.edu.ar

Área: Gestión y Diseño Vial.
PID Asociado: “Empleo de residuos y materiales subvalorados en capas viales”. (PID interno del área)

Resumen
La presente tesis consiste en el estudio de un residuo aceitoso denominado “Desgomado de Soja” aplicado en un suelo arenoso, con la finalidad de obtener mejoras desde el punto de vista vial. Se plantearon tres tipos de procedimientos a través de los cuales se pudo analizar si la aplicación del residuo aportaba aptitudes estabilizantes, impermeabilizantes y/o como paliativo de polvo.

Palabras clave: Ingeniería Vial, Desgomado de Soja, Mejorado de Vías, Suelos arenosos.

1. Introducción

El Municipio de Rivadavia (Provincia de Buenos Aires, Argentina) tiene acceso sin costos a un residuo del proceso de obtención del aceite de soja, comúnmente denominado “desgomado de soja”. Este material se ha utilizado en experiencias piloto en el mejorado de vías no pavimentadas de su red vial. Se procede a estudiar desde un punto de vista técnico las implicancias viales y potencialidades de esta práctica y se vuelcan en la presente tesis los análisis realizados.

2. Materiales y procedimientos

2.1. Materiales

- “Desgomado de soja”: se obtiene en la planta de la empresa América Pampa SA (Figura 1), en la cual se efectúa la extracción del aceite de soja. Durante una visita a dicha planta, personal del LEMaC realiza la toma de una muestra representativa de dicho material (Figura 2).
- Suelo arenoso: el suelo natural a ser tratado es de tipo arenoso y responde a la tipología típica de suelos naturales del oeste de la Provincia de Buenos Aires. Se trata de un suelo tipo A-2, de acuerdo a la Clasificación HRB [1].

Figura 1. Planta de extracción de aceite de soja.

Figura 2. Muestra de desgomado de soja en el laboratorio.

2.2. Procedimientos

El Municipio utiliza en el mejorado de las vías de suelo arenoso la incorporación del desgomado de soja diluido en agua, distribuido mediante una barra regadora montada debajo de una cisterna (Figura 3). El grado de dilución empleado es el mínimo que el Municipio ha determinado en obra, que permite su mezclado y distribución. Se trata de una mezcla en volumen de 40% de desgomado con 60% de agua. La dotación empleada ha sido determinada de manera empírica: 11,4 g de desgomado de soja por cada 1.000 g de suelo seco a ser tratado, denominada a los efectos de esta tesis como Dosis Oficial.

Figura 3. Distribución en obra del desgomado de soja diluido.

2. 1. Experimental

Una manera de evaluar la respuesta estructural vial de tratamientos como el de referencia, es mediante el ensayo de Valor Soporte Relativo (VSR). Este ensayo en su versión de "embebido por 96 horas" [2] permite establecer la respuesta estructural mínima a ser registrada por un material de estas características en la situación de saturación de la capa y el Hinchamiento (H_{inch}) registrado desde la Humedad Optima ($H_{ópt}$) del material hasta la Humedad de Saturación (H_{sat}) del ensayo. Es decir, que se trata de un análisis que se pone del lado de la seguridad en cuanto a la cuantificación de esta respuesta estructural. Las probetas a ser ensayadas para la obtención del *VSR* y el H_{inch} pueden ser moldeadas de diversas maneras, una de las más habituales en suelos finos (y que es la que se toma de referencia) es cuando el moldeo se efectúa de manera estática a la $H_{ópt}$ y el 100 % de la Densidad Seca Máxima ($D_{smáx}$), obtenidas con el Ensayo Proctor correspondiente (en este caso se ha decidido sea del Tipo I [3]). Como un detalle importante adicional, cabe señalar una adaptación de procedimientos que se ha decidido utilizar para este estudio en particular. La misma implica que las probetas moldeadas de acuerdo a lo señalado, es decir a la $H_{ópt}$ correspondiente, se las somete a un curado de 24 horas en estufa a 60°C, para permitir que se produzca luego el efecto de impermeabilización. Este efecto se presume se da en obra por la incorporación del desgomado de soja. El curado en laboratorio descripto, simula el que se registraría luego de 14 días en obra, ante situaciones climáticas normales y sin tránsito en exceso.

Como un primer paso en el estudio, se varía el contenido de desgomado de soja utilizado, para observar si un valor mayor puede llevar a mayores aptitudes viales. De este modo, se analizan tres Situaciones:

- Suelo arenoso solo (denominada A)
- Suelo arenoso más desgomado de soja en la Dosis Oficial (denominada A+D)
- Suelo arenoso más desgomado de soja en el doble de la Dosis Oficial (denominada A+D x 2)

Para las tres Situaciones se efectuaron Ensayos Proctor Tipo I, obteniéndose valores similares en cuanto a $D_{smáx}$ y $H_{ópt}$, por lo cual se decide tomar los valores promedios de referencia que se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores Proctor de Referencia.

Situación	$D_{smáx}$ (g/cm^3)	$H_{ópt}$ (%)
A A+D A+D x 2	1,807	11,0

Se procede, luego, a efectuar para las tres situaciones el ensayo de Valor Soporte Relativo. Dado que los resultados obtenidos fueron relativamente coincidentes, se deduce que de existir un efecto impermeabilizante aportado por el desgomado de soja, el embebido de 96 horas hasta la saturación lo contrarresta. Es necesario, por lo tanto, analizar si existe para esta tipología de suelo un estado intermedio, en el cual se ponga en evidencia un grado de impermeabilidad aportado por el desgomado de soja, aunque menor al exigible para evitar la saturación de la capa. Para ello, se moldean probetas de acuerdo al procedimiento ya descripto sobre las cuales, una vez curadas, se vierten 1.000 cm^3 de agua que se deja que drenen hacia la estructura durante 3 horas.

Se continuó el estudio en la búsqueda de otro tipo de aporte cuantificable para esta tipología de suelo. Para conducir este análisis se recurre al moldeo de probetas a la $D_{smáx}$ y la $H_{ópt}$ ya establecidas, y de acuerdo al Procedimiento LEMaC-B05/15 [4]. Estas probetas son luego totalmente sumergidas, estableciéndose de manera visual, y a partir del cronometrado de la experiencia, el grado de deterioro que registran en función del tiempo.

Finalmente, se decide también analizar el potencial de empleo del desgomado de soja, en esta tipología de suelo, como un producto paliativo de polvo. Para ello se efectúa con las tres Situaciones ya descriptas el análisis mediante el Procedimiento LEMaC-B04/13 [5]. Mediante este procedimiento se erosionan las probetas moldeadas mediante un flujo forzado de arena monogranular, durante un cierto lapso de tiempo.

3. Resultados

- Resultados de Valor Soporte Relativo:

Tabla 2. Resultados e Valor Soporte Relativo.

Situación	*VSR* (%)	H_{inch} (%)
A	16	0,08
A+D	18	0,08
A+D x 2	18	0,10

Al ensayar las probetas con el proceso de curado, se vuelven a registrar resultados de *VSR* similares a los obtenidos en la experiencia original. A partir de esta nueva prueba, queda ratificado que para la tipología de suelo arenoso no es probable utilizar el desgomado de soja como un producto "estabilizante", de acuerdo a lo que convencionalmente se considera para los mismos.

- Empleo como impermeabilizante - Resultados del deterioro en función del tiempo:
  A través de este procedimiento se logra establecer el disgregado total de la probeta de la "Situación A" (Figura 4) antes de los 10 minutos de sumergida, mientras que en el mismo lapso las probetas de la "Situación A+D" (Figura 5) y "Situación A+D x 2" (Figura 6) sólo registran una leve disminución de su resistencia a la desintegración. La experiencia permite arribar a una serie de conclusiones desde el punto de vista vial.

Figura 4. Probeta luego de 10 minutos sumergida Situación A.

Figura 5. Probeta luego de 10 minutos sumergida Situación A+D.

Figura 6. Probeta luego de 10 minutos sumergida Situación A+D x 2.

- Empleo como paliativo de polvo - resultados del procedimiento de erosión (Figura 7):

Tabla 3. Resultados de pérdida por erosión.

Situación	Pérdida por Erosión (g)
A	26,8
A+D	10,9
A+D x 2	11,0

Figura 7. Probetas luego del ensayo, de inq. A der.: "A", "A+D" y "A+D x2"

4. Conclusiones

Los análisis efectuados permiten arribar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Para los suelos arenosos, el aporte de desgomado de soja no puede considerarse como un "estabilizante", de acuerdo a lo que convencionalmente se entiende en tal sentido, pues ante la saturación de la capa no se registra un incremento del aporte estructural por su empleo.
- Sí, en cambio, puede establecerse que aporta un grado al menos de impermeabilización que puede justificar su uso, desde el punto de vista vial, en políticas periódicas de conservación de vías mejoradas. Esto se debe a que al dotar la capa de un grado de resistencia a la desintegración, puede deducirse que se reduce la posibilidad de erosión y deformación de la misma, cuando se toman los recaudos necesarios.

- En tal sentido, la Dosis Oficial parece ser suficiente, pues los resultados obtenidos con ésta son similares a los que se obtienen duplicándola.
- Los recaudos enunciados que se recomiendan es el utilizar pendientes transversales en el perfilado de las vías mejoradas de al menos el 2 %, con adecuados drenajes laterales. Además, tratar al menos los 10 cm superficiales con el desgomado de soja (incorporando las mejoras en el mezclado ya citadas para la tipología anterior), con riegos en la Dosis Oficial con una recurrencia de entre 3 a 6 meses; la cual debe ser ajustada de acuerdo a la experiencia en obra.
- Se observa también que el desgomado de soja posee un efecto relativo como paliativo de polvo; razón por la cual se puede considerar un aporte adicional al mencionado en su empleo en tareas de conservación sobre este tipo de suelos. Para obtener resultados en relación a este efecto, también es suficiente con el empleo de la Dosis Oficial; pues al duplicar la misma no se registró disminución en la pérdida por erosión.

Referencias

[1] Clasificación de suelos según normas VN-E1, VN-E2 y VN-E3.
[2] Determinación del Valor Soporte Relativo e hinchamiento de suelos según norma VN-E6.
[3] Compactación de suelos según norma VN-E5.
[4] LEMaC-B05/15 - "Guía de metodologías y procedimientos para uso vial desarrolladas en el LEMaC - Edición 2019" (ISBN 978-987-4998-27-9). Puede consultarse en http://ria.utn.edu.ar/handle/123456789/4092
[5] LEMaC-B04/13 - "Guía de metodologías y procedimientos para uso vial desarrolladas en el LEMaC (Edición 2019)".

VN-E: Normas de ensayo. Dirección Nacional de Vialidad. (1998)

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS FINOS RECICLADOS Y SU VINCULACIÓN CON EL HORMIGÓN DE ORIGEN

Becario/s; C. Altamira
LEMaC, Berisso, Argentina. candela_altamira@hotmail.com

Director/res; M.E. Sosa
LEMaC-CITEMA, Universidad Tecnológica Nacional, CONICET, La Plata, Argentina.
ingmesosa@gmail.com

Área: Hormigones. **PID Asociado: "**Gestión y Valorización de residuos de construcción y demolición". Código: ECUTILP0005156TC.

Resumen

El empleo de agregados finos reciclados (AFR) en la elaboración de hormigones es una temática en auge debido a la necesidad de encontrar variantes sustentables a la extracción de arenas naturales. En la actualidad una gran cantidad de bibliografía con resultados contradictorios puede encontrarse respecto a la influencia de los AFR en distintas propiedades de los hormigones con ellos elaborados. Sin embargo, son escasos los estudios que contemplan una caracterización integral de este tipo de agregados, como así también la vinculación entre las propiedades de los hormigones del cual son obtenidos los AFR. Es posible que las propiedades del hormigón de origen determinen la calidad del AFR obtenido luego de la trituración. En este estudio se realizó la caracterización de AFR obtenidos de la trituración de hormigones de características conocidas con el fin de determinar las principales variables que determinan la calidad de los AFR. De los resultados obtenidos surge que los test de ensayos comúnmente utilizados para caracterizar los agregados naturales no resultan sensibles a la calidad del hormigón de origen, en tanto que la durabilidad frente al ataque por sulfatos resulta un buen indicador de dicha calidad.

Palabras clave: hormigón de desecho, agregados reciclados, caracterización de agregados

1. Introducción

Hace décadas que los residuos de construcción y demolición (RCD) y su posible utilización como materia prima están siendo estudiados con el fin de obtener beneficios económicos y ambientales.

Un caso particular de RCD lo constituyen los agregados reciclados (AR) que provienen de la trituración de hormigones de desecho. Mediante un proceso de trituración de este residuo se obtienen dos fracciones; gruesa y fina dependiendo si su tamaño es mayos o no de 4,75mm.

En particular la fracción gruesa de los agregados reciclados (AGR) tiene una larga tradición de utilización en la elaboración de nuevos hormigones en países con políticas ambientales serias. En nuestro país, la norma IRAM 1531 contempla el empleo de hasta un 20% del AGR para producir hormigones. En la Tabla 1 se presenta a modo de ejemplo los países que contemplan la utilización de dicho agregado, así como las tasas de reciclaje de los mismos (cuando dicha información se encuentra disponible). Su utilización como agregado aporta importantes ventajas ambientales, ya que disminuye la cantidad de residuo vertido, así como también la demanda de agregados naturales que actualmente se encuentran agotándose en zonas con una larga tradición en su explotación.

En la mayoría de los casos enumerados en la Tabla 1 se contempla sólo la utilización de la fracción gruesa del AR. Descartándose la fracción fina debido a que se considera que su mayor contenido de polvo y pasta adherida pueden ser perjudiciales para las propiedades del hormigón [1-3].

Tabla 1. Paises que permiten la utilización de AR

País	% que permite reemplazar	Resistencia máxima del hormigón en el que serán empleados (MPa)	Limitaciones
Brasil	100%	15	Hormigón no estructural
Dinamarca	20	20	Hormigón emplazado en ambientes no agresivos
Holanda	100	25	---
Japón	100	18	Hormigón de cimientos
Rusia	50	15	Hormigón no pretensado
Suiza	100	--	Hormigón no pretensado
Brasil	100	15	Hormigón no estructural
Argentina	20	40	Hormigón no pretensado

Sin embargo, la extracción indiscriminada de arenas naturales y el gran impacto ambiental asociado a esta práctica ha conllevado a que en los últimos años un gran número de estudios se enfoquen en la posible utilización de la fracción fina de los agregados reciclados (AFR).

Para evaluar la calidad de los AFR no se dispone de ensayos específicos que contemplen las particularidades de los mismos, sino que se utilizan los mismos ensayos

habitualmente utilizados para caracterizar los agregados finos naturales (AFN) y se realizan estudios complementarios a fin de determinar el contenido de pasta.
Los AFR presentan en su composición contenidos variables de pasta de cemento hidratada. Dicha pasta es responsable de la menor densidad y durabilidad y la mayor absorción de estos agregados en comparación con los agregados finos naturales [1-3]. Es posible que la calidad y contenido de la pasta determinen las propiedades de los AFR y consecuentemente la influencia que los mismos ejercen sobre distintas propiedades de los hormigones en los que son empleados. A pesar que una gran cantidad de estudios señalan que las propiedades del hormigón que da origen a los AFR determina la calidad de los mismos [4-5], son escasos los estudios que vinculan dichas propiedades con propiedades de los AFR.
El objetivo de este trabajo es vincular las propiedades de distintos AFR con las propiedades de los hormigones de los cuales fueron obtenidos a fin de determinar las principales variables que definen la calidad de los AFR y los métodos más adecuados para establecer comparativamente la calidad de los mismos.

2. Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se trituraron 6 hormigones de propiedades conocidas. El proceso de trituración consistió en una primera trituración mediante una trituradora de mandíbulas cuyo tamaño de apertura fue de 3 pulgadas. El agregado obtenido fue separado en las fracciones gruesa y fina mediante un tamiz de abertura de malla de 4,75 mm. Los agregados retenidos en dicha malla se volvieron a triturar mediante una trituradora de mandíbulas secundaria (la cual produce un agregado de tamaño máximo de 38 mm). Posteriormente se procedió a la separación de la fracción menor a 4,75 mm y la fracción mayor a dicho tamaño fue nuevamente sometida a trituración mediante la trituradora secundaria. Los AR de tamaño nominal 0-4,75 mm obtenidos del proceso de trituración antes mencionado fueron homogeneizados constituyéndose así los AFR utilizados en el presente trabajo de tesis.
A cada uno de estos agregados se los caracterizó mediante los ensayos comúnmente utilizados en los agregados finos naturales. Los ensayos realizados fueron distribución de tamaños de partícula (IRAM 1505), densidad y absorción de agua (IRAM 1520), partículas menores a 75 µm (IRAM 1540), durabilidad frente al ataque por sulfato de sodio (IRAM 1525). Complementariamente se determinó el contenido de pasta (ASTM 1084) en cada AFR.

2. 1. Experimental

Las propiedades de los hormigones que fueron triturados para la obtención de los AFR se presentan en la Tabla 2. Entre las variables bajo estudios se encuentran la resistencia a compresión (f´c), la velocidad de succión capilar, la absorción de agua y la mineralogía del agregado grueso utilizado. Dichas propiedades son habitualmente utilizadas para describir la calidad de los hormigones frente a solicitaciones mecánicas y durables.
La nomenclatura utilizada para los hormigones se compone de dos letras y un número. La primera hace referencia al tipo de cemento utilizado siendo N: cemento Portland normal, B: Cemento Portland blanco, C: cemento Portland compuesto. La letra a continuación refiere a la mineralogía del agregado utilizado, siendo Q para el agregado cuartico y G para el agregado granítico. El número, en tanto refiere al nivel resistente del hormigón.
La nomenclatura utilizada para cada AFR es idéntica a la utilizada en los hormigones precedida por la letra R.
En la presentación de resultados, cada valor informado corresponde al promedio de al menos 3 determinaciones.

Tabla 2. Propiedades de los hormigones que dan origen a los AFR

Hormigón	f´c (MPa)	Velocidad de succión capilar ($g/m^2s^{1/2}$)	Absorción (%)	AFR obtenido
NG45	48,7	2.19	2,91	RNG45
BG45	45,5	2.83	3,47	RBG45
CQ25	25,9	11,9	7,15	RCQ25
CQ35	34,6	3,6	5,30	RCQ35
CG30	28,6	10,1	5,43	RCG30
CG35	35,0	2,3	4,14	RCG35

3. Resultados

En la figura 1 se presentan las granulometrías de los diferentes AFR bajo estudio.

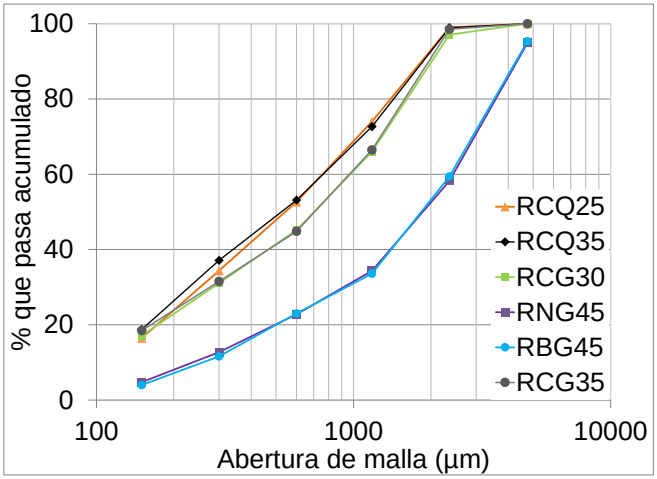


Figura 1. Granulometría de los AFR.

Los agregados CQ y CG presentan similares curvas granulométricas, en tanto que los NG y BG se presentan similares curvas entre sí con notables diferencias con el grupo anterior. Si bien la misma apertura fue utilizada en el proceso de trituración, las mandíbulas fueron cambiadas para esta última trituración por motivos operativos. Es posible que las diferencias observadas respondan a este hecho.
En la Figura 2 se presentan los resultados del material que pasa el tamiz de 75 µm. Se observa que frente a un mismo tipo de agregado grueso en el hormigón de origen aquellos AFR que provienen de hormigones con nivel resistente mayor presentan menor contenido de material que pasa el tamiz N° 200. Ello puede deberse a una mejor calidad del

mortero presente en el AFR y consecuentemente durante el proceso de trituración se desintegra en menor proporción.

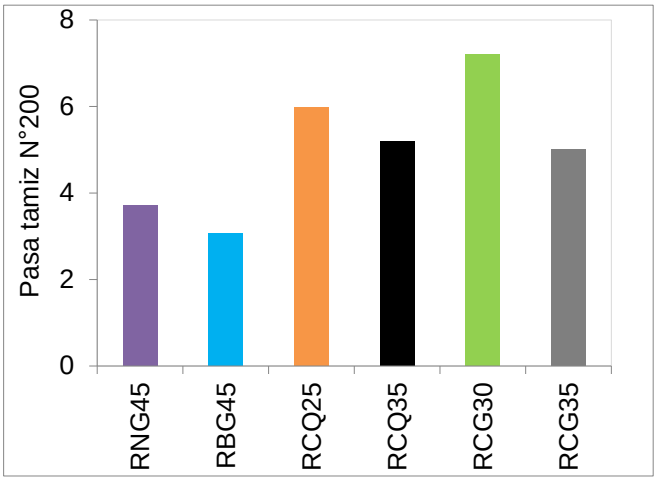


Figura 2. Contenido de material menor a 75 µm.

En la figura 3 se presentan los resultados de contenido de densidad de pasta de los AFR. El contenido de pasta es indicado en la bibliografía como el principal responsable de la menor calidad de los AFR frente a los agregados finos naturales. En los resultados obtenidos al evaluar dicha propiedad en diferentes AFR no se observa una tendencia definida, presentando los AFR un similar contenido de pasta.

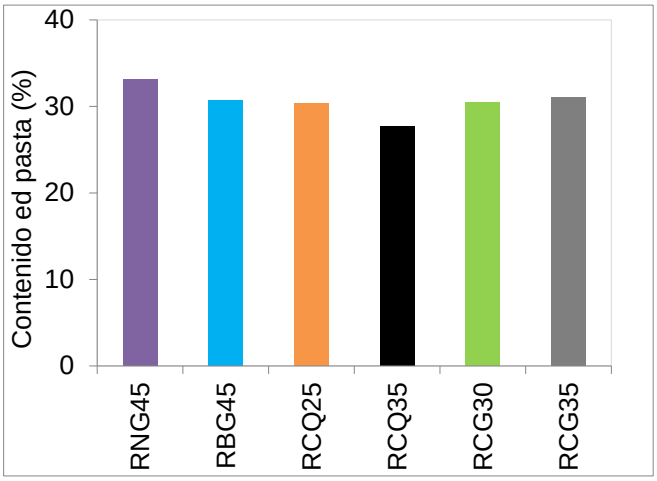


Figura 3. Contenido de pasta de los AFR.

En la Figura 4 se presenta la absorción de agua y la densidad de los AFR bajo estudio. Los AFR bajo estudio no presentan una relación inversa entra la absorción de agua y la densidad tal como resultaría esperable. La falta de dicha correlación podría deberse a las limitaciones del método utilizado para la determinación de la absorción de agua [6].

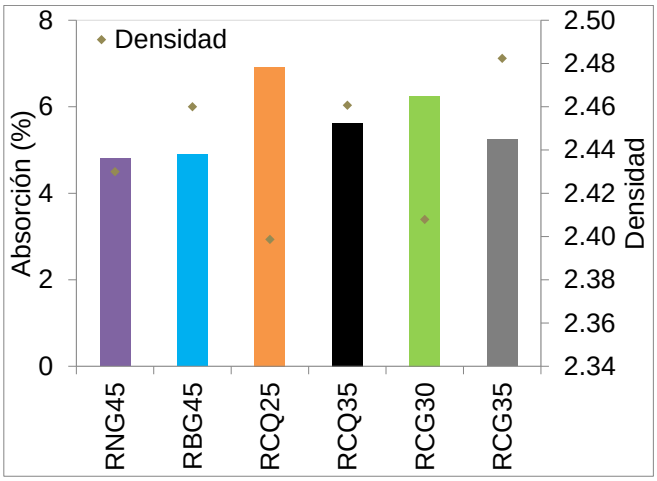


Figura 4. Densidad y absorción de los AFR.

En la Figura 5 se presenta la durabilidad frente al ataque por sulfato de los AFR. Dicho ensayo resulta útil para evaluar la calidad de los AFN, debido a la reducción de tamaños que se produce en las partículas de agregado producto de la cristalización del sulfato. Sin embargo, en los AFR es posible que tal cristalización se produzca en la zona de interfaz del AFN y la pasta de cemento adherida, sin provocar la destrucción de la pasta. Consecuentemente los resultados obtenidos en dicho ensayo superan significativamente el límite reglamentario (12%). No obstante, debe mencionarse que al ser empleados en hormigones difícilmente el comportamiento de los AFR resulte tan deficiente por cuanto el acceso a dicha zona de interfaz resulta mucho más tortuoso.

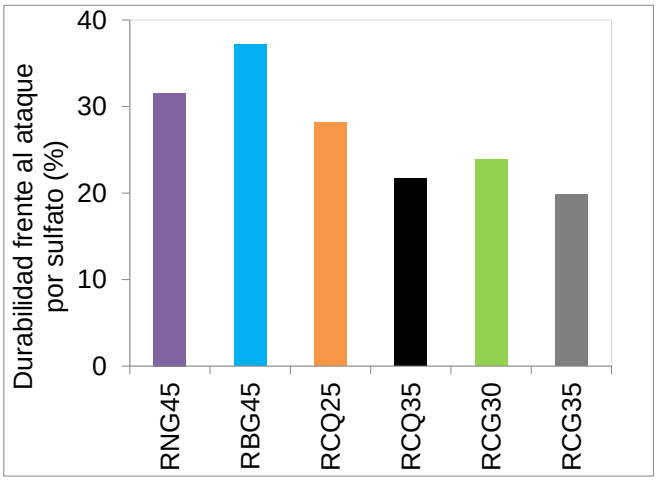


Figura 5. Durabilidad frente al ataque por sulfato de sodio de los AFR.

En La Figura 6 se presenta la vinculación de las propiedades de los AFR con la resistencia a compresión de los hormigones de origen. La resistencia a compresión del hormigón del cual se obtienen los AFR ha sido señalada como la principal propiedad que determina su calidad. Sin embargo, en los estudios realizados las propiedades de los AFR no presentan una relación directa con la mencionada propiedad.

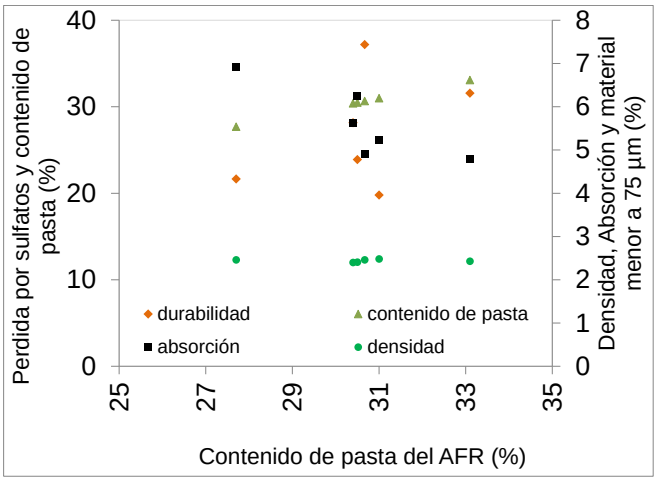


Figura 6. Relación entre el contenido de pasta y las propiedades de los AFR.

