

NUMERO 15, JUNIO DE 2021.

TESIS DE BECARIOS DE INVESTIGACION

20 20

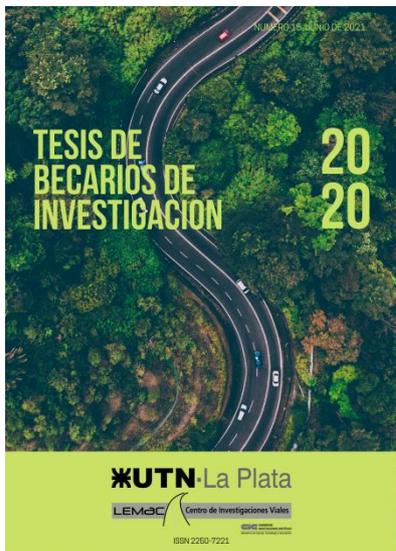
UTN·La Plata

LEMOC 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° 15 | JUNIO 2021



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. Gerardo Botasso

Subdirector:

Dr. Ing. 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. Julián Rivera

Corrección de estilo y Diagramación:

Arq. Gustavo Das Neves

Se presentan en este número las memorias sintéticas de la Tesis de Becarios 2020 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.

TESIS DE BECARIOS DE INVESTIGACION 2020

El año 2020 ha sido marcado por la pandemia del COVID-19, convirtiéndose la región de la ciudad de La Plata en una de las más afectadas, por encontrarse emplazada en territorio denominado AMBA (Área Metropolitana de Buenos Aires).

En ese contexto, las actividades del LEMaC, se han visto reducidas a la virtualidad desde mediados del mes de marzo, en virtud de las diferentes restricciones impuestas en la provincia de Buenos Aires y a nivel nacional.

Los cambios en los planes de trabajo de los proyectos, en los cuales se enmarcan las tesis de becarios alumnos de investigación, han sido muy fuertes; ya que el no acceso a la parte experimental llevó a que se tuviera que hacer hincapié en las siguientes modalidades de trabajo:

- Revisión y valoración de ensayos del 2019, en caso que los becarios con continuidad de años anteriores.
- Revisión y actualización bibliográfica. Este punto siempre es central en un becario en plena formación.
- Capacitación formal. Se ha dictado un curso de formación de becarios, con exposición de los temas centrales en los cuales debían contar con un piso de información, normas, videos y fotos de ensayos; resultados de las investigaciones que son propias del LEMaC. Fueron un total de 11 sesiones muy enriquecedoras y de construcción colectiva, por medio de la plataforma zoom.
- Reuniones periódicas de los becarios con los directores.
- Contacto de los becarios alumnos con los becarios doctorales del LEMaC.

La edición de las Tesis de Becarios 2020 es por lo tanto un enorme esfuerzo de un grupo humano, que ha luchado por mantener los vínculos más allá de la virtualidad, motivándose como docentes a estos alumnos que han decidido apostar a un proceso de formación más amplio y con una participación activa.

Felicitaciones a becarios y directores por el trabajo realizado.

Dr. Ing. Gerardo Botasso

Director del LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA

INDICE

	página
UTILIZACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO EN ELEMENTOS DE DEMARCACIÓN Y SU DIFUSIÓN EN LA COMUNIDAD. Aldana Orellana, Nehuen Ortega, Gerardo Botasso.	7
LECHADA DE CAL COMO PROTECCIÓN DE UN RIEGO DE LIGA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES MULTICAPAS. Silvina Barbeito, Julián Rivera.	11
RELEVAMIENTO Y ESTUDIO DE PATRONES DE MOVILIDAD ACOTADO AL UNIVERSO DE LA UTN-FRLP. Beatriz Abraham, Gustavo Das Neves.	15
RELACIÓN ENTRE EL GRADO DE DESGASTE Y LAS CARACTERÍSTICAS DE ORIGEN DE AGREGADOS CUARCÍTICOS, RECUPERADOS DE PASIVOS AMBIENTALES EN CANTERAS DEL SISTEMA DE TANDILIA (BUENOS AIRES), PARA PAVIMENTOS. Rocío Insaurrealde, Florencia Lajoinie.	21
DISEÑO DE MEZCLAS HAC. Nicolás Peñalva, Nicolás Battista, Marcelo Barreda.	25
ESTUDIO GENERAL DE LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS PARA USO VIAL. Mirco Battista, Nicolás de Abajo Freire.	31
ANÁLISIS DE CASO: DEMARCACIÓN HORIZONTAL EN LA AV. 60 Y CALLE 124 DE BERISSO. Antonella Dalmarini, Verónica Mechura.	35
INFLUENCIA DE LA CURVA DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR DEBAJO DE 500 MICRONES EN LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE BASES GRANULARES EN PAVIMENTOS. Lucas Cedrés, Adrián Oviedo, Julián Rivera.	39
LA REOLOGIA COMO ELEMENTO DE EVALUACION DE ASFALTOS VIALES. Adriana Huespe Mercado, Ignacio Zapata Ferrero, Gerardo Botasso.	43
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS DE USO VIAL. Wilson Antieco, Oscar Rebollo.	45
HORMIGON AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO RECICLADO. Camila Díaz, Eva Sosa.	53
USO DE MOBILIARIO URBANO FABRICADO CON MEZCLAS CEMENTÍCEAS. Florencia Ferreyra, Anahí López.	59
CARACTERIZACIÓN DE LOS ASFALTOS PARA USO VIAL EN ARGENTINA. Agustina Gelsi, Tatiana Obregón Hug, Oscar Rebollo.	65
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE ASFALTOS PARA USO VIAL. Agustina Gelsi, Tatiana Obregón Hug, Oscar Rebollo.	73

UTILIZACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO EN ELEMENTOS DE DEMARCACIÓN Y SU DIFUSIÓN EN LA COMUNIDAD

Becarios: Aldana Orellana¹; orellanaaldana397@gmail.com
Nehuén Ortega²; nehuen.ortega28@gmail.com

Director: Gerardo Botasso³; gerardobot@hotmail.com.ar

^{1,2,3} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y
124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina



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: IFI4366TC.

Resumen

Esta tesis de investigación se viene llevando a cabo a lo largo de años anteriores, en la cual, en sus comienzos se ocupó del desarrollo de la tecnología de fabricación, desarrollándose un prototipo de molde para la elaboración de manera manual y con baja complejidad tecnológica de elementos de demarcación vial, en forma de tachas. Y, en una segunda fase se avanzó 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. Durante el año pasado hubo grandes avances en torno a esta segunda etapa, pero en este año particular, esos canales de difusión tomaron como eje central la transmisión de los cuidados y avances tecnológicos en torno a la pandemia que la sociedad a nivel mundial, está atravesando.

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

Keywords: Recycling, Tire, Binder, Resin, Blemish, Diffusion.

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.

Se ha demostrado que la quema de neumáticos abandonados descarga grandes cantidades de sustancias tóxicas al aire, que genera daños irreversibles para la salud y para el medio ambiente. En un incendio de NFU, se liberan sustancias como mercurio, plomo o dióxido de carbono y, todas estas son muy contaminantes. Estas emisiones de gases representan un peligro para la naturaleza ya que contribuye a la alteración del equilibrio atmosférico y al deterioro de la capa de ozono.

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.

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 desgaste causado por el tránsito.

2. Materiales

Para el diseño de las tachas de demarcación horizontal, se utilizaron 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.

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

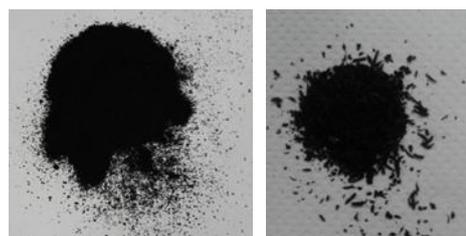


Imagen 1: Vista de las dos granulometrías utilizadas

Resina:

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

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.

La cual, la misma, es ideal para la aglomeración de caucho in situ o por prensado cuando se requieren superficies duras.



Imagen 2: Resina poliuretánica

3. Metodología

3.1 Tipo de tacha

Se trabajó 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

3.2 Sistema de moldeo y dosificación.

Se describe a continuación el proceso de moldeo:

Proceso de moldeo: En primer lugar, se extendió una fina capa de desmoldante, 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 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 tronco piramidal la 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

3.3 Principales ensayos

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 máquina 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 por 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. Aplicación de las tachas en el playón de estacionamiento de la Universidad

Del 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, se puede ver el estado de estas, en la imagen 12:



Imagen 12: Vista de las tachas después de 6 meses de su colocación

5. 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.

6. Conclusiones

- La etapa de campo a dado el marco de saber dónde se está parado con la respuesta del producto a la sollicitación.
- 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.
- Además, se ha podido valorar la trascendencia del reciclado en la vida actual.

7. Referencias

- (1) Tesis de Becarios de Investigación del LEMaC. Años 2018.
- (1) Huespe Adriana et al, 2017. Mezclas asfálticas en frío 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-poliiolefinas. 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 carreteras
- (8) <http://www.aacarreteras.org.ar/pdf/msh-ebook.pdf>. 2019

LECHADA DE CAL COMO PROTECCIÓN DE UN RIEGO DE LIGA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES MULTICAPAS

Becaria; Silvina A. Barbeito¹; abril.sb95@gmail.com

Director; Julián Rivera²; jrivera@frlp.utn.edu.ar

^{1,2} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina

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



Resumen

En la construcción de pavimentos flexibles debe asegurarse que todas las capas que conforman el paquete estructural trabajen solidariamente. En las capas asfálticas superiores esto se consigue a través de la aplicación de riegos de liga, los cuales consisten en una emulsión asfáltica distribuida, en condiciones de humedad y temperatura determinadas, sobre una capa asfáltica o una capa granular imprimada, previo a la colocación de otra capa asfáltica o tratamiento asfáltico, lográndose mejorar la adherencia entre las mismas.

La adherencia final conseguida depende no solo del tipo de emulsión utilizada, del método de aplicación o dotaciones, sino que también de que el propio tránsito de obra no levante el riego en su circulación y/o traslado por la obra. Una de esas alternativas para evitar que ese daño se produzca es la aplicación de una lechada de cal diluida sobre, con el objetivo de que se proteja al riego de diversos factores que influyen directamente en el correcto funcionamiento del mismo.

Esta tecnología cuenta con aplicaciones en diverso número en Europa, pero no registra aun casos reportados en Latinoamérica. Lo citado sirve de disparador para que en el LEMaC se decida encarar un estudio en tal sentido.

Palabras clave: Ingeniería Vial, Pavimento Flexible, Riego de Liga, Lechada de Cal

1. Introducción

Cuando se ejecuta un pavimento flexible multicapas, se presenta entre capas superiores una emulsión asfáltica conocida como riego de liga, lo cual asegura que las capas trabajen solidariamente al finalizar la etapa de obra. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que este riego puede encontrarse afectado por dos motivos principales: por un lado, el tránsito mismo de obra hace que se desprenda el riego, impregnándose muchas veces en las ruedas de los camiones; por otro lado, puede suceder que se exponga al riego a condiciones de alta temperatura por un lapso considerable previo a la ejecución de la siguiente capa, esto genera que las condiciones de la emulsión se vean modificadas y, por consiguiente, no responda de la manera apropiada para lo cual fue diseñada.

La lechada de cal así presentada serviría para evitar el desprendimiento del riego causado por el mismo tránsito de obra, colabora en la reducción de temperaturas de la capa de ligante subyacente, lo que limitaría su tendencia a adherirse a las ruedas y orugas, y disminuye la temperatura de la superficie como consecuencia de la evaporación del agua en la lechada.

La idea de extender una lechada de cal sobre los riegos de liga comenzó a experimentarse en Francia hace más de veinte años. Los resultados pretenden ser competitivos hacia otras técnicas debido a su facilidad de cálculo, ejecución y economía.

2. Relevamiento de antecedentes

Como se mencionaba, la práctica fue relevada de países europeos. De allí surgen los conocimientos que se tienen hasta la fecha, ya que no existen antecedentes a nivel nacional ni latinoamericano que aborden la temática propuesta.

Entre las publicaciones de referencia que se pudieron encontrar, se destacan las originarias de Francia y España, países pioneros en llevar a cabo la práctica.

En las publicaciones francesas, se mencionan los problemas que surgen de no considerar la protección del riego de liga en la constitución de un pavimento y mencionan como alternativa el empleo de la lechada de cal como protección del mismo. En 2012 se incorporan además ensayos de adhesión entre capas tanto en muestras recreadas en laboratorio, como testigos extraídos de los tramos de prueba. En ambos casos, la resistencia está dada en función de la dotación de la lechada de cal.

Por parte de España, la empresa Benito Arnó participa del proyecto de investigación SUPERBIT, que se basa en la innovación de utilizar una lechada de cal diluida y estabilizada como protección de los riegos de liga. El proyecto fue presentado en 2018, pero las primeras experiencias las realizaron en 2016.

Cabe comentar que la lechada que emplean ambos países promotores de esta práctica es una solución concentrada de hidróxido cálcico comercialmente conocida como Asphacal TC que produce la empresa francesa Lhoist.

3. La lechada de cal

La idea de extender una lechada de cal sobre los riegos de liga comenzó a experimentarse en Francia hace más de 20 años. Su aplicación práctica rigurosa comenzó en el año 2009, en el que la Société des Autoroutes de Nord et de l'Est de la France (SANEF) decidió aplicar las lechadas de cal como protección de riegos de liga en sus grandes obras de rehabilitación de pavimentos flexibles.

Desde entonces esta tecnología se ha desarrollado en Francia empleándose en autopistas y vialidades urbanas. También se emplea en Bélgica, Luxemburgo y Polonia, entre otros países.

La lechada de cal para protección de riegos de liga consiste en una solución fuertemente diluida de hidróxido cálcico en agua. La disolución debe ser elevada para hacer posible distribuir una dotación de hidróxido cálcico de 12 a 18 g/m², aplicándose no menos de 250 g/m² de lechada.

La lechada diluida se prepara, habitualmente, a partir de soluciones concentradas disponibles comercialmente. Las utilizadas hasta el momento contienen aproximadamente un 45 % en peso de hidróxido cálcico, por lo que deben diluirse unas 10 veces en agua para obtener la lechada que se pondrá en obra con la dotación de 250 g/m² indicada.

4. Formas de medición – ensayos de interfase

Para valorizar la adherencia entre capas, los autores han ensayado muestras recreadas en laboratorio y, posteriormente, testigos a esfuerzos de corte y a tracción. En la Figura 1 se puede ver una tabla extraída de uno de esas publicaciones. Se trata de muestras recreadas en laboratorio sobre las que se compara la resistencia al cizallamiento con la dotación de la lechada de cal como protección del riego de adherencia.

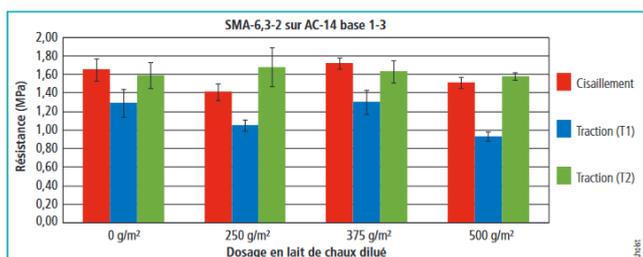


Figura 1. Ensayo de cizallamiento y tracción para distintas dotaciones de lechada de cal. T1 corresponde a una semana de acondicionamiento de las muestras y T2 a un año.

En la Figura 2 se observa el resultado del ensayo a corte de testigos extraídos en la CN-230 en un tramo de Lleida, España.

La dotación óptima de lechada de cal sería, en principio, la que mayor resistencia a corte genere. Sin embargo, para valorar la calidad de la unión entre capas bituminosas se tiene que tener en cuenta su rigidez. Aplicarle una dotación de lechada supone proporcionarle propiedades rigidizadoras

de aquel material, no obstante, rigidizar excesivamente las interfaces, además de elevar las tensiones de corte, podría ocasionar problemas de despegues prematuros por fatiga. Para ello, se emplea el concepto de *fatiga a cortante*, el cual puede valorizarse a través de un ensayo dinámico de corte.

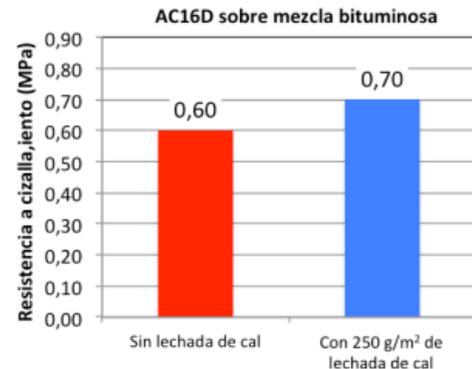


Figura 2. Ensayo de cizallamiento sobre testigos extraídos en un tramo de prueba.

La Figura 3 muestra los resultados del ensayo de corte a velocidad constante de aplicación de carga y la Figura 4 detalla lo obtenido para el ensayo dinámico de corte realizado por los mismos autores.

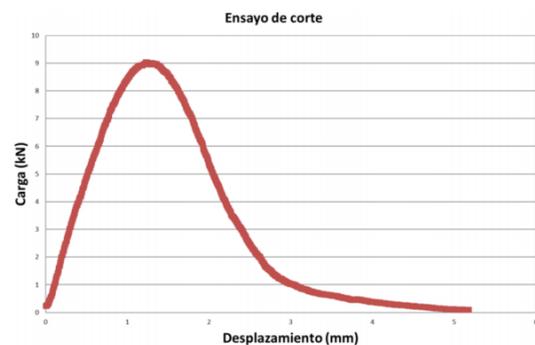


Figura 3. Ensayo de corte a velocidad constante de aplicación de carga.

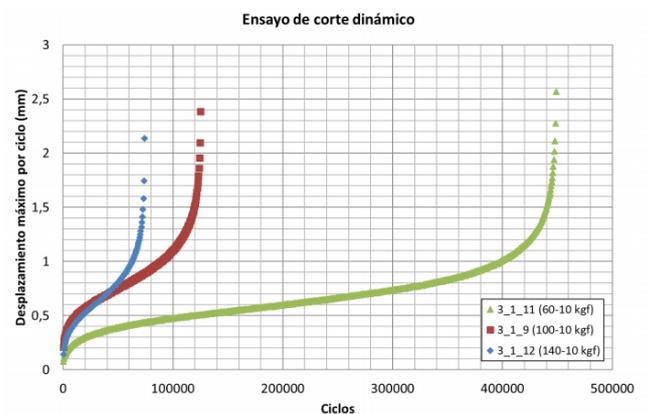


Figura 4. Ensayo dinámico de corte. Evolución del desplazamiento en la unión entre capas con el número de ciclos para diferentes amplitudes de carga.

El objetivo es correlacionar los resultados de este nuevo ensayo de corte dinámico con los obtenidos mediante ensayos más sencillos, como el ensayo de corte estático, y determinar umbrales de rigidez y resistencia a fatiga cortante útiles para distinguir los diseños, procedimientos y materiales que más contribuyan a mejorar la durabilidad de los firmes.

Para aplicar lo anteriormente mencionado a nivel local, se ha decidido emplear un ensayo que genere un esfuerzo cortante en forma estática, pues se considera a esa sollicitación como representativa del comportamiento que se desea analizar en un pavimento. Dicho ensayo no tiene normativa vigente, por tanto se ha adaptado en el LEMaC a tal fin (Rivera, 2019). En la Figura 6 se puede observar la metodología de ensayo propuesta.



Figura 6. Tipo de ensayo propuesto para generar un esfuerzo de corte en forma estática.

Este ensayo, brindaría resultados para establecer cual sería la dotación óptima de lechada de cal a aplicar, entendiéndola como aquella para la cual la resistencia al corte sea mayor. Sin embargo, se plantea estudiar si existen indicios de que la dotación de riego de liga óptima, establecida de tal forma, refleja la situación óptima registrada a fatiga por la sollicitación dinámica del tránsito. Para efectuar este ensayo en las instalaciones del LEMaC, se cuenta con el equipo destinado al ensayo de Módulo Dinámico de acuerdo a la Norma UNE-EN12697-26, el cual puede ser empleado mediante algunas modificaciones menores a tales efectos, como puede observarse en la Figura 7 (Rivera, 2019).

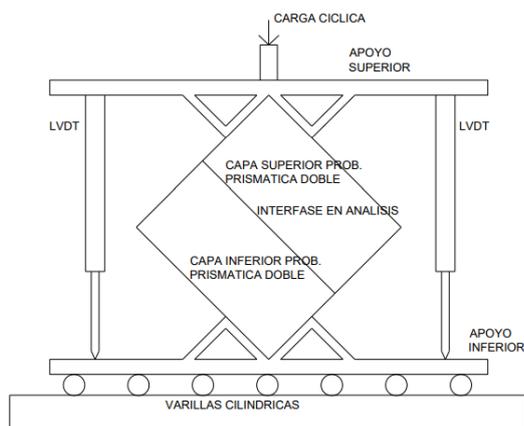


Figura 7. Esquema del ensayo a fatiga de la interfase del LEMaC

4. La solución concentrada – posibilidad local

La investigación más profunda en esta temática permitió arribar a información concreta acerca de la actual Solución concentrada; en tal caso se hizo contacto con Jorge Ortiz, perteneciente a la empresa Benito Arnó, quienes han sido los precursores de la investigación y posterior práctica en España.

En dicha conversación, se pudo constatar que la solución concentrada es comercialmente conocida como Asphacal TC que distribuye la empresa francesa Lhoist. Asphacal contiene partículas de hidróxido de calcio más finas de lo que habitualmente presenta una cal comercial (llamada solución de cal micronizada) además de un agente estabilizante que asegure que la suspensión concentrada sea estable y, en caso de que las partículas sedimenten, puedan volver a ponerse en suspensión mediante agitación.

Las proporciones en que se encuentran estos agentes en la solución son solo conocidos por la empresa que los comercializa; sin embargo, el fabricante debe facilitar información relativa a la densidad aparente de la solución, su contenido en sólidos, pH, viscosidades máximas y mínimas y cualquier otra información relativa a la aplicación de la misma. Dicha información puede verse en la Figura 8.

Caractéristiques avant dilution:	
<u>Concentration</u>	600 g de MS par litre
<u>Densité apparente</u>	1,33 Mg/m ³
<u>Viscosité</u>	mini 200 cPs – maxi 400 cPs
<u>Chimie de la matière sèche suivant NF EN 459-1</u>	
Teneur en (CaO+MgO) total	≥ 90%
Teneur en MgO	< 5%
Teneur en CO ₂	< 4 %
Teneur en SO ₃	< 2%

Figura 8. Exigencias de la solución concentrada.

A través de esta cartilla, se generó contacto con el ingeniero Carlos del Pozo, perteneciente a la empresa Probiar, con el fin de generar la emulsión a nivel local y abriendo las puertas a una investigación de la lechada a nivel nacional. Probiar es una empresa argentina que se dedica a la comercialización de productos para la construcción y mantenimiento vial; una de sus especialidades la constituye la formulación de emulsiones y aseguraron que no encontraban mayor dificultad en la formulación de la solución concentrada de cal a partir de la información que se les pudiera brindar.

Paralelamente, se hizo contacto con diferentes empresas elaboradoras de cal o productos afines. Dichas empresas no pudieron asegurar el micronizado de cal, ya que se requiere de una maquinaria específica que no les es necesaria para cubrir las actuales exigencias de sus campos de aplicación actuales. No obstante, de esas empresas la que ofrece un producto reconocido que mejor ajusta a lo solicitado es Cal

Cefas, con quienes se entabla un contacto más avanzado, en busca de que se remitan muestras de sus productos para proceder a análisis que pudieran establecer la posibilidad de emplearlos en lechadas de cal como las en cuestión. Para ello, se establecieron además comunicaciones con la ingeniera Eva Sosa quien, en representación del LEMIT, brindaría las posibilidades de un equipo de micronizado de laboratorio en esas instalaciones que podría triturar la cal hacia el tamaño de partículas necesarias a tal fin.

Ese micronizado podría ser corroborado en el LEMaC mediante el equipo de tamaños de partículas con el cual se cuenta.

En tal sentido, teniendo por un lado la empresa que prepararía la emulsión y, por el otro, la empresa que brindaría el hidróxido de calcio con las especificaciones que se requieren, se logró establecer las comunicaciones entre ambas con el fin de poder generar las bases hacia la obtención de la solución concentrada en un futuro, entendiéndose que se abrirían las puertas a una comercialización cuyo beneficio sería de ambas partes.

5. Conclusiones

Como conclusiones a las tareas realizadas, se puede mencionar que, si bien la beca ha transcurrido en un año plagado por las restricciones impuestas a las actividades por el COVID-19, entre las cuales la más importante es la imposibilidad de ingreso a las instalaciones del LEMaC, se ha podido generar una serie de contactos con diversos actores que podrían estar interesados en el desarrollo de un producto nacional para una aplicación vial que aparece como marcadamente positiva; y que podría contar con un mercado que, en principio, fácilmente podría abarcar no solo a Argentina, sino también al resto de Latinoamérica.

6. Referencias

ANDALUZ, D., FELIPO, J., PEÑA, J.L., GARCIA SANTIAGO, J.L., MIRO, R., DE ASIS MARTINEZ, F. (2018). *Buenas prácticas en la ejecución de los riegos de adherencia*. Simposio Nacional de Firms SNF2018, España.

CEFAS (2018). *CVS óxido de calcio, características químicas y físicas*. Argentina.

LHOIST (2011). *Asphacal TC, la solution anti-collage sur couche d'accrochage*. EINECS 215-137-3, Francia.

MTMyAU (2020). *Nota Técnica NT01/2020 Para el Proyecto y la ejecución de lechadas de cal como Sistema de protección de riegos de adherencia*. Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, España.

VAQUERO GARCIA, J.J., PARIS MADRONA, A. (2018). *Guía para el Proyecto y la ejecución de lechadas de cal para la protección de riegos de adherencia*. Simposio Nacional de Firms SNF2018, España.

RELEVAMIENTO Y ESTUDIO DE PATRONES DE MOVILIDAD ACOTADO AL UNIVERSO DE LA UTN-FRLP

Becaria; Beatriz Abraham¹; beatrizabraham24@gmail.com

Director; Gustavo Das Neves²; gdneves@frlp.utn.edu.ar

^{1,2} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina

Área: Gestión y Diseño Vial



Resumen

El presente trabajo tiene como fin conocer los patrones de movilidad acotados al universo de las personas que acuden a la UTN Facultad Regional La Plata, en sus variantes de alumnos, docentes o no docentes, desde su origen hasta su destino, pudiéndose profundizar en análisis de modalidades de transportes (masivos, individuales), tiempos, costos y percepción de calidades. La información a analizar será recabada mediante el diseño de encuestas electrónicas.

Palabras clave: patrones de movilidad, encuestas, análisis de modalidades.

1. Introducción

En la presente tesis se realizará un estudio de patrones de movilidad, acotado al universo de la UTN Facultad Regional La Plata. Mediante el diseño de encuestas electrónicas se recabó información de alumnos, docentes y no docentes, con el objeto de clasificar los modos de transporte utilizados, tiempos costos, percepción de calidades, etc. Dicha clasificación será utilizada para producir un análisis estadístico y sus respectivas conclusiones.

2. Metodología

Se diseñó una encuesta sobre características de movilidad apuntando a conocer cuestiones como situación académica, origen, sexo, grupo etario, modalidad utilizada, costos, tiempos, y percepciones sobre la calidad del transporte público, entre otras.

Dichas encuestas fueron enviadas y respondidas mediante correos y grupos de redes sociales, durante la Pandemia de Covid-19, estando orientadas a formular un diagnóstico de la movilidad previo a dicha situación de restricciones de movilidad que la situación sanitaria impuso.

El cuestionario fue creado mediante la plataforma *Google Forms*, conteniendo las siguientes preguntas:

Sección 1

1) EDAD

- Entre 17 y 30 años
- Entre 31 y 45 años
- Entre 46 y 60 años
- Más de 60 años
- Otro

2) ¿CON QUÉ GENERO TE SENTÍS IDENTIFICADO?

- Femenino
- Masculino
- Prefiero no decir
- Otro

3) SITUACIÓN ACADÉMICA

- Docente
- Estudiante
- No docente
- Otro

4) ¿EN QUÉ ZONA VIVÍS?

- Abasto
- Barrio aeropuerto
- Berazategui
- Berisso
- Brandsen
- Casco urbano
- City Bell
- Ensenada
- Gonnet
- Gorina
- Los hornos
- Magdalena
- Olmos
- Parque Sicardi
- Ringuet
- Tolosa
- Villa Elisa
- Ns/nc
- Otro

5) ¿QUÉ DISTANCIA DEBES RECORRER DESDE TU CASA HASTA LA FACULTAD?

- Menos de 2 km
 - Entre 2 y 5 km
 - Entre 5 y 10 km
 - Más de 10 km
- 6) ¿CON QUÉ FRECUENCIA SEMANAL REALIZAS LOS VIAJES?
- Solo algunos días
 - Lunes a viernes
 - Lunes a sábado
- 7) ¿QUÉ MEDIO DE TRANSPORTE UTILIZAS PARA DICHS VIAJES?
- Vehículo particular (auto, moto, etc.)
 - Bicicleta
 - Transporte público
 - Otro (a pie, etc.)
- 8) ¿CUÁNTO TIEMPO TE DEMANDA EL VIAJE?
- Menos de 30 minutos
 - Entre 30 y 60 minuto
 - Más de 60 minutos
- 9) ESTA PREGUNTA ES PARA LOS USUARIOS DE TRANSPORTE PARTICULAR. DE EXISTIR UNA ALTERNATIVA VIABLE DE TRANSPORTE PÚBLICO, DE ACUERDO A LAS ACTIVIDADES QUE DESARROLLAS, ¿SERÍA POSIBLE UTILIZAR EL TRANSPORTE PÚBLICO?
- Si, parcialmente
 - Si, totalmente
 - No, imposible
- Menos de \$ 500
 - Entre \$500 y \$1000
 - Más de \$1000
- 13) ¿RECIBÍS ALGUNA BECA O SUBSIDIO PARA AFRONTAR ESE GASTO?
- Si
 - No
- 14) ¿CUÁL ES EL TIEMPO TOTAL DEL VIAJE?
- Menos de 20 minutos
 - Entre 20 y 40 minutos
 - Mas de 40 minutos
- 15) ¿COMO CREES QUE ES LA RELACIÓN DE COSTO-SERVICIO?
- Muy mala
 - Mala
 - Regular
 - Buena
 - Muy buena
 - Otro
- 16) ¿CUÁL CONSIDERAS QUE ES EL MAYOR PROBLEMA DEL TRANSPORTE PÚBLICO?
- Confort
 - Costos
 - Estado de las unidades
 - Frecuencias
 - Mala distribución de paradas
 - Recorridos deficientes
 - Seguridad vial
 - Tiempo de espera
 - Tiempo de viaje
 - Otro

SECCION 2

Usuarios de transporte público.

Las siguientes preguntas son para los usuarios de transporte público. Si este no es tu caso, continuá hasta el final de la encuesta y tocá enviar.

Si sos usuario de transporte público, recordá que estas preguntas se refieren a la situación previa al ASPO por la pandemia de COVID-2019. Te pedimos que las preguntas contestadas sean con información anterior a la situación actual.

- 10) ¿QUÉ TRANSPORTE PUBLICO UTILIZAS?
- Colectivo
 - Tren
 - Ambos
 - Otro
- 11) ¿QUÉ TIEMPO DE ESPERA TENÉS?
- Menos de 20 minutos
 - Entre 20 y 40 minutos
 - Más de 40 minutos
- 12) ¿CUÁL ES TU GASTO SEMANAL EN VIAJES?

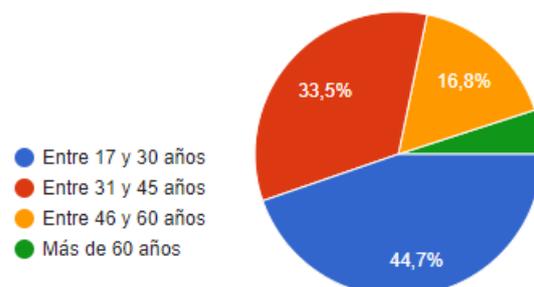
Se obtuvieron 179 respuestas, las cuales fueron estudiadas y analizadas en profundidad para poder llegar a conclusiones específicas.

3. Resultados y Discusión

Pregunta N°1:

¿Cuál es tu edad?

179 respuestas



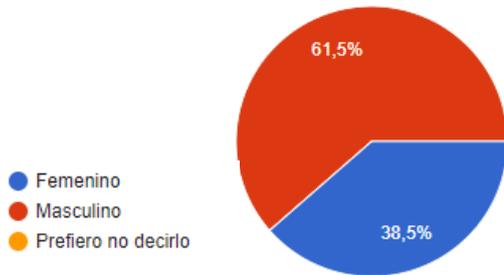
Como muestra el gráfico circular, casi un 50% de las personas que realizaron esta encuesta tiene entre 17 y 30 años, seguidos de un 33,5% con edades desde 31 a 45 años,

un 16,8% personas de 46 a 60 años. Dejando un pequeño porcentaje del 5% para personas mayores de 60 años.

Pregunta N°2:

¿Con qué género te sentís identificado?

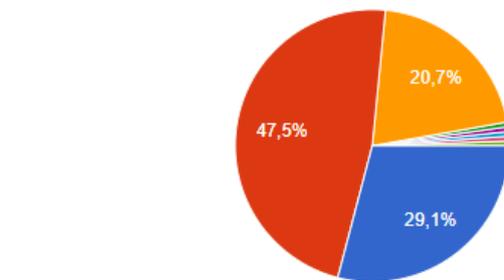
179 respuestas



Pregunta N°3:

¿Situación académica?

179 respuestas

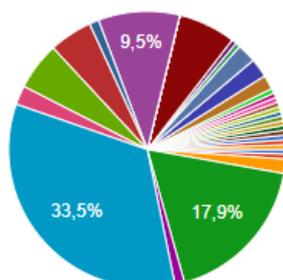


El mayor porcentaje fue para los estudiantes, donde del total, un 47,5% les pertenece. Siguen los docentes con 29,1%. Los no docentes con 20,7%. Además, hubo 0,6% para otras situaciones académicas, estudiante/docente (0,6%), estudiante de posgrado (0,6%), segunda carrera universitaria (0,6%), no docente y estudiante (0,6%), estudiante y ayudante (0,6%). Si agrupamos todos los estudiantes de las diferentes grados y modalidades resultan en 48,7%.

Pregunta N°4:

¿En qué zona vivís?

179 respuestas



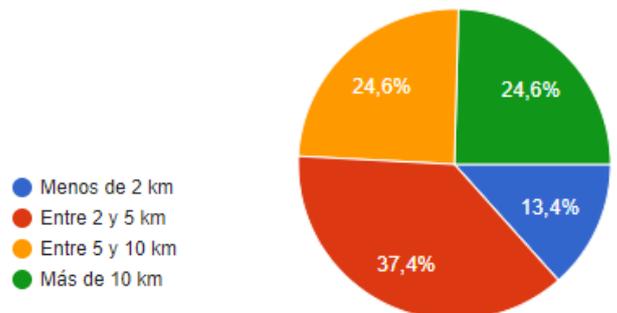
- Abasto
- Barrio Aeropuerto
- Berazategui
- Berisso
- Brandsen
- Casco Urbano
- City Bell
- Ensenada
- Gonnet
- Gorina
- Los Hornos
- Magdalena
- Olmos
- Parque Sicardi
- Ringuelet
- Tolosa
- Villa Elisa
- NS/NC
- Villa Elvira
- San Carlos
- Altos de San Lorenzo
- Quilmes oeste
- Las quintas
- San Cristóbal
- Florencio Varela
- La Plata
- Avellaneda
- La Cumbre
- La Loma
- Glew
- Florencio varela
- Quilmes
- Lomas de Copello (RP11 km 11)
- Daireaux-bsas

Hubo respuestas muy variadas, estas serán ordenadas en orden de mayor porcentaje: Casco urbano: 34.1%, Berisso: 17.9%, Los hornos: 9.5%, Tolosa: 6.7%, Ensenada: 5.6%, Gonnet: 5%, City Bell: 2.2%, Villa Elvira: 2.2%, San Carlos: 2.2%, Berazategui: 1.7%, Altos de San Lorenzo: 1.7%, Florencia Varela: 1.2%, Brandsen: 1.1%, Gorina: 1.1%, Abasto: 0,6%, Barrio Aeropuerto: 0,6%, Villa Elisa: 0,6%, Quilmes oeste: 0,6%, Las Quintas: 0,6%, San Cristóbal: 0,6%, Avellaneda: 0,6%, La Cumbre: 0,6%, La Loma: 0,6%, Glew: 0,6%, Quilmes: 0,6%, Lomas de Copello: 0,6%, Daireaux: 0,6%. NS/NC: 0,6%.

Pregunta N°5:

¿Qué distancia tenés que recorrer desde tu casa hasta la facultad?

179 respuestas

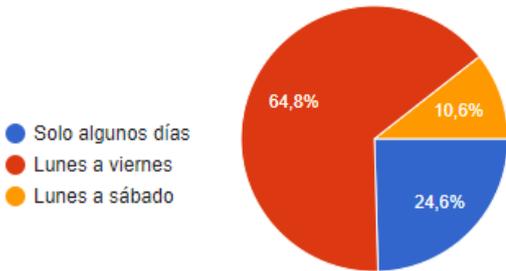


Casi un 38% tiene que recorrer entre 2 y 5 km desde la casa hasta la Facultad, un 24,6% debe recorrer más de 10 km, otro 24,6% debe recorrer entre 5 y 10 km, y solo un 13,4% debe recorrer menos de 2 km.

Pregunta N°6:

¿Con qué frecuencia semanal realizas los viajes?

179 respuestas

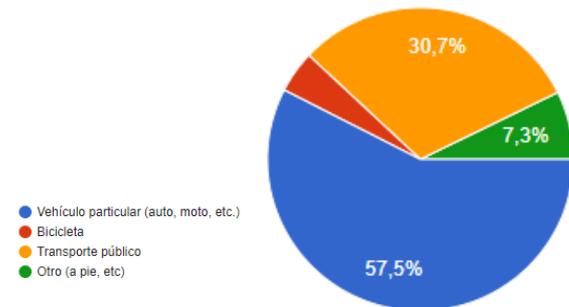


Para esta pregunta, casi un 65% concurre a la facultad desde lunes a viernes, un 24,6% solo algunos días, y un 10,6% de lunes a sábado.

Pregunta N°7:

¿Qué medio de transporte utilizas para dichos viajes?

179 respuestas

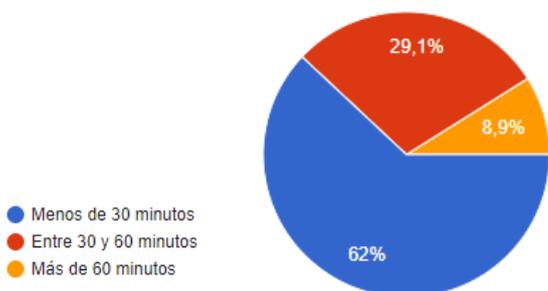


Respecto a los medios de transporte utilizados por las personas que realizaron esta encuesta, un 57,5% se maneja con vehículo particular, un 30,7% en transporte público, un 7,3% con otro medio, ejemplo a pie, y un 4,5% en bicicleta.

Pregunta N°8:

¿Cuánto tiempo te demanda el viaje?

179 respuestas

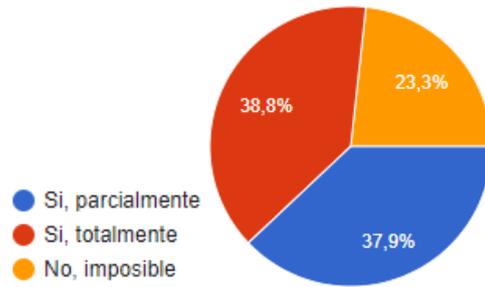


Se visualiza que el 62% del total demora menos de 20 minutos en llegar al destino, un 29,1% demora entre 30 y 60 minutos, mientras que un 8,9% tarda más de 1 hora.

Pregunta N°9:

Esta pregunta es para los usuarios de transporte particular. ¿De existir una alternativa viable de transporte público, de acuerdo a las actividades que desarrollas, sería posible utilizar el transporte público?

116 respuestas



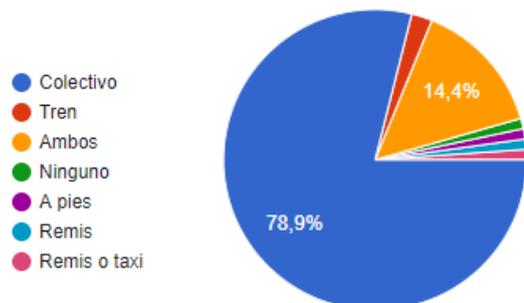
Esta pregunta fue para los usuarios de transporte particular (116 respuestas), un 38,8% contestó que, de existir una alternativa viable de transporte público, la usarían totalmente, un 37,9% contestó que utilizaría esa alternativa viable pero no completamente, mientras que un 23,3% contestó que sería imposible que la utilicen.

Pregunta N°10

Usuarios de transporte público

¿Qué transporte público utilizas?

90 respuestas

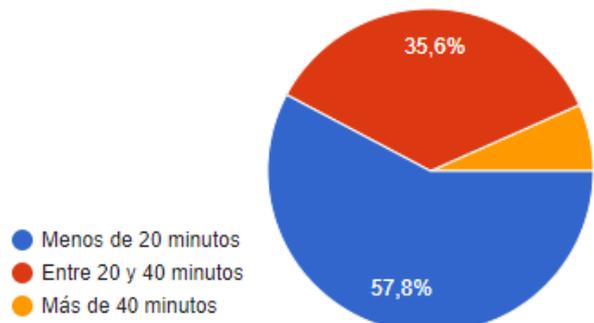


Esta pregunta fue dedicada solo a los usuarios de transporte público, en total 90 personas, de las cuales, el 78,9% utiliza el colectivo como transporte público, un 14,4% utilizan tren y colectivo, un 2,2% utiliza solo el tren, un 1,1% a pie, 2,2% remis o taxi y un 1,1% no utiliza ninguno de los medios nombrados anteriormente.

Pregunta N°11:

¿Qué tiempo de espera tenes?

90 respuestas

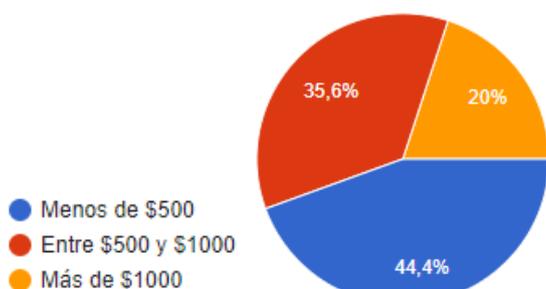


Respecto al tiempo de espera para los usuarios de transporte público, un 57,8% tiene un tiempo menor a 20 minutos, mientras que un 35,6% espera entre 20 y 40 minutos, y solo un 6,7% debe esperar más de 40 minutos.

Pregunta N°12:

¿Cuál es tu gasto semanal en viajes?

90 respuestas

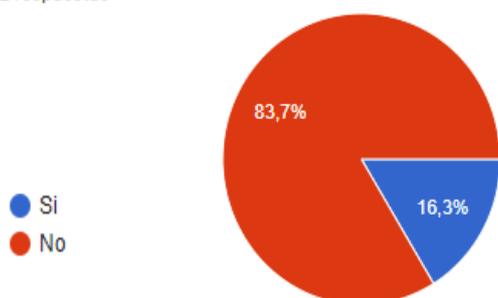


Referido al gasto semanal, de las 90 respuestas, se puede ver que un 44,4% gasta menos de \$500, un 35,6% entre \$500 y \$1000 semanales, y un 20% más de \$1000.