En la Figura 7 se presenta la vinculación de las propiedades de los AFR con la velocidad de succión capilar del hormigón de origen. Tal propiedad resulta de utilidad para comparar las propiedades durables del hormigón. Una mayor velocidad de succión en los hormigones supone una mayor porosidad frente a un tamaño de poros determinado. Una mayor porosidad del hormigón se refleja en un mayor contenido de poros en el mortero que compone los AFR y consecuentemente una menor calidad es esperable. Sin embargo, al igual que en el caso de la resistencia a compresión no se observa una vinculación directa entre la propiedad en estudio y las características de los AFR.

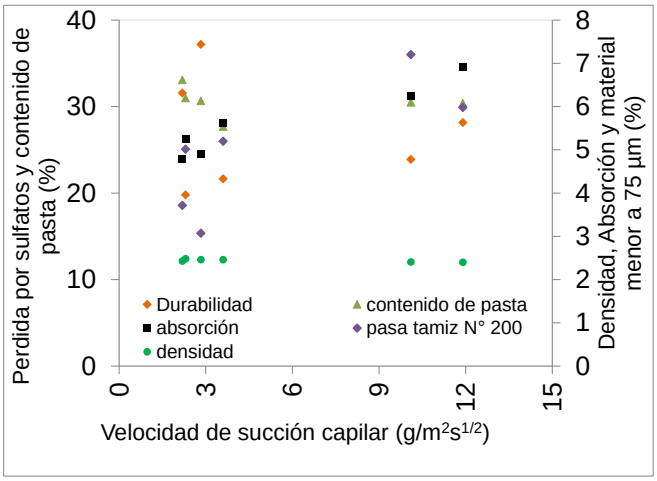


Figura 7. Relación entre la velocidad de succión capilar del hormigón de origen y las propiedades de los AFR.

En la Figura 8 se presenta la vinculación absorción de agua de los hormigones de origen y distintas propiedades de los AFR. La absorción de agua otorga información acerca de la porosidad accesible del hormigón y consecuentemente es un parámetro frente a la durabilidad del mismo. Solo la absorción de agua de los AFR presenta una tendencia incremental conforme el incremento en dicha propiedad en los hormigones.

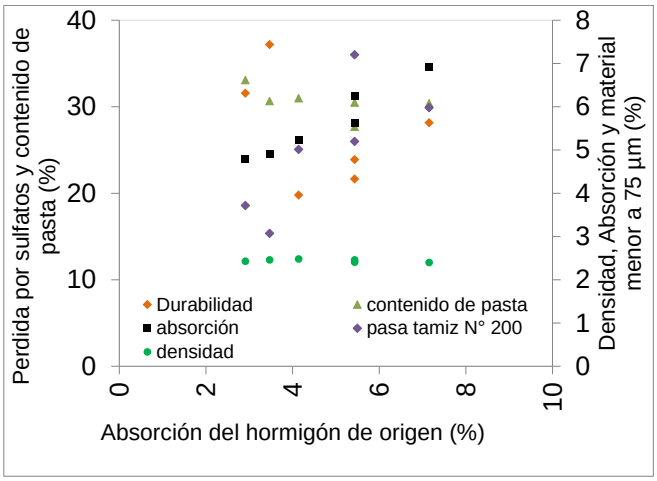


Figura 8. Relación entre la absorción del hormigón de origen y las propiedades de los AFR.

4. Discusión

Los AFR presentan como principal distinción frente a los AFN la presencia de pasta de cemento hidratada en proporciones variables en su composición. Producto de ello existirá una zona de interfaz entre dicha pasta y el AFN. A pesar de la mencionada particularidad no existen métodos de ensayos particulares para el AFR que permitan evaluar la calidad del mismo. En este estudio, al igual que en la literatura sobre la temática los métodos normalizados para la evaluación de AFN fueron utilizados. Los resultados obtenidos en las distintas propiedades evaluadas no resultaron en diferencias tales que permitan a priori establecer la calidad de cada AFR en estudio.

La resistencia a compresión del hormigón del cual se obtienen los AFR es señalada en la literatura como la determinante de las propiedades de los AFR [1-3, 7-8]. Un hecho relevante de los resultados obtenidos es que no pudo comprobarse una relación directa entre las propiedades de los AFR y la resistencia a compresión del hormigón de origen de los AFR. Es posible que la falta de tal tendencia sea producto de que otras variables tales como el proporcionamientos de tal hormigón tengan una relevancia mayor en la calidad de los AFR que la que actualmente se conoce.

5. Conclusiones

De los resultados obtenidos en este trabajo al estudiar la influencia de las propiedades de los hormigones de los que se obtienen los AFR las siguientes conclusiones pueden ser señaladas:

Los métodos utilizados para la caracterización de los AFR no permiten establecer a priori diferencias en la calidad de los mismos. Métodos específicos de caracterización de estos agregados resultan necesarios a fin de promover su utilización en hormigones.

En la bibliográfica sobre la temática se señala que las propiedades de los AFR asi como su calidad quedan determinadas por las propiedades del hormigón del cual se obtienen, señalando la resistencia a compresión como la más importante. Los resultados obtenidos en este trabajo

demuestran que tales propiedades no resultan suficientes a fin de establecer la calidad de los AFR.

Referencias

[1] Ravindrarajah, S.R., Tam, T.C. (1985). Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate. Magazine of Concrete Research.130 (37), 29-38.
Ulsen, C, Kahn, H,, Hawlitschek, G. Masini, E.A., Angulo, S.C. (2012). Separability studies of construction and demolition waste recycled sand. Waste Management. 33 (3), 656-662.
[2] Evangelista, L., de Brito, J. (2004). Criteria for the use of fine recycled concrete aggregates in concrete production. In: Vázquez, E., Hendriks, C.F., Jansen, G.M.T. (Eds.), Proc. Int. RILEM Conference: The Use of Recycled Materials in Building and Structures, RILEM. 503-510. Barcelona, Spain.
[3] Ulsen, C, Kahn, H., Hawlitschek, G. Masini, E.A., Angulo, S.C. (2013). Production of recycled sand from construction and demolition waste. Construction and Building Materials. 40, 1168– 1173.
[4] Zhao, Z., Remond, R., Daminot, D., Xu, W. (2013). Influence of hardened cement paste content on the water absorption of fine recycled concrete aggregates. Journal on Sustainable Cement-Based Materials. 2 (3), 186-203.
[5] Evangelista, L., Guedes, M., de Brito, j., Ferro, A.C., Pereira, M.F. (2015). Physical, Chemical and Mineralogical Properties of Fine Recycled Aggregates Made from Concrete Waste. Construction and Building Materials. 86, 178-188.
[6] Carrizo, L., Sosa, M.E., Zega, C.J., Villagrán Zaccardi, Y.A. (2016). Determinación efectiva del estado saturado a superficie seca en arenas de trituración. En 21º Reunión Técnica de la AATH. 415-422 Salta, Argentina.
[7] Zega, C.J., Di Maio (2006). Comportamiento de Hormigones Elaborados con Agregado Fino Reciclado. 16° Reunión Técnica de la AATH. 415-422. Mendoza, Argentina.
[8] Zega, C.J. (2010). Propiedades Físico-Mecánicas y Durables de Hormigones Reciclados. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Argentina. 166p.

TRACCION INDIRECTA

Becario: Sr. Nicolás Ezequiel Gullino
LEMaC, Centro de Investigaciones Viales, UTN FRLP, Av. 60 y 124, La Plata, Buenos Aires, Argentina. nicolasgullino97@gmail.com

Director: Ing. Enrique Fensel
LEMaC, Centro de Investigaciones Viales, UTN FRLP, Av. 60 y 124, La Plata, Buenos Aires, Argentina. efensel@utn.edu.ar

Área: Tecnología de los Pavimentos Flexibles. **PID Asociado: "**Utilización de diferentes Polímeros como modificadores de Cementos Asfálticos y su incidencia en el desempeño de Mezclas Asfálticas Densas y Semidensas". Código: TVIFILP0004366TC

Resumen
El presente trabajo de investigación se ha centrado en la comparación de las resistencias valoradas a Tracción Indirecta de probetas Marshall y testigos extraídos sobre probetas moldeadas para el ensayo de Wheel Tracking Test (WTT), teniendo en cuenta los distintos métodos de compactación que se utilizan en ambos tipos de probetas, tratando de correlacionar estos valores con experiencias previas realizadas por colegas del LEMaC.

Palabras clave: Tracción Indirecta, Compactación, WTT.

1. Introducción

Las mezclas asfálticas cuando se encuentran en operación sufren un deterioro debido al paso de cargas y a los agentes climáticos. Por ello es necesario conocer los parámetros que caracterizan a las mezclas con las cuales trabajamos, para definir sus propiedades mecánicas y límites de fallas.

El ensayo ideal sería aquel que fuera capaz de inducir un estado tensional similar al que se produce en la realidad. Roque y Buttlar esquematizan en la Figura 1, el estado de tensiones provocado por una carga simple en la estructura de un pavimento donde se distinguen cuatro casos:
Caso 1: Compresión triaxial en la superficie inmediata bajo la rueda.
Caso 2: Tracción longitudinal y transversal combinada con compresión vertical en la parte inferior de la capa bajo la rueda.
Caso 3: Tracción longitudinal o transversal en la superficie a una cierta distancia de la carga.
Caso 4: Compresión longitudinal o transversal en el fondo de la capa bituminosa a una cierta distancia de la carga

Existen ensayos que representan cada uno de estos estados tensionales, pero no hay ninguno que represente los cuatro a la vez. De todas maneras no es necesario representar los cuatro, ya que la experiencia determina que la zona más crítica de tensiones de tracción se produce en la fibra inferior de la capa asfáltica bajo la carga aplicada.

El ensayo de tracción indirecta reproduce el estado de tensión de tracción crítica en la fibra inferior de la capa asfáltica. Además, se destaca por ser un método simple y representativo, que permite caracterizar las propiedades de la mezcla, imitando la respuesta de un pavimento flexible y evaluando la carga máxima que soporta la capa de mezcla asfáltica antes de romper por las tensiones de tracción.

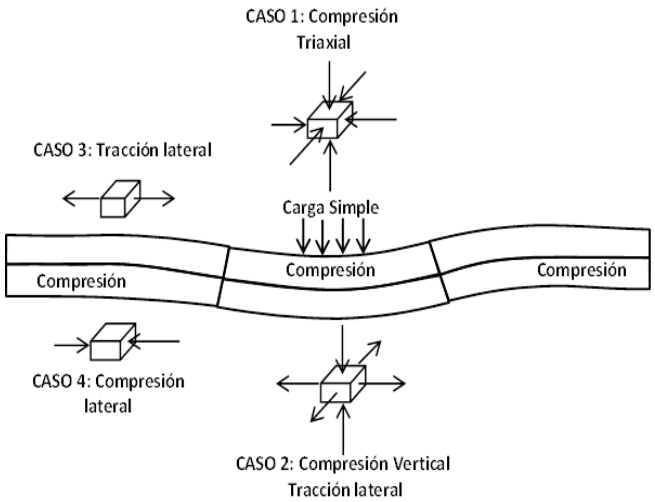


Figura 1. Esquema de Tensiones

2. Normas

Existen diferentes normas, que recurren a valorar la tracción indirecta, utilizan este ensayo para evaluar otras características de la mezcla, como por ejemplo la sensibilidad al agua de una mezcla. Algunas de las normas existentes son: UNE-EN 12697-23/04 (Determinación de la resistencia a la tracción indirecta de probetas bituminosas), UNE EN 12697-12 (Determinación de la sensibilidad al agua de las probetas de mezcla bituminosa), NLT 346/90 (Resistencia a compresión diametral de mezclas asfálticas, "ensayo brasileño"), AASHTO T 283-89 (Resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla bituminosa

compactada para SuperPave), ASTM D4867 (Efecto de la Humedad en Mezclas Asfálticas para Pavimentación).
El trabajo realizado ha seguido los lineamientos indicados por la norma UNE-EN 12697-23/04.

2. 1. Equipamiento y Acondicionamiento

2. 1.1. Aparatos de ensayo
a) Prensa: Prensa de ensayo tipo Marshall, que tenga una capacidad mínima recomendada de 28 kN y que permita la aplicación de cargas sobre las probetas de ensayo a una velocidad de deformación constante de (50±2) mm/min, después de un período de tiempo transitorio inferior al 20% del tiempo de carga. La velocidad de deformación se debe mantener. Es importante tener que cuenta que para ensayos a baja temperatura (5°C), probablemente la prensa anterior nombrada no permita obtener una carga suficiente, y se necesite una prensa Marshall de 40 kN, u otros tipos más potentes. La utilizada en los ensayos de este trabajo es una prensa automática de
b) Bastidor de ensayo (Figura 2): Bastidor de ensayo equipado con bandas de carga de acero templado, que dispongan de una superficie cóncava con un radio de curvatura que se corresponda con el radio nominal de la probeta. La anchura de la banda de carga es de 12,7±0,2 (mm) para probetas de diámetro 100±3 (mm).

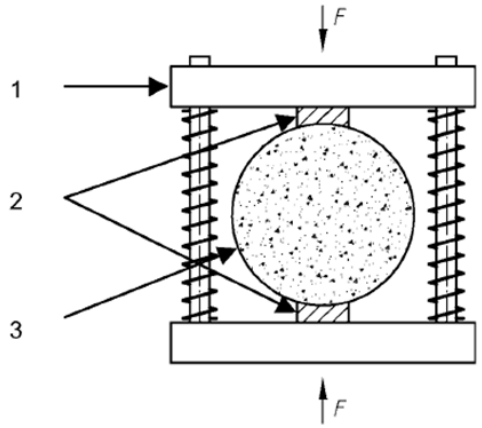


Figura 2. Bastidor

1. Bastidor.
2. Bandas de carga.
3. Probeta.

c) Aparato de medida: La prensa automática nos indica la carga registrada a través de un display, como así también la deformación vertical, proporcionada por dos LVDT.

2.1.2. Preparación de las probetas
Para cada muestra a ensayar, se deben tener al menos tres probetas. Deben ser visualmente examinadas para asegurar que son simétricas y la superficie curva es regular. Además, deben ser medidas, tanto su altura como su diámetro, de acuerdo con la norma EN 12697-29.

2.1.3. Acondicionamiento térmico.
Para obtener una línea de rotura "correcta" a tracción indirecta, la norma recomienda una temperatura de ensayo de 5°C±2ºC. Las probetas han sido almacenadas a dicha temperatura, en cámara de aire, por al menos dos horas.

2.2. Procedimiento de ensayo
Se toma la probeta acondicionada y se la coloca en el bastidor de ensayo. La máquina de ensayo debe estar situada en un local cuya temperatura esté comprendida entre 15°C y 25°C. Se debe alinear la probeta sobre la banda de la cara inferior, de forma tal que la carga se pueda aplicar diametralmente. A continuación, se inicia la compresión de forma continua y sin saltos bruscos, a velocidad de deformación constante hasta que se alcance la carga máxima. Se debe registrar la carga máxima P, y se continúa aplicando carga hasta que se produzca la rotura de la probeta. Se registra el tipo de rotura, Figura 3, de acuerdo con las siguientes categorías:

a) Rotura limpia por tracción: la probeta se rompe de forma limpia a lo largo de una línea diametral, con la posible excepción de pequeñas secciones triangulares próximas a las bandas de carga.

b) Deformación: las probetas no presentan una línea de rotura claramente visible.

c) Combinación: las probetas presentan una línea de rotura limitada y áreas deformadas más grandes, próximas a las bandas de carga.

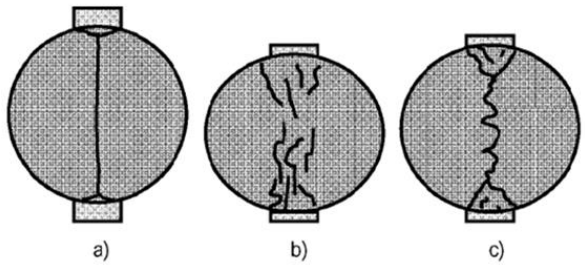


Figura 3. Tipo de rotura

A continuación, se debe abrir la probeta por la línea de la rotura y se inspecciona visualmente el aspecto de las superficies con el objeto de detectar la posible presencia de áridos agrietados o rotos, y se anota si los áridos, especialmente en la superficie de rotura, están rotos o intactos.
El ensayo se debe terminar antes que hayan transcurrido 2 minutos después de sacar la probeta del medio de acondicionamiento.
Finalmente, para cada probeta se calcula la resistencia a tracción indirecta ITS, a través de la siguiente fórmula:

$$ITS = 2P/\pi\, D\, H \qquad \textbf{(1)}$$

y calculando después el valor medio de los valores obtenidos.

Dónde:
ITS: resistencia a tracción indirecta, expresada en gigapascales, redondeada a tres cifras significativas.
P: carga máx. en kN, redondeada a tres cifras significativas.
D: diámetro de la probeta en mm, con un decimal.
H: altura de la probeta en mm, con un decimal.

Los valores obtenidos se aceptan, si la diferencia de los valores a tracción indirecta obtenidos individualmente sobre las probetas (resultados parciales), no difieren más del 17% del valor medio.

3. Metodología

En primera instancia, se realizaron pastones de prueba con un cemento asfaltico modificado AM3 (Asfasol). Una vez determinado el porcentaje óptimo de ligante a incorporar, a través de la metodología Marshall, se moldearon probetas de WTT (Wheel Tracking Test) y probetas Marshall.

Las probetas y testigos (extraídos de las probetas de WTT) para los ensayos de tracción indirecta se han acondicionado a 5°C ± 2 durante dos horas, y este se ha llevado a cabo en una prensa Marshall Automática.

Posteriormente, se recopilaron los resultados y conclusiones, de los estudios previos realizados, en los cuales cabe destacar que se ha establecido como punto de partida y como una base comparativa para las mezclas con asfaltos modificados, los valores correspondientes a la mezcla asfáltica conformada por un ligante convencional CA-20.

Todos los pastones con asfaltos modificados fueron realizados con los mismos materiales y con la misma dosificación de áridos.

3.1. Compactación

Las probetas Marshall han sido compactadas con pisón normalizado, 75 golpes por cara.

Las probetas de Wheel Tracking han sido compactadas con Roller Compact, 24 ciclos en una dirección.

Luego de las probetas cuadradas para Wheel Tracking se ha procedido a la extracción de testigos con la broca de 103,4 mm de diámetro, para el análisis y comparación con las probetas Marshall.

4. Característica de la mezcla asfáltica

El tipo de mezcla base utilizado es un CAC-D19, compuesta por un 4.1% de cemento asfáltico CA-20 y áridos de tipo granítico, con una temperatura de mezclado de 155°C y de 145°C para la compactación.

Las mezclas conformadas por los distintos cementos asfálticos modificados conservan la misma dosificación de áridos que la mezcla base con CA-20, pero varía el contenido de ligante teniendo un 4,3% de cemento asfáltico modificado para cada mezcla respectivamente, con una temperatura de mezclado de 175ºC y de 165ºC para la compactación.

En la Tabla 1 se reflejan las dosificaciones para cada tipo de mezcla.

MATERIALES		DOSIFICACION ARIDOS	DOSIFICACION TOTAL
MATERIAL 1	06:20	50	47,95
MATERIAL 2	12:20	9	8,63
MATERIAL 3	0:6	40	38,36
MATERIAL 4	CAL	1	0,96
ASFALTO	CA-20		4,1
TOTALES EN %		100	100
MATERIAL 1	06:20	50	47,85
MATERIAL 2	12:20	9	8,61
MATERIAL 3	0:6	40	38,28
MATERIAL 4	CAL	1	0,96
ASFALTO	CA-20 +8% NFU		4,3
TOTALES EN %		100	100
MATERIAL 1	06:20	50	47,85
MATERIAL 2	12:20	9	8,61
MATERIAL 3	0:6	40	38,28
MATERIAL 4	CAL	1	0,96
ASFALTO	CA-20 + 2% SBS + 2,66% NFU		4,3
TOTALES EN %		100	100
MATERIAL 1	06:20	50	47,85
MATERIAL 2	12:20	9	8,61
MATERIAL 3	0:6	40	38,28
MATERIAL 4	CAL	1	0,96
ASFALTO	AM3		4,3
TOTALES EN %		100	100

Tabla 1. Dosificaciones de las distintas mezclas

5. Resultados

En las siguientes tablas se encuentran los promedios de los datos obtenidos para cada mezcla asfáltica, referido a las densidades y a los valores de la resistencia a tracción indirecta de las probetas y testigos, además de los valores hallados en el ensayo de WTT.

CA-20			Ensayo WTT	
	Densidad (gr/cm³)	Resistencia a Trac. (kg/cm²)	WTS (mm/10³ ciclos)	PRD (%)
P° Marshall	2,456	43,14	-	-
Testigos	2,432	38,57	0,142	6,30

Tabla 2. Resumen de los datos obtenidos CA-20.

CA-20 + 8% NFU			Ensayo WTT		
	Densidad(gr/cm³)	Resistencia a Trac. (kg/cm²)	WTS (mm/10³ ciclos)	PRD (%)	
P° Marshall	2,443	25,75	-	-	Serie 1
Testigos	2,451	27,93	0,062	4,45	
P° Marshall	2,443	25,8	-	-	Serie 2
Testigos	2,434	28,7	0,074	4,65	

Tabla 3. Resumen de los datos obtenidos CA-20 + 8% NFU.

CA-20 + 2% SBS + 2,66% NFU			Ensayo WTT		
	Densidad(gr/cm³)	Resistencia a Trac. (kg/cm²)	WTS (mm/10³ ciclos)	PRD (%)	
P° Marshall	2,447	34,09	-	-	Serie 3
Testigos	2,456	36,87	0,047	3,47	
P° Marshall	2,447	34,1	-	-	Serie 4
Testigos	2,444	34,0	0,041	3,95	

Tabla 4. Resumen de los datos obtenidos CA-20 + 2% SBS + 2,66% NFU.

AM3			Ensayo WTT		
	Densidad(gr/cm³)	Resistencia a Trac. (kg/cm²)	WTS (mm/10³ ciclos)	PRD (%)	
P° Marshall	2,433	35,8	-	-	Serie 5
Testigos	2,452	30,9	0,030	2,72	
P° Marshall	2,433	35,8	-	-	Serie 6
Testigos	2,464	37,2	0,029	2,74	

Tabla 5. Resumen de los datos obtenidos AM3

Dónde:
WTS: Pendiente Media de Ahuellamiento.
PRD: Profundidad de Ahuellamiento Media Proporcional.

6. Conclusiones

6.1 Tracción Indirecta en Probetas Marshall

Comparando los resultados a tracción indirecta de las probetas Marshall se puede observar que las provenientes de la mezcla con el CA-20 obtienen un valor bastante elevado con respecto a las demás mezclas. Si tomamos como valor de referencia al obtenido con el CA-20, los valores provenientes del CA-20 + 8% NFU arrojan un valor 40% más bajo, los valores de CA-20 + 2% SBS + 2,66% NFU un 21% menor, mientras que para el AM3 un 17% por debajo del valor de comparación.

6.2 Tracción Indirecta en Testigos de Probetas de WTT

De la misma manera, si realizamos la comparación entre los testigos, los valores de la mezcla con CA-20 son superadores en resistencia a tracción. Nuevamente, tomando como referencia este valor superior, los provenientes del CA-20 + 8% NFU arrojan un valor 26,6% más bajo, los valores de CA-20 + 2% SBS + 2,66% NFU un 8,1% menor mientras que los del AM3 un 11,7% por debajo del valor de comparación.

6.3 Tracción Indirecta y la relación con la pendiente (WTS) de WTT

Dado que el origen de los testigos es el mismo que el de las probetas de WTT y tomando estrictamente los valores hallados en estos casos en la Tracción Indirecta y relacionándolo con la Pendiente Media de Ahuellamiento se puede decir que a valores mayores de Tracción Indirecta le corresponde una Pendiente Media de Ahuellamiento mayor en el ensayo de WTT, valor contrario al buscado. Este resultado no era de esperar. Si solo comparamos las mezclas con los cementos asfálticos modificados, sí se puede observar el comportamiento buscado, a mayores valores de resistencia a tracción indirecta el WTS disminuye.

Referencias Bibliográficas

1. Tesis M. Fregossi 2018.
2. Tesis Doctoral: Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de su ejecución. Autor: Adriana Haydee Martínez. Director: Félix Edmundo Pérez Jiménez. Universitat Politécnica de Catalunya (UPC). Escola Técnica Superior D'enginyers de Camins, Canals y Ports de Barcelona.
3. Refine AASHTO T283 Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage for Superpave. Robert Y. Liang, Ph.D., P.E. for the Ohio Department of Transportation, Office of Research and Development and the U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
4. UNE-EN 12697-23/04 (Determinación de la resistencia a la tracción indirecta de probetas bituminosas).
5. NLT 346/90 (Resistencia a compresión diametral de mezclas asfálticas, “ensayo brasileño”).
6. AASHTO T 283-89 (Resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla bituminosa compactada para SuperPave).
7. ASTM D4867 (Efecto de la Humedad en Mezclas Asfálticas para Pavimentación).

RELEVAMIENTOS Y CENSOS PARA CÁLCULO DE OCUPACIÓN Y RENOVACIÓN DE ESTACIONAMIENTO DE VEHÍCULOS EN CENTROS URBANOS. EL CASO DE ENSENADA.

Becaria: Abraham, María Beatriz
LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional;
Facultad Regional La Plata. Av. 60 y 124 (1900). La Plata, Buenos Aires, Argentina.
beatrizabraham24@gmail.com

Director; Arq. Das Neves, Gustavo A.
LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional;
Facultad Regional La Plata. Av. 60 y 124 (1900). La Plata, Buenos Aires, Argentina.
gdneves@frlp.utn.edu.ar

Área: Gestión y Diseño Vial.

Resumen
La gestión del tránsito implica conocer e interpretar situaciones de la movilidad urbana. El estacionamiento de vehículos en las áreas centrales de las ciudades es uno de los temas que más conflictos genera en lo cotidiano. El presente trabajo pretende conocer y comprender mediante una metodología de relevamiento algunas de las situaciones que caracterizan y definen la situación del estacionamiento vehicular en el área central de la ciudad de Ensenada, Pcia. De Buenos Aires. Mediante relevamientos del área afectada y censos se pueden efectuar cálculos de ocupación y renovación, insumos para un análisis que puede arrojar definiciones importantes para la gestión del espacio público y la movilidad urbana.

Palabras clave: oferta, demanda, estacionamiento, relevamiento

1. Introducción

La ciudad de Ensenada tiene 56729 habitantes (Censo 2010) lo que la define como una ciudad intermedia[1], fuertemente vinculada a la región de la que forma parte junto a La Plata y Berisso.

Los estudios se efectuaron en su área central, relevando la calle La Merced, desde Av. Cestino hasta Don Bosco, la cual cuenta con estacionamiento del lado derecho, y en las calles transversales a esta, relevando desde Alberdi hasta Dr. Ferella, entre Aristóbulo del Valle y Sidotti, que cuentan con estacionamiento de ambos lados.

Figura 1.Foto del área de estudio

[1] La red mundial de Ciudades y Gobiernos Locales Unidos (CGLU) utiliza un concepto flexible de ciudad intermedia, basada en la población (inicialmente menos de un millón de habitantes y más de 50.000) y de su rol en la mediación de flujos de mercancías, información, innovaciones y administración, entre los territorios rurales y urbanos dentro de sus áreas de influencia y respecto a otras ciudades y regiones.