Pregunta N°13:

¿Recibis alguna beca o subsidio para afrontar ese gasto?

92 respuestas

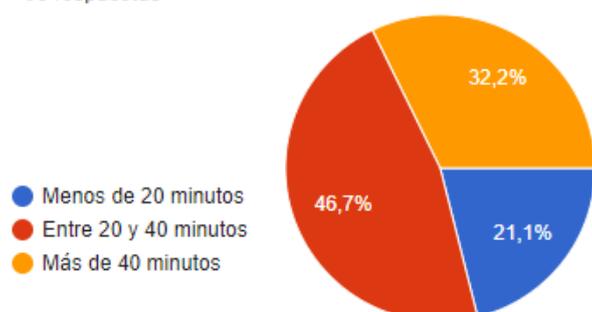


El resultado de esta pregunta indica que el 16,3% de estos usuarios recibe una beca para solventar los gastos mencionados anteriormente, mientras que el porcentaje restante no recibe nada.

Pregunta N°14:

¿Cuál es el tiempo total del viaje?

90 respuestas

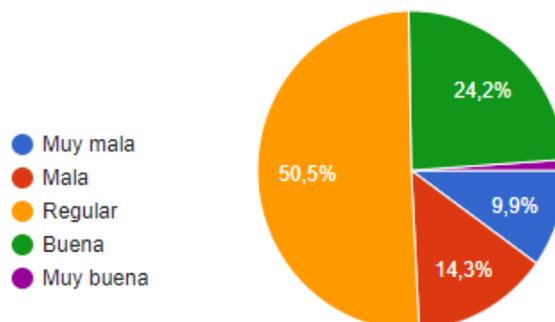


Respecto a la duración total del viaje, un 46,7% tienen un viaje de 20 a 40 minutos, un 32,2% más de 40 minutos, y solo un 21,2% tienen un periodo de viaje de menos de 20 minutos.

Pregunta N°15

¿Cómo crees que es la relación de costo-servicio?

91 respuestas



El 50% de las personas contestaron que la relación costo-servicio es regular, mientras que un 24,2% la tildo de buena, un 14,3% de mala relación, un 9,9% muy mala, y solamente un pequeño porcentaje de 1,1% de muy buena relación

Pregunta N°16:

Respecto a esta pregunta hubo una enorme variedad en las respuestas.

Para un 35,1% el mayor problema es la frecuencia con la cual circulan los transportes públicos.

Un 16% está de acuerdo con que el principal problema son los tiempos de espera.

13,8% piensan que el principal problema son los costos.

Mientras que un 9,6% menciona que el problema es el estado de las unidades.

Este porcentaje se repite, 9,6% de encuestados piensan que el problema son los recorridos deficientes.

Un 3,2% cree que el principal tema es el tiempo de viaje.

También un 3,2% cree que el problema este dando por una mala distribución de paradas.

Un 2,2% cree que todos los nombrados anteriormente son el problema.

¿Cuál consideras que es el mayor problema del transporte público?

94 respuestas



Un 2,1% cree que el problema es la seguridad vial, y otro 2,1% dicen que el problema es la comodidad.

Mientras que un 1,1% asegura que el problema es la capacidad máxima y mínima.

A su vez hubo respuestas que eligieron determinados problemas juntos, por ejemplo, un 1,1% dice que los principales problemas es la mala distribución de paradas, seguridad vial, recorridos deficientes, tiempo de viaje. Otro 1,1% dice que en La Plata hay demasiadas líneas sin coordinación entre ellas, ni de recorridos ni de horarios, generando conglomeraciones insostenibles en un futuro.

4. Conclusiones

Con todos los datos obtenidos anteriormente, podemos ver que, de las personas encuestadas, casi el 50% son personas de 17 a 30 años, estudiantes y la mayoría de ese 50% vive en el casco urbano de la ciudad.

Analizando la distancia que deben recorrer desde la casa hasta la facultad, es un gran porcentaje el que supera más de 2 km (86,6%), sumado a que la mayoría va de lunes a viernes (algunos casos incluyendo sábados), además que el 30% utiliza transporte público, y que un 55,6% gasta más de \$500 semanales (período pre Pandemia). De 92 personas que contestaron esta sección de la encuesta (transporte público), solo 15 personas reciben una beca para afrontar este gasto.

Respecto al análisis del estado del transporte público, se puede decir que tiene una relación costo-servicio regular, según el 50% de los encuestados, y 24,2% la considera buena, aunque es importante tener en cuenta que un 24% eligió las opciones mala y muy mala.

Además de analizar los principales problemas de transporte público, entre ellos se destaca: las frecuencias de circulación, el tiempo de espera, los costos, el estado deficiente de las unidades y sus recorridos deficientes.

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 mí Director Gustavo Das Neves quien me oriento en este proceso de investigación.

Referencias:

Leonardo Fernández. Tesis: La movilidad de los usuarios del campus de la Universidad Nacional de General Sarmiento. Septiembre de 2008.

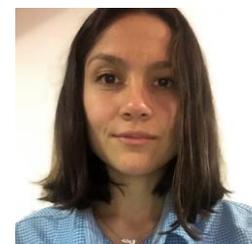
Observatorio de movilidad del Gran La Plata, IIPAC FAU UNLP: Patrones Modales de Movilidad en Gran La Plata 2013. <https://observatoriomovilidadlaplata.wordpress.com/2017/06/16/patrones-modales-de-movilidad%C2%B9-en-gran-la-plata-2013/>

RELACIÓN ENTRE EL GRADO DE DESGASTE Y LAS CARACTERÍSTICAS DE ORIGEN DE AGREGADOS CUARCÍTICOS, RECUPERADOS DE PASIVOS AMBIENTALES EN CANTERAS DEL SISTEMA DE TANDILIA (BUENOS AIRES), PARA PAVIMENTOS.

Becaria; Rocío V. Insaurralde¹; rocioinsaurralde@alu.frlp.utn.edu.ar

Directora; María F. Lajoinie²; flajoinie@frlp.utn.edu.ar

^{1,2} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina



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

En canteras de la provincia de Buenos Aires, específicamente desarrolladas en el Sistema de Tandilia, grandes cantidades de rocas denominadas genéricamente como cuarcitas son removidas y acumuladas en pilas o pasivos ambientales, de difícil manejo, con el fin de explotar los estratos de arcillas infrayacentes. Considerando que la actividad minera de arcillas continúa en crecimiento, es necesario abordar debidamente esta problemática. En este sentido, en la presente contribución se exponen los primeros estudios enfocados a caracterizar estas rocas cuarcíticas con el fin de incentivar su utilización como agregado grueso en obras viales. Los resultados obtenidos a partir del ensayo de desgaste Micro Deval (MD), complementados con la petrografía de las rocas (recuperadas de pasivos ambientales de canteras del partido de Benito Juárez) permitió identificar heterogeneidades texturales que influyen fuertemente en la resistencia de estas rocas. Por su parte, las cuarcitas con mayor proporción de matriz tienen valores de desgaste mayores (coeficientes MD 24,6) que aquellas con mayor proporción de clastos de cuarzo (coeficientes MD de 15,5 y 18,2). Además, el accionar de procesos de recristalización también podrían haber influido en la mejor respuesta de estas rocas ante el desgaste. Teniendo en cuenta que si bien los coeficientes MD son entre aceptables (menores a 20) y algo por encima de los sugeridos para agregados gruesos para uso vial, se recomienda realizar mezclas para alcanzar valores admisibles en todas las muestras.

Palabras clave: Agregado grueso, rocas cuarcíticas, remediación ambiental, resistencia, Micro Deval, petrografía.

1. Introducción

La industria de la construcción es uno de los principales consumidores de recursos pétreos. Para satisfacer esta demanda y al mismo tiempo reducir el estrés sobre el medio ambiente, la utilización de litologías alternativas a los denominados agregados “graníticos” [1], así como el material de desecho de canteras, se imponen como posibles alternativas. Los pasivos ambientales mineros pueden comprender aquellas instalaciones, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, abandonadas o inactivas que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad [2]. En canteras de la provincia de Buenos Aires, específicamente desarrolladas en el Sistema de Tandilia, grandes cantidades de rocas denominadas genéricamente como cuarcitas son removidas y acumuladas en pilas con el fin de explotar los estratos de arcillas infrayacentes. Esto se debe a que las arcillas representan, desde el punto de vista comercial, uno de los principales minerales industriales por sus diversas propiedades y aplicaciones. Sin embargo, las rocas cuarcíticas no cuentan con la misma promoción comercial, posiblemente debido al desconocimiento sobre sus propiedades como roca de aplicación, por lo que son acumuladas como material “estéril” generando pasivos ambientales mineros de difícil manejo. Asumiendo que la

explotación de arcillas continuará activa, teniendo en cuenta su creciente demanda industrial y comercial, este problema debe ser debidamente abordado. En la presente contribución se realiza la caracterización petrográfica y la evaluación del grado de desgaste, mediante el ensayo de Micro Deval (MD), de diferentes muestras de rocas cuarcíticas provenientes de canteras ubicadas en el partido de Benito Juárez, ámbito geológico del Sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires. En esta primera etapa de estudios, la determinación de la relación entre los coeficientes MD obtenidos y las características de origen de estas rocas cuarcíticas (principalmente mineralogía, textura y estructura) servirá para definir posibles aplicaciones en obras viales que posibiliten la puesta en valor de estos pasivos ambientales.

2. Rocas cuarcíticas del Sistema de Tandilia.

Las rocas denominadas en términos generales como cuarcitas incluyen tanto rocas sedimentarias, como areniscas cuarzosas con diferente grado de compactación, así como rocas metamórficas constituidas casi en su totalidad por cuarzo recristalizado. En este sentido, es de esperar que estas rocas en su conjunto no presenten un comportamiento químico y/o mecánico homogéneo. En el ámbito geológico del Sistema de Tandilia, estas rocas, se desarrollan en dos unidades con edades diferenciadas: una neoproterozoica y

otra perteneciente al Paleozoico Inferior. Esta última, conocida como Formación Balcarce, presenta una importante distribución areal (Fig. 1) y corresponde esencialmente a una variedad de ortocuarcita con más del 90% de granos de cuarzo, normalmente muy redondeados [3]. Principalmente en el sector de Balcarce (Fig. 1), este tipo de rocas se explota con fines comerciales (destinada fundamentalmente a construcción) con el nombre de “cuarcita o piedra Mar del Plata” [4].

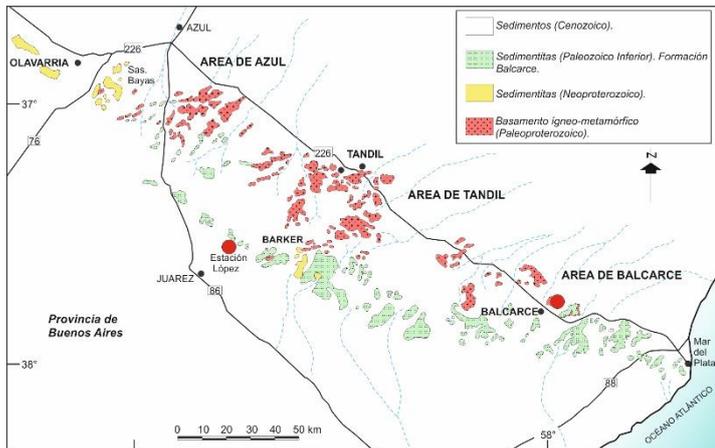


Figura 1: Mapa geológico del Sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires [5]. Los círculos rojos resaltan la ubicación de las canteras de la localidad de Estación López, donde se obtuvieron las muestras estudiadas y las correspondientes al partido de Balcarce, donde se explota la “cuarcita Mar del Plata”.

Sin embargo, en otros sectores de las sierras, este tipo de rocas no posee un estatus comercial tan valorado y son descartadas para poder extraer las arcillas que se desarrollan estratigráficamente por debajo. En el caso de algunas canteras ubicadas en la localidad de Estación López, partido de Benito Juárez (Fig. 1), para acceder a los bancos arcillosos es necesario volar y retirar con pala mecánica una importante capa de cuarcitas. Inclusive en algunos sectores se intentó realizar algunas labores subterráneas como galerías poco profundas para extraer la arcilla y evitar retirar las rocas cuarcíticas. Sin embargo, esta última metodología fue abandonada debido al elevado costo. Por este motivo, la extracción a cielo abierto con el retiro y acopio de cuarcitas en pilas o pasivos ambientales sigue siendo la metodología con mayor factibilidad económica. La posibilidad de activar un mercado para estas rocas de “desecho”, podría contribuir y mejorar la sustentabilidad de la actividad minera en este sector.

3. Metodología

Las muestras de cuarcitas fueron caracterizadas bajo lupa binocular, Olympus modelo SZH10, y microscopio petrocalcográfico, marca Olympus modelo BX53, de acuerdo con las normas IRAM 1702 y 1703 [6,7] (Fig. 2). Dicha caracterización incluyó una descripción de la textura (tamaño de grano, morfología de los cristales, presencia de cementos, proporción clastos-matriz), la composición mineralógica y de la presencia de estructuras. Cabe destacar que todas estas características tienen implicancias en la

interpretación de los procesos geológico-genéticos ocurridos. Las láminas delgadas se realizaron 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.

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 [8], previo a los ensayos de Micro Deval, los agregados, fueron evaluados según los índices de Lajas y Agujas (normas IRAM 1687-1 y 2), mediante el equipamiento específico para tal caso. En este sentido, se destaca que todas las muestras que fueron seleccionadas para su estudio cumplieron con la mencionada exigencia. Una vez que los agregados fueron evaluados y caracterizados, se realizó el ensayo de Micro Deval según lo indicado en la norma IRAM 1762 [9].

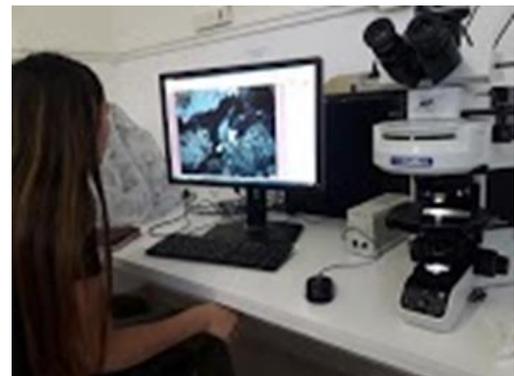


Figura 2. Estudios petrográficos realizados en un microscopio Olympus, modelo SZH10, del Laboratorio de Petrografía del INREMI.

3.1 Micro Deval

El procedimiento se llevó a cabo según norma [9]. Se preparó 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 (Fig. 3a), 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. 3b). 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. 3c), 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.

Una vez completados, cada cilindro 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. 3c).

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 3. a) Material cuarteado. b) Pesaje del material.
c) Equipo para el ensayo Micro Deval, LEMaC.

3. Resultados

3.1 Caracterización petrográfica de las rocas cuarcíticas

El estudio petrográfico preliminar consistió en el análisis de tres muestras, denominadas C1, C2 y C3. Las mismas presentan una mineralogía similar constituida principalmente por cuarzo. En algunas muestras, como en la C1, se identificaron minerales de arcilla y algunas micas, mientras que en la C3 algunos clastos de ftanita. Las principales diferencias identificadas en los ejemplares estudiados están relacionadas a su textura y fábrica. La muestra C1 presenta una textura arenosa clasto a matriz sostén constituida por clastos de cuarzo algo angulosos a sub-redondeados y una matriz cuarzo-arcillosa, con posible presencia de un cemento también arcilloso (Fig. 4a y b). La muestra C2 es la más homogénea y posee una textura arenosa equigranular, conformada por más del 90% de cuarzo (Fig. 4c y d). Es importante remarcar que todos los cristales de cuarzo presentan numerosas microtexturas de deformación y recrystalización como extinción ondulosa y subgranos. Finalmente, la muestra C2, es la de menor grado de selección con una variación importante en el tamaño de los clastos que la constituyen. Su textura es sabulítica a gravosa y está conformada por clastos irregulares y angulosos de cuarzo y ftanita o chert (sílice criptocristalina a amorfa) (Fig. 4e y f).

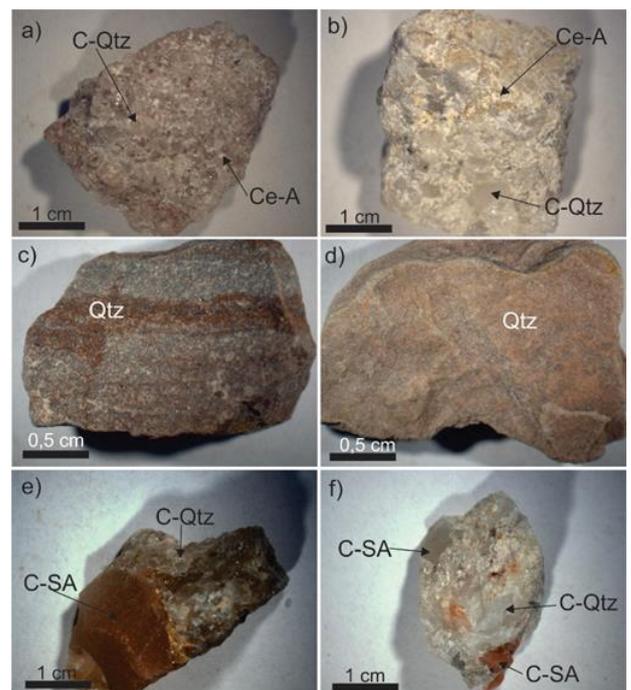


Figura 4. Aspecto de los agregados. a) y b) Muestra C1. c) y d) Muestra C3 e) y f) Muestra C2. C-Qtz: clastos de cuarzo; Ce-A: cemento/matriz arcillosa; Qtz: cuarzo; C-SA: clastos de sílice amorfa/crptocristalina.

3.2 Micro Deval

Los resultados obtenidos luego del ensayo Micro Deval, se detallan en la Tabla 1. El valor de desgaste más bajo se condice con la muestra C2 y el valor intermedio con la C3. Por su parte, la muestra C1 presenta un valor de desgaste de 24,6, que además de ser el mayor entre las muestras estudiadas, es también mayor que el aceptable de 20

establecido por Vialidad Nacional en los Pliegos de Especificaciones Técnicas Generales (tanto para concretos asfálticos en calientes y semicalientes como para pavimentos de hormigón) [8 y 10].

Tabla 1.

Cuarcitas							
Muestra	Antes MD		Después MD		MDE		Pro medio
	m1 (gr)	m2 (gr)	m1 (gr)	m2 (gr)	m1	m2	
C1	499,2	501,7	373,6	380,9	25,2	24,1	24,6
C2	500	501,1	425,4	420,7	14,9	16,0	15,5
C3	500	-	408,9	-	18,2	-	18,2

Tabla 1. Valores obtenidos de los ensayos Micro Deval.

4. Discusión y consideraciones finales

En el ámbito del Sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires, las rocas comercialmente denominadas como cuarcitas corresponden a rocas sedimentarias tales como cuarzoareniscas y areniscas sabulíticas cuarzosas con diferente grado de compactación y diagénesis. Esto se debe a que el término “cuarcítico” hace referencia a rocas constituidas principalmente por cuarzo sin hacer distinciones en otros rasgos petrográficos de estas rocas como la textura y/o estructura. Sin embargo, los primeros resultados de los ensayos de desgaste obtenidos sobre estas muestras indican que los valores más altos de coeficientes MD se registraron en muestras de cuarcitas con mayor proporción de una matriz y cemento de composición arcillosa, lo que genera una menor resistencia ante el desgaste. Por otro lado, mejores valores de desgaste fueron registrados en rocas con alta proporción de clastos de cuarzo y de sílice amorfa, sin participación de matriz. Sumado a esto, una de las muestras evidencia procesos de recristalización de acuerdo con la identificación de microestructuras (subgranos) que posiblemente sean las responsables de mejorar la resistencia de la roca cuarcítica, así como ocurre en ciertos agregados graníticos [11]. En este sentido, en rocas cuarcíticas la resistencia está influenciada por la textura presente (proporción clastos-matriz) y por la presencia de cementos de menor dureza que el cuarzo, como minerales del grupo de las arcillas o cementos carbonáticos.

Finalmente, considerando que los valores más elevados de desgaste registrados en una de las muestras superan los recomendados para su utilización como agregados gruesos con aplicación vial, se recomienda realizar mezclas de estas rocas cuarcíticas para alcanzar valores admisibles en todas las muestras. De esta forma, los estudios aquí presentados deben ser intensificados y complementados con otros de mayor detalle con el fin de caracterizar estas rocas cuarcíticas y determinar posibles nuevos usos.

Agradecimientos

Las autoras de este trabajo desean expresar su agradecimiento al LEMaC y al INREMI, por poner a disposición sus instalaciones para llevar a cabo los ensayos

y estudios petrográficos realizados en este trabajo. Por otro lado, agradecemos al Dr. Ing. Julián Rivera, al Ing. Oscar Rebollo y al Sr. Nicolás Battista, por la asistencia brindada durante la realización de los ensayos. Los estudios aquí presentados se enmarcan en el proyecto subsidiado por la CIC: “Factibilidad del uso de cuarcitas provenientes del descarte de explotaciones de arcilla, como áridos para la industria vial. Utilización del recurso y contribución en la remediación de pasivos ambientales. Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires”, director Dr. Raúl Fernández a quien le agradecemos por facilitarnos las muestras de cuarcitas.

Bibliografía

- [1] 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.
- [2] Fernández G., Ricci S., Valenzuela S., Castronovo, R., Ramos A. 2013. Pasivos ambientales mineros en la trama urbana: estudios de la ciudad de Tandil, Argentina. Nadir: Revista electrónica de geografía austral n°2, ISSN: 0718-7130.
- [3] Cingolani C.A. 2008. Tandilia. Las rocas y los fósiles más antiguos de la Argentina. En: Sitios de Interés Geológico, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, Anales 46, tomo II: 477-494.
- [4] Coelho dos Santos G.S. 2015. Comportamiento de las rocas cuarcíticas de las Sierras Septentrionales (Tandil) frente a la RAS. Revista Ciencia y Tecnología de los Materiales n°5.
- [5] Dalla Salda, L.H., de Barrio, R.E., Echeveste, H., Fernández, R. 2005. El basamento de las Sierras de Tandilia. In: de Barrio, R.E., Etcheverry, R., Caballé, M.F., Llambías E.J. (Eds.), Geología y Recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del 26° Congreso Geológico Argentino, 32-50, La Plata.
- [6] Agregados gruesos para uso vial. Método de análisis del estado físico de la roca. Norma IRAM 1702. 1981.
- [7] Agregados gruesos para uso vial. Características basadas en el análisis del estado físico de la roca. Norma IRAM 1703. 1981.
- [8] Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Concretos Asfálticos en Caliente y Semicaliente del tipo Densos. Ministerio de Transporte. Presidencia de la Nación. Edición 2017.
- [9] Agregados. Determinación de la resistencia al desgaste de los agregados pétreos con el equipo Micro-Deval. Norma IRAM 1762. 2000.
- [10] Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para pavimentos de hormigón, con aporte de hormigón reciclado. Ministerio de Transporte. Presidencia de la Nación. Edición 2017.
- [11] Insaurralde R., Rivera J., Rebollo O., Lanfranchini M.E., Lajoine M.F. 2021. Utilización del grado de desgaste en el ensayo Micro Deval como complemento para distinguir diferentes naturalezas de agregados gruesos graníticos para pavimentos. Revista Vial n°137, ISSN 0329-1146.

DISEÑO DE MEZCLAS HAC

Becarios; Nicolás Battista¹; nicolas.d.battista@gmail.com;
Nicolás Peñalva²; ing.civil.mnp@outlook.com;

Director; Marcelo Barreda³; mbarreda@frlp.utn.edu.ar

^{1,2,3} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y
124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina.



Área: Tecnología del hormigón. **PID Asociado:** “Desarrollo de hormigones autocompactantes destinados a mobiliario urbano para el mejoramiento de espacios públicos”. 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 complejas, 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 armaduras. 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 hormigón fresco es el modelo de Bingham. En este caso el hormigón se comporta como un sólido hasta que la tensión tangencial aplicada supera un umbral o tensión crítica 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:

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

Donde γ es la velocidad de deformación (en 1/s), τ_0 es la tensión crítica 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 descrito en comparación con un fluido Newtoniano. [5].

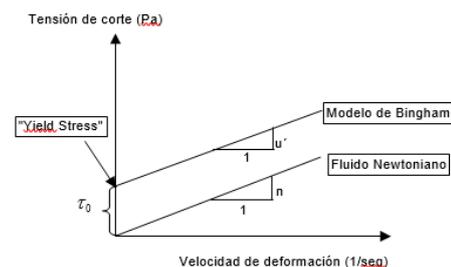


Figura 1: Comportamiento Reológico

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 embargo 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/m³ 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 fricción 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.

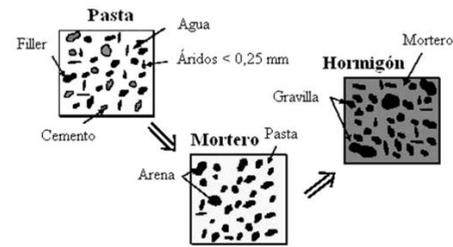


Figura 2: Reología de las fases del hormigón

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]

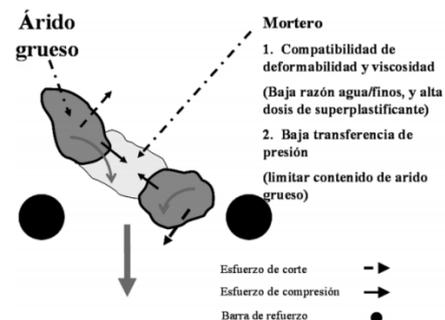


Figura 3. Generación de esfuerzos debido al desplazamiento relativo entre partículas de áridos gruesos

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 – obstáculos

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
<p>1. Incrementar la deformabilidad de la pasta:</p> <ul style="list-style-type: none"> a.- Utilización de SP b.- Relación W/P balanceada 	<p>1. Reducir la segregación de sólidos</p> <ul style="list-style-type: none"> a.- Limitar el contenido de agregados b.- Reducir el TMA c.- Incrementar la viscosidad para lo cual hay dos caminos: <ul style="list-style-type: none"> • Baja relación W/P • Utilización de un AMV 	<p>1. Reducir la separación de agregados mientras fluye la mezcla:</p> <ul style="list-style-type: none"> a.- Baja relación W/P b.- Utilizar AMV
<p>2. Reducir la fricción entre partículas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a.- Se debe tener un volumen bajo de agregado grueso con un elevado volumen de pasta b.- Distribución continua de partículas. 	<p>2. Minimizar la exudación (agua libre)</p> <ul style="list-style-type: none"> a.- Bajo contenido de agua b.- Baja relación W/P c.- Utilización de polvos con una alta superficie específica d.- Utilización de AMV 	<p>2. Separación compatible entre las barras de armadura, el tamaño máximo y el contenido de agregado grueso:</p> <ul style="list-style-type: none"> 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.

Existen 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 mínimos 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 ensayos 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].

2.2. 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 mm, en función de la disposición de armaduras.

En las mezclas realizadas en esta investigación se utilizó arena silíceo, 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 los cuales 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 kg/m³ para mezclas sin AMV; y hasta 200 kg/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 presentan 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 investigaciones para lograr comprender y encontrar el mejor uso de los distintos aditivos que han surgido en los últimos tiempos, quienes cuentan con mayor poder y aportan una mejora en la trabajabilidad y fluidez en el hormigón.

Como hemos definido los HAC tienen la característica principal de ser autocompactantes y deben tener una gran resistencia a la segregación, brindando fluidez y logrando alcanzar todos los sitios del encofrado, sin embargo para lograr

este cometido de la manera más óptima posible es necesario la aplicación de aditivos, en los cuales se requiere que sean de alto nivel de fluidez, es decir necesitaremos la utilización de aditivos superfluidificantes e hiperfluidificantes, dependiendo del caso de aplicación. Cabe recalcar que estos últimos aun se encuentran en estudio por lo que su aplicación debe llevarse a cabo con práctica y precaución. Estos tipos de aditivos cumplen con la función de reducir la cantidad de agua incorporada en el hormigón y a su vez disminuye la tensión de deformación, además tienen la capacidad de modificar la viscosidad de este y lograr llegar al hormigón autocompactante deseado, siempre y cuando la combinación de aditivos junto con cementos y áridos sea compatible y eficaz.

Como se ha enunciado, el agregado fino forma parte de un gran porcentaje de la dosificación de hormigones autocompactantes, sin embargo para emplearlo suele ser dificultoso y de escaso recurso dependiendo la finura requerida. Una posible solución que ha surgido son aditivos que modifican el comportamiento reológico del hormigón, los cuales a través de un efecto de adsorción y de entrelazamiento de las moléculas permiten que la viscosidad del hormigón aumente cuando se encuentre en estado de reposo, permitiendo que los agregados se encuentren confinados y evitando la exudación del agua. Sin embargo esto cambia cuando se encuentra en movimiento, ya que debido a un reacondicionamiento de las moléculas permite que esta viscosidad disminuya y logre ser bombeable y sin problemas de segregación.

Otro caso que se ha puesto en estudio trata sobre la terminación generada en los hormigones autocompactantes. Si bien estos tienden a tener una terminación fácil de realizar en su superficie, existen casos en los cuales se exige que sea lo más perfecta posible, como en caso de estructuras arquitectónicas, y lo que suele suceder en estos casos, es que exista la imperfección debido a la cantidad de burbujas que quedan atrapadas en la superficie, por lo cual surgió un aditivo el cual se aplica en los agregados angulosos, el cual al permitir su lubricación genera una disminución en la fricción, de tal manera que el hormigón tenga mejor trabajabilidad, mayor facilidad para su bombeo y permite que las burbujas atrapadas entre el hormigón y el encofrado desaparezcan y no generen dicha terminación imperfecta.

Hasta el momento solo se ha logrado utilizar aditivos superfluidificantes en conjunto con cementos y áridos compatibles obteniendo resultados apreciables, 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.

No se ha tenido oportunidad de lograr aplicar algunos de los otros aditivos ya nombrados, sin embargo se busca la posibilidad a futuro.

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 Compacting concrete for civil engineering structures- The Swedish experience”* “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 Institute 237-07 *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.

ESTUDIO GENERAL DE LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS PARA USO VIAL

Becario; Mirco Battista¹; mircobattista28@gmail.com.

Director; Nicolás de Abajo Freire²; nicolasdeabajofreire@gmail.com

^{1,2} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina

Área: Gestión y Diseño Vial. **PID Asociado:** "Inclusión de nuevas tecnologías y materiales alternativos en pavimentos flexibles multicapas; diseño, aspectos económicos y análisis estructural".



Resumen

Esta investigación ha tenido lugar durante el año 2020 en situación de pandemia y no presencialidad en las instalaciones de la Universidad. Cabe destacar que el becario asignado a la misma se encontró en su primer acercamiento al laboratorio sin poder llevarlo a cabo efectivamente, siendo de esta manera muy difícil avanzar de forma fehaciente con las temáticas de estudio actuales del Centro. Con el objetivo de continuar con las tareas de extensión universitaria que suceden dentro del LEMaC, se ha realizado un gran esfuerzo por llevar adelante una investigación bibliográfica en la que el becario pueda alcanzar un acercamiento a los ensayos de laboratorio y los conceptos generales utilizados para concebir el diseño estructural de vías de comunicación carreteras. Con estas premisas se ha acotado el alcance del estudio a la interiorización en los ensayos y metodologías clásicas para el estudio de suelos de uso vial.

Palabras clave: Suelos – Camino – Clasificación – Proctor – VSR

1. Introducción

Los pavimentos para carreteras y vías urbanas son estructuras viales constituidas por un conjunto de capas superpuestas (multicapa) compuestas por materiales seleccionados.

Estas estructuras son diseñadas para soportar las cargas impuestas por el tránsito y por las condiciones ambientales. Asimismo, deben ofrecer un confort acorde al destino de la vía asegurando estándares de seguridad un periodo de tiempo.

Deben ser capaces de transmitir durante su vida útil las tensiones en profundidad, de tal forma que no se superen las tensiones y deformaciones específicas admisibles, tanto en el suelo de fundación como en cada una de las capas.

El conjunto de capas y demás elementos que componen el perfil estructural de un pavimento reciben de forma general las siguientes denominaciones.

- **Capa de rodamiento:** Corresponde a la capa superficial de un pavimento, es la que recibe en forma directa las solicitaciones combinadas del tránsito y del clima. Cumple diferentes roles: funcional respecto a la percepción de confort y seguridad que aprecia el usuario, de preservación de las capas inferiores de las acciones climáticas y puede aportar resistencia estructural.
- **Capas estructurales (bases y subbase):** Sirven de apoyo a la capa de rodamiento y contribuyen a transmitir a la subrasante y disminuir, las tensiones de las cargas del tránsito que se le imponen al pavimento.

- **Subrasante:** Capa superior de la fundación de la superestructura del pavimento, puede encontrarse en terraplén o en desmonte.

A la conjunción de capa de rodamiento con las capas estructurales se la denomina superestructura del pavimento o paquete estructural.

El diseño de pavimentos es el proceso por el cual se determinan los valores de diseño de todos los componentes estructurales de un pavimento (carpeta, losa, base, subbase, subrasante) tomando en consideración datos de entrada definidos por

- Naturaleza de la subrasante
- Tipo de materiales
- Demanda
- Condiciones del ambiente

En forma resumida, el diseño de la estructura del pavimento permite establecer los espesores de capas y, de alguna manera, la respuesta modular de los materiales para mantener la vía bajo un cierto nivel de confort durante su vida útil.

El punto de partida de todo diseño es conocer las características del apoyo o base de fundación del pavimento, es decir, realizar un estudio de la subrasante. Seguidamente correspondería la evaluación de los materiales de aporte a utilizar en las capas estructurales. En este artículo nos centraremos en las metodologías básicas y de mayor utilización para el estudio de suelos.

El suelo es utilizado como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil. Los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como el origen, la distribución de tamaño de grano, la capacidad de drenar el agua, compresión, resistencia al corte y la capacidad de soporte de carga, entre otras, para poder ser aplicado en las distintas ramas de la ingeniería.

En lo que respecta a los suelos para la construcción de carreteras, estos pueden definirse como aquellos materiales no ligados que generalmente constituyen las capas de subrasante, recubrimiento de subrasante, subbase y base en una estructura de pavimento. La amplia diversidad de estos exige que sean evaluados y caracterizados según normativas de aplicación para ser utilizados en la obra vial.

2. Caracterización de suelos para uso vial

En el ambiente, el suelo se compone de materia en estado sólido, líquido y gaseoso. Es importante conocer el volumen de vacíos en un suelo dado y su contenido de humedad para determinar su consistencia y los distintos comportamientos con el cambio en el contenido de humedad.

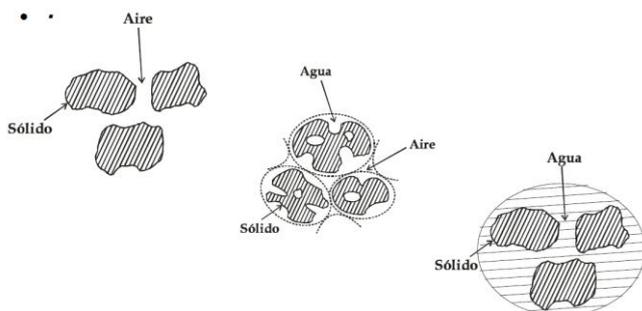


Ilustración 1. Fases del suelo.

2.1 Consistencia del suelo

En 1900, un científico sueco llamado Albert Mauritz Atterberg desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con diferentes contenidos de humedad. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido quebradizo. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. Por lo tanto, sobre una base arbitraria, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en cuatro estados básicos: *sólido*, *semisólido*, *plástico* y *líquido*.

El contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el que se lleva a cabo la transición del estado sólido al estado semisólido se define como el *límite de contracción*. El contenido de humedad en el punto de transición del estado semisólido al estado plástico es el *límite plástico*, y del estado plástico al estado líquido es el *límite líquido*. Estos límites son también conocidos como límites de Atterberg.

2.1.1 Límite líquido

Es el contenido de humedad, expresado como porcentaje respecto del peso de suelo seco, necesario para que el

material se encuentre en el límite entre el estado plástico y el estado líquido. Este límite se define comúnmente utilizando un instrumento llamado cascador de Casagrande y se define por consenso como el contenido de humedad necesario para que las dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm de espesor fluyan y se unan en una longitud aproximada de 12 mm, en el fondo de la muesca que separa las dos mitades, cuando la cápsula que le contiene golpea 25 veces desde una altura de 1 cm, a la velocidad de 2 golpes por segundo.

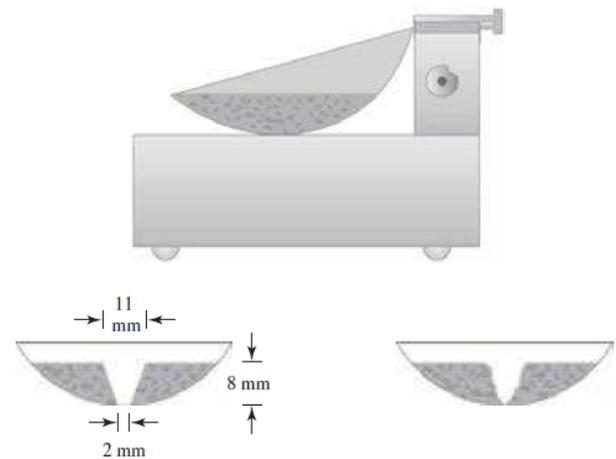


Ilustración 2. Cascador de Casagrande.

2.1.2 Límite plástico

Es el contenido de humedad existente en un suelo, expresado como porcentaje respecto del peso de suelo seco, necesario para que el material se encuentre justo en el límite entre el estado plástico y el estado sólido del mismo. Este límite se define arbitrariamente como el más bajo contenido de humedad con el cual el suelo, al ser moldeado en barritas cilíndricas de menor diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener 3 mm de diámetro.



Ilustración 3. Amasado de cilindros durante la ejecución del ensayo para determinar el límite plástico.

2.1.3 Índice de plasticidad

El índice de plasticidad (IP) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo, es decir:

$$IP = LL - LP$$

Algunas consideraciones:

- Si el suelo no tiene plasticidad, pero si tiene límite líquido se determina este último y el índice de plasticidad es igual a cero (IP=0).
- Si el suelo no tiene plasticidad y tampoco puede determinarse el límite líquido el índice de plasticidad es cero (IP=0).

2.2 Granulometría

Se conoce como granulometría de un material granular a la distribución porcentual de las partículas que lo componen. Se determina a través de un análisis granulométrico que permite dibujar la curva representativa del mismo, en función de los distintos tamaños de partículas.

El procedimiento consiste en el análisis mecánico de los materiales en estado seco haciéndolos atravesar tamices de distintos tamaños normalizados. Para el caso de las partículas finas de un suelo, o fracción fina de un material granular, de tamaño inferior a los tamices IRAM 2,0 mm (N°10), IRAM 425 micrómetros (N°40) e IRAM 75 micrómetros (N°200), la norma VN-E1-65 de tamizado de suelos por vía húmeda detalla el procedimiento a seguir para establecer la distribución porcentual de dichas partículas.

En función del tamaño de la distribución de partículas obtenido en este ensayo se puede denominar a los suelos como:

- Gravas: de 50 mm a 2 mm
- Arenas: de 2 mm a 0,074 mm
- Limos: de 0,074 mm a 0,005 mm
- Arcillas: menores a 0,005 mm

2.3 Clasificación

Los suelos con propiedades similares pueden ser clasificados en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la ingeniería. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar de forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas.

En la actualidad, para obras viales se utiliza el sistema de clasificación de suelos del H.R.B (Highway Research Board). Está basado en el comportamiento de los suelos y en función de su composición granulométrica y sus características plásticas agrupa a aquellos suelos de similares capacidades portantes y condiciones de servicio en siete grupos básicos, desde el A-1 al A-7.

Los suelos de cada grupo tienen características en común, pero su capacidad portante puede variar entre límites amplios. La calidad de los suelos va disminuyendo desde A-1 al A-7. Además, estos siete grupos básicos están divididos en subgrupos y ordenados según el índice de grupo (IG). El crecimiento del índice de grupo, en cada grupo básico de suelos, refleja los efectos combinados del crecimiento del límite líquido e índice de plasticidad, y el decrecimiento de la cantidad de materiales gruesos en detrimento de la capacidad portante.

2.3.1 Determinación del índice de grupo

El índice de grupo en esta clasificación de suelos se puede determinar con la fórmula basada en la granulometría, límite líquido e índice plástico del suelo, o recurriendo para determinaciones rápidas, a los gráficos confeccionados con este fin.

La fórmula es la siguiente:

$$IG=(F-35)[0,2+0,005(LL-40)]+0,01(F-15)(IP-10)$$

- F= porcentaje de material que pasa por el tamiz IRAM 75 micrómetros (N°200), expresado como un número entero. Este porcentaje se expresa en función del material que pasa por el tamiz de 75 mm (3”).
- LL = límite líquido
- IP = índice plástico

2.4 Compactación

La compactación de suelos es un proceso mecánico por el cual se obliga a las partículas que lo conforman a ponerse más en contacto unas con otras, produciéndose la expulsión del aire de los poros. Se mide cuantitativamente por la densidad seca del suelo (peso por unidad de volumen), la cual puede determinarse a partir de la densidad húmeda del suelo y su porcentaje de humedad.

La norma de ensayo VN – E5 – 93 detalla el procedimiento a seguir para estudiar las variaciones del peso unitario en función de los contenidos de humedad, cuando se lo somete a una determinada energía de compactación. Además, permite obtener la humedad óptima, para esa energía, con la que se obtiene el mayor valor del peso unitario, llamado densidad seca máxima.

2.5 Valor Soporte Relativo

Este es un ensayo de punzonado que se utiliza universalmente para apreciar la resistencia de los materiales no ligados. El mismo se originó en California y tiene un carácter totalmente empírico. En Argentina se encuentra normalizado por la Dirección Nacional de Vialidad bajo la norma V.N. – E6 – 68 (Determinación del Valor Soporte e Hinchamiento de Suelos). Para su identificación se utilizan en forma habitual las siglas del ensayo original “C.B.R.” (California Bearing Ratio) o su adaptación al español “V.S.R.” (Valor Soporte Relativo). A pesar de su empirismo y de no representar una propiedad particular específica del suelo, el mismo se sigue utilizando para la caracterización de materiales no ligados debido a la amplia experiencia que existe, difusión y simpleza de ejecución.

El ensayo consiste en preparar una muestra de suelo para compactarla en un molde cilíndrico, con condiciones de compactación definidas previamente (porcentaje de humedad, energía de compactación, densidad objetivo). Cada probeta se somete después a un punzonamiento por aplicación de carga estática a través de un pistón cilíndrico de 4.9 cm de diámetro a una velocidad de 1.27 mm/min. El punzonamiento se realiza con una prensa suficientemente potente para que la velocidad de punzonado pueda mantenerse constante. A lo largo del ensayo. Se mide la

resistencia del material (presión ejercida) para distintas penetraciones predefinidas.

Según definiciones dadas en la Norma V.N. – E6 – 6 – 68 antes citada:

- Valor Soporte Relativo: es la resistencia que ofrece al punzonado una probeta de suelo, 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.
- Hinchamiento: es el aumento porcentual de altura, referido a la altura inicial, que experimenta una probeta de suelo cuando la humedad de esta aumenta, por inmersión, desde la humedad inicial de compactación hasta la alcanzada por la probeta al término del período de inmersión.

En la ejecución del ensayo también se mide el hinchamiento que sufre la pastilla cilíndrica en la dirección axial después de embeberse 96 hs en agua. Este valor se encuentra limitado en los diferentes pliegos de especificaciones con la finalidad de evitar el uso de suelos potencialmente reactivos que puedan producir asentamientos o expansiones diferenciales a lo largo de los caminos.