2. Metodología

Mediante trabajo de campo se obtuvo la información a partir de la realización de relevamientos de cajones disponibles y censos realizados en el área definida. De esta manera fue posible determinar la oferta (capacidad de estacionamiento), la demanda y la renovación (el uso del mismo).

2. 1. Experimental

Relevamiento de oferta

Se realizó un inventario de todos los lugares de estacionamiento permitido y no permitido en la vía publica junto al cordón (Fig.2). Se contabilizo la cantidad de espacios que permite cada tramo de calle, realizando la medición con el odómetro cuadra a cuadra y lado a lado de la zona indicando a su vez en un plano de la zona los espacios donde no está permitido estacionar y su motivo (estacionamientos reservados por edificios específicos, entradas a garajes, taxis, etc). De esta manera se obtiene la capacidad real de estacionamiento cuadra a cuadra en el área relevada, es decir la oferta o disponibilidad de estacionamiento.

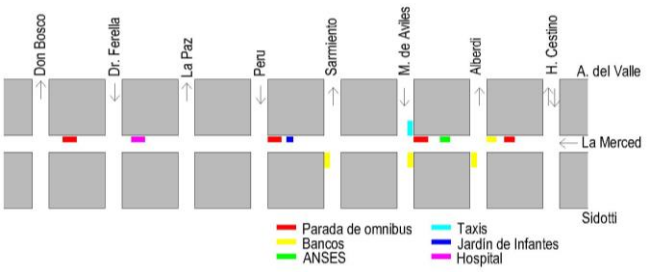


Figura 2. Plano de estacionamientos prohibidos o reservados.

Censo de ocupación y renovacion

El censo de ocupación y renovación de estacionamiento permite la evaluación de la relación entre oferta y demanda. Se realizó respetando el mismo día de la semana durante los meses de septiembre, octubre y noviembre del año 2019, iniciando a la misma hora (10:00 hs.) y recorriendo la zona en intervalos de 15 minutos, completando 5 pasadas. En un vehículo se recorrió cada cuadra, anotando en una planilla especifica (fig.3) todos los datos recabados: fecha, tramo relevado, segmento horario; sobre qué lado de la calzada están estacionados (derecho o izquierdo); y el dominio de cada vehículo, así al realizar la siguiente pasada (15 minutos después) se puede verificar los que continúan estacionados, los espacios que permanecieron vacíos, los que se desocuparon, o aquellos donde se renovó la ocupación. Vale aclarar que como lado izquierdo o derecho deben considerarse los que se establecen según el sentido de circulación de cada cuadra.

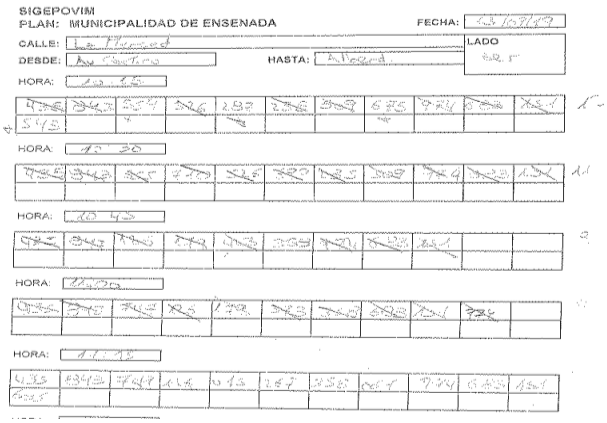


Figura 3. Planilla Tipo

En las siguientes fotos (fig. 4 y 5) se visualizan características de algunas de las calles relevadas:

Figura 4. Vista de calle La Merced e/ Sarmiento y Perú.

Figura 5. Vista de calle La Merced e/ H. Cestino y Alberdi.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios se procede a analizarlos, relacionando los cajones ocupados de cada cuadra y los disponibles, obteniendo un promedio del nivel de ocupación para cada zona específica

2. 2. Cálculos

Cálculos Ocupación para Calle La Merced:

Promedio general **Calle La Merced**	% ocupación	% promedio final
Tramo:	112	109
Entre Av. Cestino y Alberdi	106	
	114	
	104	
Tramo:	130	121,3
Entre Alberdi y M.de Aviles	122,5	
	110	
	122,5	
Tramo:	91,4	95,7
Entre M.de Aviles y Sarmiento	94,3	
	94,3	
	102,9	
Tramo:	111,1	115,6
Entre Sarmiento y Peru	117,8	
	117,8	
	115,6	
Tramo:	100	96,525
Entre Peru y La Paz	98,5	
	93,8	
	93,8	
Tramo:	141,8	135
Entre La Paz y Dr. Ferella	129,1	
	132,7	
	136,4	
Tramo:	133,3	125,6
Entre Dr. Ferella y Don Bosco	115,6	
	135,6	
	117,8	

Referencias Nivel de Ocupación	
	mas del 100%
	entre el 80 % y 100%
	menos del 80%

Cálculos para las calles transversales:

LADO DERECHO	Prom.general %
Dr. Ferella entre Av.Valle y La Merced	98,6
Dr.Ferella entre La Merced y Sidotti	116,7
La Paz entre Sidotti y La Merced	108,8
La Paz entre La Merced y Av.Valle	78,6
Peru entre Av.Valle y La Merced	84,0
Peru entre La Merced y Sidotti	150,0
Sarmiento entre Sidotti y La Merced	136,8
Sarmiento entre La Merced y Av.Valle	116,0
M.de Aviles entre Av.Valle y La Merced	121,0
M. de Aviles entre La Merced y Sidotti	108,9
Alberdi entre Sidotti y La Merced	82,5
Alberdi entre La Merced y A. Valle	105,5

LADO IZQUIERDO	Prom.general %
Dr. Ferella entre Av.Valle y La Merced	107,5
Dr.Ferella entre La Merced y Sidotti	76,5
La Paz entre Sidotti y La Merced	91,0
La Paz entre La Merced y Av.Valle	91,0
Peru entre Av.Valle y La Merced	88,5
Peru entre La Merced y Sidotti	116,5
Sarmiento entre Sidotti y La Merced	103,4
Sarmiento entre La Merced y Av.Valle	78,5
M.de Aviles entre Av.Valle y La Merced	160,0
M. de Aviles entre La Merced y Sidotti	98,5
Alberdi entre Sidotti y La Merced	100,0
Alberdi entre La Merced y A. Valle	92,3

3. Resultados

Con los promedios generales obtenidos tanto para la calle La merced como para las demás calles transversales, y utilizando los siguientes conceptos se obtiene completa la planilla de ocupación y rotación.

Ocupación instantánea y rotación:
La ocupación instantánea se calcula mediante la relación:

$$Ocupacion\,(\%) = \frac{cajones\ ocupados}{cajones\ disponibles} * 100$$

Por su parte la rotación se determina calculando la porción de los vehículos que se estacionan por periodos comprendidos entre:

- 0 y 30 minutos
- 30 y 60 minutos
- Más de 60 minutos

Planilla de ocupación y rotación para cada calle determinada:

CALLE	DESDE	HASTA	LADO	CAJONES DISP.	Ocupacion (%)
La Merced	Cestino	Alberdi	Der	10	109,0
La Merced	Alberdi	M.Aviles	Der	8	121,3
La Merced	M.Aviles	Sarmiento	Der	14	95,7
La Merced	Sarmiento	Peru	Der	9	115,6
La Merced	Peru	La Paz	Der	13	96,5
La Merced	La Paz	Dr. Ferella	Der	11	135,0
La Merced	Dr. Ferella	Don Bosco	Der	9	125,6
Sarmiento	Sidotti	La Merced	Der	12	103,3
Sarmiento	Sidotti	La Merced	Izq	8	138,7
Sarmiento	La Merced	A Valle	Der	14	78,5
Sarmiento	La Merced	A Valle	Izq	13	116,0
M Aviles	La Merced	A Valle	Der	5	160,0
M Aviles	La Merced	A Valle	Izq	10	121,0
M Aviles	Sidotti	La Merced	Der	11	98,5
M Aviles	Sidotti	La Merced	Izq	9	108,8
Alberdi	Sidotti	La Merced	Der	9	100,0
Alberdi	Sidotti	La Merced	Izq	12	82,5
Alberdi	La Merced	A Valle	Der	13	92,1
Alberdi	La Merced	A Valle	Izq	11	105,6
Peru	La Merced	A Valle	Der	14	90,0
Peru	La Merced	A Valle	Izq	15	84,0
Peru	Sidotti	La Merced	Der	11	116,5
Peru	Sidotti	La Merced	Izq	8	150,0
La Paz	La Merced	A Valle	Der	12	91,0
La Paz	La Merced	A Valle	Izq	14	78,5
La Paz	Sidotti	La Merced	Der	11	91,0
La Paz	Sidotti	La Merced	Izq	8	108,7
Dr Ferella	La Merced	A Valle	Der	12	107,5
Dr Ferella	La Merced	A Valle	Izq	14	98,5
Dr Ferella	Sidotti	La Merced	Der	14	91,0
Dr Ferella	Sidotti	La Merced	Izq	9	126,6
PROMEDIO					**107,65**

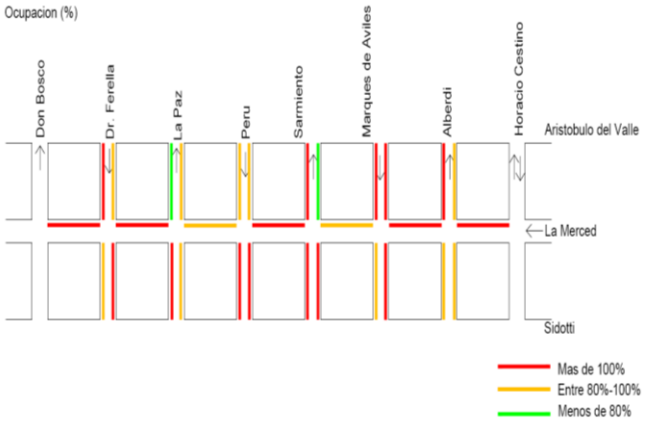
CALLE	DESDE	HASTA	LADO	Rotacion (%)		
				0 a 30 min.	30 a 60 min.	>60 min
La Merced	Cestino	Alberdi	Der	54,2	12,34	33,3
La Merced	Alberdi	M.Aviles	Der	56,1	3,6	40,1
La Merced	M.Aviles	Sarmiento	Der	32,2	19,9	45,9
La Merced	Sarmiento	Peru	Der	30,7	14,72	47,4
La Merced	Peru	La Paz	Der	22,8	7	66,8
La Merced	La Paz	Dr. Ferella	Der	29,2	12,6	58
La Merced	Dr. Ferella	Don Bosco	Der	14,1	7,7	78
Sarmiento	Sidotti	La Merced	Der	34,3	21,8	28,7
Sarmiento	Sidotti	La Merced	Izq	27,6	27,1	45,2
Sarmiento	La Merced	A Valle	Der	33,9	15,85	50,1
Sarmiento	La Merced	A Valle	Izq	8,3	25,6	67,9
M Aviles	La Merced	A Valle	Der	66	26,7	7,1
M Aviles	La Merced	A Valle	Izq	26	20,9	52,9
M Aviles	Sidotti	La Merced	Der	56,65	10,8	16,2
M Aviles	Sidotti	La Merced	Izq	49,8	23,3	26,65
Alberdi	Sidotti	La Merced	Der	59,6	21,9	18,3
Alberdi	Sidotti	La Merced	Izq	50,2	11,24	38,4
Alberdi	La Merced	A Valle	Der	47,7	12,2	39,9
Alberdi	La Merced	A Valle	Izq	33,3	19,9	46,6
Peru	La Merced	A Valle	Der	9,3	6,25	81,2
Peru	La Merced	A Valle	Izq	25,8	12,9	61,25
Peru	Sidotti	La Merced	Der	3,8	23	76,9
Peru	Sidotti	La Merced	Izq	15,6	18,3	65,9
La Paz	La Merced	A Valle	Der	41,4	10,22	48,3
La Paz	La Merced	A Valle	Izq	25,8	22,5	51,6
La Paz	Sidotti	La Merced	Der	44,7	14,8	40,3
La Paz	Sidotti	La Merced	Izq	34	17,3	48,4
Dr Ferella	La Merced	A Valle	Der	33,75	14,3	50
Dr Ferella	La Merced	A Valle	Izq	0	0	100
Dr Ferella	Sidotti	La Merced	Der	49,5	10,2	40,1
Dr Ferella	Sidotti	La Merced	Izq	38,6	11,5	49,7

Se realizó un plano con estos datos donde se visualiza la ocupación de cada cuadra. Los planos obtenidos fueron los siguientes:

Plano de ocupación

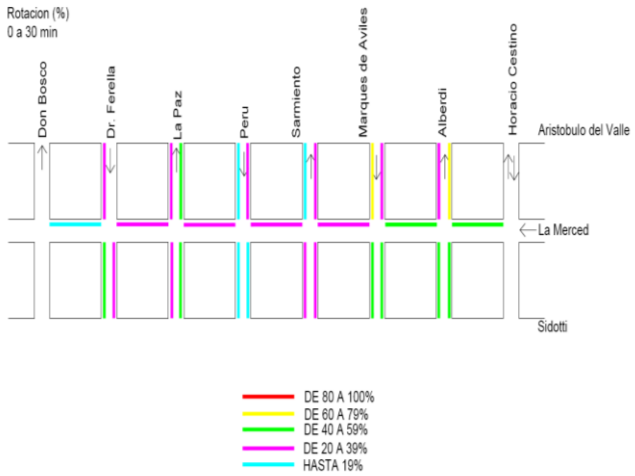
Referencias:

	Aquellos sectores en donde la ocupación resulta superior al 100%, es decir que algunos vehículos han estacionado en lugares donde se encuentra prohibido o restringido
	Aquellos sectores con ocupación desde el 80 al 100 %, resultando el estado óptimo por ubicarse por debajo de la capacidad, pero con alto porcentaje de aprovechamiento.
	Aquellos sectores con ocupación por debajo del 80%, es decir en donde quedan varios lugares libres para estacionar.

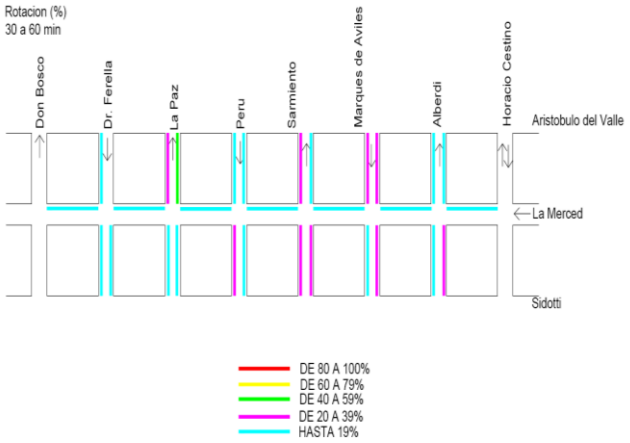


Además, se confeccionaron los planos de rotación donde puede observarse lo siguiente:

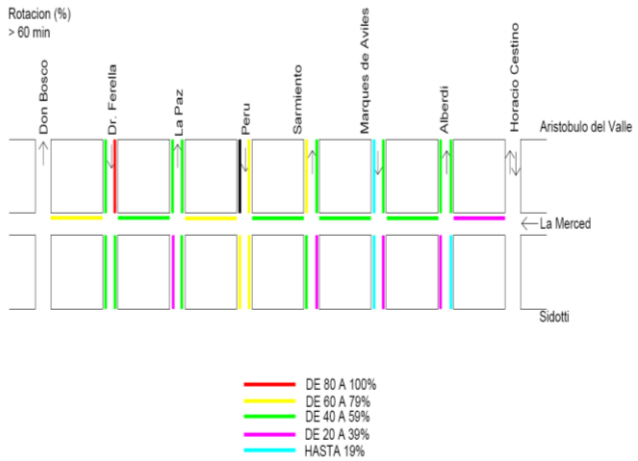
Rotación de 0 a 30 min:



Rotación de 30 a 60 min:



Rotación > 60 min



4. Conclusiones

Conclusión para el plano de ocupación:
Puede observarse así una alta ocupación general en la zona estudiada, destacándose una gran cantidad de casos donde la ocupación resulta por arriba de su capacidad, o sea vehículos en infracción

Conclusión para los planos de rotación:

Rotación de 0 a 30 min:
En esta rotación que comprende un periodo de 0 a 30 minutos puede observarse que en la mayoría de las calles un 50% de los autos relevados utilizo este estacionamiento durante ese periodo, permitiendo la renovación después de finalizado este.

Rotación de 30 a 60 min:
Este plano permite visualizar que menos del 20% de los autos relevados estuvieron estacionados durante un periodo de 30 a 60 minutos, en algunas calles el porcentaje de autos

estacionados por dicho periodo subio al 40%, siendo asi un numero bajo. De esta manera se puede ver una buena rotación permitiendo la posibilidad de estacionar a otros vehículos que lo necesiten.

Rotación más de 60 min:
Este plano permite visualizar la rotación para un periodo mayor a 60 minutos, dependiendo la calle se observa que un promedio de 70 % de autos permanecen estacionados más de 1 hora. Para lo cual se presume que posiblemente sean los autos correspondientes a las personas que trabajan en la zona inmediata, y que permanecen varias horas de la mañana estacionados. Si bien durante ese periodo se ve reducido el nivel de rotación, lo cual no permite que otros autos hagan uso de esos sectores de estacionamiento, si nos alejamos una o dos cuadras solamente, ya se encuentran espacios de estacionamiento disponibles.

Conclusión general:
El análisis en conjunto de los valores obtenidos para estos parámetros en el área en estudio, muestra claramente que quien busca espacio para estacionamiento puede encontrarlo fácilmente y sin necesidad de grandes distancias peatonales desde el estacionamiento al punto destino y que dependiendo las calles algunos individuos utilizan el estacionamiento por periodos mayores a 60 minutos, principalmente en la calle La Merced, en cambio en las calles transversales y alejándonos un poco del centro el nivel de rotación vehicular es bueno, lo cual permite que estos estacionamientos sean utilizados por una mayor cantidad de usuarios.
Esto indica que los posibles inconvenientes pueden solucionarse ampliando levemente las distancias peatonales entre el estacionamiento y el punto destino, es decir estacionando solo unos metros más alejados de donde se quiere llegar (salvo en el caso de detención por emergencia)

Agradecimientos
A la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata por la beca otorgada. Al LEMaC por la oportunidad y confianza para llevar a cabo este trabajo. En especial a mi director, Arq. Gustavo Das Neves quien me oriento en este camino de investigación

Referencias
-Carriles ciclistas ciudad de Reconquista. LEMaC, Centro de Investigaciones Viales. 2005
-Plan de Ordenamiento Vial ciudad de Dolores. LEMaC, Centro de Investigaciones Viales. 2004
-Estudio del tránsito vehicular de la ciudad del Lincoln y propuestas para su reordenamiento. Dirección de asuntos Municipales -UNLP

FABRICACIÓN DE PANELES PARA CONSTRUCCIÓN EN SECO, CON RESIDUOS DEL PAPEL CELULOSA TISSUE

Becario; Marco Nicolás Peñalva[1]; ing.civil.mnp@outlook.com

Director; Oscar Raúl Rebollo[2]; orebollo@frlp.utn.edu.ar

[1,2] LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina

Área: Tecnología de los Pavimentos Flexibles.

Resumen

El buen aprovechamiento de los recursos disponibles, es uno de los "objetivos del desarrollo sostenible" que propone la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Desde nuestro lugar, buscamos la optimización de los procesos productivos, utilizando como material de base un residuo, el cual luego de atravesar un proceso, puede conformar un nuevo producto de utilidad.
Como elemento experimental, sin precedentes, se desarrollan desde cero, las diversas formas y combinaciones de este material obtenido del residuo celulósico con otros materiales ya desarrollados y conocidos, con el fin de obtener una placa apta para el revestimiento de tabiques y/o cielorrasos en el cada vez más solicitado sistema de construcción en seco. Desarrollando ensayos que permitan medir las propiedades físicas y químicas de estos nuevos elementos constructivos.

Palabras clave: Celulosa, residuo, placa, resina

1. Introducción

Las placas que constituyen tabiques y cielorrasos en el sistema constructivo en seco, deben presentar ciertas características que se adecúen a los estándares de calidad del mercado. La manera de ganar terreno en éste, es ofrecer un producto de mayor calidad, al menos precio posible, y a su vez, acompañarlo de un impacto ambiental cero, dado que nuestro material preponderante en la masa del elemento, es un material de desecho, de descarte, un residuo proveniente de la fabricación de papel tissue.

Entre los diversos requerimientos podemos encontrar casos tales como la aislación acústica, aislación hidrofuga, la continuidad y el tiempo de propagación de llama, la resistencia al fuego y varios tipos de resistencia mecánica. Cabe resaltar, que al tratarse de una situación experimental, muchos de los ensayos realizados, no se encuentran bajo un marco normativo sino que son elaborados específicamente para la investigación y observación del comportamiento físico, químico y mecánico del nuevo material constructivo.

En un inicio, el proyecto constaba en la investigación del residuo de celulosa como material para ser incorporado en mezclas asfálticas o en suelos viales, para mejorar sus propiedades, pero podía ser incorporado en cantidades ínfimas, con vistas a lograr un producto final igual o de mejores propiedades, esto no se consiguió dado que el material no aportaba nada y dadas sus características perjudicaban a las estructuras analizadas, pero se observo que este material presentaba aglutinamiento muy fuerte, sin necesidad de aplicar ningún tipo de fuerza, lo que dio la idea de usarlo como placa de construcción en seco.

2. Metodología y materiales

Para la fabricación de esta placa se pensó en usar un agente externo que le proporcionara mayor aglutinamiento en su estructura y le propinara propiedades de aislación térmica, hidrofuga, acústica e ignifugas, para esto se recurrió a una resina tipo polimérica AG 50, y otros tipos de aglomerantes usados en maderas, de base poliméricas, posteriormente se genera el moldeo de las probetas. Estos componentes son complementados en diversos procesos de elaboración, hasta llegar a la obtención del producto final, placas a escala para la construcción en seco, de diversas secciones. En una primera instancia se optó por el moldeo de una placa circular, y en otra posterior, el de una placa de sección rectangular a escala 1:10 de las dimensiones propias de una placa tipo estándar.

2. 1. Equipos a utilizar

a) Mezcladora Industrial Hobart
b) Prensa Marshall
c) Extensómetro mecánico reloj micrométrico de precisión 0.01mm
d) Estufa a 60°C con recirculación de aire.

2. 2. Moldeo

2.2.1 Probeta de sección circular

Se fabrica una probeta de sección circular en molde metálico cilíndrico (φ 15,39 [cm], área 186,26 [cm²]). En primer lugar se produce el disgregado del material celuloso, el cual posee una humedad del 45% (proceso detallado para su obtención, más adelante), en la mezcladora a velocidad mínima por un tiempo de dos minutos, y luego, dos minutos más a velocidad máxima o hasta notar una consistencia homogénea, con un tamaño de partícula aproximado de 1 a 7 [mm]. Como se puede observar en la (Figura 1).

Figura 1 - Material celuloso disgregado

En estas condiciones, se detiene la máquina mezclado y se procede a agregar la resina, en un porcentaje previamente establecido por experimentación y pesado en balanza electrónica. Se vuelca la mitad del contenido del recipiente y se acciona la mezcladora a velocidad lenta hasta notar homogeneidad. Luego se la detiene y se vuelca el resto del contenido, mezclando por dos minutos a velocidad lenta, nuevamente.

El material resultante es introducido en el molde, el cual fue tratado previamente con vaselina, a fines prácticos a la hora de desmoldar, así como las tapas, en sus laterales y caras interiores en contacto con el conjunto, formando un "sándwich" en cuyo interior se encuentra el material a moldear. El molde cuenta con "orejas" en sus laterales a través de los cuales pasa una varilla roscada y un sistema mariposa que permite mantener la compresión el tiempo que fuese necesario. Una vez en el molde, se procede a la aplicación de carga a partir de la prensa, a razón de 1 kg/cm². En esa condición, se ajustan las mariposas del sistema de traba, y se retira la carga aplicada. El tiempo bajo esta situación es de 24 [hs], luego se desajusta el sistema, se desmolda la probeta y se la coloca en estufa a 60°C, por 24 [hs]. Transcurrido este tiempo, se la retira, se la deja en un lugar adecuado hasta que tome temperatura ambiente de laboratorio (20°C ± 2°C), y una vez en esa condición se obtiene el elemento listo para ensayo.

2.2.1 Probeta de sección rectangular

Se fabrica una probeta de sección rectangular en un molde de madera (16,00 [cm] x 28,00 [cm]) exterior, diseñado específicamente para el desarrollo de esta placa. Se optó por la madera, al ser un material económico, trabajable y simple de conseguir. Consta además de dos tapas (12,00 [cm] x 24,00 [cm]) del mismo material, cuyas dimensiones son las mismas que la probeta terminada, la sujeción de todo el sistema se materializa a través de tornillos tipo "drywall" (6 x 2,50"). Por ser madera, posee una alta absorción de humedad, para solucionar esto y que no dificulte el desmolde por la adherencia de la pasta a su superficie, se la somete a la condición de saturado con la superficie seca y posteriormente se la impregna en abundante cantidad con vaselina.

Se produce el disgregado del material celuloso, el cual posee una humedad del 45% (proceso detallado para su obtención, más adelante), en la mezcladora a velocidad mínima por un tiempo de dos minutos, y luego, dos minutos más a velocidad máxima o hasta notar una consistencia homogénea, con un tamaño de partícula aproximado de 1 a 7 [mm]. En estas condiciones, se detiene la máquina mezclado y se procede a agregar la resina, en un porcentaje previamente establecido por experimentación y pesado en balanza electrónica. Se vuelca la mitad del contenido del recipiente y se acciona la mezcladora a velocidad mínima hasta notar homogeneidad. Luego se la detiene y se vuelca el resto del contenido, mezclando por dos minutos a velocidad mínima nuevamente.

El material resultante es introducido en el molde, distribuido homogéneamente, se coloca la tapa superior, y se lo lleva a prensa, con una carga de 2 kg/cm², en esa condición, se detiene el equipo y se procede a atornillar la tapa superior móvil a todo el sistema del molde, fijando un espesor de placa de 2,00 [cm]. Una vez sujeto, se retira la carga aplicada. El tiempo bajo esta situación es de 24 [hs], luego se desajusta el sistema, se desmolda la probeta y se la coloca en estufa a 60°C, por 24 [hs]. Transcurrido este tiempo, se la retira, se la deja en un lugar adecuado hasta que tome temperatura ambiente de laboratorio (20°C ± 2°C), y una vez en esa condición se obtiene el elemento listo para ensayo.

2.3 Ensayos

2.3.1 Determinación de la humedad presente en el material celuloso

Se procede a pesar el material en las condiciones que se encuentra dentro del recipiente contenedor, obteniendo un peso, denominado peso húmedo (Ph). Una vez hallado, se coloca el material en estufa hasta lograr la condición de peso seco constante (Psc), obteniendo allí, por cálculo, la cantidad de humedad (H) en porcentaje (%) que posee inicialmente el material, a través de la siguiente fórmula:

$$H(\%) = \frac{(Ph - Psc)}{Psc} \times 100$$

2.3.2 Absorción

Se procede a pesar la placa ya elaborada luego de una instancia en estufa hasta llegar a la condición de peso seco constante (Psc). Se llena un recipiente con agua a una altura tal que la placa quede completamente sumergida, como puede observarse en la (Figura 2).