En forma previa a este ensayo debe realizarse el ensayo PROCTOR de manera de determinar la densidad seca máxima y la humedad óptima correspondiente, empleando la energía de compactación adoptada para la ejecución de los ensayos.

Existen 5 variantes del ensayo de V.S.R.:

- Estático a carga prefijada
- Estático a densidad prefijada
- Dinámico simplificado
- Dinámico completo
- In situ

2.6 Módulo resiliente

El módulo resiliente es un parámetro que caracteriza la respuesta que tiene el suelo relacionando las deformaciones con las sollicitaciones. Es un parámetro que valora la relación entre la carga aplicada y la deformación resiliente. En estos materiales este no es un valor constante, como por ejemplo en el acero, sino que se ve influenciado por una serie de factores: densidad de compactación, humedad, estado de confinamiento y magnitud de la carga aplicada. Esto quiere decir que el módulo resiliente se puede expresar como una función multivariable, la se denomina ecuación constitutiva del material y según estudios realizados se puede aproximar de diferentes maneras, una de ellas es la siguiente:

$$Mr = a \theta^b \sigma_d^c$$

Donde,

- “a”, “b” y “c” son coeficientes particulares del material
- θ es la suma de tensiones principales
- σ_d es el tensor desviador

Cada suelo tendrá, para cada condición de humedad y densidad, una función con sus constantes particulares. El ensayo para obtener las constantes que caracterizan a cada material es un ensayo triaxial dinámico, en el cual se valora la respuesta frente a las cargas dinámicas para distintas condiciones de presión de confinamiento y tensor desviador.

Este es un ensayo relativamente complejo por la sensibilidad que posee cada variable, es por ello que por mucho tiempo y aún en la actualidad en las guías de cálculo de mayor difusión se suele correlacionar al módulo resiliente con otros ensayos, como ser el Valor Soporte Relativo, con expresiones obtenidas en experiencias sobre distintos materiales. Esta situación se debe en parte a la amplia experiencia en otras metodologías de ensayo y en parte a que el desarrollo y el costo económico de los ensayos clásicos resulta menor.

3. Conclusión

En este artículo se ha intentado plasmar de forma reducida el camino recorrido para la familiarización con los materiales granulares para uso vial y algunas de las metodologías que se pueden utilizar para estudiarlos con la finalidad de obtener parámetros de entrada para el cálculo de paquetes estructurales de pavimentos. Se ha alcanzado un primer acercamiento a la bibliografía y las normativas de uso habitual obteniendo así una base de conocimiento que será de utilidad al momento de poder retomar las actividades presenciales en las que se logrará el contacto práctico con todo lo estudiado.

4. Bibliografía

1. Das, Braja M. *Fundamentos de ingeniería geotécnica.*
2. Catedra Vías de comunicación II. UTN FRLP. *Estudio de suelos – Constantes física y análisis granulométrico.*
3. *Normas de Ensayo de Vialidad Nacional*
4. Ing. Martin Bruck. *Estudio de suelos y materiales para caminos.*
5. Transportes III – FCEIA – UNR. *Material de apoyo.*

ANÁLISIS DE CASO: DEMARCACIÓN HORIZONTAL EN LA AV. 60 Y CALLE 124 DE BERISSO

Becaria; Antonella Dalmarini¹; antonelladalmarini1@gmail.com

Directora; Verónica Mechura²; veromechura@gmail.com

^{1,2} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina

Área: Gestión y Diseño Vial. **PID Asociado:** "Análisis de materiales complementarios a las calzadas" (PID interno del área).



Resumen

En este trabajo se realiza una recopilación y análisis de la información disponible de las dos instancias de obra de la senda peatonal en el acceso de la Facultad Regional La Plata realizadas en 2019 y 2020 con distintos materiales. Estas sendas se realizaron con la finalidad de realizar un análisis del comportamiento de los materiales utilizados en los trabajos de ensayos relacionados con la implementación de las diversas metodologías adaptadas como Wheel Tracking Test, Load Wheel Test y el ensayo de Pulimento Acelerado en el LEMaC. Para llevar a cabo el trabajo, se despliega la información técnica de los materiales utilizados, las condiciones ambientales tanto del día de aplicación como de los períodos posteriores y, los valores de los parámetros de visibilidad obtenidos en el día de la aplicación. Sobre la base de los resultados obtenidos se identificó que el desprendimiento de la pintura base acuosa podría estar relacionado por las condiciones climáticas extremas. Las otras pinturas utilizadas evidencian un comportamiento adecuado de acuerdo a las secuencias fotográficas.

Palabras clave: Señalización vial; Pinturas; visibilidad; pruebas de campo.

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. La misma representa una fracción de la señalización general del tránsito y no puede ser reemplazada 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 (pinturas, termoplásticos y plásticos en frío) y materiales de post mezclado (microesferas premezcladas o sembradas) [1].

En los trabajos de ensayos de evaluación en servicio de los materiales de demarcación horizontal que se realizaron estos últimos años en el LEMaC, se destaca la importancia de realizar una prueba de campo con los materiales ensayados. En estos estudios, correspondientes a los ensayos de implementación de las diversas metodologías adaptadas como Wheel Tracking Test (WTT), Load Wheel Test (LWT) y el ensayo de Pulimento Acelerado se destaca que, para arribar a una conclusión global, es necesario realizar tramos de prueba con estos materiales [2, 3, 4]. Por ejemplo, en el ensayo LWT se observa desprendimiento de la película de pintura base acuosa, en cambio en el ensayo WTT no ocurre este fenómeno ni se observan fallas como las indicadas en la norma ASTM 913/15 [5].

En algunos países, para evaluar el comportamiento de las marcas viales se utiliza el "ensayo de referencia" sin norma de aplicación. El ensayo consiste básicamente en aplicar el producto en un tramo de ruta y observar su evolución en el tiempo siendo muy utilizado en nuestro país para evaluar el

comportamiento de los distintos materiales existentes. Otro método utilizado es el Ensayo de Campo, que consiste en realizar las marcas viales de determinada manera, en un tramo de ruta con los productos a evaluar y, así estudiar el comportamiento en el tiempo. Fue utilizado en muchos países, como Dinamarca, Francia y Bélgica. CALAVIA [6] en su presentación en el Pre Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito de 2007 pone en evidencia ventajas y desventajas de estos métodos.

En base a la problemática planteada de poner en evidencia las fallas en servicio de las marcas viales, en los años 2019 y 2020, se realizó en dos instancias de obra la demarcación horizontal de la senda peatonal en la zona mencionada. Es importante destacar que debido a que es una zona de universidad no fue posible realizar una demarcación del tipo de campo de ensayo. Por este motivo y ante la necesidad por el nuevo acceso peatonal de la facultad se realizó dicha senda con los materiales en estudio. El objetivo del presente trabajo es recopilar la información disponible y desplegarla para lograr algunas conclusiones preliminares sobre el comportamiento de los materiales

2. Métodos

Como se comenta anteriormente, en el año 2019 y 2020 se realizaron dos instancias de obra con distintos materiales. Con la finalidad de poder realizar una diferenciación en los resultados se divide en dos métodos con la fecha de realización de los mismos.

Método 1: Corresponde al caso de aplicación sobre la Avenida 60 y la calle 124 en la ciudad de Berisso realizada el día 8 de junio de 2019. En la misma, se aplicó en sentido Berisso-La Plata una pintura de base solvente (S1) y, en

sentido La Plata- Berisso una pintura base acuosa (A1). Ambas aplicaciones fueron realizadas por pulverización con una máquina Graco linelazer 3900 y se sembraron microsferas con un dispositivo regador (Figura 1).



Figura 1. Aplicación de pintura sobre la senda peatonal.

Método 2: Corresponde al caso de aplicación sobre la Avenida 60 y la calle 124 en Berisso realizada el día 29 de febrero de 2020, donde se aplicó una pintura base acuosa (A2) en el sentido Berisso-La Plata, esta se realizó por pulverización con la máquina graco linelazer 3900, y otra pintura a base de resinas Metil Metacrilato (M1) en el sentido La Plata- Berisso, esta aplicación se realizó por pulverización con la máquina Euroser (Figura 2).



Figura 2. Aplicación de pintura sobre la senda peatonal.

Se realizó una búsqueda de las características técnicas de los materiales utilizados en ambas instancias. además, se realizó una recopilación de los datos de retroreflexión (R_{130}) y luminancia en iluminación difusa (Q_d) de las mediciones que se realizaron en el momento de la obra con un equipo EASYLUX. Por otro lado, se consiguieron fotografías comparativas para observar la variación en el aspecto. Por último, se solicitaron los datos de la estación meteorológica EMA con la finalidad de obtener las condiciones climáticas el día de aplicación de los materiales y en el período posterior. Finalmente se procesó toda la documentación conseguida para obtener resultados preliminares.

3. Resultados y Discusión

Como se menciona anteriormente para la presentación y discusión de los resultados se divide en dos métodos según lo descrito en el inciso anterior.

3.1. Método 1

Del análisis de las características técnicas de los materiales utilizados se obtuvo el siguiente resumen:

Pintura A1: es una pintura acrílica acuosa. Según especificaciones del fabricante presenta una densidad ρ de $1,73 \text{ g/cm}^3$, un contenido en sólidos CS de 79,50%, la viscosidad (v) es de 86 UK. El tiempo de secado a la rodadura t es menor o igual a 30 minutos. En este caso se sembraron microsferas ECH-20-WBP que presentan un tratamiento de Adherencia y Flotación (WBP) para pinturas base acuosa. La naturaleza del vidrio utilizado es Sílico Sódico Cálcico.

Pintura S1: es una pintura a base de resinas acrílicas disueltas en solventes aromáticos y oxigenados. Según las especificaciones del fabricante, tiene una densidad de $1,4 \text{ g/cm}^3$, una viscosidad v de entre 80 y 95 UK y un contenido de sólido en masa mayor a 70%. El tiempo de secado t es menor o igual a 30 minutos. Para el sembrado de las microsferas se utilizaron microsferas denominadas como TAF-S2. Las mismas son microsferas H-85 que presentan un tratamiento de adherencia y flotación (TAF) para pinturas base solvente.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las condiciones climáticas obtenidas con la estación meteorológica EMA en el momento de aplicación.

Tabla 1. Condiciones climáticas de aplicación.

zona pintada	hora aprox.	Temp. Ext.	Hum. Ext.	Pto. Rocío	Vel. Viento	Dir. Viento	Sens. Term.
Pintura S1 Av. 60	9 - 9:30	10,8 a 12,3	58 a 54 %	2,8 a 3,2	6,4 a 8	O	10,3 a 11,7
Pintura A1 Av. 60 – Primer etapa	10	13,6	52	3,9	6,4	NO	13,5
Pintura sobre dársena	10:15	14	51	4	8	NO	13,7
Pintura A1 Av. 60 – Segunda etapa	12:30	17,6	40	3,8	9,7	O	17,6

A continuación, se presentan las Figura 3 y Figura 4 con la temperatura, humedad y precipitación en los días posteriores a la aplicación de la pintura.

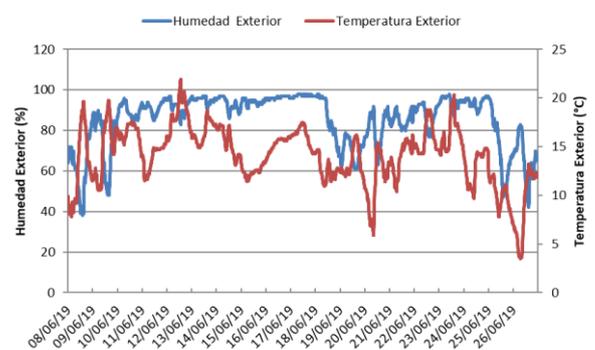


Figura 3. Variación de la humedad y temperatura posterior a la aplicación.

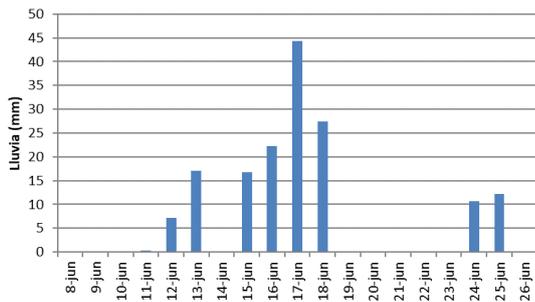


Figura 4. Variación de la precipitación en el periodo posterior a la aplicación.

De la Tabla 1 Se destaca que en el momento de la aplicación la temperatura se encontraba en valores inferiores a 17°C. Por otro lado, de la Figura 3 se resalta que se presentaron condiciones climáticas críticas debido a que luego de aplicada la pintura la temperatura se mantuvo en valores bajos, que oscilaban entre 10 °C y 20°C, con elevada humedad ambiente (en general por encima de 80% salvo algunos picos más bajos de 40%). Además, como se muestra en la Figura 4, se presentó una semana de lluvia seguida.

En la Figura 5 se presentan los resultados de la evaluación de la retrorreflexión con una geometría de 30 metros (RL30) y de la luminancia en iluminación difusa (Qd) de ambas pinturas aplicadas en la senda peatonal y en la dársena de acceso. De esta Figura, se observa que los valores de luminancia en iluminación difusa presentan valores homogéneos en todas las franjas realizadas. Además, este valor es igual para el caso de ambas pinturas. Los valores de RL30 fueron superiores en el caso de las franjas de las pinturas base solvente S1 comparado con los valores obtenidos de la pintura base acuosa A1.

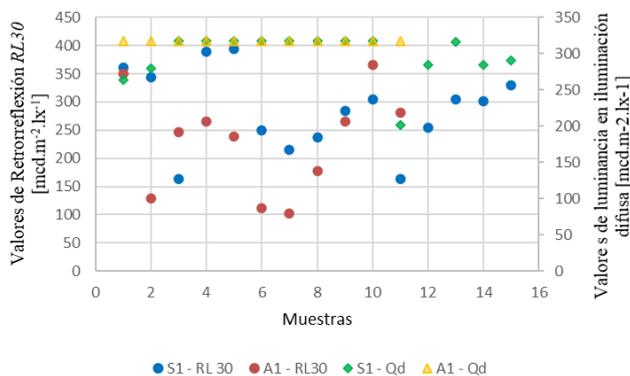


Figura 5. Valores de Retrorreflexión y Luminancia en iluminación difusa de las franjas de la senda peatonal y dársena de acceso. Fuente: elaboración propia.

En las Figura 6 y Figura 7 se presentan imágenes comparativas de la senda del día de aplicación y 11 días después de la pintura base solvente S1 en la primera imagen y de la pintura base acuosa A1 en la segunda. De esta secuencia fotográfica, se resalta el deterioro sufrido en las pinturas base acuosa A1 a pocos días de colocada que aparentemente, de forma visual, se produce por desprendimiento de la película de pintura.

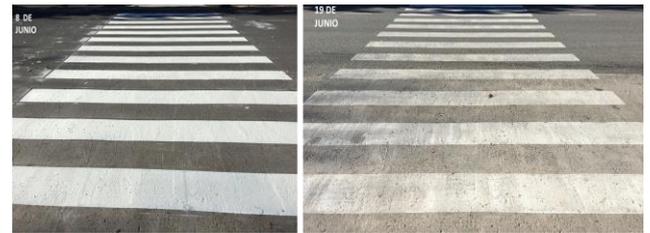


Figura 6. Senda peatonal carriles con sentido de Berisso a La Plata con pintura S1.

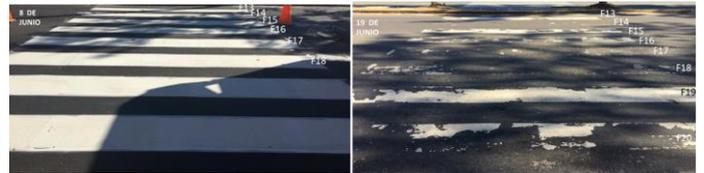


Figura 7. Senda peatonal carriles con sentido de La Plata a Berisso con pintura A1.

3. 2. Método 2

Del análisis de las características técnicas de los materiales utilizados se obtuvo el siguiente resumen:

Pintura M1: es una pintura de las denominada plástico en frío a base de resinas de Metil Metacrilato, compuesto de tres componentes, una parte “A” consiste en un vehículo pigmentado y con acelerador, una parte “B” consiste en un Peróxido en polvo (Endurecedor) y una parte “C” consiste en un vehículo pigmentado sin acelerador donde se agrega y mezcla la parte B previamente a ser aplicado. Según las especificaciones técnicas del fabricante presenta una densidad de 1,6 g/cm³ a 1,8 g/cm³, una viscosidad ν de entre 3000 y 6000 cP. El tiempo de secado es menor a 15 minutos. Para el sembrado de microesferas se utilizaron microesferas denominadas como ECH-20 BCP para ese tipo de material base.

Pintura A2: Es una pintura acrílica acuosa, según especificaciones del fabricante presenta una densidad ρ de 1,77 g/cm³, un contenido en sólidos CS= 80,0% y una viscosidad ν de 86 UK. El tiempo de secado a la rodadura t es menor o igual a 30 minutos. Sobre esta pintura se sembraron microesferas denominadas ECH-20 WBP que presentan un tratamiento de Adherencia y Flotación (WBP) para pinturas base acuosa. La naturaleza del vidrio utilizado es Sílico Sódico Cálculo.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las condiciones climáticas obtenidas con la estación meteorológica EMA en el momento de aplicación.

Tabla 2. Condiciones climáticas de aplicación del día 29 de febrero de 2020.

zona pintada	Hora aprox	Temp. Ext.	Hum. Ext.	Pto. Rocío	Vel. Viento	Dir. Viento	Sens. Term.
Pintura A2 Av.60	9 - 9:30	23,6	77%	19,1	6,4	NE	23,6
pintura M1 sobre Av. 60	10:30 - 11:00	24,7	72%	19,3	6,4	NE	24,7

A continuación, se presenta la Figura 8 con los datos de temperatura y humedad en los primeros 15 días luego de

aplicados los materiales. Es preciso aclarar que no se presenta una figura con la precipitación debido a que no se presentaron lluvias en los días evaluados.

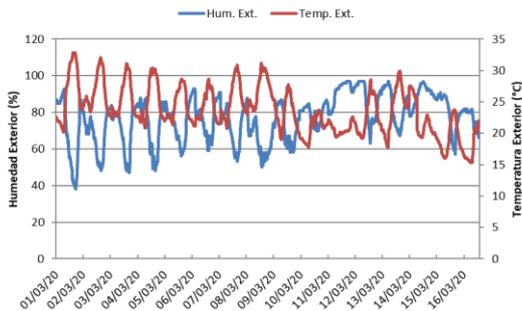


Figura 8. Variación de la humedad y temperatura posterior a la aplicación. Fuente: estación Meteorológica EMA UTN FRLP (adaptación propia).

De la Tabla 2 se observa que la temperatura en el momento de colocación supera los 23°C. Por otro lado, de la Figura 8 se observa que la humedad tuvo una amplia dispersión, pero en todos los casos la temperatura superó los 20°C durante la primera semana después de colocados los materiales. Además, como se comenta anteriormente, se resalta que no se presentaron precipitaciones en el período expuesto.

En la Figura 9 se presentan los resultados de la evaluación de la retrorreflexión con una geometría de 30 metros (RL30) de ambas pinturas aplicadas en la senda peatonal. En este caso no se cuenta con los valores de luminancia en iluminación difusa. Se puede observar que en las franjas donde se aplicó la pintura acuosa A2 se obtuvieron valores homogéneos con un valor aproximado de 150 mcd/lux/m². No sucede lo mismo que con la pintura M1 donde se puede ver que las franjas intermedias tienen valores más elevados.

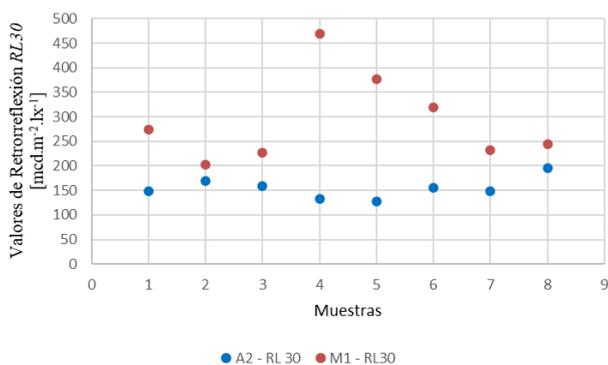


Figura 9. Valores de Retrorreflexión de las franjas de la senda peatonal. Fuente: elaboración propia.

En las Figura 10 y Figura 11 se presentan imágenes comparativas de la senda 2 días después de la aplicación y 6 meses después.



Figura 10. Senda peatonal carriles con sentido de Berisso a La Plata con pintura A2. Fuente: elaboración propia.



Figura 11. Senda peatonal carriles con sentido de La Plata a Berisso con pintura M1. Fuente: elaboración propia.

De la Figura 10, se resalta el deterioro sufrido en los carriles intermedios en las pinturas base acuosa A2. De todas formas, es preciso destacar que el mismo ocurre en un período de aproximadamente seis meses pero en las condiciones de tránsito excepcionales dadas por la pandemia. En el caso de la pintura M1, se destacan las manchas con combustible al poco tiempo de aplicada la pintura.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir de las metodologías aplicadas evidenciaron una falla de desprendimiento de la pintura base acuosa que podría deberse a las condiciones ambientales extremas ocurridos en aquella instancia. Las otras pinturas evidencian un comportamiento adecuado de acuerdo a las secuencias fotográficas.

Por otro lado, los parámetros de visibilidad en condiciones diurnas han sido homogéneos y los valores de retrorreflexión han tenido una mayor dispersión.

Agradecimientos

Se agradece a los integrantes del LEMaC por brindarnos el espacio para la investigación.

Referencias

- [1] “Manual de Señalamiento Horizontal” de la Dirección Nacional de Vialidad, aprobado por resolución 2501/2012, Buenos Aires, 2012.
- [2] Mechura, V., & Delbono, H. L. (2019). *Evaluación de un sistema de demarcación vial*. Editorial Académica Española.
- [3] Torres S.; Mechura V. (2019). Análisis de sustratos para la evaluación de las pinturas de demarcación vial mediante el ensayo de pulimento acelerado de áridos. Tesis de becarios de investigación 2018. ISSN 2250-7221 N°13, Mayo 2019.
- [4] Damia M.; Mechura V. (2019). Estudio para la adaptación del ensayo Load Wheel Test a pinturas de demarcación vial. Tesis de becarios de investigación 2018. ISSN 2250-7221 N°13, Mayo 2019.
- [5] ASTM, “ASTM D913: Standard Practice for Evaluating Degree of Pavement Marking Line Wear”, 2015.
- [6] CALAVIA D., “La durabilidad de la demarcación horizontal. Experiencia en la Unión Europea”, Comunicación presentada en el Pre XV Congreso de Vialidad y Tránsito, Ciudad de Buenos Aires, Argentina, 2007.

INFLUENCIA DE LA CURVA DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR DEBAJO DE 500 MICRONES EN LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE BASES GRANULARES EN PAVIMENTOS

Becario; Lucas G. Cedrés¹; lucasgas_26@hotmail.com

Directores; Adrián Oviedo²; diadrianoviedo@gmail.com;
Julián Rivera³; jjulianrivera@hotmail.com.ar

^{1,2,3} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina

Área: Gestión y diseño Vial



Resumen

Esta investigación tiene como objeto analizar la influencia de las partículas de materiales granulares por debajo del tamiz IRAM N°200. Se busca relacionar los ensayos de Granulometría, Proctor, Valor Soporte y el equipo analizador de Partículas CILAS 990 con el fin, de construir curvas Granulométricas de tamaños menores a 75 micrones. Cabe destacar que se utiliza una arena silíceo proveniente de Olavarría, para determinar cómo incide en la respuesta estructural de pavimentos flexibles.

Palabras claves: Arena Silíceo, Contador de partículas, Granulometría, Materiales Viales Granulares.

Introducción

En el presente trabajo se busca analizar la influencia de las fracciones menores a 500 micrones, en bases granulares de pavimentos flexibles multicapa. Respecto a la cualidad dimensional de la granulometría, no se tiene conocimiento definitivo de cómo afecta la misma a las características funcionales de las bases granulares. En este sentido se espera utilizar el equipo analizador de tamaño de partículas CILAS 990, a fin de caracterizar el material seleccionado. Así mismo se podría obtener información a partir de la construcción de curvas granulométricas por debajo de 75 micrones.

Pavimentos

La mayoría de las capas granulares de un paquete estructural flexible se componen por agregados de distintas calidades. A priori se podría decir que los materiales más resistentes se encuentran en zonas próximas al revestimiento y en su contra parte las de menor resistencia están más alejadas.

El modelo que se utiliza referente a la deformación a compresión en la superficie de la subrasante, despreciando el efecto de la deformación en capas superiores, responde a un modelo simple para el cálculo del ahuellamiento como se muestra en la Figura 1.

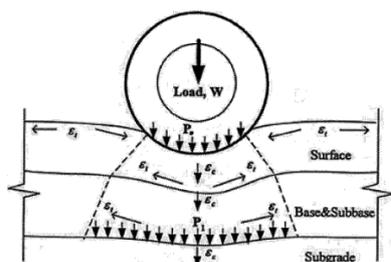


Figura 1. Deformaciones en pavimentos flexibles y distribución de cargas.

Desarrollo

Al momento de efectuar la granulometría por tamizado, con la finalidad de obtener la distribución en peso de las partículas, se posee una limitación física, ya que generalmente el tamiz de menor abertura para estos fines es el N°200 (75 micrones), pero ¿Qué sucede con la curva granulométrica por debajo de los 75 micrones? ¿Influye en las características de cohesión y fricción? ¿Se puede conseguir una mejor respuesta estructural analizando este aspecto? ¿Realmente es importante saber cómo se comporta el agregado en tamaños inferiores a 500 micrones? ¿Se puede aprovechar la distribución de las partículas con el fin de mejorar el diseño de bases granulares? Estas preguntas llevan a plantearse por qué no se tiene información de estos tamaños y cómo se podría alcanzar el conocimiento que permita responder a todas las interrogantes.

Mediante el equipo analizador de tamaño de partículas (CILAS 990) se pueden conocer distribuciones inferiores a 500 micrones, entonces ¿Puede obtenerse una mejor solución con dicho aparato, ya que permite tener esta información? Realmente no, dado que el equipo las considera como una esfera, y esto genera una variable dado que no todos los agregados son de forma redonda.

Además, se recurre al empleo de una arena silíceo con el fin de evitar lecturas erróneas, puesto que su forma se aleja de las clásicas lajas y agujas, y mantener la misma densidad. Observando la microscopía del material silíceo, por medio del Microscopio Olympus BX-51 (magnificación 500x), se distingue como la morfología permanece similar en diferentes tamaños de partículas. Consiguiendo compararlas con una esfera (Figura 2 y Figura 3).



Figura 2

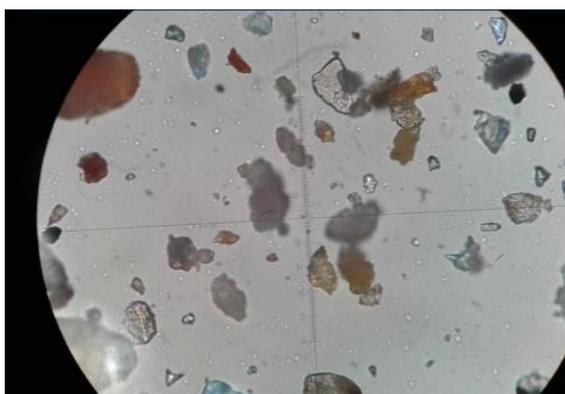


Figura 3. Microscopía de Arena Silíceas.

Prosiguiendo con el análisis, debería tenerse en cuenta la misma curva granulométrica entre la obtenida por el tamizado y el contador de partículas hasta el tamiz IRAM N°200 (75 micrones). Dirigiéndose hacia tamaños menores a este, las gráficas no tienen por qué ser iguales y de esta manera se podría llegar a comparar las distintas gráficas obtenidas. Además, al considerar el agregado como no plástico se logra reducir el análisis en cómo influye la fricción.

Por otro lado, el ensayo de Proctor consiste en determinar la humedad óptima en donde la compactación es máxima. Por lo tanto, se buscará relacionar el Valor Soporte (V.S.), que consta en penetrar la superficie de una probeta, haciendo uso de los datos de humedad y compactación de Proctor, y la construcción de la curva granulométrica porque las partículas de menor tamaño al estar secas y en íntimo contacto con las de mayores dimensiones es la situación en donde hay una máxima fricción y por lo tanto una máxima resistencia al corte.

Granulometría

La granulometría se basa en determinar la distribución de los tamaños de partículas que conforma una masa de agregados. Por otro lado, el análisis granulométrico consta en dividir una muestra en fracciones de igual tamaño, a partir de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas.

Los análisis granulométricos representan de manera gráfica, la distribución de tamaño y permite conocer que tan grueso o fino es un agregado, como detectar deficiencias o excesos de un tamaño de partícula. La elaboración de curvas granulométricas se puede ejecutar de acuerdo a alguna de las siguientes teorías de gradación:

Teoría de gradación de Fuller-Thompson

La curva granulométrica parabólica de Fuller-Thompson, es la que necesita que la fracción más fina sea igual la raíz cuadrada de la relación de tamaños d/D , de muchas familias de parábolas de varios grados. Esta ley se la puede expresar como:

$$P(\%) = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{\frac{1}{n}}$$

- P: Porcentaje que pasa por el tamiz de tamaño d .
- D: Tamaño máximo del agregado.
- n: Es un coeficiente que varía de 0,1 a 1.

En la práctica se ha demostrado que valores de $n=0,5$ requiere una mayor energía de compactación para lograr un alto peso unitario y una alta resistencia. Por ello se deben usar valores de n menores a fin de adquirir una mayor resistencia, con menor energía de compactación. Se recomienda emplear un valor intermedio en $n=0,45$ que este entre $n=0,4$ (máxima compactación de los agregados) y $n=0,5$.

Contador de partículas

El equipo PSA CILAS 990, Figura 4, puede medir el tamaño de las partículas contemplando dos rangos según el modo que se emplee: el modo seco que usa los tamaños que están entre 0,3 a 500 μm y el modo líquido considera a las que están comprendidas entre 0,2 a 500 μm . El principio de medición se basa en la difracción de un haz de luz proveniente de una fuente láser, que en su dirección es interrumpido por la muestra. De esta forma se genera un ángulo de distorsión del mismo, el cual es utilizado con el objetivo de dimensionar el material particulado.



Figura 4. Equipo PSA CILAS 990

Las etapas más importantes en la medición de la muestra, son tanto la extracción como la preparación, y estas son la mayor causa de errores.

Los fabricantes de CILAS recomiendan una extracción de muestra estándar y el método de preparación para cada producto.

- Partículas finas, la etapa más importante es la extracción.
- Partículas más grandes, requerirán mayores cuidados en la preparación de la muestra.

Respecto al método de medir partículas, hay dos teorías que se pueden emplear dependiendo el caso. Por un lado, la teoría de Mie que se utiliza en partículas pequeñas, donde el diámetro de las partículas finas es menor a la longitud de

onda del láser, $\lambda_1=635$ nm, y que no son opacas puesto que realiza una corrección considerando el índice de refracción del material. Por otro lado, la teoría de Fraunhofer es para partículas de mayor tamaño, en donde el diámetro es mayor que la longitud de onda del láser es de $\lambda_1=635$ nm.

Proctor

Respecto a este ensayo, consiste en determinar la humedad óptima donde la compactación es máxima. La ejecución del mismo procede a preparar las muestras, como indica la Norma VN-E5-93 del pliego de Vialidad Nacional, colocando el material en un recipiente normalizado, Figura 5, llenándolo en tres capas aproximadamente iguales en volumen y compactando con la ayuda de un pisón, Figura 6. El número de golpes por capa depende del pisón, en esta situación se emplea el de 2,5 kg que se realiza por medio de 25 golpes por capa. En caso de utilizar el segundo pisón que indica la norma, debe consultarse la cantidad de capas y golpes con el cual se lleva a cabo.

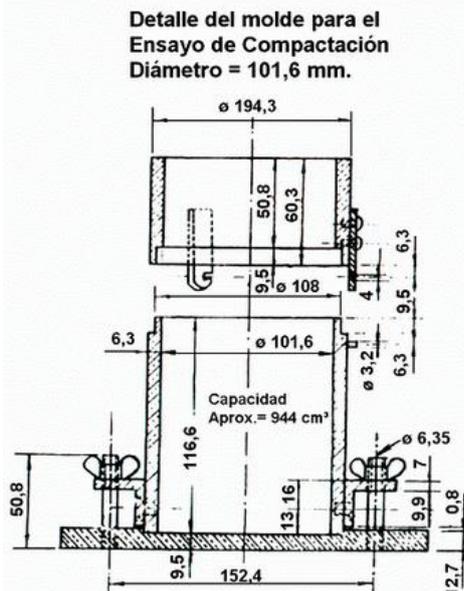


Figura 5. Molde de ensayo.

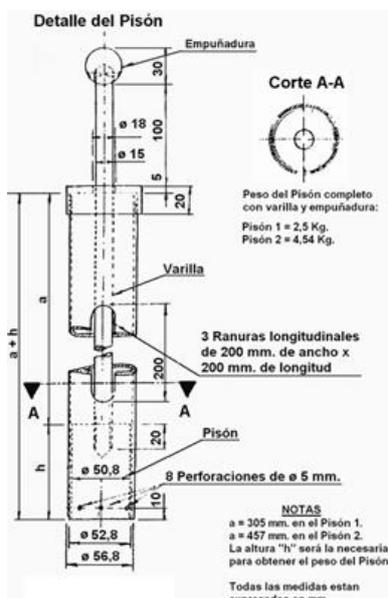


Figura 6. Detalle de pisón.

Una vez terminada la operación de compactación, se enrasa y pesa el material. Posteriormente se desmolda y corta la muestra, mediante una cuchilla de acero o espátula rígida, obteniendo una porción central y establecer el contenido de humedad. Repitiendo esta operación hasta tener como mínimo 5 puntos en la curva de compactación. Finalmente, se determina la humedad en donde la compactación es máxima.

Valor Soporte Relativo (V.S.)

Se define el Valor Soporte Relativo de un suelo como la resistencia que ofrece al punzado 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. En otras palabras, es un índice de calidad de materiales para ser usados en estructuras de pavimentos flexibles.

Primeramente, se moldea la muestra, según lo establecido en la Norma VN-E6-84 del pliego de Vialidad Nacional, situando la arena en una probeta. La ejecución del ensayo consiste en introducir un pistón, Figura 7, que penetra progresivamente mientras se toma registro de la deformación (mm) y la carga. Hasta se produce una cierta penetración, se establece cuanto resiste en relación con un suelo de referencia que tiene 100% de valor soporte.

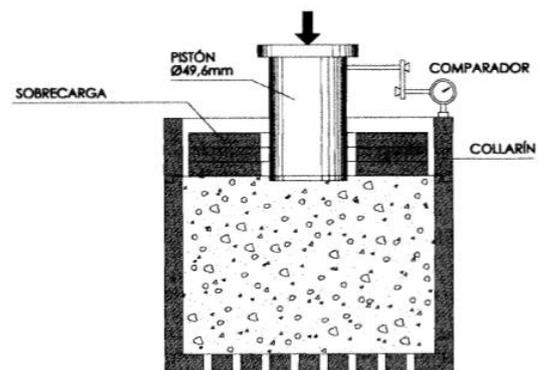


Figura 7. Esquema de ensayo de V.S.R. Fuente: Ingeniería de carreteras Volumen II.

El Método que se va a emplear es el estático a densidad prefijada que establece una densidad prefijada para el material, que es la densidad seca obtenida del ensayo de Proctor. Este valor va a depender en cómo se han acomodado las partículas.

Actividades y metodologías

1. Caracterización de material
 - a. Arena Silíceica.
 - i. Estado del agregado.
 - ii. Densidad.
 - iii. Forma: Mediante el uso del microscopio electrónico se visualiza que las partículas se asemejan a la de una esfera.
 - iv. Materia orgánica: Teniendo en cuenta que la procedencia de este es de Olavarría, puede que contenga materias orgánicas.

v. Fricción: Si las partículas están en íntimo contacto, entonces se obtiene una máxima resistencia al corte.

2. Analizar y construir curvas granulométricas.
3. Ensayos: Se proponen los siguientes ensayos: Granulometría, Materia orgánica, Proctor y V.S.
4. Cuarteo: Este proceso consta de disminuir la totalidad del material a una porción más sencilla de manipular y representativa del mismo. Se va a realizar el cuarteo Mecánico que emplea el partididor de Jones, Figura 8. Este método es el más empleado en agregados finos y es el que se va a ejecutar para obtener la muestra. Se adopta este método con el fin de evitar la pérdida de material, ya que de forma manual se pierde parte del material que es importante en el estudio de los tamaños que aborda la investigación.

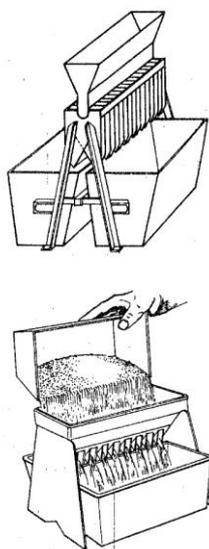


Figura 8. Partidor de muestra. Fuente: Norma IRAM 1509.

Conclusiones

Por razones de público conocimiento en contexto al Aislamiento Social, Preventivo y Obligatorio (ASPO) DECRETO N° 297/2020 (Boletín Oficial de la República Argentina). Considerando que con fecha 11 de marzo de 2020, la ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS), declaró el brote del “CORONAVIRUS” como una pandemia, dificultando que se realicen tareas de investigación dentro del laboratorio. Lo cual conllevó al avance desde el marco teórico, sentando las bases en dirección a ejecutar las tareas, presentar un plan de trabajo y los fundamentos con la finalidad de llevar a cabo la investigación una vez estén dadas las condiciones sanitarias. Conforme a lo expuesto anteriormente:

- Correlacionar el ensayo de granulometría y el equipo de contador de partículas para la construcción de las curvas. Estudiando la influencia de los tamaños menores a 500 micrones en las bases granulares de asfaltos flexibles multicapa.
- Haciendo uso del dato proporcionado por el ensayo de Proctor, efectuar el Valor Soporte Relativo (V.S.) para conocer a que humedad y

compactación se alcanza la mayor resistencia al corte.

- Relacionando los ensayos, Proctor y V.S, junto a la elaboración de curvas granulométricas se podría determinar la fricción entre partículas.

Referencias Bibliográficas

- [1] CILAS. (2011). *Manual Español de Analizadores de tamaño de partículas* (p. 105).
- [2] Dirección Nacional de Vialidad. (2001). *Normas de ensayo*. (p.243).
- [3] Guzmán, D. S. de. (s. f.). *D. Sanchez, Tecnología del concreto y del mortero*. (p. 349). Colombia, 2001.
- [4] Leiva, F., Pérez, E., Aguiar, J., & Loría, L. (2017). Permanent deformation model for pavement condition assessment. *Revista Ingeniería de Construcción*, 32(1), 37-46. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732017000100004>
- [5] Normas IRAM.
- [6] Olivera Bustamante Fernando. (1996). *Estructuración de vías terrestres* (G. E. Patria (ed.); Decima).

LA REOLOGIA COMO ELEMENTO DE EVALUACION DE ASFALTOS VIALES

Becaria; Adriana N. Huespe Mercado¹: adriananoemihuespe@gmail.com

Directores; Ignacio Zapata Ferrero², izapata@frlp.utn.edu.ar;
Gerardo Botasso³, gbotasso@frlp.utn.edu.ar

^{1,2,3} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina



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

Resumen

Los betunes asfálticos presentan una amplia gama de comportamientos en dependencia de la temperatura a la cual se estén evaluando, así como también las distintas cargas que deban soportar una vez estando en servicio. La ciencia que estudia esta clase de propiedades de los materiales es la reología. Por medio de ella podemos evaluar los asfaltos utilizados en la actualidad (tanto convencionales como modificados) con criterios superadores. Con la implementación de equipos altamente sofisticados, como el reómetro de corte dinámico (DSR) se pueden obtener propiedades fundamentales que ayuden a entender el comportamiento de estos materiales. Actualmente se puede extraer información sumamente valiosa, como ser el módulo de corte complejo (G^*) como así también el ángulo de fase (δ), parámetro que nos muestra la prevalencia por un comportamiento elástico o viscoso. Con estos indicadores y algunos otros, la metodología SUPERPAVE pudo potenciar el uso de estos equipos, y plasmarlos en normas y metodologías acordes con los tiempos actuales que lleven a un correcto uso de los asfaltos en pavimentos viales.

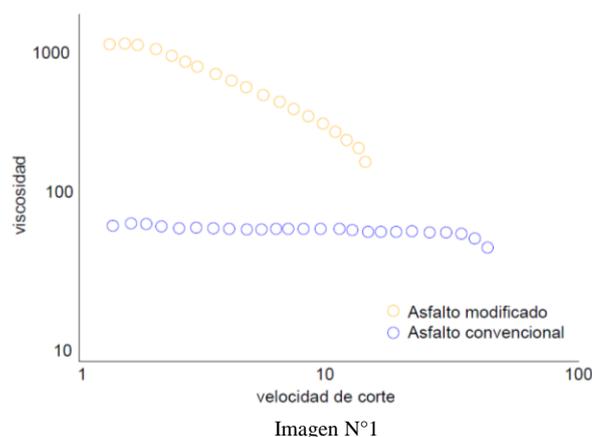
Palabras clave: Asfalto, Reología, Modulo de corte complejo, Angulo de fase, SUPERPAVE

1. Introducción

Con el avance de la tecnología a lo largo de los años, se han podido implementar ensayos más complejos a la hora de evaluar materiales y entender su comportamiento. El caso de los asfaltos de uso vial, no escapa a esta regla. Se han ido modernizando la forma de conseguir las propiedades necesarias que presentan a la hora de utilizarlos en los pavimentos flexibles.

Si bien en su momento, las clasificaciones por penetración, para catalogar a los cementos asfálticos, resultaba sumamente novedoso y práctico, en la actualidad no es suficiente. De esta forma, se evalúan propiedades físicas, muy condicionadas por su entorno y formas de ensayo. Posteriormente se desarrollaron equipos de superiores prestaciones, en los cuales, se puede evaluar un comportamiento más crítico del material. Mediante el uso del viscosímetro rotacional se pueden hacer curvas de comportamiento a distintas velocidades de corte y poder distinguir las temperaturas de fabricación de y de compactación de las mezclas asfálticas.

El uso del viscosímetro encuentra su limitación a la hora de evaluar los asfaltos modificados. A diferencia de un asfalto convencional, los modificados no presentan un comportamiento newtoniano. Este comportamiento se caracteriza por evidenciar una constancia en la viscosidad, si se varía la velocidad de corte que se aplica durante el ensayo (Imagen 1).



2. Fundamentos

2.1 La utilización del DSR

Para poder colocar en un mismo plano asfaltos convencionales y modificados, la implementación del reómetro dinámico de corte (DSR por sus siglas en inglés) (Imagen 2) permiten obtener las propiedades fundamentales de los betunes asfálticos.



Imagen N°2

El asfalto muestra un comportamiento muy variado dependiendo de la temperatura de ensayo y de la aplicación de carga que se le realice. El DSR mediante la aplicación de carga oscilatoria sobre una muestra a estudiar, permite caracterizar en forma precisa este efecto.