Figura 2: Placas sumergidas en agua

Transcurrido un tiempo de 24 [hs], se retira la placa, se seca superficialmente hasta estimar la condición de saturado con la superficie seca y se vuelve a pesar, obteniendo el peso saturado y con la superficie seca (Psss). A partir de cálculo, obtenemos la absorción (A), de la probeta:

$$A(\%) = \frac{(Psss - Psc)}{Psc} \times 100$$

2.3.3 Flexión

Se procede a marcar sobre la probeta los puntos de apoyo, estos están ubicados a una distancia del 10%, de la longitud mayor de la pieza, de los extremos, es decir, dejando una luz del 80% en el sentido de la longitud mayor de la pieza, entre apoyos; como así también, una línea central, paralela a las anteriores donde se aplica la carga. En esta condición se la coloca en la máquina de ensayo, una prensa, (ver Figura 3) y se aplica la carga en el eje central de la probeta, a través de una pieza metálica de una longitud igual o mayor, a la longitud menor del elemento. Esta pieza metálica se encontrará dispuesta paralela a los apoyos.

Figura 3: Posicionamiento de la probeta

El valor de la resistencia ofrecida a la flexión por la probeta es indicado directamente por el display de la prensa. Podemos observar las diferentes fracturas a partir de la (Figura 4.).

Figura 4: Fracturas de las placas

2.3.4 Ignición

Se procede a colocar la probeta sobre un mechero (Figura 5), cuya intensidad de fuga de llama se encuentre regulada, posicionado en el baricentro de la misma y se mide el tiempo (t) que demora la pieza en incinerarse.

Figura 5: Posiciones de ensayo

Se escoge analizar el impacto generado por la llama en dos direcciones (una a 90° de la otra) para dos probetas de características similares, con el fin de observar y obtener conclusiones en diversas variables. En la (Figura 6), se pueden observar a las placas luego del proceso de llama.

Figura 6: Resultado de la llama aplicada

2.3.5 Resistencia al impacto y penetración del clavo

Se procede a realizar la inserción de 3 tipos de clavo diferentes con el fin de observar el comportamiento de la placa a los mismos, como así, para determinar de alguna manera, la energía del impacto aplicado. Para ello se utilizan dos pesos conocidos, y se mide la altura de caída libre de la masa desde su extremo inferior, hasta el extremo superior del elemento a hincar, es decir, el clavo. Obteniendo de esta

manera, la resistencia al impacto aplicado (Ria) para cada uno de los elementos.

$$Ria = m \, x \, g \, x \, h$$

Dónde:
Ria, es la resistencia al impacto aplicado, en Joules.
m, es la masa del elemento, en kilogramos.
g, es la aceleración de la gravedad, en [m/s²].
h, es la altura de caía de la masa, en metros.

2.3.6 Dureza Janka

Se procede a adaptar este ensayo realizado en materiales de madera, a nuestra placa. Consiste básicamente en la penetración de una semiesfera de diámetro conocido (φ = 11,3 [mm]), en diversos puntos seleccionados arbitraria y aleatoriamente con el fin de obtener el valor promedio de la dureza, así mismo, como la dureza en los puntos más desfavorables de la probeta. Para ello, se utiliza un elemento que posee la semiesfera y se añade a una máquina de ensayo (Prensa), la cual a través de un comparador, nos brinda la carga aplicada (Figura 7). Obteniendo el valor de la carga aplicada (*Q*) a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = cte\ del\ aro\ x\ n°\ de\ divisiones$$

Figura 7: Probeta en máquina de ensayo

Con el valor de la carga aplicada y conociendo el área (*A*) de penetración, hallamos el valor de la dureza (*D*) que posee la probeta, a partir de la siguiente ecuación:

$$D = {}^{Q}/_{A}$$

3. Resultados y Discusión

3.1 Resistencia al impacto y penetración del clavo

En la (Tabla 1) se muestran los resultados obtenidos para cada tipo de clavo. En cuanto al comportamiento, la asimilación mostro clara evidencia de que la placa posee actitudes óptimas para soportar el hincado sin deteriorase considerablemente (Figura 8), función fundamental para su vida en servicio.

Tipo	Masa (kg)	g (m/s²)	h (m)	Ria (J)
Clavo machimbre	0,31	9,8	0,3	0,92
Clavo mediano	1,17	9,8	0,2	2,29
Clavo grande	1,17	9,8	0,3	3,44
Masa del Martillo = 0,31 [kg]				
Masa de la masa = 1,17 [kg]				
Clavo machimbre: 1" x 17 Clavo mediano: 2" x 14 Clavo grande: 3" x 9			Lisos	

Tabla 1: Resistencia al impacto obtenida

Figura 8: Hincado de clavos en la probeta

3.2 Dureza Janka

$$Q = cte\ del\ aro\ x\ n°\ de\ divisiones$$

Dónde:
Cte del aro: 1,4702 [kg/div]

Los cálculos para 20 penetraciones arrojaron un valor de carga aplicada;

Q = 149, 96 [kg]

Con el valor de la carga aplicada y conociendo el área (*A*) de penetración (1,003 cm²), hallamos el valor de la dureza (*D*) que posee la probeta, a partir de la siguiente ecuación:

$$D = {}^{Q}/_{A}$$

Entonces:

***D* = 149, 54 [kg/cm²]**

4. Conclusiones

- La placa de sección rectangular mostró condiciones óptimas en cuánto a la dureza, estabilidad, resistencia al impacto y deformación a causa de elementos de penetración, como así una muy buena resistencia a la flexión en comparación con otros elementos similares, utilizados para los mismos fines.
- Se observa una alta absorción de agua y un comportamiento a la llama óptimo cuando la misma no se aplica en bordes o aristas vivas.
- Se recomienda hacer énfasis en la utilización de un tipo de resina con propiedades ignífugas e hidrofugas, para lograr mejoras en las condiciones antes mencionadas.
- En la etapa de elaboración y moldeo, se recomienda buscar nuevas alternativas a la hora de impregnar las superficies del molde a utilizar, con el fin de facilitar el desmolde de la pieza endurecida.

Agradecimientos

Agradezco a todas y cada una de las personas integrantes del LEMaC, que de una u otra forma siempre estuvieron dispuestos a ayudarme, dado que este fue mi primer año en el laboratorio. Un agradecimiento especial a mi tutor, Ing. Oscar Raúl Rebollo, que siempre con una sonrisa y amplio interés, supo cómo guiarme para que pueda desarrollar mis tareas de la mejor manera posible.

Referencias

[1] Referencia a la Tesis desarrollada por Belén Scarponi.
[2] Ensayos sobre placas DURLOCK S.A. según Norma IRAM 11950 y clasificados por indicaciones de Norma IRAM 11949. INTI (2008)
[3] Norma IRAM 11910-3 “Materiales de construcción, Reacción al fuego, Determinación del índice de propagación de llama - Método del panel radiente” (coincide con los métodos de ensayo de la Norma NBR 9442/1986 y ASTM E162). INTI (2008)

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN O PUNZONADO.

Becaria; Atoche Ayala, Mayra Angela.
LEMaC Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional; Facultad Regional La Plata. Av. 60 y 124(1900). La Plata, Buenos Aires, Argentina.
mayy.atoche@hotmail.com

Director; Ing. Oscar Raúl Rebollo.
LEMaC Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional; Facultad Regional La Plata. Av. 60 y 124(1900). La Plata, Buenos Aires, Argentina.
orebollo@frlp.utn.edu.ar lemac@frlp.utn.edu.ar

Área: Tecnología de los Pavimentos Flexibles. **PID Asociado:** "Utilización de distintos polímeros como modificadores de cemento asfaltico y su incidencia en el desempeño de mezclas asfálticas densas y semidensas". Código: IFI4366TC

Resumen
En este trabajo se presenta el ensayo de resistencia a la deformación como método de calidad el cual permite realizar un seguimiento en laboratorio de la susceptibilidad a la deformación permanente de mezclas asfálticas que durante la etapa en obra han sido verificadas con el ensayo de rueda cargada o Wheel tracking test WTT propuesto como método de diseño.
Se propone valorar mediante la utilización de probetas tipo Marshall o testigos calados de las probetas de WTT, la resistencia a la deformación permanente(Sd) de distintas mezclas asfálticas, manteniendo constante el origen y granulometría; variando solamente el tipo de ligante asfáltico.
Los resultados obtenidos en el estudio para evaluar la correlación de la resistencia a la deformación (Sd) con la profundidad de ahuellamiento proporcional del ensayo WTT de las mezclas asfálticas estudiadas indican que este procedimiento es una aproximación aceptable que brinda información razonable respecto a la tendencia al ahuellamiento de una mezcla asfáltica.

Palabras clave: Asfaltos modificados, ahuellamiento, deformaciones permanentes, mezclas asfálticas.

1. Introducción

Las deformaciones permanentes, particularmente en las mezclas asfálticas, se presentan en los pavimentos cuando estos están expuestos, ya sea por separado o en forma combinada a altas temperaturas, al tránsito pesado y/o bajas velocidades de circulación del tránsito. [1]

El presente trabajo evalúa la correlación de la resistencia a la deformación con la profundidad de ahuellamiento proporcional de una capa asfáltica en caliente CAC D19, en la cual se va a variar el tipo de asfalto, manteniendo constante el tipo de agregado y su granulometría, los asfaltos utilizados en este caso serán CA-20 de acuerdo con la (Norma IRAM 6835) y se utilizara como base para obtener los asfaltos modificados por el LEMaC, para lo cual se incorporara NFU para obtener una asfalto modificado con caucho según la (Norma IRAM 6673 AC-2), luego se fabricara un asfalto con incorporación de una parte de polímero SBS y otra parte de NFU, que clasifique como un asfalto modificado AM-2 C, según la (Norma IRAM 6596) y, una asfalto modificado con SBS de clasificación AM-3 según la (Norma IRAM 6596), con estos asfaltos se moldearan probetas Marshall para realizar el ensayo de Punzonado (Sd_P) y, probetas para el ensayo de Rueda Cargada (WTT), a las cuales después de ser ensayadas se le extraerán testigos para realizarles el ensayo de Punzonado (Sd_T).

Para esto se utiliza la prensa Marshall automática, la cual nos dará la carga máxima y la deformación en forma automática, en dicha prensa se ubicará el dispositivo a utilizar para el ensayo de punzonado.

2. Metodología

2.1 Ensayo de resistencia a la deformación o punzonado.

El ensayo de Resistencia a la Deformación o del Punzonado fue desarrollado en corea por Kim et. Al. (2000) [2] que permite calcular la resistencia a la deformación "Sd" de una mezcla asfáltica. El objetivo del ensayo es reproducir en laboratorio la carga inducida por el neumático a baja velocidad o cuasi estático, para un estado crítico de temperatura (60°C) y sobre todo considerar que la dirección de la aplicación de la carga sea la misma que se produce in situ, producida por la rueda de un vehículo al circular sobre el pavimento asfaltico. Este ensayo se basa teniendo en cuenta la carga que transmite una rueda al pavimento a través de su sección, considerada circular. En el laboratorio debemos tratar de reproducir esta situación, a fin de representar el mismo estado de tensiones sobre una probeta de mezcla asfáltica que las producidas in situ por el neumático al pavimento asfaltico, para lo cual se diseña un vástago o cabezal de carga de sección proporcional a la del neumático. (Figura N°1)

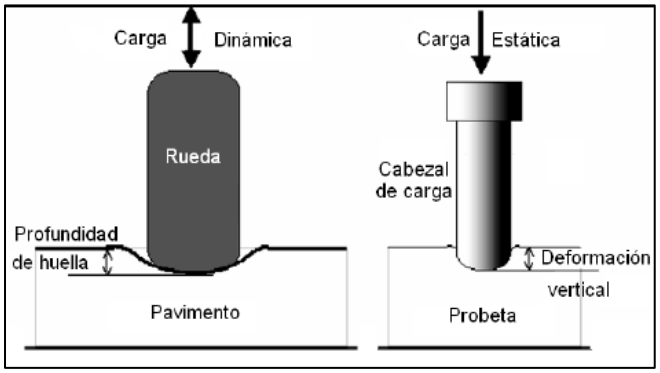


Figura 1. Modelo comparativo entre la rueda y el vástago de ensayo.

Las características del vástago provienen del análisis de sensibilidad de la Resistencia al Punzonado "Sd" (Deformation Srength), efectuada en el estudio de Doh Y. S. del cual surge que tanto el diámetro del vástago "D" como el radio de los bordes redondeados del mismo "r"(Figura N°2), son variables importantes el análisis de sensibilidad y estudia la influencia de distintas dimensiones.

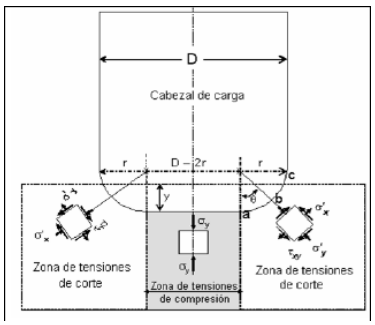


Figura N°2

Se muestran los modelos de los distintos vástagos propuestos por Doh, no siendo así el diámetro de la probeta, dado que no se encontraron diferencias significativas entre los resultados de la Resistencia a Punzonado "Sd" para los diámetros de las probetas de 100 mm o 150 mm en estudio. (Figura N°3)

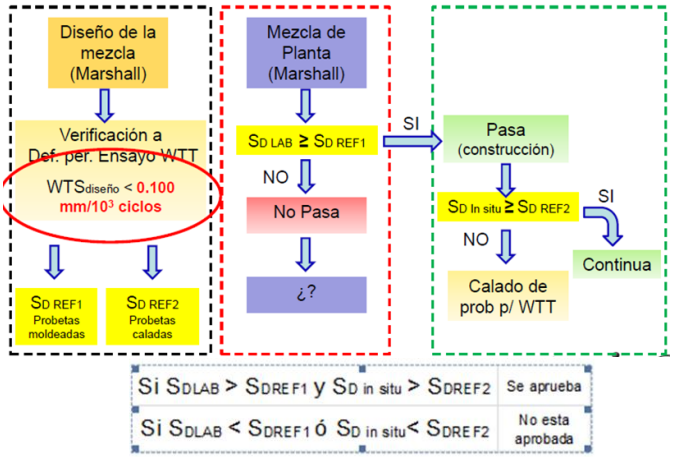
Figura N°3

Para este trabajo se propone utilizar el vástago y la velocidad de ensayo de acuerdo a lo propuesto por la Dra Silvia Angelone en su tesis doctoral, para poder luego comparar los resultados obtenidos con los límites que ella propone, el diámetro del vástago será "D" = 40mm y bordes de curvaturas correspondiente a un radio "r" = 10 mm, con una velocidad de ensayo de 50.8 mm/min.[2] (Figura N°4)

Figura N°4.

Para la realización del trabajo se seguirán los siguientes pasos, para una mejor organización.

1. Se diseña la curva granulométrica que va a servir de base para todas las mezclas asfálticas.
2. Se determina el porcentaje de asfalto óptimo para cada tipo de asfalto a usar en las mezclas de estudio.
3. Se moldean las probetas Marshall para el ensayo de Punzonado y WTT
4. Se obtienen los resultados de la Resistencia a las deformaciones Sd_P de las probetas
5. Se ensayan las probetas WTT y se obtienen los valores de PRD_{aire} y WTS_{aire}
6. Se relacionan los valores de Sd_P con los de WTT con el fin de determinar el Sd_{REF1} de las probetas moldeadas en laboratorio.
7. Se calan los testigos de las probetas WTT
8. Se ensayan los testigos a Punzonado obteniéndose Sd_T
9. Se relacionan los valores de Sd_T con los de WTT con el fin de determinar el Sd_{RFE2} de testigos calados en las probetas de WTT
10. Para realizar el trabajo se debería contar con una obra a fin de poder relacionar los valores de laboratorio con los obtenidos en obra, en nuestro caso no contamos con dichos valores, con lo que vamos a analizar otros parámetros de importancia.
11. En la Figura N°5 se observan las condiciones que se deben dar para la aprobación de una mezcla asfáltica.
12. Se tomarán los parámetros límites para el ensayo de ahuellamiento propuestos por Angelone
    PRD_{aire} < 5,5% y/o WTS_{aire} < 0.100 mm/10^3ciclos



2.2 Descripción del ensayo.

El ensayo consiste en aplicar a la probeta de mezcla asfáltica una carga a través del vástago a una velocidad de 50,8 mm/min (correspondiente a la velocidad del ensayo Marshall) hasta alcanzar la rotura. El vástago se introduce en la mezcla asfáltica provocando una deformación "y". Cuando se alcanza la máxima carga P el ensayo se detiene y queda registrada la evolución tanto de la carga como de la deformación "y" durante el ensayo. Con esos datos es posible calcular la Resistencia al Punzonado "Sd". (Figura N°5)

$$Sd = \frac{P}{Ap}$$

Siendo:
Sd = Resistencia a la Deformación de Punzonado (MPa)
P = Carga máxima (N)
Ap = Área transversal dejada por el vástago (esta varia con respecto a la profundidad "y") (mm^2)

$$Ap = \frac{\pi}{4}\left[D - 2\left(r - \sqrt{2ry - y^2}\right)\right]^2$$

Adoptamos:
D = Diámetro de cabezal de carga = 40 mm
r = Radio de los hombros del vástago = 10 mm
Por lo que la ecuación queda:

$$Sd = \frac{0{,}32P}{\left[10 + \sqrt{20y + y^2}\right]^2}$$

Siendo:
P = Carga máxima (N)
y = Deformación producida por la carga máxima (mm)
Sd = Resistencia a la deformación (MPa)

Para realizar el ensayo de Punzonado, se acondicionaron las probetas sumergiéndolas en agua a 60°C por un periodo de 30 minutos.

Figura N°5

2.3 Materiales y diseño de mezcla.

Los áridos utilizados provienen de las canteras ubicadas en la ciudad de Olavarría provincia de Buenos Aires, para realizar la dosificación se utilizaron piedra partida de denominación comercial 6:20 como agregado grueso y otra de denominación comercial 0:6 como agregado fino, se realizaron distintos ensayos de caracterización del agregado grueso al igual que con el agregado fino, los cuales en ambos casos cumplen con la exigencia del Pliego de Vialidad Nacional 2017.[3]
Se hizo el ensayo granulométrico de los materiales que intervienen en la fórmula de diseño de la mezcla asfáltica CAC D19.
Se hizo la clasificación de los asfaltos a utilizar en este trabajo de acuerdo a sus ensayos, siendo estos,

- asfalto convencional **CA-20**
- asfalto modificado con caucho **AC-2**
- asfalto modificado con caucho más SBS **AM-3**
- asfalto modificado con neumático fuera de uso (NFU) más SBS **AM2-C**

3. Resultados.

Para obtención de los valores de Punzonado de referencia Sd_{REF1-1} se relacionan los valores obtenidos Sd_P con los valores PRD_{aire}, y con la relación de Sd_P con WTS_{aire} obtenemos SdR_{EFE1-2}, adoptaremos como SdR_{EFE1} al que de el menor valor.
Para la obtención de Sd_{REF2} vamos a proceder a relacionar los valores de Sd_T con los valores del ensayo de ahuellamiento PRD_{aire}.

3.1 Mezcla Asfáltica con asfalto CA-20

Los resultados obtenidos con las mezclas cumplen con los parámetros de exigencia que hemos propuesto (item 12), para el ensayo de Ahuellamiento, por lo que se procede a relacionar a estos ensayos, buscando obtener los valores de referencia.
Para los valores obtenidos del ensayo de ahuellamiento, profundidad de huella proporcional (PRD_{aire}) [%] y pendiente de ahuellamiento (WTS_{aire}) [$mm/10^3$ciclos], se concluyó que esta mezcla no cumple con los parámetros de exigencia propuestos, PRD_{aire} < 5,5%, WTS_{aire} < 0,100 $mm/10^3$ ciclos,

por lo que no graficaremos los valores obtenidos, considerando que no son necesarios para nuestro trabajo.

3.2 Mezcla asfáltica con asfalto modificado con NFU AC-2

Para esta mezcla se obtuvieron los resultados de los ensayos Sd, WTT y Densidad Marshall, para probetas y testigos.

Ensayo sobre	Sd	PRD_{aire}	WTS_{aire}
	(MPa)	(%)	(mm/10^3 ciclos)
Probetas	8,6	4,59	0,071
	8,7	4,57	0,070
	9,5	4,54	0,068
Testigos	4,4	4,59	0,071
	5,1	4,57	0,070
	5,6	4,56	0,069
	5,8	4,54	0,068

Tabla N°1 – Ensayos Sd, y Ahuellamiento

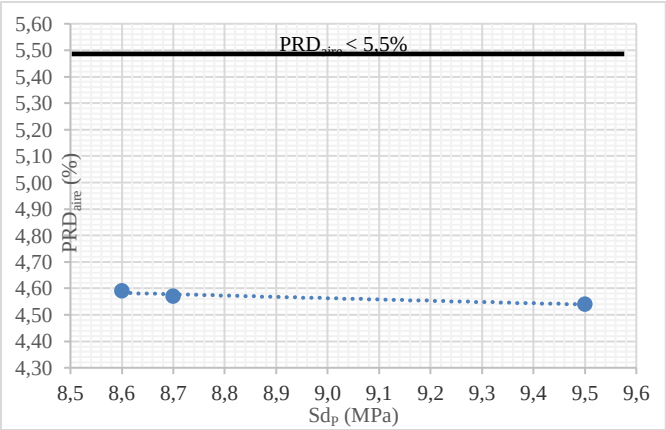


Gráfico N°1:relación Sdp(probeta) con PRD_{aire}

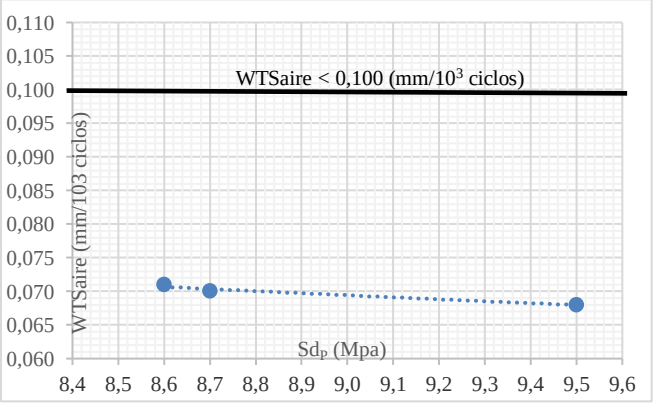


Gráfico N°2:relación Sdp(probeta) conWTS_{aire}

Tanto para esta relación Sd_P vs PRD_{aire} (Gráfico N°1) como para la relación $S_{dP\ vs}$ WTS_{aire} (Gráfico N°2)el Sd_{REF1} obtenido es el valor mínimo de ensayo de ambas relaciones, puesto que estos valores están por debajo del valor de referencia o sea y en este caso son iguales se obtuvo como **Sd_{REF1}= 8,6 MPa.**

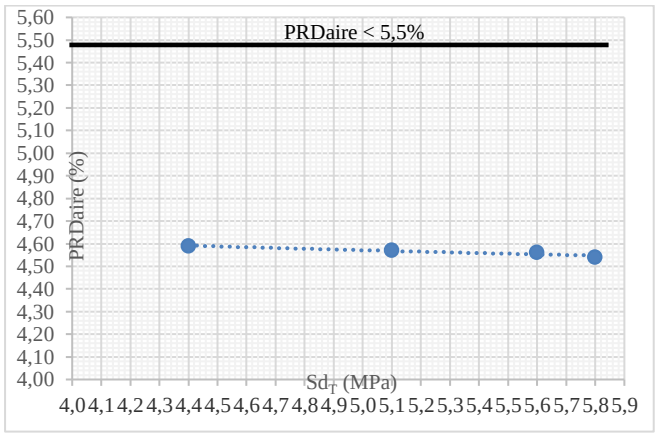


Gráfico N°3:relación Sd_T(testigo)conPRD_{aire}

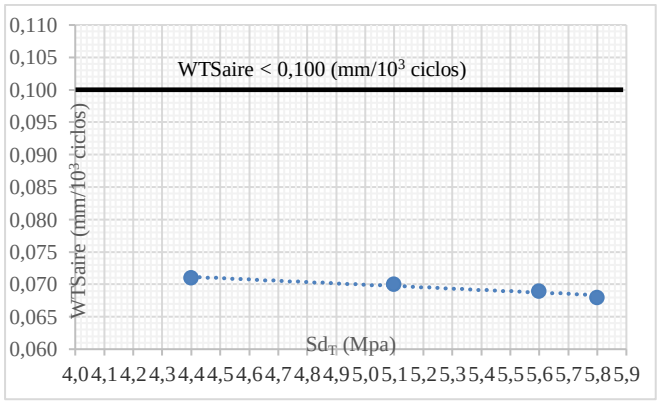


Gráfico N°4:relación Sd_T(testigo)conWTS_{aire}

Tanto para esta relación Sd_T vs PRD_{aire} (Gráfico N°3) como para la relación $S_{dT\ vs}$ WTS_{aire} (Gráfico N°4) el Sd_{REF2} obtenido es el valor mínimo de ensayo de ambas relaciones **S_{dREF2}=4,4 MPa.**

3.3 Mezcla asfáltica con asfalto CA-20 modificado con NFU + SBS – AM-2

Para esta mezcla se obtuvieron los resultados de los ensayos Sd, WTT y Densidad Marshall, para probetas y testigos.