2.2 Comportamiento Reológico del asfalto

La aplicación de cargas oscilantes sobre la muestra de asfalto ejerce esfuerzos de corte, es decir tangenciales sobre la misma. Al mismo tiempo, el equipo tiene la capacidad de medir las deformaciones resultantes. El cociente entre estas dos relaciones se denomina el módulo complejo de corte (G^*) (Ecuación 3).

$$G^* = \frac{\tau_{max}}{\gamma_{max}} \quad (1)$$

Donde:

G^* : Módulo complejo de corte

τ_{max} : Tensión tangencial máxima

γ_{max} : Tension tangencial máxima

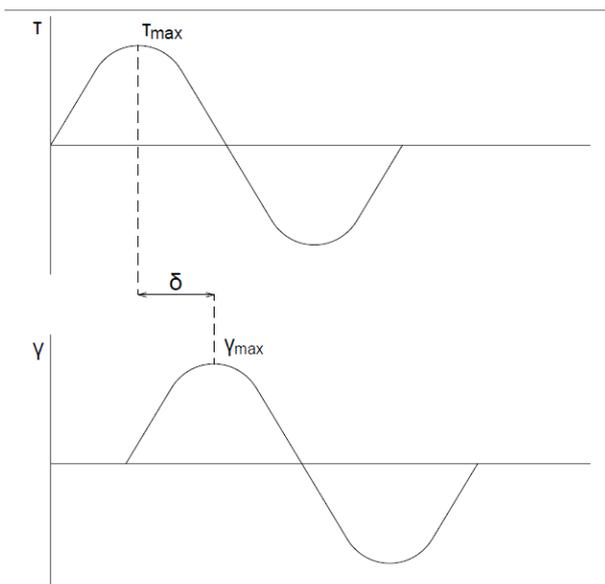


Imagen N°3

Sin embargo, en función de las características del asfalto utilizado, las deformaciones resultantes pueden tener un retardo en su aparición con respecto a las tensiones aplicadas.

Este desfase entre tensiones y deformaciones se lo conoce como ángulo de fase (δ) (Imagen 3).

Esta propiedad fundamental de los asfaltos, nos indica si estamos con un asfalto con características más viscosas, si el ángulo de fase evidenciado es del orden de los 90°. Por otra parte, un ángulo de fase tendiendo a 0°, evidencia un asfalto con propiedades elásticas. Estos dos extremos, no se presentan en la realidad, teniendo betunes asfálticos con su parte viscosa y elástica (Imagen 4).

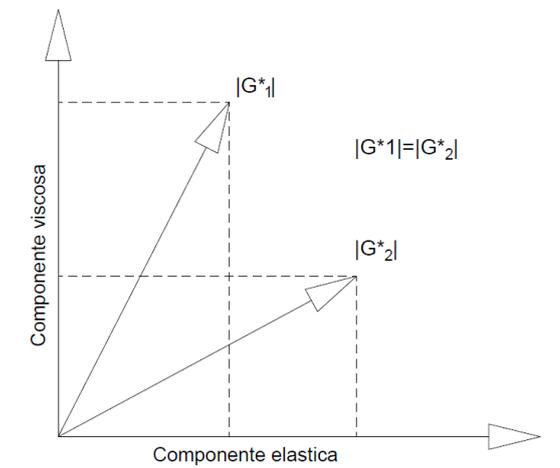


Imagen N°4

2.3 SUPERPAVE

El método de diseño de SUPERPAVE, sigla que proviene de SuperIOR Performance Pavement, incorpora un criterio de evaluación de los ligantes asfálticos superior a los actualmente vigentes. Mientras una clasificación de asfaltos por penetración o viscosidad, cataloga un asfalto dependiendo resultados de ensayos especificados, la metodología de SUPERPAVE fija los criterios de evaluación de cada ensayo a realizar, y en base a la temperatura obtenida para cumplir estas especificaciones, determina las temperaturas de trabajo del betún.

Por otra parte, la especificación de ligantes de SUPERPAVE, es la primera en incorporar en forma contundente, análisis reológicos a los asfaltos evaluados. De esta forma se fijaron parámetros claves para ensayos en el reómetro de corte dinámico, el viscosímetro rotacional y el reómetro de viga a flexión.

3. Conclusiones

Por lo evidenciado en esta breve revisión bibliográfica, obtener las propiedades reológicas de los cementos asfálticos, es fundamental para las exigencias actuales, dejando de lado las antiguas especificaciones en función de propiedades físicas de los asfaltos.

Referencias

[1] Morea, Francisco. Deformaciones permanentes en mezclas asfálticas. Diss. Universidad Nacional de La Plata, 2011

CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS DE USO VIAL

Becario; Wilson A. Antieco¹; wilson.alexander.antieco@gmail.com

Director; Oscar R. Rebollo²; orrebollo@hotmail.com

^{1,2} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina

Área: Gestión y Diseño Vial. **PID Asociado:** “Utilización de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en elementos de la construcción vial”. Código: MAINILP0007740TC



Resumen

En esta investigación se estudió el proceso de los agregados desde su obtención en cantera, así como también su muestreo, propiedades y ensayos de control de calidad y sus límites recomendados para que cumpla con los requisitos de exigencia que proponen los pliegos de vialidad nacional y otros ensayos que se proponen con el fin de mejorar el control de calidad de estos.

Palabras clave: Uso vial, incidencia en mezcla asfáltica, forma del árido, desgaste

1. Agregados

Los agregados son materiales de tipo granular, de origen natural o industrial, tales como la arena, grava, roca o escoria de alto horno triturados.

Los de origen natural surgen en forma de capas de rocas en la superficie del suelo en yacimientos y canteras siendo obtenidas por trituración.

Estas rocas de origen natural se clasifican en Ígneas (granito, basalto, andesita, etc), sedimentarias (yeso, arenas, gravas, conchilla, etc.) y metamórficas (pizarra, mármol, cuarcita, etc.).

2. Proceso para la producción de agregado

La voladura de la roca se realiza siguiendo una malla de perforaciones diseñadas dentro de las cuales se colocan los explosivos obteniendo el bloque en su tamaño máximo. A estos se los achica mediante un martillo neumático para su transportarlo al acopio para su trituración.

La trituración se realiza en tres etapas. La primera trituración se realiza con una trituradora giratoria conformada por una mandíbula fija y una móvil que tritura de forma continua a la vez que descarga el material acopiándolo mediante cinta transportadora.

La segunda trituración se realiza en dos conos con funcionamiento similar a la primaria que alimentan dos plantas de las cuales se obtienen las granulometrías comerciales en distintas calidades.

Si se busca una calidad mayor se agrega una tercera trituración que da como resultado partículas más cúbicas.

Para obtener las distintas granulometrías se intercalan zarandas durante las distintas etapas de trituración permitiendo dividir el material por tamaños, favorecido por el movimiento oscilatorio y vibratorio de los equipos.

Una vez triturado el material y segmentado por granulometría, por medio de cintas transportadoras que unen los distintos equipos se transporta el material para formar los

acopios por tamaño que actuarán de stock para el despacho del mismo.

Unas grúas se encargan de cargar los vagones del tren y los camiones que ingresan diariamente a la planta para recoger el agregado.

2.1. Agregados utilizados en la Argentina

Las canteras de uso comercial son en su mayoría de material tipo granítico provenientes de las provincias de Córdoba y Buenos Aires, y los materiales tipo basálticos provenientes de Córdoba, Misiones, Corrientes, Entre Ríos y San Luis.

Otros materiales como cuarcita, andesita, dolomita, etc., son usados en menor proporción, con carácter local, o sea en las zonas cercanas al lugar de explotación.

Los yacimientos de gravas y arenas, compuestos por distintos tipos de roca, son usados con carácter local.

2.2. Propiedades esenciales del agregado

Dureza: Resistencia que ofrece el material al rayado. Representada por la escala de Mohs, para los minerales constituyentes de las rocas.

Coherencia: Resistencia a la disgregación mecánica de los granos y agregados minerales. Depende de la dureza de los minerales, hábito de cristalización, tipo de unión intercrystalina, del cementante de las rocas sedimentarias, planos de debilidad, etc.

Compacidad: Presencia de huecos en las rocas. Influyen tanto la porosidad como la presencia de microfisuras.

Tenacidad: Resistencia de una roca a fragmentarse mediante impacto. Depende tanto de tipo, forma y tamaño de los minerales como de la existencia de superficies de mínima cohesión.

3. Ensayos característicos de los agregados

3.1 Muestreo

Para realizar una correcta evaluación de las características de los agregados se debe prestar atención a la obtención de muestras representativas, sobre las cuales se llevarán a cabo los estudios para determinar la aptitud de estos materiales (muestras de ensayo), a los efectos de que los resultados sean válidos.

La partición de muestras de agregados se puede realizar mediante dos métodos, mediante partidor mecánico o realizando el cuarteo manual a pala, este último en caso de que la cantidad de la muestra sea excesiva y se la quiera reducir a un tamaño que permita utilizarla en el cuarteador.

Para realizar el cuarteo manual, colocamos la muestra sobre una superficie plana, dura y limpia, que no contenga algún material que nos vaya a contaminar la muestra, por ejemplo un piso de concreto, mezclamos todo el material con una pala, formando una pila cónica, luego con ayuda de la pala la aplanamos y procedemos a dividir la pila en cuatro partes iguales (en forma de cruz) y sacamos dos partes opuestas de esa división, las otras dos partes se mezclan nuevamente repitiendo este proceso las veces que sean necesarias para obtener la cantidad de material requerido para las pruebas a ensayar.

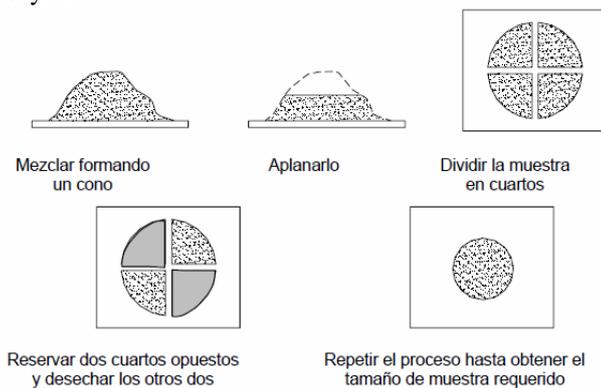


Fig. 1. Cuarteo a pala

El cuarteador mecánico deberá contar con un número igual de conductos del mismo ancho para que se alternen al descargar en ambos lados del mismo. El tamaño de estos conductos deberá ser del doble del material que se pretende cuartear. El cuarteador deberá contar con dos receptáculos para recibir la muestra ya cuarteada.

Para realizar el cuarteo se coloca la muestra dentro del cuarteador distribuyendo uniformemente en toda su longitud para que al verter sobre los conductos, fluyan por cada uno de estos, cantidades aproximadamente iguales de material. Esto lo vamos a hacer a una velocidad tal que permita un flujo constante para los conductos que llevan la muestra a los receptáculos. Este paso lo vamos a repetir las veces que sean necesarias hasta obtener la cantidad requerida para los ensayos que se van a realizar.

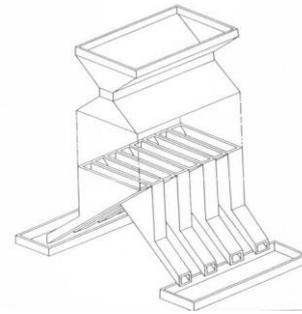


Fig. 2. Partidor mecánico

3.2 Árido fino

Ensayos	Normas	
	V.N.	IRAM
Granulometría		1627
Peso específico	E-14-67	1520
Absorción	E-14-67	1533
Peso unitario		1548
Equivalente Arena	E-10-82	1682
Azul de metileno		1594
Material que pasa Tamiz N° 200		1540
Ensayo colorimétrico		1647
Durabilidad por ataque con Sulfato de Sodio		1525
Sustancias reactivas		1637
		1674

3.2.1 Granulometría:

La granulometría de un agregado se realiza con la finalidad de conocer la distribución de las partículas que lo componen de acuerdo a su tamaño.

De acuerdo si se trata de un agregado grueso o fino se utilizan tamices diferentes.

Para agregados finos, cuyo tamaño es menor al 4,75mm (T.N 4) se utilizan los tamices 4,75mm (N 4); 2,36mm (N 8); 1,18 (N 16); 0,600mm (N 30); 0,300mm (N 50); 0,150mm (N 100) y fondo.

De una muestra de 500g, se la separa por tamaño colocando los tamices ordenados de mayor a menor abertura de malla, comenzando por el tamiz de menor abertura que no retenga material. Se pesa el material retenido en cada tamiz con precisión y se determinan también los porcentajes retenidos parciales y acumulados. En la siguiente tabla se indican los límites establecidos para tal fin por el Proyecto de Reglamento CIRSOC 201 (2002).

Tamices de mallas cuadradas	% máximo que pasa, acumulado, en peso		
	Curva A	Curva B	Curva C
9.5mm	100	100	100
4.75mm	95	100	100
2.36mm	80	100	100
1.18mm	50	85	100
600µm	25	60	95
300µm	10	30	50
150µm	2	10	10

La granulometría de agregados tiene importancia debido a que la combinación de tamaños de partículas o agregados que produzcan el mínimo de vacíos, producirá una mezcla muy estable volumétricamente y, por consiguiente, se requerirá un mínimo de material ligante, obteniéndose deformaciones mínimas.

Módulo de finura: es el número que resulta de dividir por cien la suma de los porcentajes retenidos en forma acumulada sobre la serie de tamices dobles. La serie correspondiente a los agregados finos es la siguiente: 9.5mm; 4.75mm; 2.36mm; 1.18mm; 600 μm ; 300 μm y 150 μm .

Conceptualmente el módulo de finura da una idea del grosor del material pero no de la distribución de los tamaños de las partículas. Tal es así que dos agregados con distinta granulometría pueden tener el mismo módulo de finura.

3.2.2 Peso específico

Peso específico aparente: Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada a esa temperatura. El volumen incluye los poros impermeables del material.

Peso específico del agregado seco: Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada a esa temperatura, estando el material en condición de saturado a superficie seca. El volumen incluye los vacíos permeables o impermeables del material.

Peso específico del agregado saturado: Es la relación entre el peso de un volumen del material saturado a superficie seca, a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada a esa temperatura. El volumen incluye los vacíos permeables del material.

3.2.3 Absorción: Es el volumen de los vacíos permeables de una porción de material expresada en por cientos del peso en el aire de esa misma porción secada en estufa 105°- 110°C basta constancia de peso.

3.2.4 Peso unitario

Se lo define como el peso de la unidad de volumen del material a granel, en las condiciones de compactación y humedad en que se efectúa el ensayo y se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). Al variar algunas de las condiciones mencionadas, se obtendrá para un mismo tipo de agregado, un peso unitario diferente.

De acuerdo con el tipo de compactación empleado, se lo determina de dos maneras:

Peso unitario del agregado fino compactado: se llena el recipiente con el agregado fino con la humedad que contenga en tres capas de volumen aproximadamente iguales, compactando cada una con 25 golpes de varilla, cuidando que la varilla atraviese solamente el espesor de la capa que se compacta y luego se enrasa.

Peso unitario del agregado fino suelto: se llena el recipiente con una cuchara de modo que el agregado se descargue a una altura que no sobrepase 50mm por encima del borde del molde, hasta colmarlo y luego se enrasa con la varilla.

En ambos métodos, los resultados de los ensayos realizados con una misma muestra no deben diferir en más del 1%.

Obtenido el PUV y el peso específico del agregado seco se puede hallar el contenido de vacíos del mismo.

3.2.5 Equivalente arena: Determina las proporciones relativas de polvo fino no conveniente o de materiales similares a la arcilla

Se fundamenta en liberar de la muestra de ensayo los posibles recubrimientos de arcilla adheridos a las partículas de arena mediante la adición de una solución coagulante que favorece la suspensión de las partículas finas sobre la arena, determinando su contenido respecto de las partículas de mayor tamaño.

3.2.6 Azul de metileno: Es absorbido preferentemente por las arcillas, los materiales orgánicos y los hidróxidos de hierro, siendo esta capacidad de absorción consecuencia de la actividad superficial y físico-química de estos materiales.

3.2.7 Material que pasa Tamiz IRAM 0,075mm (N° 200)

Este ensayo se realiza teniendo en cuenta que para llevarlo a cabo el material del cual se ha de extraer la muestra de ensayo debe estar suficientemente húmedo como para evitar que se produzca la segregación y/o pérdida de las partículas más finas.

Se seca en estufa hasta peso constante, luego se pesa aproximadamente 500g., se la pone en un recipiente, se sumerge en agua se agita y se hace pasar por los tamices 1,18 mm (N 16) y 0,075 mm (N 200), si es necesario se repite el lavado para desprender el polvo adherido a las partículas hasta que el agua de lavado quede limpia.

3.2.8 Ensayo colorimétrico

La detección de la presencia de materia orgánica en los agregados finos en cantidades que puedan afectar significativamente el proceso de fraguado y endurecimiento de la pasta aglomerante y por lo tanto del hormigón, se realiza por medio del ensayo colorimétrico.

Este ensayo tiene el carácter de preventivo, por cuanto si el color de la solución resulta más oscuro que el color límite (500 ppm), se recomienda realizar el ensayo de resistencia comparativa de la arena en mortero.

Para realizar la detección de materia orgánica por el ensayo colorimétrico, se secan al aire o en estufa a una temperatura menor de 50°C unos 500g de muestra en estado húmedo. En una probeta de 500 ml se coloca una cantidad de muestra hasta enrasar 150 ml y se agrega una solución al 3% de hidróxido de sodio [$\text{Na}(\text{OH})$] hasta completar 235 ml, se tapa y se sacude energicamente; luego se deja en reposo durante 24 hs. Transcurrido dicho tiempo se compara el

color del líquido sobrenadante en la probeta con el de una solución tipo.

3.2.9 Durabilidad

El método de ensayo consiste en determinar la resistencia del agregado a la desintegración por el efecto de una solución saturada de sulfato de sodio [Na₂(SO₄)]. Se intenta de este modo obtener información útil para juzgar la durabilidad de los agregados sujetos a acciones climáticas desfavorables (congelación y deshielo), cuando no se dispone de antecedentes de los mismos sobre su comportamiento en servicio ante tales condiciones.

Para ello se separa el árido fino en fracciones, se las sumerge en una solución saturada de sulfato de sodio, y se las deja hasta que sature las partículas; luego se las seca en estufa hasta peso constante, repitiendo el ciclo cuatro veces más. Se pasa cada fracción del agregado fino por el mismo tamiz que antes la retenía y se determina la pérdida en porcentaje de peso como suma de las pérdidas porcentuales en cada una de las fracciones. Este valor no deberá exceder del 10%.

3.2.10 Sustancias reactivas

Se considerará que los agregados finos son potencialmente reactivos frente a la reacción álcali-sílice, cuando realizando el análisis petrográfico, se detectan en ellos una o más de las rocas y minerales establecidos en la siguiente tabla, en cantidades iguales o mayores que las que allí se indican.

ROCAS Y MINERALES	Máximos admitidos (%)
Opalo y ftanita (Chert) opalizada	0,25
Ftanita (Chert)cuarzosa	5
Riolitas vítreas o criptocristalinas, dactias, latitas o andesitas y sus correspondientes tobas, zeolitas y vidrio volcánico	3

Para determinar efectivamente la reactividad potencial, se realizan ensayos físicos según lo indicado en:

- Norma IRAM 1637: se determinan las variaciones de longitud a las edades de 1, 2, 3, 4, 6, 9 y 12 meses en barras de mortero elaboradas con cemento de alto álcalis (1% ó mayor), estacionadas en ambiente saturado de humedad y a 38 °C.
- Norma IRAM 1674: este es un método acelerado en el que se determina la expansión a la edad de 16 días, sobre barras de mortero similares a la de la norma citada anteriormente. Las probetas se estacionan en una solución de OHNa 1N a 80 °C, hasta la edad de ensayo.

3.3 Árido grueso

Ensayos	Normas	
	V.N.	IRAM
Granulometría		1531
Peso específico	E-13-67	1520/33
Absorción		1533
Peso unitario		1548
Estabilidad por inmersión en		

Etilenglicol		
Deval		1527
Desgaste los Ángeles		1532
Micro Deval		1762
Fragmentación dinámica		1556
Lajosidad y elongación	E-38-86	1687
Caras de fractura		1851
Análisis petrográfico		1517
Pulimento acelerado		1543
Sustancias reactivas		1637
Durabilidad por ataque con Sulfato de Sodio		1525
Polvo adherido	E-68-75	
Limpieza superficial		

3.3.1 Granulometría:

La granulometría de un agregado se realiza con la finalidad de conocer la distribución de las partículas que lo componen de acuerdo a su tamaño.

De acuerdo si se trata de un agregado grueso o fino se utilizan tamices diferentes.

Para agregados gruesos que son las partículas mayores a 4,75mm (N 4) se usan los tamices 4,75mm (N 4); 9,5mm (3/8"); 12,7mm (1/2"); 19 mm (3/4"); 25,4mm (37,5mm (1 1/2"); 51mm (2"), etc.

La granulometría de agregados tiene importancia debido a que la combinación de tamaños de partículas o agregados que produzcan el mínimo de vacíos, producirá una mezcla muy estable volumétricamente y, por consiguiente, se requerirá un mínimo de material ligante, obteniéndose deformaciones mínimas.

Modulo de finura: El módulo de finura de un agregado grueso se define igual que el del agregado fino, variando solamente la serie de tamices a considerar. En este caso la serie de tamices es la siguiente: 76.0mm, 37.5mm, 19.0mm, 9.5mm, 4.75mm, 2.36mm, 1.18mm, 600 µm; 300µm y 150µm.

Tamaño máximo nominal: El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño

3.3.2 Peso específico

Peso específico aparente: Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada a esa temperatura. El volumen incluye los poros impermeables del material.

Peso específico del agregado seco: Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada estando el material en condición de saturado a superficie seca. El volumen incluye los vacíos permeables e impermeables del material.

Peso específico del agregado saturado: Es la relación entre el peso saturado a superficie seca de un volumen del material a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada. El volumen incluye los vacíos permeables o impermeables del material.

3.3.3 Absorción: Es el volumen de los vacíos permeables del material expresada en por cientos del peso en el aire del mismo secado en estufa a 105°-110°C hasta constancia de peso.