Ensayo sobre	Sd	PRD_{aire}	WTS_{aire}
	(MPa)	(%)	(mm/10^3 ciclos)
Probetas	7,0	3,9	0,048
	9,0	3,6	0,046
	11,0	3,5	0,040
Testigos	3,4	3,9	0,048
	4,1	3,6	0,046
	4,5	3,4	0,044
	4,5	3,5	0,040

Tabla N°2 – Ensayos Sd, y Ahuellamiento

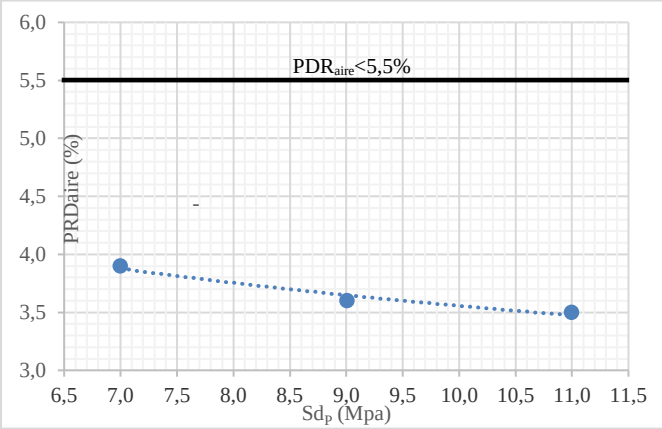


Gráfico N°5:relación Sd$_P$(probetas) con PRD$_{aire}$

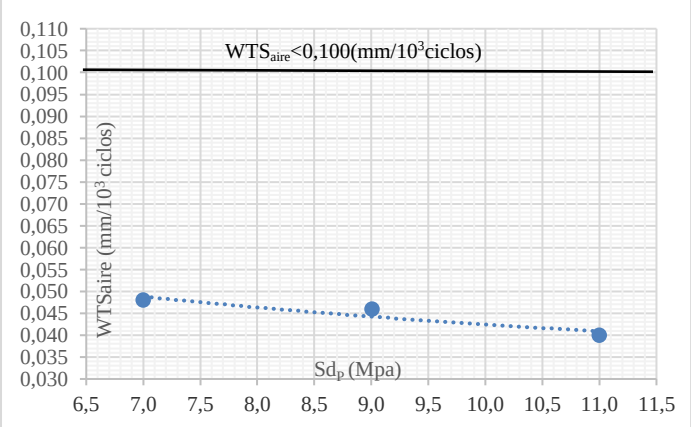


Gráfico N°6:relación Sd$_P$(probeta)conWTS$_{aire}$

Tanto para esta relación Sd$_P$ vs PRD$_{aire}$ (Gráfico N°5) como para la relación S$_{dP\ vs}$ WTS$_{aire}$ (Gráfico N°6) el Sd$_{REF1}$ obtenido es el valor mínimo de ensayo de ambas relaciones, puesto que estos valores están por debajo del valor de referencia o sea y en este caso son iguales se obtuvo como **Sd$_{REF1}$= 7,0 MPa.**

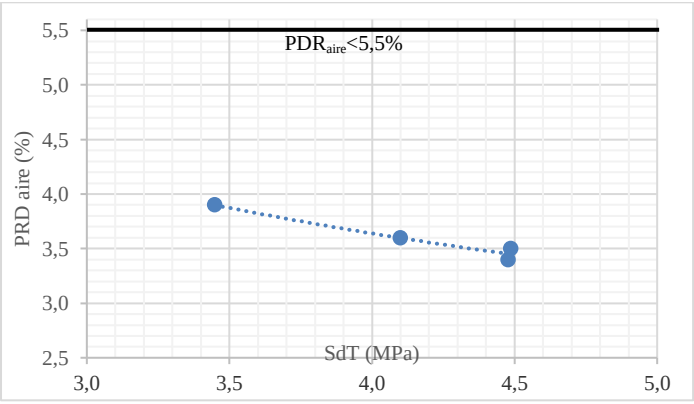


Gráfico N°7:relación Sd$_T$(testigo) con PRD$_{aire}$

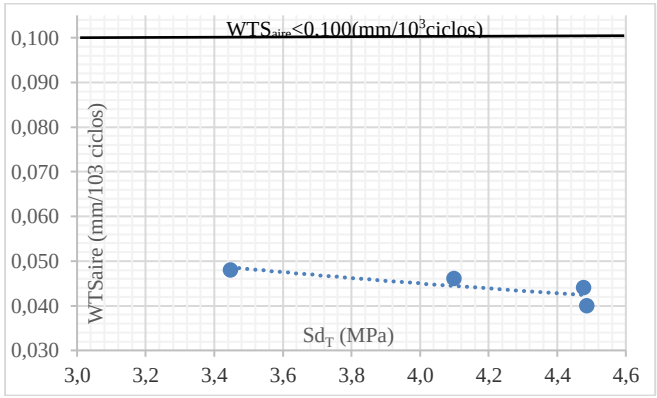


Gráfico N°8:relación Sd$_T$(testigo)con WTS$_{aire}$

Tanto para esta relación Sd$_T$ vs PRD$_{aire}$ (Gráfico N°7)como para la relación S$_{dT\ vs}$ WTS$_{aire}$ (Gráfico N°8) el Sd$_{REF2}$ obtenido es el valor mínimo de ensayo de ambas relaciones **S$_{dREF2}$=3,4 MPa.**

3.4 Mezcla asfáltica con asfalto CA-20 modificado con SBS – AM-3

Para esta mezcla se obtuvieron los resultados de los ensayos Sd, WTT y Densidad Marshall, para probetas y testigos.

Ensayo sobre	Sd	PRD$_{aire}$	WTS$_{aire}$
	(MPa)	(%)	(mm/10^3 ciclos)
Probetas	13,5	2,74	0,031
	13,6	2,71	0,029
	16,8	2,70	0,028
Testigos	6,0	2,74	0,031
	6,7	2,72	0,030
	7,0	2,70	0,029
	7,8	2,70	0,028

Tabla N°3 – Ensayos Sd, y Ahuellamiento

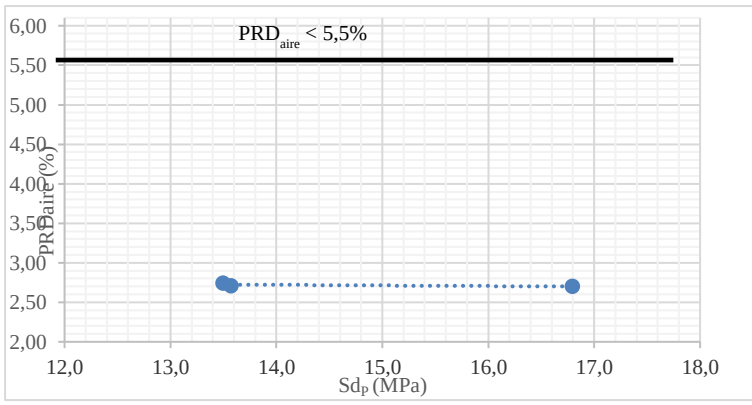


Gráfico N°9:relación Sd$_P$(probetas)con PDR$_{aire}$

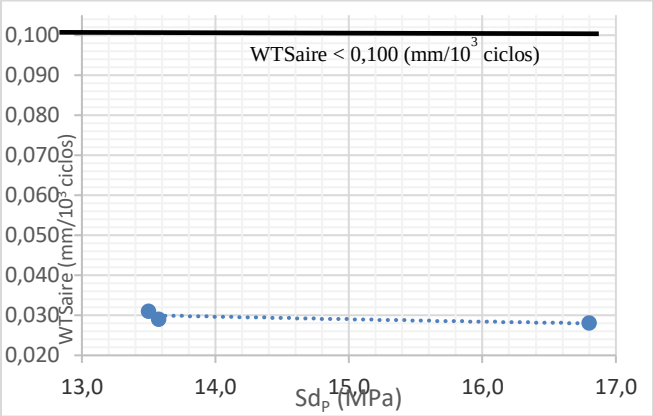


Gráfico N°10:relación Sd_P(probeta)con WTS_{aire}

Tanto para esta relación Sd_P vs PRD_{aire} (Gráfico N°9) como para la relación $S_{dP\ vs}$ WTS_{aire} (Gráfico N°10) el Sd_{REF1} obtenido es el valor mínimo de ensayo de ambas relaciones, puesto que estos valores están por debajo del valor de referencia o sea y en este caso son iguales se obtuvo como **Sd_{REF1}= 13,5 MPa.**

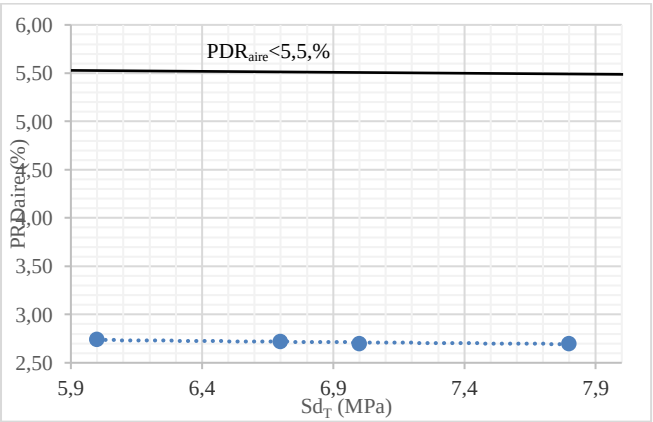


Gráfico N°11:relación Sd_T(testigo)con PDR_{aire}

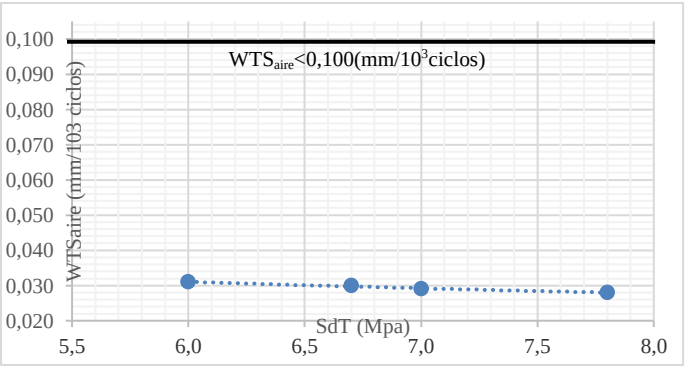


Gráfico N°12:relación Sd_T(testigo)con WTS_{aire}

Tanto para esta relación Sd_T vs PRD_{aire} (Gráfico N°11)como para la relación $S_{dT\ vs}$ WTS_{aire} (Gráfico N°12) el Sd_{REF2} obtenido es el valor mínimo de ensayo de ambas relaciones **Sd_{REF2}=6,0 MPa.**

4.Conclusiones

Debemos recordar que dicho ensayo sigue con vistas a un control "pasa - no pasa" de la mezcla asfáltica, y el grado de confianza de los resultados está en función de una buena correlación en laboratorio.
Los valores de S_D de las mezclas varían dentro de un margen pudiendo establecer un valor de referencia para cada mezcla.

Con los valores obtenidos en los ensayos de punzonado puede apreciarse que las mezclas con contenido de CA20+NFU tuvieron un valor Sd mayores que la mezcla con asfalto CA20.
Lo que esto significa que para mezclas con una misma matriz granulométrica con NFU tendrán un mejor comportamiento frente a la deformación permanente que con asfaltos sin modificar.
Por lo que se puede decir que a mayores valores de Resistencia a la deformación permanente (S_D) se tendrán menores valores de profundidad de ahuellamiento (PDR_{aire}) y menores pendientes de ahuellamiento (WTS_{aire}).
Por lo que se corrobora que el ensayo utilizado es posible ponerlo en práctica de manera inmediata, pudiendo implementarlo en obra con unos costos reducidos y la duración del ensayo es equivalente a la de la estabilidad Marshall.

5. Referencias

[1]Tanco A.(1992) Permanent Deformation Response of Conventional and Modified Asphalt-aggregate Mixtures Under Simple and Compound Shear Loading Conditions.

[2] Comportamiento de materiales viales. Diseño y control de mezclas asfálticas frente a la deformación permanente. Tesis Doctoral de la Mg. Ing. Silvia María Angelone

[3] Pliego de Especificaciones Técnicas Generales 2017, para concretos asfalticos en caliente del tipo denso de Vialidad Nacional.

MOLDEO Y ENSAYO DE DIFERENTES MEZCLAS ASFÁLTICAS, PARA SER ENSAYADA A FATIGA, MEDIANTE EL ENSAYO DE LA SEMI PROBETA

Becario; Sr. Nicolás Ezequiel Gullino
LEMaC, Centro de Investigaciones Viales, UTN FRLP, Av. 60 y 124, La Plata, Buenos Aires, Argentina. nicolasgullino97@gmail.com

Director; Dr. Ing. Delbono Héctor Luis
LEMaC, Centro de Investigaciones Viales, UTN FRLP, Av. 60 y 124, La Plata, Buenos Aires, Argentina. delbonoluis@hotmail.com

Área: Tecnología de los Pavimentos Flexibles. **PID Asociado: "**Estudio y modelización de equipos, para la valoración de la fatiga en mezclas asfálticas, incluidos en la actual normativa europea". Código: ECUTNLP0004972.

Resumen
La fisuración de los pavimentos asfálticos es una de las causas más frecuentes de deterioro. Debido a las características reológicas de las mezclas asfálticas, su comportamiento a la fisuración es complejo de analizar, ya que el material se comporta de manera diferente frente a las solicitaciones climáticas y el tránsito.
El presente trabajo de investigación tiene por objetivo determinar la resistencia a fatiga de diferentes tipos de mezclas asfálticas, a través de la implementación del ensayo SCB (Viga Semicircular Simplemente Apoyada).
Se plantea una metodología de moldeo y se ensayan distintas mezclas encontrando que una mezcla compuesta por asfalto modificado tiene un mejor comportamiento a la fatiga que otra que no lo posea, y además, que el contenido de ligante influye de manera directa en dicho comportamiento.

Palabras clave: Mezcla asfáltica, Ensayo SCB, Resistencia a fatiga.

1. Introducción

Las mezclas asfálticas están compuestas por la unión de agregados pétreos (gruesos y finos), y un ligante asfáltico.
Los daños en ellas son diversos y sus causas son especialmente por el flujo vehicular y ciertas condiciones medioambientales (temperatura, humedad, rayos UV, precipitaciones), las cuales aceleran el deterioro de la estructura del pavimento.

La resistencia a la fatiga es la resistencia a flexión bajo cargas repetidas del tránsito donde en un pavimento se manifiesta por una pérdida de rigidez y posteriormente por una fisuración generalizada conocida como piel de cocodrilo. Entre los factores que pueden influir en la resistencia a la fatiga de la mezcla están las características propias del pavimento como el espesor de las capas, donde capas con espesores insuficientes sufrirán una flexión excesiva y se agrietaran más rápidamente, como también la granulometría y tipo del árido, el contenido de asfalto, grado de compactación, entre otros.

Ante estos problemas, se implementó en el LEMaC, Centro de investigaciones viales de la UTN FRLP, el ensayo SCB (Semi Circular Bending) que posee un procedimiento rápido y confiable, cuyo objetivo principal es medir la energía de fractura a una temperatura especificada y la tenacidad de la mezcla asfáltica.

En esta tesina se verá reflejada una comparación de los resultados con aquellos obtenidos previamente por experiencias previas del LEMaC teniendo en cuenta las distintas metodologías de moldeo y las diferentes mezclas asfálticas utilizadas. Dicho esto, se elaboró una mezcla convencional del tipo CAC D19 con 4,5% de asfalto que denominaremos MA1 conformando una probeta de dimensiones 150 mm de diámetro y 115 mm ± 5 de altura con el compactador giratorio de la empresa YPF (Yacimientos Petrolíferos Fiscales S.A.). A su vez, se confeccionaron probetas de igual dimensiones que especificamos anteriormente mediante el amasado con un percutor en laboratorio con distintos ligantes asfálticos: mezcla CAC D19 con CA20 (Versión 4) con 4,1% de asfalto (MA2), con CA20 + 8% NFU con 4,3% de asfalto (MA3), con CA20 + 1/3 NFU + 2/3 SBS con 4,3% de asfalto (MA4) y CAC D19 con 4,3% de AM3 Alfasol (MA5).

2. Metodología y materiales

2.1. Obtención de la Mezcla

Las mezclas se fabricaron empleando áridos de la cantera Piatti y asfaltos proveídos por YPF. La Tabla 1 presenta las dosificaciones correspondientes a cada tipo de mezcla asfáltica diseñada.

Tabla 1. Dosificaciones

Mezcla	Materiales para una CAC D19		Dosificación Total (%)	Peso total de la dosificación (g)
MA1	Material 1	06:20	30,56	1528
	Material 2	00:06	53,48	2674
	Material 3	CAL	2,2	109,83
	Material 4	06:12	9,26	463,18
	Asfalto	CA-20	4,5	225
	Total		100	5000
MA2	Material 1	06:20	47,95	2397,5
	Material 2	12:20	8,63	431,6
	Material 3	00:06	38,36	1918
	Material 4	CAL	0,96	48
	Asfalto	CA-20	4,1	205
	Total		100	5000
MA3	Material 1	06:20	47,85	2392,5
	Material 2	12:20	8,61	430,7
	Material 3	00:06	38,28	1914
	Material 4	CAL	0,96	47,9
	Asfalto	CA-20 + 8%NFU	4,3	215
	Total		100	5000
MA4	Material 1	06:20	47,85	2392,5
	Material 2	12:20	8,61	430,7
	Material 3	00:06	38,28	1914
	Material 4	CAL	0,96	47,9
	Asfalto	CA-20 + 2/3SBS + 1/3NFU	4,3	215
	Total		100	5000
MA5	Material 1	06:20	47,85	2392,5
	Material 2	12:20	8,61	430,7
	Material 3	00:06	38,28	1914
	Material 4	CAL	0,96	47,9
	Asfalto	AM3 Alfasol	4,3	215
	Total		100	5000

2.2. Moldeo de la probeta

2.2.1. Dosificación MA1

Se fabrica una probeta, de dimensiones 150 mm de diámetro y 115 mm ± 2 mm de altura siguiendo la metodología propuesta por AASHTO TP124.

La probeta es compactada, con un compactador giratorio, según la normativa AASHTO T312-ASTM D 6925 bajo las siguientes condiciones de moldeo:

- Presión de compactación durante los primeros 5 giros: 600 Kpa ± 60 Kpa
- Nº de giros: 95
- Presión de compactación después de los primeros 5 giros: 600 Kpa ± 18 Kpa
- Cantidad de mezcla: 4800 g aproximadamente
- Velocidad de base giratoria: 30 Rpm ± 0,5 Rpm
- Temperatura de mezclado: 155º C
- Temperatura de compactación: 145º C

Obtenida la probeta de 150 mm de diámetro y 115mm ± 2 mm de altura, se determina la densidad (Tabla 2), luego se procede a cortar en el centro, obteniendo una probeta de 50 mm ± 2 mm por un diámetro de 150 mm, descartando las partes externas. Luego, se corta al centro de la probeta, obteniendo 2 partes iguales (Figura1).

En su cara plana, se realiza una entalladura de unos 3 mm en la mitad de la semi probeta, cuyo objetivo es inducir el plano de falla durante el ensayo.

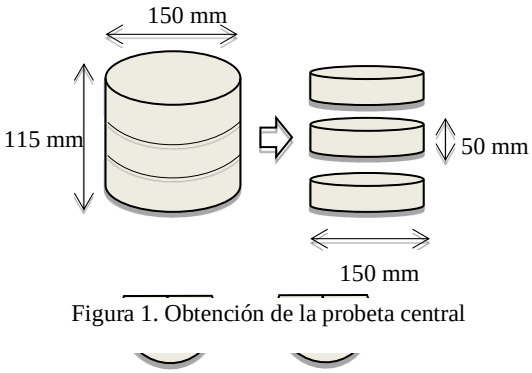


Figura 1. Obtención de la probeta central

Por último, en una de las caras diametrales, se pinta con cal diluida en agua con el fin de obtener una mejor visualización de las fisuras en el momento de ejecución del ensayo hasta la finalización del mismo.

La densidad obtenida con el compactador giratorio fue de 2,204 kg/m^3.

2.2. Dosificación MA2, MA3, MA4 y MA5

Se confeccionan probetas con igual cantidad de mezcla (4800 g) de 150 mm de diámetro y 115 mm ± 2 mm de altura utilizando un percutor con base circular aplicando una cierta presión y generando una especie de amasado (Figura 2 y Figura 3), buscando simular el compactador giratorio y analizando las densidades obtenidas por ambos procedimientos, diferenciándose en el tipo de mezcla asfáltica, es decir, utilizando dos ligantes asfálticos distintos, lo que conlleva a establecer diferentes temperaturas de mezclado y compactación.

- Temperatura de mezclado MA2: 155º C
- Temperatura de compactación MA2: 145º C
- Temperatura de mezclado MA3: 165º C
- Temperatura de compactación MA3: 155º C
- Temperatura de mezclado MA4 y MA5: 175º C
- Temperatura de mezclado MA4 y MA5: 165º C

Figura 2. Colocación de la mezcla en el molde

Figura 3. Compactación de la mezcla

Tabla 2. Densidades de las probetas obtenidas en la etapa de dosificación y moldeo con percutor.

Probeta	Densidades dosificación (kg/m3)	Densidades Moldeo (kg/m3)
CA 20	2,441	2,438
CA 20 + 8%NFU	2,431	2,427
CA-20 + 2/3SBS + 1/3NFU	2,351	2,367
AM3 Alfasol	2,300	2,330

2.4. Ejecución de ensayo

Se acondiciona la probeta previamente a 20º C durante 2 hs. Luego se la coloca centrada y simplemente apoyada sobre una estructura diseñada que consiste en 2 rodillos, separados una distancia de 120 mm, es decir, igual al 80% de la longitud del diámetro (Figura 4).

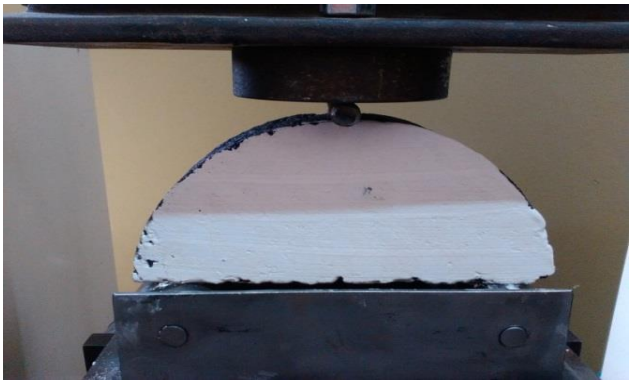


Figura 4. Probeta para ser ensayada

Se ejecuta el ensayo utilizando el equipo EMIC, aplicando una fuerza constante en el centro de la luz de la semi probeta, a una velocidad de 0,05 mm/min hasta finalizar la ejecución del mismo.

Se determina como una prueba válida siempre y cuando la grieta termine en una zona igual al 10% del diámetro de la probeta (Figura 5) desde el centro de la franja de carga. En caso de que esto no ocurra, se descarta la probeta ensayando posteriormente otras muestras.

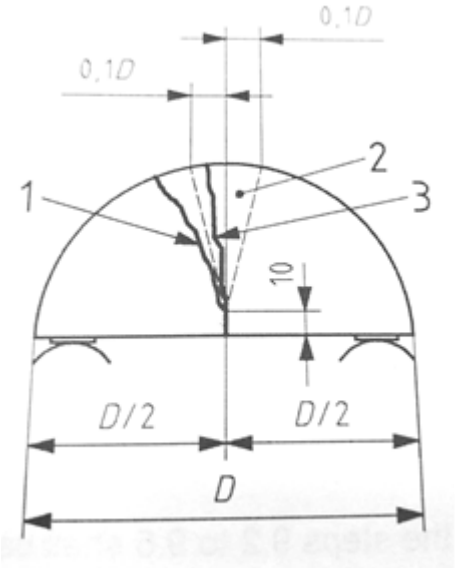


Figura 5. Aceptación del ensayo

Dónde:

1. Ensayo rechazado
2. Área de aprobación
3. Ensayo aprobado

Para todos los casos los resultados fueron válidos, por lo que se pudo establecer una curva Carga-Deformación, registrada por el software del equipo EMIC, de la cual podemos obtener información como la Carga Máxima que puede soportar la probeta la Deformación a Carga Máxima y la deformación a rotura de la misma, para realizar un estudio del comportamiento de las mezclas asfálticas ensayadas.

La Figura 6 (Mezcla MA2) y Figura 7 (Mezcla MA5) muestran la grieta dentro de la zona de aceptación.

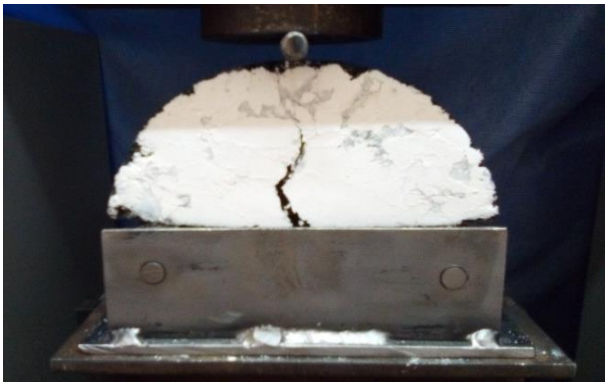


Figura 6. Mezcla probeta central MA2

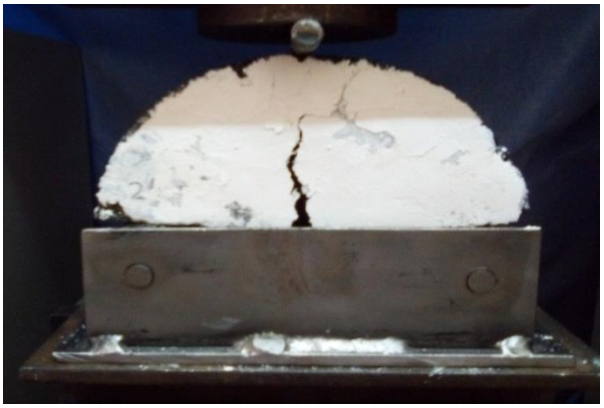


Figura 7. Mezcla probeta central MA5

2.5. Parametros a estudiar

Extrayendo los resultados del software de ensayo, volcandolos a excel se procedió a determinar lo siguiente:

2.5.1. Trabajo de fractura

El trabajo de fractura se calcula como el área bajo la curva Carga-Deformación.

$$W_f = \int_0^{df} F(x)\,dx$$

Dónde:

- W_f: trabajo de fractura
- F: fuerza en función de la deformación
- x: deformación
- df: deformación total

2.5.2. Energía de fractura

La energía de fractura se calcula dividiendo el trabajo de fractura por el área del ligamento de la probeta antes de la prueba (Figura 8).

$$E_f = \frac{W_f}{A_{lig}}$$

Dónde:

- E_f: Energía de fractura
- W_f: Trabajo de fractura
- A_{lig}: Área del ligamento

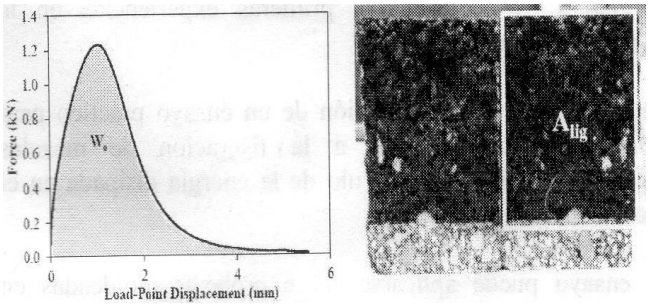


Figura 8. Trabajo de fractura y área del ligamento

2.5.3. Índice de tenacidad

Se define como la energía disipada en el proceso de ablandamiento multiplicado por un factor de fragilidad.
Este índice tiene como finalidad, determinar la capacidad que posee la mezcla de mantener unidos sus componentes una vez que ya ha alcanzado su resistencia máxima.

$$I_T = \frac{W_D - W_{F\max}}{A_{lig}} \times (\Delta_{mdp} - \Delta_{F\max})$$

Dónde:

- I_T: Índice de tenacidad (adimensional)
- W_D: Trabajo total realizado (N-mm)
- W_{Fmax}: Trabajo realizado hasta la carga máxima (N-mm)
- Δ_{mdp}: deformación a ½ F_{max} post pico (mm)
- Δ_{Fmax}: deformación a F_{max} (mm)
- A_{lig}: Área del ligamento (mm^2)

2.5.4. CMOD (crack mouth opening displacement)

Se considera CMOD a la abertura en la superficie de la grieta, medida como la diferencia entre la abertura original y la distancia de apertura final de la semi probeta (Figura 9).

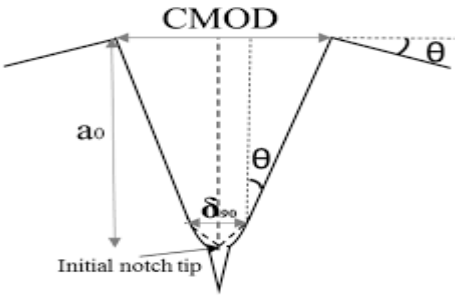


Figura 9. Medición del CMOD

3. Resultados

De acuerdo a las curvas que nos proporcionó el software (Figura 10 a Figura 14), se pudo obtener mediante cálculos matemáticos realizados en Excel, los resultados de los parámetros mencionados anteriormente, que se encuentran reflejados en la Tabla 3. Se ensayaron todas las probetas, las centrales y las de los extremos, aunque como se especificó anteriormente solo nos dedicaremos al estudio de las probetas centrales, Figura 15.

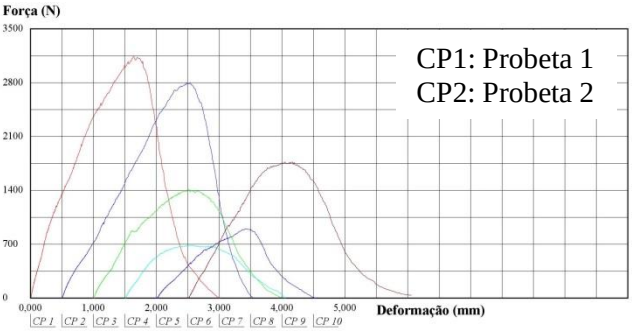


Figura 10. Dosificación MA1

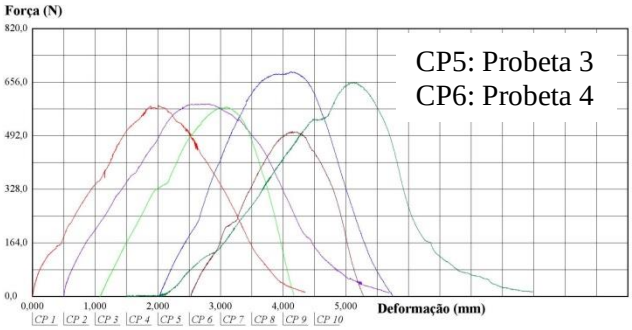


Figura 11. Dosificación MA2

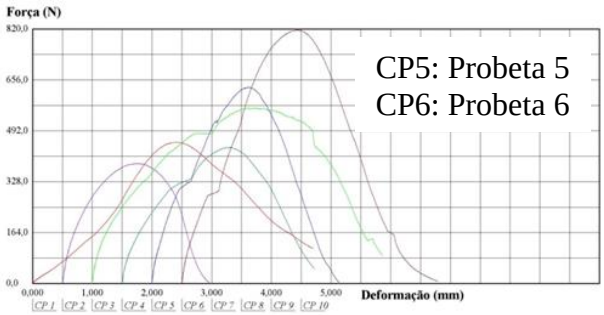


Figura 12. Dosificación MA3

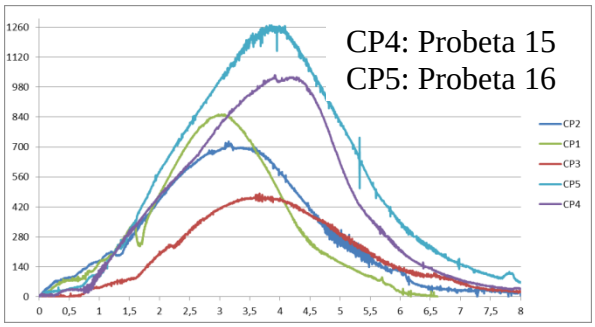


Figura 13 Dosificación MA4

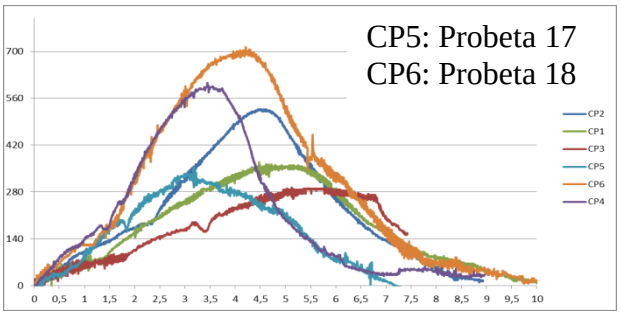


Figura 14. Dosificación MA5

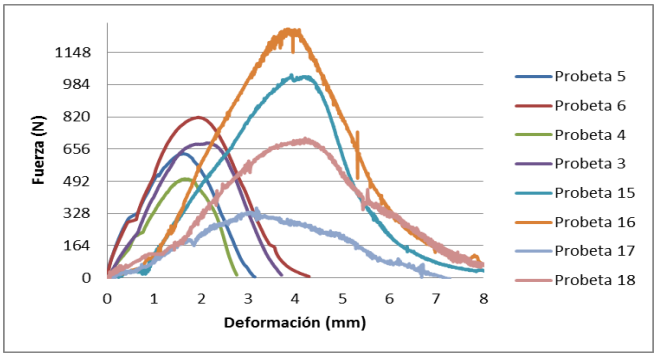


Figura 15. Curvas graficadas en Excel

La Tabla 3 presenta los resultados realizados de SCB sobre las diferentes mezclas asfálticas dosificadas. La probeta 1 y probeta 2 corresponden a las moldeadas con el compactador giratorio, las probetas restantes moldeadas con el percutor en laboratorio.

Tabla 3. Resultados

Probetas		F_{max}	Def a F_{max}	I_T	W_f	W_{fp}	E_f	CMOD
		N	mm	Adim	N.mm	N.mm	J/m^2	mm
Centrales	1	3141,0	1,6	0,729	4822,9	3065,2	1429,0	8
	2	2880,0	2,0	0,436	4402,5	2945,3	1304,4	10
	3	688,4	2,1	0,154	1475,0	883,6	437,0	9
	4	505,4	1,7	0,075	815,0	454,4	241,5	8
	5	632,9	1,6	0,233	1170,0	654,7	346,7	7
	6	818,5	1,9	0,609	1849,0	973,4	547,9	9
Externas	7	584,6	2,0	0,075	280,0	132,4	124,4	7
	8	590,6	2,3	0,126	359,0	135,6	159,6	8
	9	580,7	2,1	0,249	904,0	112,0	401,8	9
	10	656,6	3,6	0,498	1604,0	234,9	712,9	10
	11	456,5	2,4	0,438	1196,0	524,7	531,6	8
	12	387,1	1,3	0,170	639,0	370,0	284,0	7
	13	566,8	2,6	0,611	1915,6	1002,4	851,4	9
	14	439,3	1,8	0,244	918,4	530,3	408,2	8
Centrales	15	1035,0	3,9	0,178	2888,4	1809,6	855,8	13
	16	1268,5	3,8	0,281	3637,1	2126,1	1077,7	15
	17	356,6	3,2	0,244	1150,0	530,9	340,7	11
	18	713,1	4,2	0,189	2384,5	1505,9	706,5	12
Externas	19	852,0	3,0	0,793	2151,9	1096,5	956,4	9
	20	725,8	3,2	0,577	1949,1	1076,7	866,3	9
	21	482,8	3,7	0,239	1303,3	711,4	579,2	9
	22	369,2	4,5	0,302	1476,0	799,0	656,0	13
	23	527,0	4,4	0,281	1660,3	1054,0	737,9	12
	24	293,5	5,1	0,300	1326,2	740,1	589,4	15
	25	605,8	3,4	0,422	1180,7	997,1	524,8	9

Dónde:

MA1
MA2
MA3
MA4
MA5

La Figura 16 presenta la determinación del CMOD mediante regla graduada, el mismo será obtenido a partir de LVDT, el cual está siendo desarrollado.

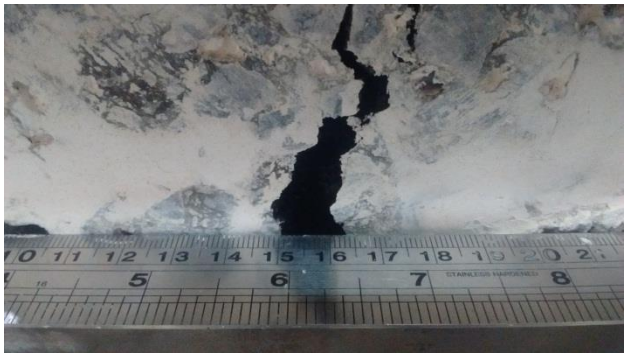


Figura 16. Determinación del CMOD

El área de ligamento (A_{lig}) para las probetas centrales y las externas es el siguiente:

Área del ligamento centrales: 45 mm × 75 mm = 3375 mm^2
Área del ligamento extremos: 30 mm × 75 mm = 2250 mm^2

4. Análisis y Conclusiones

Se buscó establecer una metodología de moldeo que sea representativa a la de un compactador giratorio, sin embargo la implementación de la carga con amasado impuesta en el mismo puede que no logre una probeta central uniforme, de acuerdo a la observación de las probetas centrales luego de ser ensayadas donde la distribución granulométrica de los áridos no era pareja en ambas caras.
Esto evidencia la variabilidad de los resultados para las probetas centrales de una misma dosificación de mezcla asfáltica.

Por lo tanto, queda a futuro determinar si la dirección en la que la probeta es compactada, según la metodología adoptada, influye en las características de generar una probeta homogénea.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los diferentes ensayos SCB realizados a una temperatura de 20ºC, a una velocidad que aplicación de carga de 0,5 mm/seg y la definición de los parámetros especificados, se pudo observar:

Las probetas que mejor comportamiento presentaron fueron las moldeadas con el compactador giratorio, ´probeta 1 y probeta 2.

Teniendo en cuenta solo las probetas centrales moldeadas con el percutor en laboratorio, la mezcla asfáltica que mejor se comporto fue la mezcla CAC D19 con 4,3% de asfalto, con CA20 + 1/3 NFU + 2/3 SBS (MA4).
Mientras que la mezcla que menor beneficio tuvo fue la mezcla CACD19 con cemento asfaltico CA20 (Versión 4) con 4,1% de asfalto (MA2).

Se aprecia en la Figura 15 los picos de carga coincidentes para las mezclas MA2 y MA3 por un lado y las mezclas MA4 y MA5 por el otro. Esto se debe a la modificación del asfalto que le brinda mayor elasticidad a la estructura de la mezcla, haciendo más dúctiles las mismas.

La carga que toma cada probeta esta, sin duda, en función de la distribución granulométrica de los áridos, tipo de árido, tipo y % de asfalto empleado en la dosificación, como así también la temperatura de moldeo y energía de compactación como se pudo constatar en el moldeo y al finalizar cada ensayo; donde se observó que la fisura de propagación recorre el camino más corto, bordeando el agregado que encuentra en su camino.

Los resultados obtenidos son sensibles a las variables de diseño mencionadas en el párrafo anterior. Creemos relevante tomar el tiempo de propagación de la fisura en estos ensayos, es un dato fácil de medir y posibilita comparativas entre diferentes muestras.

No podemos definir un valor que indique la respuesta de las mezclas a la fatiga por ser las primeras experiencias y no encontrarse en la bibliografía internacional diseños similares.

5. Referencias

1. Luis Alberto Paredes Chérrez, Óscar Javier Reyes Ortiz, Javier Fernando Camacho Tauta. Comportamiento de mezclas asfálticas densas a partir del ensayo de viga semicircular simplemente apoyada. Año 2013.
2. Feliz E. Pérez-Jimenez, Rodrigo Miró, Adriana Martínez, Ramón Botella. Diseño de mezclas asfálticas a partir de la determinación de su resistencia a la fisuración y energía de fractura mediante el ensayo fénix. Comparación con otros procedimientos de diseño.
3. Instituto Nacional de Vías. E - 784 – 07. Determinación de las leyes de fatiga de mezclas asfálticas compactadas en caliente sometidas a flexión dinámica.
4. Gabriel Nsengiyumva. University of Nebraska, Lincoln. Development of Semi-Circular Bending (SBC) Fracture Test for Bituminous Mixtures. Año 2015.
5. Pedro Limón-Covarrubias, David Avalos Cuerva, Gonzalo Valdés Vidal. Analisys of the Behavior of SMA Mixtures with Different Fillers Through the Semicircular Bend (SCB) Fracture Test. Año 2019.
6. ASTM D8044-16. Método de prueba estándar para la evaluación de la Resistencia al agrietamiento de la mezcla asfáltica utilizando la prueba de curva semicircular (SCB) a temperaturas intermedias.

ANÁLISIS DEL CBR EN SUELO CON LA INCORPORACIÓN DE MATERIALESGEOSINTÉTICOS A DISTINTOS ESPESORES DE CAPAS

Becario: Sr. Walter Leonardo López
LEMaC Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional;
Facultad Regional La Plata. Av. 60 y 124(1900). La Plata, Buenos Aires, Argentina.
waly9398@yahoo.com.ar

Director: Dr. Ing. Delbono, Héctor Luis.
LEMaC Centro De Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional;
Facultad Regional La Plata. Av. 60 y 124(1900). La Plata, Buenos Aires, Argentina.
delbonoluis@hotmail.com

Área: Tecnología de los pavimentos flexibles

Resumen
Siempre se busca mejorar la capacidad soporte de las capas de un pavimento. En el presente trabajo, continuación de investigaciones previas, se compara la capacidad portante de dos suelos diferentes, incorporando una geogrilla/geomalla de ciertas características y propiedades en distintos niveles de capa, mediante el ensayo CBR (Carga por Penetración mediante pistón de características normalizadas).
La metodología de estudio contempla el análisis sobre dos suelos diferentes realizando la comparativa con una muestra patrón, sin la incorporación de Geomalla. Se encuentra variación en los resultados para los distintos espesores en que se coloca la Geomalla y para una penetración determinada, comprobando que colocando el material geosintético próximo a la superficie, se obtiene el mejor resultado.
Palabras claves: Geomalla, Suelo, CBR

1. Introducción.

Los pavimentos flexibles están conformados por una carpeta asfáltica, apoyada generalmente sobre capas no rígidas denominadas bases y sub-bases (Figura 1).
Las capas de bases y sub-bases tienen un espesor mínimo de 15 cm, resistiendo las cargas que el tránsito transmite, distribuyendo estas al cuerpo del terraplén. Las bases y sub bases forman parte de la estructura del pavimento, estas se construyen sobre la subrasante y se constituyen por material graduado que puede ser mejorado con cal o cemento.

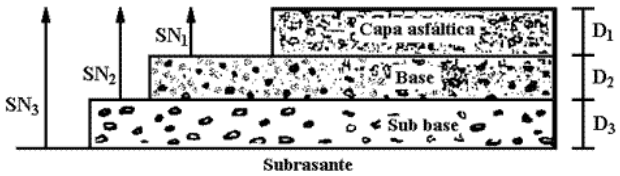


Figura 1. Esquema de paquete estructural

La situación más desfavorable ocurre para suelos blandos con baja capacidad de carga, los cuales tienden a deformarse, poniendo en peligro la estructura a construir sobre el mismo. Para evitar este comportamiento se busca desplazar la superficie de falla de la subrasante blanda (Figura 2), hacia una capa granular de mayor resistencia.

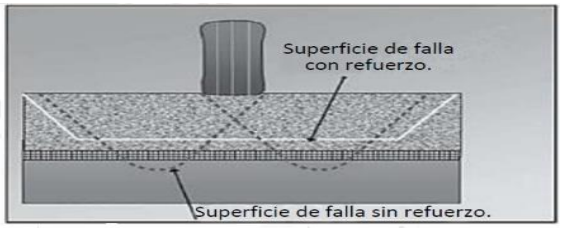


Figura 2. Superficie de falla

Mediante la colocación de geosintéticos, próximos a la aplicación de la carga, se busca alejar los esfuerzos de la subrasante. Esto es posible ya que la conformación estructural y la rigidez de la geomalla permite la redistribución de las cargas en un área mayor (Figura 3), disminuyendo los esfuerzos tomados por el suelo blando.

Figura 3. Efecto distribución de carga

La geomalla tiende a formar una forma curva cuando comienza a tomar carga, el esfuerzo normal sobre la cara

cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa (Figura 4), esto quiere decir que: la carga vertical transmitida por la rueda hacia la subrasante, es menor debido a que parte de la carga lo toma la geomalla.

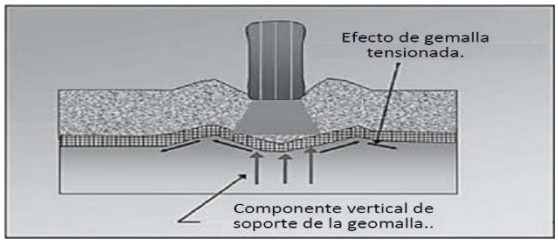


Figura 4. Distribución de carga

La forma curva es una deformación producto de la carga, la geomalla se deforma de tal manera de acompañar la deformación sobre la superficie del camino.

La forma y tensión que se produce en la geomalla, crea una resistencia hacia arriba sobre la base de la rueda y un confinamiento hacia abajo, sobre la subrasante (Figura 5).

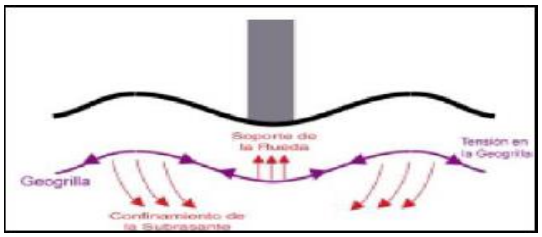


Figura 5. Membrana tensionada

2. Materiales:

Para nuestro análisis tomamos 2 suelos de distintas características provenientes de una Cantera en San Bernardo. Provincia de Buenos Aires.

Se realizó la clasificación HRB según VN-E4-84; IRAM 10509, de los suelos obteniendo los siguientes resultados:

Suelo1:
LL=48; LP=29; IP=10; PT200=70 clasificación: A-7-6(13)
Ds=1.404gr/cm³
H%= 27.9

Suelo 2:
LL=38; LP=28; IP=10; PT200=40 clasificación: A-4-(1)
Ds= 1,449 gr/cm³
H%= 24.0
VSR= 27%

El material utilizado como refuerzo es una geomalla (GR) de malla abierta 40x40cm (Figura 6), la cual está especialmente diseñada para reforzar el suelo, mediante el mecanismo de trabazón del material granular; son fabricadas a base de Polietileno de alta densidad y Poliéster, más aditivos como el negro de humo.

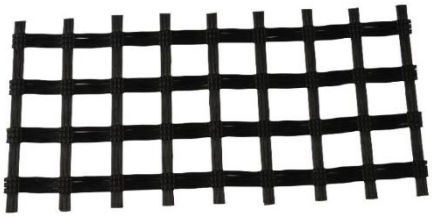


***Figura 6**. Geogrilla o Geomalla*

3. Metodología.

Previo al inicio del estudio se calculó la humedad y densidad óptima del suelo a través del ensayo Proctor, según VN-E5-93; IRAM 10511, se procede a determinar el %CBR según VN-E6-84; norma IRAM 10520 (Figura 7), el cual está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada sobre una muestra patrón, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad sobre la muestra en estudio a igual velocidad.

*Figura **7.** Ensayo CBR*

Una vez colocado el suelo en el molde se procede a la compactación a través de la prensa hidráulica (Figura 8).

Figura 8. Compactación

Finalizada la compactación se le coloca un disco metálico que simule la carga a la que estaría sometido el pavimento en servicio y se lo sumerge en agua durante cuatro días, según la norma IRAM 10520 (Figura 9).

*Figura **9.** Preparación del molde con la carga*

Una vez transcurrido el tiempo se procede a ensayar el suelo realizando la toma de lectura del fleximetro para distintas penetraciones del pistón de carga. El ensayo se realiza a una velocidad de 1.27 mm/min.

El procedimiento anteriormente explicado fue realizado previamente para otro trabajo de investigación, lo que se presenta es una continuación del mismo, en el cual se investiga como responde el suelo al colocar una geomalla en distintos niveles de capa y analizar los resultados para definir una posición óptima de colocación.

Se comenzó posicionando la geomalla a mitad del molde, 5,60 cm respecto de la base, Figura 10.

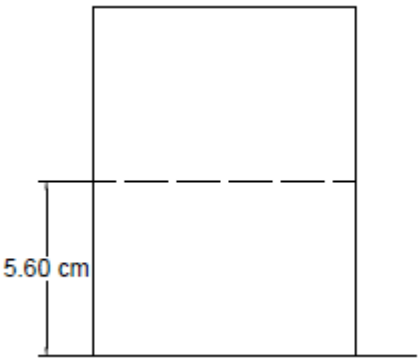


Figura 10. Colocación de geomalla a 5.60 cm

Luego se colocó la geomalla a 7.53 cm respecto de la base, Figura 11.

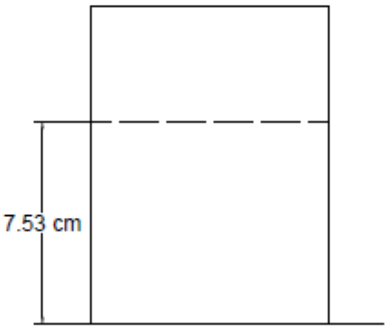


Figura 11. Colocación de geomalla a 7.53 cm

y posteriormente la otra ubicación seleccionada de colocación de la geomalla es a 9.46 cm, Figura 12.

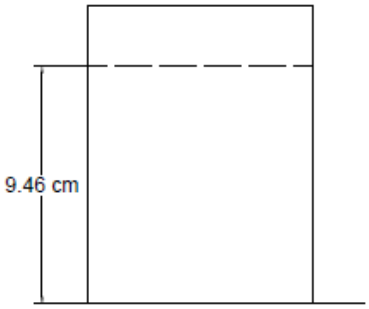


Figura 12. Colocación de geomalla a 9.46 cm

Nota: notamos para un suelo A-4 un reacomodamiento de la geomalla finalizado el ensayo, la cual manifestó un descenso diferente para cada posición original, esta medida fue tomada desde la parte superior del molde hacia abajo.

Para la posición de 7.53 cm, la geomalla manifestó un descenso de 2,9 cm, Figura 13.

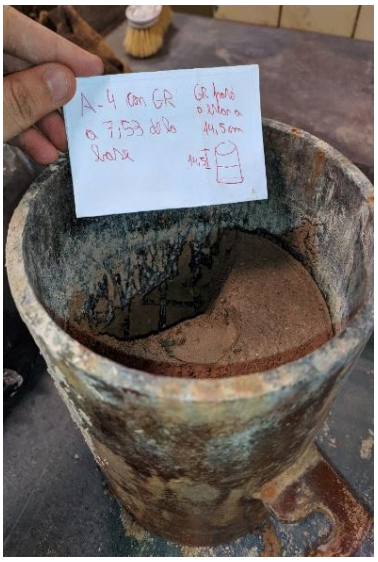


Figura 13. Posición post ensayo para geomalla a 7.53 cm

Para la posición de 9.46 cm la geomalla manifestó un descenso de 2,2 cm, Figura 14.

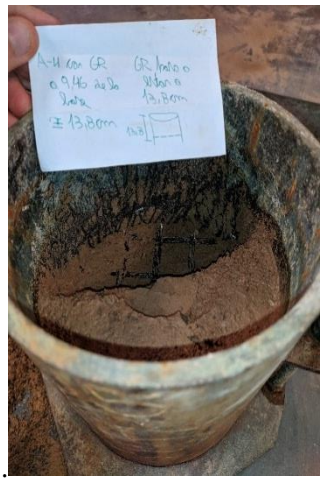


Figura 14. Posición post ensayo para geomalla a 9.46 cm

2. 1. Resultados

Tabla 1. Resultados de CBR para las distintas posiciones de colocación de la geomalla en suelo A-7-6.

	A-7 -6			
	Sin GR	GR ``a mitad del molde``	GR a 7,53 cm	GR a 9,46 cm
Penetracion	Carga (kg)	Carga (kg)	Carga (kg)	Carga (kg)
0,64	5,99	23,96	23,96	65,89
1,27	17,97	38,94	32,94	116,8
1,91	35,94	53,91	74,87	152,74
2,54	53,91	74,85	107,82	179,7
5,1	119,8	131,78	191,68	263,56
7,6	155,74	185,69	245,59	335,44
10,2	197,67	233,61	308,48	407,32
12,7	233,61	269,55	365,39	482,2

Tabla 2. Resultados de CBR para las distintas posiciones de colocación de la geomalla del suelo A-4.

	A-4			
	Sin GR	GR a mitad del molde	GR a 7,53 cm	GR a 9,46 cm
Penetracion	Carga (kg)	Carga (kg)	Carga (kg)	Carga (kg)
0,64	11,98	44,93	200,39	96,74
1,27	38,94	53,91	304,04	179,66
1,91	68,88	119,8	373,14	241,85
2,54	101,83	134,77	428,42	290,22
5,1	179,7	281,53	511,34	511,34
7,6	200,61	377,37	670,27	691
10,2	275,54	509,15	760,1	870,66
12,7	317,47	649,91	898,3	1029,59

La Figura 15 presenta los resultados de las tres posiciones para toda la escala de penetración del suelo A-7-6.

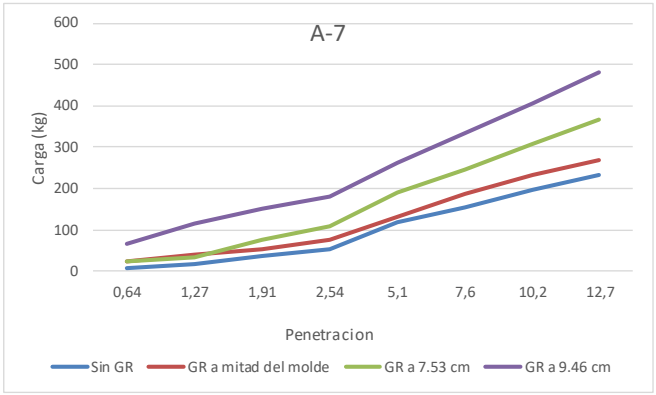


Figura 15. Gráfica penetración vs Carga

La Figura 16 presenta los resultados de las tres posiciones para toda la escala de penetración del suelo A-4.

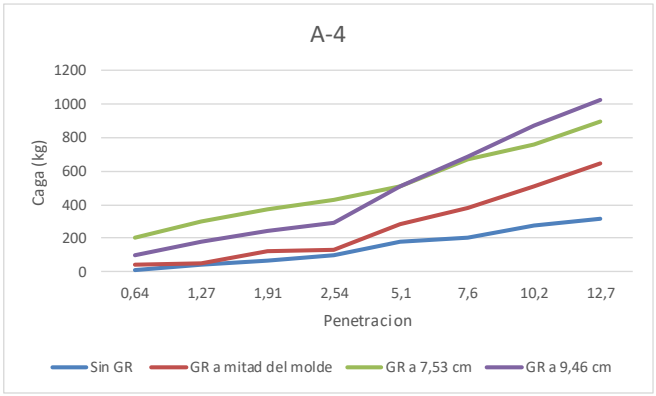


Figura 16. Gráfica penetración vs Carga

A continuación, exponemos los resultados comparando los dos tipos de suelo con y sin la incorporación de la geomalla, posicionada a 9.46 cm por ser la posición que mayor resistencia brindó, determinando un coeficiente de mejora al comparar estas dos situaciones.

Tabla 3. Determinación de factor de mejora (FM) para suelo A-7-6 sin geomalla y con geomalla a 9.46 cm.

Sin GR	GR a 9,46 cm	Factor de mejora
Carga (kg)	Carga (kg)	
5,99	65,89	11,00
17,97	116,8	6,50
35,94	152,74	4,25
53,91	179,7	3,33
119,8	263,56	2,20
155,74	335,44	2,15
197,67	407,32	2,06
233,61	482,2	2,06

La Figura 17 presenta los resultados de CBR sobre un suelo A-7-6 con y sin geomalla posicionada a 9.46 cm.

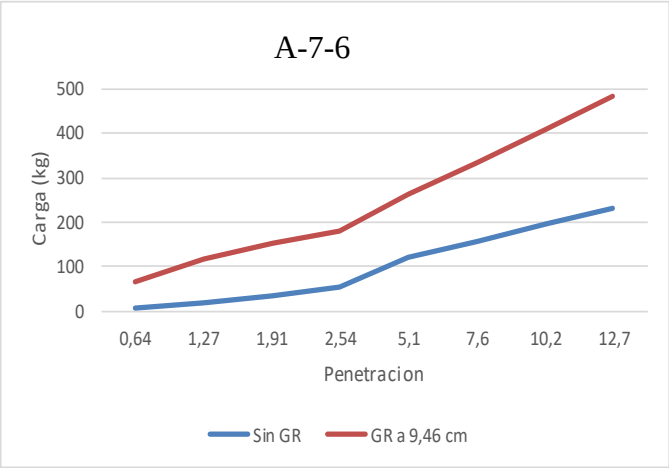


Figura 17. Gráfica penetración vs Carga

Tabla 4. Determinación del factor de mejora (FM) para suelo A-4 sin geomalla y con geomalla a 9.46 cm.

Sin GR	GR a 9,46 cm	Factor de mejora
Carga (kg)	Carga (kg)	
11,98	96,74	8,08
38,94	179,66	4,61
68,88	241,85	3,51
101,83	290,22	2,85
179,7	511,34	2,85
200,61	691	3,44
275,54	870,66	3,16
317,47	1029,59	3,24

La Figura 18 presenta los resultados de CBR sobre un suelo A-4 con y sin geomalla posicionada a 9.46 cm.

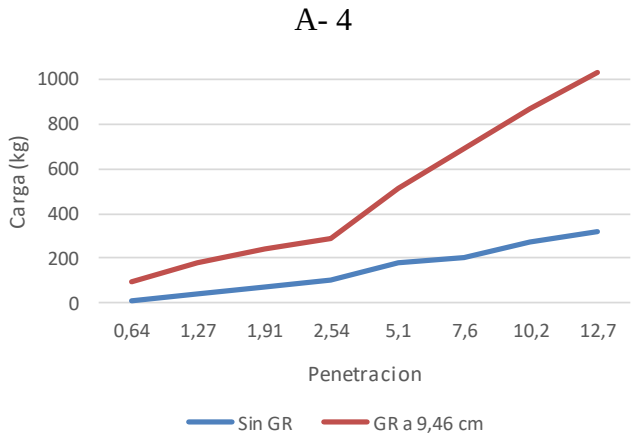


Figura 18. Gráfica penetración vs Carga

Tabla 5. Resultados de hinchamientos para las distintas posiciones de la geomalla de ambos suelos.

	% Hinchamientos			
	Sin GR	GR ``a mitad del molde``	GR a 7,53 cm	GR a 9,46 cm
A-4	1,08	0,87	1,38	1,14
A-7-6	4,09	4,70	0,66	0,52

La Figura 19 presenta los resultados de CBR para 5.1 cm de penetración e Hinchamiento.

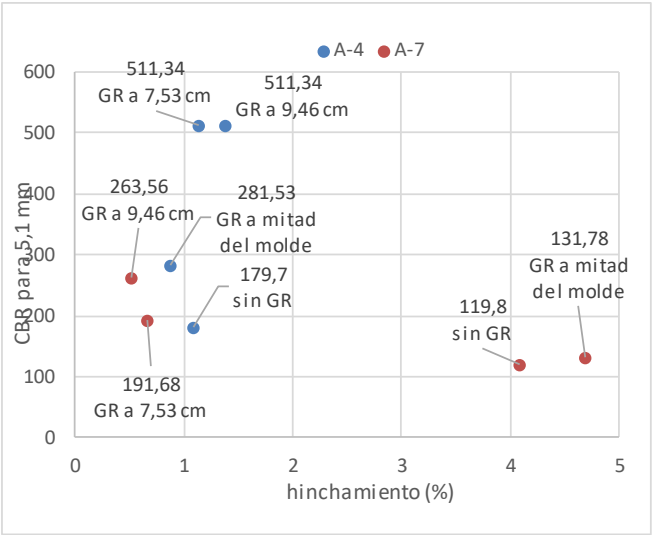


Figura 19. Hinchamiento vs Carga

3. Análisis y conclusiones

Los resultados de esta tesis se desprenden de trabajos anteriores donde se han utilizado diferentes materiales geosinteticos como material de refuerzo en capas de suelo que conforman un paquete estructural. En anteriores trabajos donde se comparó geomalla y geotextil No Tejido se encontró que la geomalla era la que mejor se comportaba. Es por ello que este trabajo implementó la utilización de una geomalla, colocada en diferentes posiciones de la probeta de CBR, con el fin de analizar la posición óptima de comportamiento del material como refuerzo, dentro de una capa de suelo.

Adicionalmente se esperaba poder realizar los ensayos de CBR in situ sobre tramo experimental ejecutado, para correlacionar valores, pero hemos decidido presentarlos en un trabajo a parte con todas las experiencias que se tienen respecto a la línea de trabajo que se viene siguiendo.

Ahora bien, del presente trabajo se desprende como conclusión que para ambos tipos de suelos (A-7-6 y A-4), la resistencia a la penetración mediante el ensayo CBR, se incrementa a medida que la geomalla se posiciona próxima a la superficie del pistón de ensayo.

Si bien la normativa estipula que la carga debe tomarse para una penetración de 2,54 cm o en su defecto a los 5,1 cm en caso de no existir un descenso de la misma, la Figura 15 y Figura 16 evidencian que la carga se sigue incrementando

con la profundidad de penetración del pistón hasta los 12,7 cm, medida en que finaliza la escala de ensayo.

A mayor penetración del pistón, la geomalla trabaja mejor debido al efecto de trabazón, por su estructura bidimensional de 40x40 cm de abertura de malla, que la misma proporciona a las partículas del material que forman parte de la capa de suelo. Toma una forma cóncava la geomalla, trabajando como efecto membrana, ofreciendo mayor resistencia.

Los resultados permiten concluir que a medida que la geomalla se posiciona próxima a la superficie de la capa de suelo, se logra el mejor comportamiento del material en cuanto al refuerzo que se busca debido a que la geomalla comienza a trabajar ni bien se presenta la solicitación sobre el material.

En la determinación de un factor de mejora (FM), Tabla 4, se encuentra para el suelo A-4, que el factor comienza en un valor de 8,08 para la penetración 0,65 cm, descendiendo con la profundidad de penetración hasta los 2,54 cm, donde se estabiliza con la penetración de 5,1 cm, (factor de mejora de 2,58) para luego volver a incrementarse hasta los 12,7 cm de penetración (factor de forma 3,24).
Para el caso de un suelo A-7-6, Tabla 5, el factor de mejora comienza en un valor de 11,0 para la penetración de 0,64 cm disminuyendo progresivamente hasta la penetración de 12,7 cm tomando un valor de 2,06. Siendo en promedio el factor de forma para la penetración de 2,54 cm y 5,1 cm, 2,76.

En cuanto al ensayo, luego de la compactación, la geomalla que estaba más próxima al extremo superior tuvo un reacomodamiento menor que la geomalla que estaba mas alejada, es decir, la geomalla ubicada a 9.46 cm tuvo descenso de 2,2 cm respecto, mientras que la geomalla ubicada a 7.53 cm tuvo un descenso de 2,9 cm.
El reacomodamiento final entre ambos materiales tuvo una diferencia de 0.70 cm.
Analizando la Tabla 5 de hinchamientos para el caso que analizamos vemos que la geomalla que tuvo un descenso mayor (para los 7,43 cm) presentó mayor hinchamiento en comparación con la geomalla ubicada a 9,43 cm, esto nos tentaría a decir que el hinchamiento interviene en el reacomodamiento del material, lo cual es necesario tener en cuenta en obra para que la geomalla trabaje efectivamente, de todas maneras sería necesario realizar más ensayos en este sentido para confirmar esta teoría.

En la Figura 19, Gráfica de hinchamiento versus carga, podemos observar que para los casos de probeta sin geomalla y geomalla posicionada a mitad del molde (5,60 cm), se tiene mayor hinchamiento en un suelo A-7-6, alrededor del 4%, mientras que para la posiciones superiores ese hinchamiento disminuyo a valores de 0,6% en promedio, con el consecuente aumento de carga.
Para el caso de un suelo A-4 se produjo el hinchamiento mayor para las posiciones superiores del material, siendo del 1,25%, manteniéndose el incremento de carga en estas posiciones.

4. Bibliografía consultada

1. Delbono H. L; López Walter (2018). Análisis del CBR en suelo con y sin la incorporación de materiales geosinteticos. Tesis de becarios de investigación 2018. ISSN 2250-7221 N°13, Mayo 2018. Pág. 67-72.

2. Anselmo Nuñez Condori (2016). Optimización de espesores de pavimentos con aplicación de geosinteticos. Universidad Nacional del Antiplano. Tesis de grado 2016. 179 pág. Repositorio institucional una-puno. Perú.

3. Dirección Nacional de Vialidad (2017). Normas de ensayo. Publicación 1ª distrito Buenos Aires. 243 paginas.

4. Tensar. Earth tecnologías Inc. (1999). Spectra. Sistema para pavimentos. Mejoramiento de subrasantes: construcción sobre suelos blandos. BRO-SS-SP-99. 8 pág. USA.

5. Freddy Montejo y Diego Otero (2016). Evaluación del comportamiento mecánico de una estructura bicapa, reforzada con geomalla biaxial, compuesta por afirmado invias sobre subrasante blanda, aplicable a vías no pavimentadas. Tesis de la Pontificia Universidad Javeriana. 47 pag.

UTILIZACION DE NUEMATICOS FUERA DE USO EN ELEMENTOS DE DEMARCACION Y SU DIFUSION EN LA COMUNIDAD

Becario/s; Delfina. Borgogno; Aldana. Orellana; Nehuen. Ortega
LEMaC, Centro de Investigaciones Viales. UTN La Plata, La Plata, Argentina. orellanaaldana397@gmail.com

Director/res: Hugo Gerardo Botasso
LEMaC, Centro de Investigaciones Viales. UTN La Plata, La Plata, Argentina. gerardobot@hotmail.com.ar

Área: Tecnología de los Pavimentos Flexibles. **PID Asociado:** ""Utilización de diferentes polímeros como modificadores de cementos asfalticos y su incidencia en el desempeño de mezclas asfálticas densas y semidensas"". Código: IFI4366TC.

Resumen

Durante el año 2018 se desarrolló un prototipo de molde para la elaboración de manera manual y con baja complejidad tecnológica de elementos de demarcación vial, en forma específica tachas. Se han realizado dos versiones, una tacha tronco piramidal directamente en metal en dos piezas (pistón y molde propiamente dicho), y por otro lado una tacha tronco circular en polímero con impresora 3 D.

En el presente trabajo se muestran en forma sintética los resultados tecnológicos del desarrollo alcanzado en el año 2018, y se mostraran las técnicas de pintado y pegado hasta el momento de la colocación.

El grupo de trabajo sumo un desafío de extencionismo, que se destaca en el trabajo. El mismo consistió en la difusión del reciclado, en particular del NFU, sus distintas posibilidades de uso, y las tecnologías necesarias a desarrollar para que se incorpore en otros procesos. Se ha participado en ferias de nivel inicial, secundarios, programas de tv, radio y redes sociales, considerando esta etapa como parte de la visibilización del proceso de innovación desarrollado.

Por otro lado se muestra que el trabajo de un grupo de alumnos becarios de investigación del LEMaC, ha despertado el interés de la Sociedad Latinoamericana de Tecnología del Caucho, SLTC, quien en dos números de la edición de su revista publica artículo con el desarrollo de la actual tesis.

.

Palabras clave: Reciclado, Neumático, Aglomerante, Resina, Tacha, Difusión.

1. Introducción

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Para eliminar estos residuos se usa con frecuencia la quema directa que provoca graves problemas medioambientales ya que produce emisiones de gases que contienen partículas nocivas para el entorno, aunque no es menos problemático el almacenamiento, ya que provocan problemas de estabilidad por la degradación química parcial que éstos sufren y producen problemas de seguridad en el vertedero.

Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado y también provoca, si no es convenientemente reciclado, contaminación ambiental al formar parte, generalmente, de vertederos incontrolados.

En el año 2018 frente a la observación de los elevados costos de los elementos de seguridad vial tales como las tachas se propone realizar el diseño de estas piezas con la incorporación de NFU aglomerados con algún tipo de resina que permita que la pieza fuera estable a la temperatura y a la acción del tránsito.

2. Materiales

Para el diseño de las tachas de demarcación horizontal, se utilizaron esencialmente dos tipos de materiales: NFU proveniente de la empresa Molicaucho S.A. ubicada en el partido de La Tablada, provincia de Buenos Aires. Y una resina aglomerante del tipo poliuretánica procedente de la empresa RECSA, ubicada en el Tigre, provincia de Buenos Aires.

Caucho:

El caucho utilizado se consideró en dos granulometrías, una más gruesa denominada M1 y otra muy fina, denominada polvo de NFU que actuaría como relleno de los huecos dejados por la anterior. Dichas granulometrías se pueden observar en la Tesis de becarios de Investigación 2018 (1).

En la Imagen 1 se puede visualizar tanto la granulometría M1, cómo el polvo de caucho de NFU.

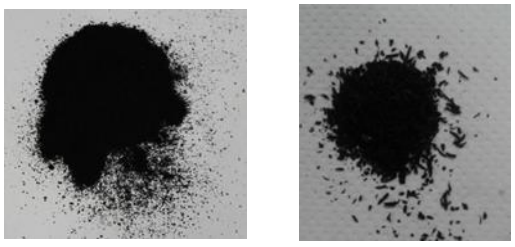


Imagen 1: Vista de las dos granulometrías utilizadas

Resina:

Las mismas se obtienen en base a un proceso de condensación entre dos monómeros complementarios, o estableciendo enlaces entre uretanos y poliésteres. Se

pueden lograr tres tipos distintos de resinas: rígidas, muy duras, lustrosas, indicadas para recubrimientos que deban presentar una elevada resistencia a los disolventes; las blandas y elásticas, en forma de cauchos resistentes a la abrasión; y la espuma que puede ser flexible o rígida.
Las resinas de poliuretano tienen una amplia variedad de usos, tanto en bienes de consumo como con propósitos industriales.
La química del poliuretano es versátil, permitiendo la ingeniería de productos especiales. Las resinas de poliuretano son notables por su durabilidad y resistencia a aceites y grasas. Además de tener una excelente resistencia a la abrasión y tracción, estas resinas pueden unir estructuras, formando uniones adhesivas resistentes a los impactos, que solidifican rápidamente y se pueden adherir a distintas superficies, incluyendo el hormigón y el propio caucho de NFU.
En este caso se ha utilizado resina poliuretánica AG 50, de la empresa RECSA. Sus propiedades han sido enunciadas en la Tesis de Becarios de Investigación 2018 (1).

Imagen 2: Resina poliuretánica

3. Metodología

3.1 Tipo de tacha

Se decidió trabajar con tachas de demarcación horizontal siguiendo el "Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras" del Ministerio de Transporte y Comunicación de Perú. En el apartado marcas elevadas en el pavimento, delineadores de piso, tachas retrorreflectivas, se encuentra el detalle que se muestra en el esquema. Imagen 3.

Imagen 3: Tachas tronco piramidales pintadas

En el 2019 además se diseñó una tacha tronco circular, donde se ha aprendido a trabajar con la modelización 3 D. Uno de los integrantes del grupo ha aportado sus saberes provenientes del diseño industrial. Nehuen Ortega en relación con el grupo LIAC del Departamento de Ingeniería Mecánica han diseñado el siguiente esquema, mostrado en la imagen 4, que posteriormente fue impreso.

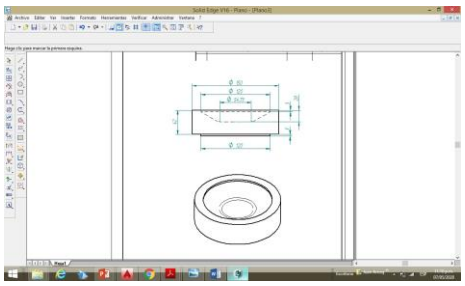


Imagen 4: Vista del archivo para impresora 3D

3.2 Sistema de moldeo y dosificación.

Se describe a continuación el proceso de moldeo:

Proceso de moldeo: Primeramente se extendió una fina capa de desmoldante (cera para piso), con el objeto de que no se produjera una adherencia de la pieza al molde.
Se prepara la mezcla con las dosificaciones deseadas.
Las proporciones del caucho utilizado y el porcentaje óptimo de resina al que se llegó luego de varias dosificaciones es el que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Dosificación

Polvo Gr	M1 gr	Resina gr	Fuerza aplicada kg/cm^2	Densidad (gr/cm^3
8.8%	**79.2%**	**12%**	8	1.047

Se procede al mezclado el cual puede realizarse en forma manual, con una espátula, o en forma mecánica con una máquina de mezclado.
Una vez que todos los gránulos de caucho fueron recubiertos por la resina (se observa que el caucho queda brilloso) se vuelca al molde diseñado previamente.
Finalmente se coloca en una prensa de compresión hasta lograr la presión deseada. Ésta debe mantenerse por 24 horas. Este tiempo es el recomendado por el fabricante para el fragüe de la resina (no es recomendable que se deje más de 24 hs, ya que la resina se adhiere al molde y es muy difícil el desmolde).
Se procede luego a desmoldar y limpiar el molde con una estopa por si puede quedar resto de desmoldante.
En el caso de la pieza troncopiramidal Base de contacto con la superficie de la calzada: 137,5 mm x 127,5 mm
Dimensiones de la parte superior: 69,6 mm x 69,6 mm y su altura: 20,0 mm
El molde se confeccionó en chapa plegada con sistema de compactación de hormigón como se puede observar en la imagen 5.
En el caso de la tacha circular las medidas del diámetro inferior han sido de 120 mm, el diámetro superior de 54,73 mm y la altura 20 mm

Imagen 5: Moldeo

3.3 Principales ensayos

En primer lugar la densidad informada en la tabla 1 se ha realizado midiendo el espesor con el siguiente dispositivo que se muestra en la imagen 6.

Imagen 6: muestra de la medición del espesor

Una de las solicitaciones a las que se encuentra sometida este tipo de piezas es a la abrasión del tránsito. Por esta razón y en base a la disponibilidad de equipamiento en el LEMaC, se decide utilizar el equipo de WTAT (Wet Track Abrasion Tester), ensayo utilizado para determinar la resistencia al desgaste por abrasión en vía húmeda de las lechadas bituminosas, utilizadas en construcción de carreteras.

En forma resumida la operatoria consistió en sumergir en agua las tachas elaboradas con los porcentajes de resina especificados, a una temperatura de 25°C durante un tiempo de 1 hora, para luego someterlo a la abrasión bajo agua, en una maquina Hubbard, la cual desarrolla un movimiento roto traslatorio con un cabezal en el cual se fija una manguera de goma normalizada. Imagen 7.

Imagen 7: Ensayo de abrasión

Una vez terminado el ensayo se procede a retirar el espécimen desgastado, lavándolo hasta que el mismo quede libre de partículas sueltas, se seca a 60°C y se lo pesa. La pérdida de peso se expresa en gramos perdidos, o en gramos perdidos por unidad de área (gr/m2).

Para este caso de estudio se han secado las tachas en estufa de 100°C, hasta obtener el peso constante en cada una de las muestras, se deja en remojo durante 1 hora y luego se somete a desgaste durante 5 minutos. Se lava hasta que quede sin restos de material desprendido, y se vuelve a secar en estufa y se procede a pesarlo. Luego el desgaste se saca de la diferencia de peso inicial y final y se calcula la pérdida porcentual.

Tabla 2. Medición de la resistencia a la abrasión

Resina %	Peso inicial gr	Peso final gr	Pérdida gr	Pérdida %
12	272.6	271.9	0.7	0.26

3.4 Color.

Se experimentó aplicándola en la superficie de las probetas, la pintura “Sumacril demarcación vial Williams”. Es una pintura de calidad premium, acrílica modificada base agua para la demarcación vial. Tiene excelente resistencia química y a la suciedad previendo una adherencia excepcional a las superficies de concreto y asfalto.

Imagen 8: Pintado de las tachas

3.5 Pegamento

Se ha utilizado como pegamento un adhesivo epoxídico E-606, marca 3M, provisto por la empresa Cuatrocerebros.

Es un pegamento adhesivo epoxi de dos componentes, el cual posee una buena velocidad de curado y alta viscosidad, además, tiene una excelente resistencia a la plastodeformación y al envejecimiento a través del tiempo.

Es utilizado en la industria de la construcción, en proyectos y en refuerzo de estructuras para asegurar una perfecta transmisión de esfuerzos entre el elemento a adherir y el pavimento de asfalto y hormigón. Ver imagen 9.

Imagen 9: pegamento de base epoxi

Procedimiento:

Los elementos a adherir deben estar perfectamente limpios, libres de polvo, grasas y todo material ajeno a estos. Las superficies del pavimento deben estar visualmente secas.

Se mezcla cuidadosamente los dos componentes A y B, hasta perfecta uniformidad de color, el componente A posee un color blanco, el B negro, por lo tanto obtendremos un color gris.

Se coloca con espátula o pincel de cerda dura, en la tacha, para luego colocarla sobre el pavimento. Ver imagen 10.

Imagen 10: Pegamento de las tachas en pavimento

4. Costos

En la edición de la Tesis de Becarios 2018, editada en mayo del 2019 el valor total de la tacha con pegamento, colocada ascendía a la cifra de 56,30 pesos como costo de producción con beneficios incluidos para la cooperativa que los fabricara. El valor de la tacha en forma individual sin pegamento en ese entonces era de 99 pesos.

Con la actualización de precios a febrero de 2020, el valor de la tacha comercialmente es de 190 pesos.
De acuerdo al análisis de precio realizado, incluyendo el pegamento, el valor de la tacha producida es de 98,30 pesos.

5. Aplicación de las tachas en el playón de estacionamiento de la Universidad

De nuestro stock de tachas fabricadas y pintadas se procedió a realizar colocación en el playón de estacionamiento de la facultad, para poder medir y evaluar sus propiedades. Las piezas fueron adheridas al pavimento con el pegamento.
En esta experiencia se ha observado como primer aspecto el desgaste de la pintura, en la misma se producen grietas dejando visibilizar la superficie interior negra de caucho.

En segundo plano se ha observado el desgaste de las aristas vivas de las piezas.

Imagen 11: Vista de las piezas al momento de la colocación

Pasados 6 meses de estar colocadas las tachas, su estado actual es el que se puede ver en la imagen 12:

Imagen 12: vista de las tachas después de 6 meses de colocación

Luego se visita una colocación de pisos en una plaza céntrica del Municipio de San Martin, donde en base a la relación establecida entre el LEMaC y la empresa REGOMAX, se pudo observar la aplicación de un piso “al puesto” fabricado integralmente en obra, como lo muestra la figura 13 En esta ocasión y a modo de ajuste se coloreo previamente el grano, como se había logrado en la Tesis de Becarios 2018 (1). Y además se llevó a una mayor exigencia a la abrasión con un contenido de resina del 20 %, condición que anula las pérdidas descriptas

Imagen 13: Piso al puesto en San Martin (Prov. Buenos Aires)

6. Necesidad social

Basándose en la reutilización del NFU se puede hablar de un ecodiseño, al ser una metodología que integra criterios ambientales en el diseño de la tacha, se consigue la reducción de los impactos ambientales que producen. Los beneficios potenciales que puede conseguir mediante la aplicación del ecodiseño incluyen la reducción de los costos de fabricación y distribución mediante la identificación de los procesos ineficientes que pueden ser mejorados y de nuevas maneras de producir más con menos, potenciar el pensamiento innovador dentro de su empresa que le puede llevar a incrementar, la innovación y facilitar la creación de nuevas oportunidades de mercado, entre otros momento del diseño resulta clave, ya que se estima que el 80% de los impactos ambientales de todo el ciclo de vida de los productos se determina durante su fase de diseño.

La buena gestión de los residuos para la economía circular es un pilar indispensable, debido a que los mismos son sólo una etapa en el ciclo de vida de los productos. El diseño de nuestra tacha es un claro ejemplo para aplicar economía circular.

Lo que se busca con la implementación de las tachas de demarcación vial en el mercado, es que diferentes pequeñas y medias empresas (PyMES) puedan fabricarlas a bajo costo y con escasa mano de obra calificada, ya que las mismas son de fácil elaboración, creándole así un valor social al individuo, generando de este modo oportunidades para que el mismo cumpla un papel activo y provechoso para la sociedad. Además, favoreciendo la generación de trabajo y la consolidación del entramado social.
Las PyMES, tienen importancia en términos sociales y políticos, porque su desarrollo contribuye a diversificar las fuentes de producción y de empleo y, a dar sustento a grupos y poblaciones asentados fuera de la órbita de influencia de las empresas de mayor tamaño. Desde este punto de vista, las redes de producción y servicios de empresas chicas son un factor de equilibrio político y de ocupación del espacio geográfico.

7. Difusión

Dado el enfoque tecnológico y social del trabajo se detallan los aspectos relacionados con la vinculación con cooperativas y medios de difusión con el objeto de dar visibilidad al mismo. A continuación se destacan alguno de ellos.

7.1. Cooperativa de cartoneros y recicladores

Se inició un proceso de transferencia a la cooperativa de cartoneros, de la UTEP, con una capacitación a cartoneros de la ciudad de La Plata, que trabajan en los galpones del ferrocarril en 131. El trabajo iniciado fue una charla y demostración de la sencillez del proceso productivo. Esto significa en un futuro una reconversión de mano de obra, y un proyecto de desarrollo de los mimos

Imagen 14: Cartoneros

7.2. Nuevo Mundo CIC PBA – UNLP- UTN

El CIC (Comisión de Investigaciones Científicas) junto a la Universidad Nacional de La Plata busca inspirar el deseo de aprender ciencias ofreciendo talleres, espectáculos, exhibiciones interactivas y jornadas recreativas en un proyecto llamado NUEVO MUNDO, el cual se realiza en la República de los niños. Durante el 2019 se participó con una exhibición del proyecto de tachas más otros proyectos del LEMaC con los NFU.

En esta oportunidad más de 800 personas pasaron por el espacio "nuevo mundo", a quienes mediante diferentes pruebas y experimentos hechos en el momento pudimos demostrarles la importancia de reutilizar este producto.

Por medio de afiches informativos se mostró el proceso que se practica desde que un neumático es desidioso de su uso, la maquinaria que requiere este procedimiento hasta el llegar al producto final: caucho triturado.

Asimismo se regalaron pequeñas muestras del producto, mezclando triturado de caucho con resina AG50 colocados en moldes circulares haciendo presión solo con las manos para quienes pasen por el stand se puedan llevar una muestra de este proyecto.

Con el objetivo de informar y concientizar a la sociedad sobre esta problemática que vivimos obtuvimos resultados muy positivos, ya que varios de los espectadores no conocían esta práctica y también ignoraban la posibilidad de reutilizar un producto como lo es el neumático.

Seguir ejerciendo la difusión de ésta práctica es muy importante tanto para nuestro proyecto como para la sociedad, proporcionando un conjunto de actividades necesarias para dar a conocer nuestras iniciativas, visitando escuelas primarias y secundarias, realizando talleres y exhibiciones para el público en general.

Lo más interesante es haber podido compartir con chicos de jardín de infantes, primaria, secundaria, ONG, lo que ha sido muy valioso, debido a que lo ambiental y el reciclado se puede mostrar a los más pequeños.

Imagen 15: Equipo de becarios LEMaC en Nuevo Mundo

7.3. Escuela Técnica de Astillero Rio Santiago

Durante el mes de septiembre del 2019, los becarios acompañados por el Director de tesis, dieron una charla a personal y alumnos de la Escuela Técnica de Astilleros Rio Santiago, ETARS.

Imagen 16: vista de la charla en ETARS

7.4. Algunos medios de comunicación en los que se participó

Los becarios han tenido un rol central en la difusión de estas tecnologías. Se citan algunos de los medios que han aportado con la difusión:

- Diario "El Día", 28/7/2019. Artículo "Neumáticos usados una amenaza creciente para el medio ambiente". https://www.eldia.com/nota/2019-7-28-1-38-19-neumaticos-usados-una-amenaza-creciente-o-una-buenaoportunidad-informacion-general.

- Programa televisivo “TV Universidad” en el Canal UNLP. Entrevista sobre el uso del caucho reciclado en La Plata.

- Radio “Realpolitik FM”. Entrevista sobre la investigación tecnológica impacta en la calidad de vida del ciudadano. https://realpolitik.fm/nota/4287/lemac_la_investigacion_tecnologica_impacta_en_la_calidad_de_vida_del_ciudadano/?fbclid=IwAR0T0qOgwVjKlSLZ59O70U1MAqPou_ndOzxrks025Nq52nrEwMymMmQ-K_Q
- Radio “Provincia de Buenos Aires”, entrevista en el programa “Ciento por ciencia”.
- Radio “FM Keops”, entrevista en el programa de Martin Gómez Lastra.

7.5. Difusión revista internacionale

Las iniciativas de las tachas elaboradas con caucho reciclado, en el contexto de otros proyectos del LEMaC, han sido de interés de la Sociedad Latinoamericana de Tecnología del Caucho, SLTC.
En dos números consecutivos se ha publicado, para su lectura en Latinoamérica, en los números de agosto Nº32 y octubre Nº 33. ISSN 2818-4567,

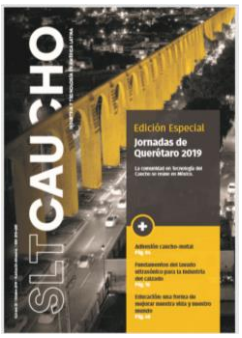
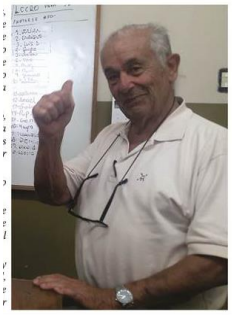


Imagen 17: Tapa del Nº 38 de SLTC Caucho

8. Conclusiones

- Se termina una etapa de grandes satisfacciones para el grupo de becarios.
- Se hicieron los ajustes en la tecnología, y en 2020 se cerrarán los cambios en los temas de color e integridad frente al tránsito con mayor porcentaje de resina
- La etapa de campo a dado el marco de saber dónde se está parado con la respuesta del producto a la solicitación.
- La difusión a nivel educativo en todos los niveles de formación ha fijado en los becarios criterios de cómo transmitir lo aprendido en un proceso de investigación
- Transmitir a cartoneros una tecnología ha sido una experiencia muy impactante por la cercanía de la Universidad a los sectores sociales más desprotegidos
- Difundir por redes sociales, TV, radios la propuesta ha sido una experiencia muy movilizadora, para los becarios estudiantes de ingeniería.
- Como autores de esta Tesis hemos visibilizado hasta donde hay que involucrarse para que un proyecto impacte socialmente.
- Además, se ha podido valorar la trascendencia del reciclado en la vida actual.



9. Agradecimientos

Nada de lo hecho en esta tesis, se hubiera podido hacer sin la participación del Ing. Enrique Giaccio. Nada será igual sin El. Queremos dejar su imagen viva en este trabajo. Enrique no estás más físicamente, pero si en nuestras vidas como alumnos.

9. Referencias

(1) Tesis de Becarios de Investigación del LEMaC. Años 2018.
(1) Huespe Adriana et al, 2017. Mezclas asfálticas en frio con incorporación de caucho de neumáticos fuera de uso (NFU). TESIS DE BECARIOS DE INVESTIGACION ISSN 2250-7221 | N° 12 |MAYO DE 2018. Editorial EdUTEcne.
(2) www.molicaucho.com.ar
(3) www.recsa.com.ar
(4) Botasso, H.G. (2018). Dispersiones de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso. Su empleo en mezclas asfálticas densas y antiderrapantes. 1° edición. CABA, EdUTecNe, 266p. ISBN 978-987-1896-87-5.
(5) www.textoscientificos.com/polimeros/plastico/sinteticos/resinas-poliester-poliolefinas. 2019
(6) www.rubept.com/es/que-es-la-resina-de-poliuretano. 2019.
(7) www.sutran.gob.pe. Manual de dispositivos de control en tránsito automotor en calles y carrteras
(8) http://www.aacarreteras.org.ar/pdf/msh-ebook.pdf. 2019

VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES ESENCIALES DE MARCAS VIALES CONFORMADAS CON PINTURAS ACRILICAS Y DISTINTAS DOSIFICACIONES DE MICROESFERAS

Becario/s; A. Dalmarini.
LEMaC, Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional; Facultad Regional La Plata. Av. 60 y 124 (1900). La Plata, Buenos Aires, Argentina.antonelladalmarini1@gmail.com

Director/res:V. Mechura
LEMaC, Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional; Facultad Regional La Plata. Av. 60 y 124 (1900). La Plata, Buenos Aires, Argentina. veromechura@gmail.com

Área: Gestión y Diseño Vial. **PID Asociado:** Continuación del Proyecto "Valoración del desempeño de modelos de soluciones viales". Código: TVTUNLP0004302

Resumen
La demarcación horizontal representa una fracción de la señalización general del tránsito y no puede ser reemplazada en la actualidad por otros medios. La vida útil de la misma es relativamente corta si se compara con otros equipamientos de la carretera. Sin embargo, su importancia, en términos de seguridad vial, es tan alta que su implantación y correcta conservación tienen carácter prioritario. Para abordar esta temática de valoración de las propiedades esenciales, y unificar criterios, se instrumentan dos tareas principales. Primero, se analiza el procesamiento de las medidas de retrorreflexión con equipos dinámicos; los cuales permiten, por ejemplo, la tramificación de los resultados mediante el método de las diferencias acumuladas. Y por último, se analiza en laboratorio la aplicación sobre probetas de diversas pinturas (pintura acrílica base solvente y base acuosa, entre otras) sobre las que se siembran microesferas en distintas dosificaciones, con el fin de optimizar la obtención de los parámetros esenciales (retrorreflexión y luminancia en iluminación difusa y resistencia al deslizamiento mediante péndulo inglés). Como resultado del trabajo se cuenta con un procedimiento estadístico aplicable en las mediciones realizadas en campo de manera dinámica, y sistemáticas de ensayos aplicables para la determinación de los valores esenciales de las marcas viales.

Palabras clave: Señalización vial; Pinturas; propiedades esenciales; retrorreflexión.

1. Introducción

La demarcación horizontal se puede definir como un conjunto de líneas longitudinales y transversales, signos y símbolos en la superficie de la infraestructura de transporte. Representan una fracción de la señalización general del tránsito y no pueden ser reemplazados en la actualidad por otros medios.

Las marcas viales se pueden construir in situ mediante la aplicación directa sobre la calzada (sustrato) de un sistema de señalización vial horizontal constituido por un material base (termoplásticos, plásticos en frío y pinturas) y materiales de post mezclado (microesferas premezcladas o sembradas) [1].

Los termoplásticos son una mezcla compuesta por sustancias minerales de granulometría gruesa (hasta 700 micras), una resina y un plastificante, ambos en forma sólida granular, contienen también microesferas de vidrio premezcladas, un aceite mineral especial que ayuda a controlar la viscosidad de aplicación y plastificar el conjunto y un pigmento que le da color. Los termoplásticos carecen de disolventes, el calor fluidifica el producto (se calientan a temperaturas que varían, dependiendo del producto, entre 180ºC y 220ºC) permitiendo su aplicación. Una vez aplicado el producto sobre el pavimento se vuelven sólidos de manera inmediata, permitiendo la apertura al tránsito en poco tiempo.

Los plásticos en frio consisten en un sistema de dos componentes. Es necesario mezclarlos hasta conseguir una perfecta homogeneidad y aplicar el producto antes de sobrepasar el tiempo de vida útil (variable dependiendo de la mezcla de los productos y de la temperatura), ya que endurece. Deben seguirse las instrucciones respecto a las proporciones de mezcla de los componentes, ya que una alteración puede reducir notablemente la durabilidad.

Por último, las pinturas son materiales utilizados a nivel mundial y están compuestas por resinas, pigmentos, solventes y numerosos aditivos. Las pinturas base solvente se formulan utilizando resinas acrílicas que se disuelven en solventes orgánicos como ésteres o cetonas. La baja tensión superficial de los disolventes les permite penetrar en las grietas del sustrato, lo que garantiza una buena adhesión a las superficies de la calzada, incluso aquellas en mal estado. Después de la aplicación, la evaporación del solvente hace que el polímero se solidifique y, por lo tanto, la película se forme mediante un fenómeno puramente físico. En las pinturas base acuosa, el mecanismo de formación de la película se produce por coalescencia. Cada polímero en emulsión precisa de una temperatura determinada, denominada temperatura mínima de formación de film (TMFF), para formar una película uniforme y homogénea. Es frecuente la formación de grietas en las películas debido a que durante el secado de las mismas se generan tensiones

en forma espontánea de diferente magnitud [2, 3, 4]. Con respecto a las pinturas acuosas existen nuevas tecnologías que tienen un mecanismo de secado-curado más complejo. Esta breve introducción permite resaltar la amplia variedad de productos que existen en el mercado y se debe destacar que cada producto utiliza microesferas acorde a las características del material base empleado.

Es importante resaltar que la vida útil de la señalización horizontal es, en términos relativos, corta si se compara con otros equipamientos de la carretera. Sin embargo, su importancia, en términos de seguridad vial, es tan alta que su implantación y correcta conservación tienen carácter prioritario [5].

La ley Nacional de Tránsito y seguridad vial, reglamentada por Decreto Nacional N°779/95 [6] establece que "la vía pública será señalizada y demarcada conforme el sistema uniforme que se reglamente de acuerdo con los convenios internos y externos vigentes….". En el mencionado Decreto, se aprueba el Anexo L "Sistema de señalización vial uniforme". El mismo, en su Capítulo VI establece: "*CONCEPTO. Las marcas viales o demarcación horizontal son las señales de tránsito demarcadas sobre la calzada, con el fin de regular, transmitir órdenes, advertir determinadas circunstancias, encauzar la circulación o indicar zonas prohibidas. El material debe ser antideslizante, resistente y de un espesor no mayor a CINCO MILIMETROS (5 mm), con excepción de las tachas y separadores de tránsito.*

Las demarcaciones serán uniformes en diseño, posición y aplicación. Tal como para los demás dispositivos de control de tránsito, es necesario su uniformidad a fin de que puedan ser reconocidas y entendidas instantáneamente por los usuarios de la vía." En otro de los items, establece "*b) REFLECTIVIDAD: En autopistas, semiautopistas, rutas, túneles y puentes, accesos y egresos de las vías mencionadas y en calles y avenidas de intenso volumen vehicular, toda la demarcación debe ser reflectiva.*

Cuando sea necesario demarcar líneas divisorias de sentidos opuestos de dirección, de borde de calzada, de pare, isletas canalizadoras o delimitadoras de obstáculos, sendas peatonales y marcas o leyendas de cruces ferroviales, "CEDA EL PASO" y "PARE", también debe utilizarse material reflectivo.".

Los requisitos esenciales de las marcas viales son sus características de visibilidad (diurna y nocturna), de resistencia al deslizamiento y de durabilidad; siendo características propias de cada Sistema. La visibilidad nocturna tiene lugar cuando la iluminación de la marca vial se realiza desde los faros del vehículo. La incorporación de microesferas de vidrio a la marca vial tiene la capacidad de producir el fenómeno de retrorreflexión. Este fenómeno se produce cuando la luz procedente de los faros de un vehículo, es refractada por la esfera y una parte de ella, reflejada por la superficie hundida de la esfera, vuelve en la misma dirección de incidencia. Estos parámetros se obtienen con la utilización de equipos que pueden clasificarse en portátiles y dinámicos, realizando medición en forma puntual o montada sobre un equipo en marcha. Con respecto a los equipos portátiles, existen varios equipos con distintas geometrías. Los valores proporcionados por cada uno de ellos varían considerablemente, y su proporcionalidad tampoco es lineal. Existen equivalencias referidas a la geometría que reproduce la visibilidad a 30 metros. [7]

Fernández Chávez [8] resaltó la importancia en la normalización de las características de la señalización horizontal, la adecuación a cada región y necesidad específica y el establecimiento de cronogramas de mantenimiento adecuados. Estos aspectos son de gran importancia a fines de proveer seguridad a los usuarios de las vías, especialmente en horas de la noche.

En base a lo mencionado, se analizarán los datos obtenidos en diversos tramos de ruta con el equipo de tipo de dinámico de la Dirección de Vialidad Nacional sobre marcas existentes con el objetivo de obtener una metodología de análisis para que sea posible generar cronogramas de mantenimientos adecuados. También se analizarán los valores de las propiedades esenciales con distintas dosificaciones en muestras de laboratorio con el fin de analizar la variación en este aspecto.

2. Metodología

De esta manera, para abordar esta temática de valoración de las propiedades esenciales, y unificar criterios, se instrumentan dos tareas principales: en primera instancia se evalúan los valores de retrorreflexión en las Rutas nacionales obtenidos con equipos dinámicos. Por otro lado, se confeccionan probetas en laboratorio y se evalúan los parámetros esenciales con distintas dosificaciones de microesferas.

2.1. Evaluación de la retro reflexión en rutas nacionales

Se procesaron datos de la medida de retrorreflexión en el tiempo evaluada con equipos dinámicos de Vialidad Nacional. Para la comparación de los resultados, debido a la gran cantidad de valores se decidió proceder a la tramificación de los resultados. Para ello, se utilizó el método de las Diferencias Acumuladas, herramienta utilizada en el ámbito vial y que permite delimitar estadísticamente tramos homogéneos utilizando mediciones del parámetro considerado. Éste método es utilizado para una gran variedad de mediciones de respuesta de pavimentos (como deflexiones, fricción, etc).

El procedimiento adoptado consiste en graficar las sumas acumuladas y observar los cambios de pendiente. Con las coordenadas en abscisa de los mismos, se calcula el promedio, desviación estándar y valor característico de los tramos así obtenidos. En este caso, para el cálculo del valor característico se considera el valor que es superado el 85%.

Para el análisis se utilizaron datos de retrorreflexión medidos en los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Debido a que se tienen datos de las mismas trazas en años consecutivos resulta interesante conocer la variación de la retroreflexión en el tiempo. Para ello, se calcula el porcentaje de pérdida de retrorreflexión en cada año con respecto al año 2015 y se realiza una linea de tendencia.

2.2. Evaluación de los parámetros esenciales en probetas confeccionadas en laboratorio

Se pintaron placas de hormigón con pintura acrílica base solvente y base acuosa con microesferas sembradas. El procedimiento para pintar las placas se observa en la

Figura 1. Se preparan las placas, se coloca cinta para delimitar las zonas y se pesan las microesferas considerando la superficie donde se aplica la pintura. La pintura, en todos los casos, se aplicó con un dispositivo para obtener un espesor uniforme e inmediatamente a la aplicación de las mismas se sembraron las microesferas con las dosificaciones correspondientes con la ayuda de latas con una perforación tipo “salero”.

Figura 1. Confección de probetas.

Confeccionadas las mismas se procedió a la evaluación de los parámetros esenciales. El ensayo que se utiliza para determinar la resistencia al deslizamiento es el Péndulo TRRL (Transport Road Research Laboratory) con el procedimiento indicado en la Norma IRAM 1555/98. Se mide en unidades SRT. Para la evaluación de la visibilidad se utilizaron dos equipos según la disponibilidad. El equipo Mirolux de LAL (Laboratorio de Acústica y Luminotecnia) que nos brinda la retrorreflexión y el equipo disponible en la empresa BECHA S.A. situada en la ciudad de Rosario, Santa Fe, Argentina, del tipo EASYLUX que brinda resultados de retrorreflexión con geometría a 15 m y 30 m (RL15 y RL30), se decide optar por la evaluación de la retrorreflexión a 30 metros. Dicho equipo brinda también el valor de luminancia en iluminación difusa (Qd).
Por otro lado, se adicionan los valores obtenidos en la senda peatonal y franjas de la dársena de acceso de la facultad. Éstas fueron realizadas, como se observa en la Figura 2 con las mismas pinturas. Se obtuvieron valores de retrorreflexión (RL) y luminancia en iluminación difusa (Qd) con el equipo estático EASYLUX de BECHA SA. En el caso de las franjas en la dársena de acceso se midió la resistencia al deslizamiento con el péndulo inglés.

Figura 2. Aplicación de pintura en senda peatonal.

2.2.1 Materiales utilizados

Los materiales utilizados, para los ensayos en laboratorio, son:
AF05: Pintura acrílica acuosa. En este caso, se sembraron microesferas ECH-20-WBP (microesferas con tratamiento de adherencia WBP utilizadas para las pinturas base acuosa). se puede observar en la Figura 3 el aspecto de las mismas.

Figura 3. Microesferas de sembrado ECH-20-WBP

SLU: Pintura base de resinas acrílicas disueltas en solventes aromáticos y oxigenados. Para el sembrado de las microesferas se utilizaron microesferas denominadas como TAF-S2. Las mismas son microesferas H-85 que presentan un tratamiento de adherencia y flotación (TAF) para pinturas base solvente, en la Figura 4 se presentan las imágenes de las mismas.

Figura 4. Micro esferas de sembrado TAF-S2

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados de la retrorreflexión en rutas nacionales

Para la obtención de estos gráficos se utilizaron valores de retrorreflexión de rutas donde se aplicó material Termoplástico con valores obtenidos entre 2015 y 2018.
En la Figura 5 se presentan los valores de retrorreflexión obtenidos en los 4 años en estudio en una ruta nacional donde se aplicó material termoplástico y se midió con equipo dinámico.

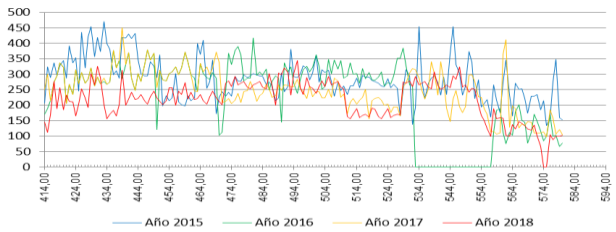


Figura 5. Retrorreflexión medida en el eje de Ruta Nacional con equipo dinámico.

En la Figura 6, se muestran los valores obtenidos luego de determinar tramos con valores característicos de acuerdo al procedimiento enunciado en metodología en el eje.

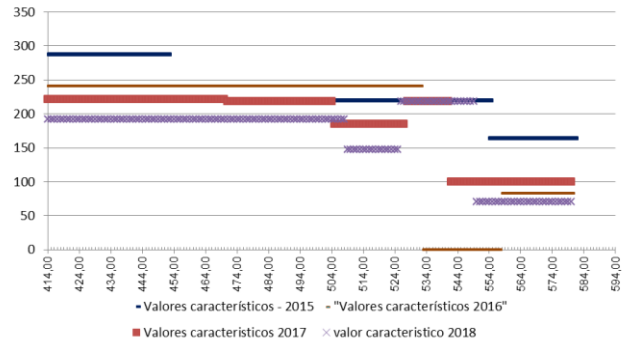


Figura 6. Valores característicos de la Retrorreflexión medida en el eje de una Ruta Nacional con equipo dinámico.

Se puede observar que la tramificación de los resultados permite visualizar más fácilmente la variación de la retrorreflexión en las rutas y detectar a simple vista zonas más comprometidas.
Por otro lado en la Figura 7, se presentan los valores resultantes de considerar la pérdida de retrorreflexión de los distintos años con respecto al año 2015.

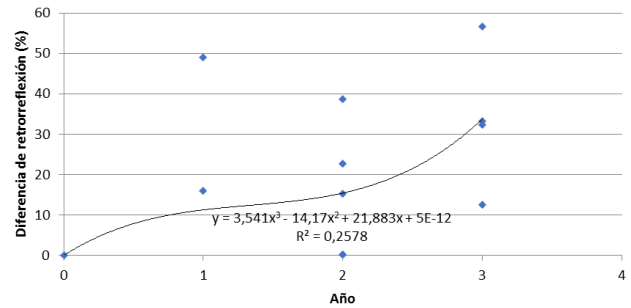


Figura 7. Variación de la Retrorreflexión en porcentaje medida en el eje de una Ruta Nacional con equipo dinámico.

Como es de esperar, se observa que la curva de deterioro de la retrorreflexión se asemeja a la típica curva que se obtiene en la evaluación de deformación plásticas de pavimentos flexibles.

3.2. Resultados de los parámetros esenciales de probetas realizadas en laboratorio

Los resultados de la evaluación de la retrorreflexión en las probetas pintadas con distintas dosificaciones se muestran en la Figura 7.

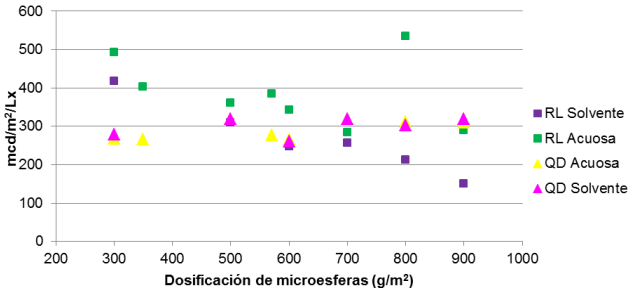


Figura 7. Variación de la retrorreflexión con la dosificación de microesferas en marcas conformadas con pintura base solvente y pintura base acuosa.

Se puede observar que con las microesferas utilizadas en las pinturas base acuosa se obtiene una mayor retrorreflexión. Por otro lado, se observa que, en ambos casos con una dosificación de microesferas de alrededor de 600-700 g/m^2 se obtiene un máximo a partir del cual no existen beneficios en aumentar la dosificación. Cabe destacar que en el caso de los 800 g/ m^2 se descartan los resultados.
Por otro lado, en la Figura 8 se muestra la variación en la resistencia al deslizamiento. Se observa que con las distintas dosificaciones se obtienen valores similares. En el caso de la pintura base acuosa se obtiene un valor promedio de 49 SRT con un coeficiente de variación de 7%. Y con la pintura base solvente se obtiene también un valor promedio de 49 SRT pero con un coeficiente de variación de 12 %.

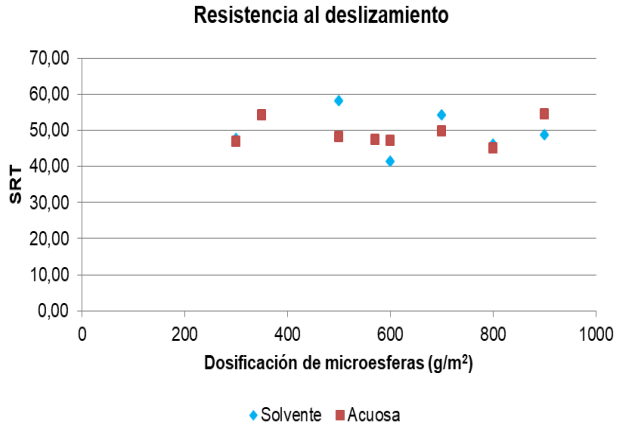


Figura 8. Resistencia al deslizamiento

En la Tabla 1 se presentan los resultados estadísticos de las mediciones realizadas en la senda peatonal y dársena de acceso a la facultad con los mismos tipos de pinturas. Los datos de retrorreflexión y luminancia se obtuvieron con un equipo tipo EASYLUX.

Tabla 1. Resultados de retrorreflexión, luminancia y resistencia al deslizamiento

Pintura Base solvente SLU				
	RL15	RL30	Luminancia	Resistencia al deslizamiento
Promedio	363,5	286,3	297,7	48,0
desvío estándar	133,7	72,7	32,3	3,5
C. V (%)	36,8	25,4	10,9	7,2
Pintura Base acuosa FA05				
	RL15	RL30	Luminancia	Resistencia al deslizamiento
Promedio	453,9	230,5	318,0	45,7
Desvío estándar	161,9	90,1	0,0	0,6
C. V (%)	35,7	39,1	0,0	1,3

Se observa que la luminancia y la resistencia al deslizamiento presentan valores homogéneos. En el caso de

la luminancia es mayor en la pintura AF05 pero de todas maneras ambas tuvieron buen comportamiento. La resistencia al deslizamiento es menor en el caso de la pintura AF05 pero se mantienen dentro de los valores obtenidos en las probetas realizadas. En cambio en el caso de la retrorreflexión, como es de esperar, se obtiene una gran dispersión.

4. Conclusiones

Se destaca que el procedimiento estadístico propuesto para procesar los datos dinámicos de retrorreflexión permite evidenciar más fácilmente tramos comprometidos y, por otro lado con el procesamiento de los mismos es posible confeccionar curvas de deterioro.
Para el caso de las muestras realizadas en laboratorio se destaca que no se observó una gran dispersión en los resultados de luminancia y resistencia al deslizamiento y que si bien se obtuvo dispersión en la retrorreflexión se observa que en dosificaciones superiores a 600-700 g/m2 no se obtienen beneficios y por el contrario los valores disminuyen. Siendo un método aceptable para obtener una dosificación preliminar de microesferas para la cominacion de pintura y microesfera que se desee analizar.

Agradecimientos

Se agradece a los integrantes del LEMaC por brindarnos el espacio para la investigación y particularmente al Ing. Enrique Giaccio por su colaboración y al Dr. Ing. Julián Rivera por la asistencia para el procesamiento de los datos. Por otro lado, agradecemos la colaboración del LAL, Laboratorio de Acústica y Luminotecnia y a la empresa BECHA SA por la colaboración para realizar las mediciones de retrorreflexión y a Vialidad Nacional por permitirnos acceder a valores de referencia.

Referencias

[1] “Guía para el proyecto y ejecución de obras de señalización horizontal”, Código: ISBN 978-84-498-0926-2. Editado por: Centro de Publicaciones, Secretaria General Técnica, Ministerio de Fomento, 2012. (Libro)
[2] Babić, D., Burghardt, T. E., & Babić, D. (2015). Application and characteristics of waterborne road marking paint. International Journal for Traffic and Transport Engineering, 5(2), 150-169.
[3] Alonso Felipe, Jose Vicente. "Pinturas, barnices y afines: composición, formulación y caracterización." (2016).
[4] Giudice, C. A., & Pereyra, A. M. (2009). Tecnología de pinturas y recubrimientos: componentes, formulación, manufactura y control de calidad. Edutecne, Buenos Aires.
[5] D. Calavia (1999). Demarcación Horizontal. Revista “Carreteras”, AÑO XLV, Número 157. Pag 58-66.
[6] Decreto Nacional 779/95.
[7] Moreira Helio y Menegon Roberto. “Sinalização Horizontal” (2003).
[8] Lic. Olga Haydeé Fernández Chávez *Propuestas de mejoras y estandarización de la señalización horizontal en Argentina.*
[9] Vélez, D., & Villacís, J. (2013). Valoración de la mezcla óptima de microesferas y pinturas de señalización para garantizar una mejor retroreflectancia en aplicaciones viales
[10] Albalate, D., Fernández, L., & Yarygina, A. (2013). The road against fatalities: Infrastructure spending vs. regulation??. Accident Analysis & Prevention, 59, 227-239.

UTN·La Plata

LEMAC Centro de Investigaciones Viales

CIC COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación

LEMAC, CENTRO DE INVESTIGACIONES VIALES
AV. 60 Y 124 S/N- BERISSO BUENOS AIRES, ARGENTINA
TEL. +54 9 221 4890413.
E-MAIL: LEMAC@FRLP.UTN.EDU.AR