3.3.4 Peso unitario (o PUV): Es el peso de un volumen unitario en condiciones de humedad y compactación previamente acordadas, varía con los porcentajes de humedad o el método de colocación en el recipiente. Es por eso que se lo determina como compactado o como suelto. La muestra a ensayar debe ser colocada en un recipiente cilíndrico estanco e indeformable de capacidad variable según el tamaño máximo del agregado.

Para la determinación del peso unitario del agregado grueso suelto y agregado grueso compactado para agregados de tamaño máximo nominal menor o igual a 50mm, se procede de la misma forma que lo establecido para el agregado fino.

Para la determinación del peso unitario del agregado grueso compactado para agregados con tamaños máximos nominales comprendidos entre 50mm y 100mm se aplica el método de sacudido, el cual consiste en llenar con agregado el recipiente en tres capas procurando colocar en cada una de ellas aproximadamente la tercera parte del contenido, hasta colmarlo. Se compacta cada capa dejando caer el recipiente 50 veces elevando alternativamente los bordes opuestos del recipiente unos 5cm del suelo. Compactada la última capa, se procede al enrasado.

Obtenido el PUV y el peso específico del agregado seco se puede hallar el contenido de vacíos del mismo

3.3.5 Estabilidad por inmersión en Etilenglicol:

Si el agregado grueso proviene de la trituración de rocas basálticas, éstas pueden tener inclusiones de arcillas expansivas que al combinarse con el agua forman un compuesto que aumenta de volumen, produciéndose la desintegración de la roca y consecuentemente de las partículas del agregado.

Este hecho puede ser detectado mediante el ensayo por inmersión del agregado en un compuesto orgánico llamado etilenglicol, el cual se combina con las inclusiones arcillosas provocando la disgregación acelerada de las partículas.

Para ello, según la disposición CIRSOC 252, se tritura la roca hasta obtener partículas comprendidas entre los tamices IRAM 19mm y 75mm, se seca el material en estufa hasta peso constante y se lo sumerge en el etilenglicol durante 30 días. Finalizado el período se determina la pérdida en peso por el tamiz que retenía la muestra. El agregado será apto para su uso en hormigones si la pérdida de peso es menor del 10%.

3.3.6 Deval: El método Deval consiste en colocar 5000 gr de roca (G) dentro de un recipiente cilíndrico de acero de

35cm de longitud y 20cm de diámetro, que está inclinado 30° respecto del eje de rotación.

Luego que se producen 10000 vueltas a 30 - 33 rpm se retira el material y se tamiza por una malla de 1,7 mm (N° 12) se lava, se seca hasta peso constante y se pesa (G1)

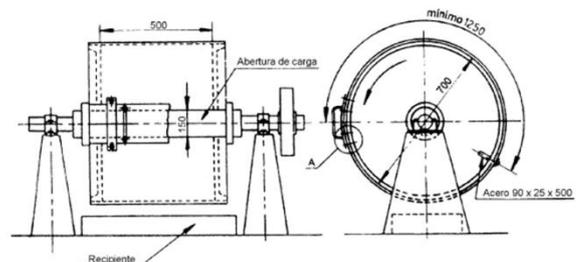
3.3.7 Los Ángeles: Este método se diferencia del anterior por la inclusión de bolas de acero conjuntamente con la muestra de material con la finalidad de aumentar el efecto abrasivo del ensayo.

Existe una mejor valoración de la dureza (no mide dureza) del material y se encontró una buena correlación entre el valor de desgaste y las propiedades mecánicas de los materiales elaborados con tales agregados.

El dispositivo consiste en un cilindro de acero con una pestaña interior que favorece la movilidad de los agregados y de las bolas de acero dentro del tambor.

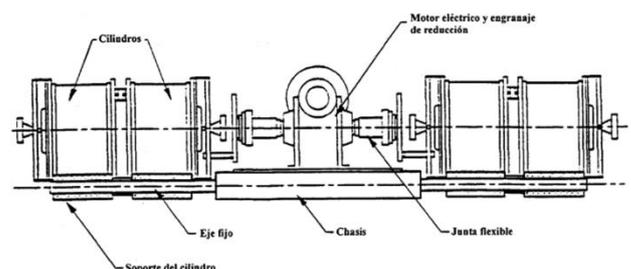
Según sea la granulometría del agregado, las normas indican: peso de agregado, peso y número de bolas de acero, y número de vueltas, de forma tal que agregados de la misma naturaleza pero con diferentes tamaños, dan como resultados desgastes equivalentes.

El material luego de ser sometido al ensayo se tamiza por la malla IRAM 1,6 mm (N°12) se pesa y se expresa el desgaste en forma similar al método anterior.



3.3.8 Micro-deval: Este método es de referencia y permite medir la resistencia al desgaste de los agregados pétreos en estado seco y con presencia de agua, este último siendo el más común. Nos da el coeficiente Micro-deval, que es el porcentaje de la muestra original que se reduce a tamaños menores que 1,6 mm, por la rotación de un cilindro.

Para realizar este ensayo se prepara una fracción granulométrica del agregado comprendida entre los tamaños de 10 mm y 14 mm, con un peso de 500 gr. Luego se coloca en uno de los cilindros con 2,5 litros de agua y se agregan las bolas de acero de 10 mm de diámetro, con un peso de 5000 gr, se cierra herméticamente la tapa y se la somete a 12000 vueltas.



3.3.15 Durabilidad por ataque con Sulfato de Sodio:

Se somete el agregado grueso a inmersión y secado en una solución saturada de sulfato de sodio. Se efectúan cinco ciclos al fin de los cuales la pérdida en peso no deberá ser superior al 12%.

Para ello se lava la muestra de agregado, se la seca hasta peso constante y luego se la separa en fracciones de acuerdo a una tabla consignada en la norma. Se pesa cada fracción y se la sumerge en la solución de sulfato de sodio; luego se la seca hasta peso constante, repitiendo el proceso cuatro veces más. Finalmente se realiza un análisis cualitativo y cuantitativo, este último retamizando cada fracción por el tamiz que la retenía al iniciar el ensayo, determinándose la pérdida porcentual de peso.

3.3.16 Polvo adherido:

El objeto fundamental es establecer el método de laboratorio para medir una de las características superficiales de los agregados pétreos, en los que la adherencia se ve perjudicada por la presencia del polvo adherido.

El polvo adherido es la cantidad de polvo adherido a la superficie de los agregados pétreos que no se desprende totalmente por simple tamizado, referido a un área superficial total.

3.3.17 Limpieza superficial: Algunos agregados contienen ciertas sustancias extrañas o deletéreas que los hacen inadecuados para las mezclas asfálticas de pavimentación, a menos que la cantidad de materias extrañas sea reducida. Los materiales típicos objetables son, sustancias orgánicas, esquistos, partículas livianas, terrones de arcillas y arcilla recubriendo las partículas de agregados grueso.

3.4 Relleno mineral (Filler)

Es el material que pasa el tamiz n° 200 (74 micrones). Debido a su finura y a su actividad superficial respecto al ligante debe ser considerado en forma especial. Es posible su clasificación en:
Relleno mineral natural, se refiere al material fino, no perjudicial, que posee el árido a utilizar.
Relleno mineral de aporte, se refiere al material fino de origen comercial, que se incorpora adicionalmente a la mezcla.

Ensayos	Normas	
	V.N.	IRAM
Peso específico	E-15-89	
Concentración crítica	E-11	
Análisis mecánico	E-39	
Análisis químico	E-40	

3.4.1 Peso específico: Es la relación entre la masa de la muestra y el volumen de kerosene desplazado por el material usando el voluménmetro de Le Chatelier

3.4.2 Concentración crítica: Se determina la concentración crítica de rellenos minerales, o filler.

La concentración crítica es el valor crítico de la concentración del relleno mineral en una mezcla de filler y

betún, por encima del cual tal mezcla comienza a perder su carácter viscoso.

Análisis mecánico: Determina el tamaño y distribución de las partículas componentes del suelo más fino. Con sus resultados se completa la curva granulométrica por debajo del tamiz N° 200, importante cuando se trabaja con agentes estabilizadores.

4. Control de calidad

A continuación se detalla la frecuencia con la que se realizan los ensayos para asegurar que cumpla con los controles de calidad, tanto para el agregado grueso como agregado fino.

Parámetro	Método	Frecuencia
Contenido de carbonato de calcio en forma de conchillas marinas	IRAM 1649	Mensual
Elongación	IRAM 1687-2	Semanal
Índice de lajas	IRAM 1687-1	Semanal
Coefficiente de desgaste Los Ángeles (1)	IRAM 1532	Mensual
Coefficiente de pulimento acelerado (2)	IRAM 1543	Trimestral
Polvo adherido	IRAM 1883	Semanal
Material fino que pasa por el tamiz IRAM 75 µm, por lavado	IRAM 1540	Semanal
Análisis del estado físico de la roca	IRAM 1702	Semestral
	IRAM 1703	
Limpieza (3)	---	Diaria
Granulometría	IRAM 1505	Diaria
	IRAM 1501	
Módulo de finura y tamaño máximo	IRAM 1505	Diaria
Contenido de humedad	IRAM 1533	Diaria x2 (por la mañana y por la tarde)
Densidad y absorción	IRAM 1533	Semanal
Ensayo de ebullición para los basaltos "Sonnenbrand" (4)	UNE-EN 1367-3	Mensual
Resto de los ensayos contemplados en la norma IRAM 1531	Según norma	Trimestral

(1) En el caso de agregados "tipo basálticos", la frecuencia de ensayo es de quince (15) días.

(2) Sólo aplica a agregados que se utilizan en calzas de hormigón.

(3) La determinación de la limpieza se realiza visualmente.

(4) Sólo aplica a agregados que provienen de yacimientos "tipo basálticos"

AGREGADO FINO		
Parámetro	Método	Frecuencia
Equivalente de arena	IRAM 1682	Semanal
Granulometría	IRAM 1505	Diaria
	IRAM 1501	
Material fino que pasa por el tamiz IRAM 75 µm, por lavado	IRAM 1540	Semanal
Módulo de finura y tamaño máximo	IRAM 1505	Diaria
Contenido de humedad	IRAM 1533	Diaria x2 (por la mañana y por la tarde)
Densidad y absorción	IRAM 1520	Semanal
Resto de los ensayos contemplados en la norma IRAM 1512	Según norma	Trimestral

5. Conclusiones

Este trabajo se realizó durante la cuarentena debido a la pandemia por COVID - 19, pretende enumerar y hacer un detalle de los ensayos necesarios para la clasificación de los agregados para uso vial, con las normas que están en vigencia y ensayos para tener en cuenta en el futuro, con el fin de poder caracterizarlo mejor.

6. Fuentes:

Presentacion - ROCAS Y AGREGADOS 2020 – I ng. Oscar Raul Rebollo

Presentacion - AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFALTICAS 2020 – Ing. Norberto Jorge Cerutti

IRAM 1532 - LOS ÁNGELES

IRAM 1762 - MICRO DEVAL

IRAM 1556 - FRAGMENTACIÓN DINÁMICA
NORMAS DE ENSAYOS DE LA DIRECCION NACIONAL DE VIALIDAD

TECNOLOGIA DEL HORMIGON - Agregados para hormigones de cemento Pórtland - 2015

HORMIGON AUTOCOMPACTANTE CON AGREGADO RECICLADO

Becaria; Camila Díaz¹; camiladiaz99@hotmail.com

Directora; María E. Sosa²; ingmesosa@gmail.com

^{1,2} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina

Área: Tecnología del Hormigón. PID Asociado: “Gestión y Valorización de Residuos de Construcción y Demolición”. Código: ECUTILP0005156TC.



Resumen

Los hormigones autocompactantes (HAC) forman parte de los denominados hormigones de alto desempeño. Su principal característica se presenta en estado fresco, ya que es un hormigón capaz de deformarse por acción de su propio peso sin necesidad de vibrado interno o externo, y de sortear obstáculos tales como las armaduras de refuerzo, manteniendo su resistencia a la segregación.

Con el motivo de controlar la segregación tienen un contenido de finos elevado, en el orden de los 450 a 600 kg/m³ de cemento; adiciones minerales o aditivos modificadores de viscosidad (AMV); y contenidos de agregado grueso inferiores a los hormigones convencionales con TMN menores (que rondan entre los 12,5 mm y 19 mm) para poder disminuir la fricción entre las partículas de agregado y que pueda fluir con mayor facilidad. Debido a esto, sumado a la incipiente tendencia del cuidado y preservación del medio ambiente, resulta interesante poder desarrollar HAC utilizando agregados reciclados.

Palabras clave: Hormigón Autocompactante, Agregados Reciclados, Residuos de demolición

1. Introducción

La industria de la construcción contiene muchos eslabones que producen una alta huella de carbono. El cemento tiene una de las mayores participaciones en dicha generación, produciendo el 7% del dióxido de carbono emitido a nivel mundial.

En los últimos años el consumo de recursos naturales así como también la generación de residuos de la industria de la construcción han aumentado significativamente. Las grandes cantidades de residuos de la construcción y demolición, sumada al uso de agregados naturales generan no solo un importante impacto negativo en el ambiente, sino también en la vida de las personas. En muchos países debido al agotamiento de los yacimientos existentes o la elevada finura de las arenas, la disponibilidad de agregados aptos para la elaboración de hormigón es un problema frecuente.

A esto se le suma el creciente aumento de la población que exige soluciones ante la reducción de espacios habitables en las ciudades. Además, se espera que la demanda de agregados se duplique en las próximas dos o tres décadas (Manzi & Bignozzi, Self-Consolidating concrete with recycled aggregates, 2017). Las crecientes crisis medioambientales y económicas; agravan la magnitud de la problemática por lo que resulta fundamental desarrollar un enfoque diferente en la tecnología del hormigón, que resulte más ameno con el ambiente.

El uso de agregados reciclados (AR) para producir nuevos hormigones se presenta como una posible solución para ambas problemáticas; no solo se utilizan materias que en un gran porcentaje hoy forman parte de los desechos urbanos, sino que además es una solución económica y ambiental frente el uso de agregados naturales.

El uso de AR permite desarrollar hormigones de alto desempeño como los hormigones autocompactantes (HAC), ya que en primera instancia reduciría los costos de gran porcentaje de los materiales sin perjudicar el desempeño de los mismos.

La principal diferencia de un HAC frente a los convencionales es su capacidad de llenar el encofrado sin necesidad de recurrir a métodos de compactación.

2. Propiedades de los HAC y del AR

Las principales propiedades del HAC son la capacidad de fluir, la viscosidad y la resistencia a la segregación. Las mismas se obtienen principalmente elevando el contenido de finos, reduciendo el TMN frente a los hormigones convencionales y utilizando aditivos modificadores de viscosidad y/o reductores de agua.

Los inconvenientes del uso de áridos reciclados en el hormigón han sido ampliamente estudiados. El uso de áridos reciclados en general, aumenta la contracción por secado, la fluencia y la absorción de agua y reduce la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad del hormigón. La baja calidad de los AR está asociada a la presencia de grietas y fisuras que se forman en el mismo durante su procesamiento, por lo cual el agregado se vuelve más débil y más permeable. Esto también se debe a la presencia del mortero adherido a las partículas de agregado natural que conformaban el hormigón de origen. Las mencionadas características influyen sobre las características del hormigón en el cual son empleados los AR, produciendo en general un hormigón más permeable que los hormigones convencionales elaborados con agregados naturales.

El AR es un material heterogéneo que está constituido por dos fases: mortero y agregado natural en proporciones

variables. Estos agregados tienen características peculiares, tales como alta absorción, forma laminar, textura rugosa y menor masa específica. La fase mortero generalmente tiene una alta porosidad, por lo cual el ajuste del agua de mezcla es una de las principales cuestiones a analizar al momento de utilizar AR. Para estimar adecuadamente la relación agua/cemento resulta de vital importancia conocer el valor de absorción de agua del AR.

3. Reología del HAC

Los HAC presentan dos propiedades muy características. La primera de ellas es la reología, que resulta fundamental para comprender su comportamiento en estado fresco y la optimización en la etapa de diseño.

Para lograr comprender esta propiedad, utilizaremos el modelo de Bingham, graficado en la Figura N° 1. En este caso el hormigón se comporta como un sólido hasta que la tensión tangencial aplicada supera un umbral o tensión crítica 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: $\tau = \tau_0 + \mu' \dot{\gamma}$

Donde $\dot{\gamma}$ es la velocidad de deformación (en 1/s), τ_0 es la tensión crítica 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/s). En la ilustración 1 se puede ver representadas las rectas del modelo de Bingham y los fluidos newtonianos de acuerdo con las tensiones de corte y las velocidades de deformación.

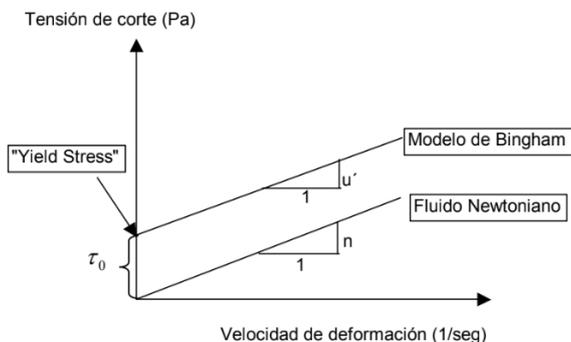


Figura N°1

En el HAC se debe cumplir un delicado equilibrio para que adquiera su propiedad de autocompactante. Por un lado, se requiere un valor muy pequeño o nulo de τ_0 y por otro para tener una resistencia a la segregación adecuada deberá tener un μ' moderado.

Cuando el hormigón fluye a través de las barras de refuerzo, se cambia la ubicación relativa de las partículas de agregado grueso en el espacio. Esto generará esfuerzos de corte en la pasta entre los áridos, además de esfuerzos de compresión. Por lo tanto, para evitar la segregación se tiene que compatibilizar un alto grado de deformabilidad y baja viscosidad, junto con la generación de una baja transferencia de presión en la pasta.

La segunda propiedad importante para tener en cuenta es la fluidez; la cual se puede definir como la habilidad que posee el hormigón para fluir luego de su descarga, por acción de su propio peso y de llenar todos los espacios dentro del

encontrado, de manera uniforme tal que no haya defectos en su terminación o calidad.

Esta propiedad a su vez depende de 3 propiedades:

- Capacidad de llenado: implica la capacidad de deformación, en términos de distancia que puede fluir o desplazarse, y su velocidad de deformación, en término velocidad que puede fluir
- Resistencia a la segregación: el hormigón debe tener una apta capacidad de resistencia ante la segregación de materiales
- Capacidad de pasaje entre aberturas: La incorrecta relación entre el tamaño y la cantidad de partículas en el HAC y el espacio entre barras de armaduras y aperturas, puede generar la obstrucción de material o bloqueo de armaduras y el hormigón

4. Ensayos de caracterización del HAC

En los HAC los ensayos de resistencia, durabilidad y demás prestaciones en estado endurecido son similares a las de un hormigón convencional. Sin embargo, dado a las diferencias en su comportamiento en estado fresco, la trabajabilidad y fluidez, no puede ser controlada con los métodos tradicionales, por lo cual se le suele realizar ensayos particulares

4.1. Extendido (Slump Flow Test) y T50.

Son dos ensayos simultáneos que permiten estimar los dos parámetros que caracterizan el comportamiento reológico.

El extendido tiene por objeto evaluar la capacidad de fluir sin obstáculos y se realiza con el cono de Abrams, que se llena sin compactación. Luego de levantar el cono, se mide el diámetro alcanzado por la mezcla. Este valor, denominado extendido, tiene una buena correlación con el valor de τ_0 (tensión crítica) y son recomendables valores de 65 ± 5 cm (Figura N°2)



Figura N°2

Asimismo, y como parte del mismo ensayo de extendido, se mide el tiempo que tarda el hormigón, una vez que se levanta el cono, en alcanzar los 50 cm de extendido. Este valor permite evaluar cualitativamente la viscosidad plástica de la mezcla, recomendándose valores entre 2 y 5 segundos. Adicionalmente, es muy importante también la inspección visual de la mezcla extendida

puesto que esto permite observar la distribución del agregado grueso y la tendencia a la segregación de la pasta o mortero en el borde de ataque.

4.2. Ensayo 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 tres (3) barras de armadura. El ensayo consiste en llenar con hormigón uno de los lados (sección transversal: 200 mm x 280 mm, altura total del equipo: 700 mm) manteniendo 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 (buena capacidad de pasaje entre barras de armaduras), la altura alcanzada debe superar los 30 cm. La máxima altura que puede obtenerse (el hormigón debe auto nivelarse) es de 35 cm. La Figura N°3 muestra el aspecto del equipo.



Figura N°3

4.3. Ensayo 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 auto nivelación de la mezcla. Se trata de un ensayo muy útil del que pueden extraerse varios datos (Figura N°4).



Figura N°4

5. Estado del arte

(Kou & Poon, 2012) Utilizaron AR para realizar dos series de mezclas de hormigón convencional, en las que utilizaron

0%, 20%, 50% y 100% de agregado reciclado. En una serie utilizaron cenizas volantes reemplazando el 0, 25 y 35% en peso del cemento, con una relación a/c de 0,55 y en otra serie se varió la relación a/c a 0,42

(Señas, Priano, & Marfil, 2014) Realizaron un HAC al cual se le reemplazo el 50% del AG (canto rodado) por agregado reciclado y el 20 % de agregado fino (arena natural) por polvos de molienda resultantes de la trituración del hormigón.

(Zega, Villagrán Zaccardi, & Laurente, 2016) En este trabajo utiliza AR molido (ARM) como en reemplazo del filler calizo en un 50 y 100% para la elaboración de hormigones autocompactantes. Las propiedades en estado fresco y endurecido de los hormigones con AFRM se comparan con las de un hormigón de referencia con 100% de filler calizo.

(Manzi, et al. 2017) Estudió tres mezclas de HAC a partir de un diseño de mezclas de referencia con 100% de agregados naturales, y variando la cantidad de AR entre un 25%, 40 % y 100% del volumen total del contenido de áridos.

(Tuyan , Ramyar, & Mardani-Aghabaglou, 2014) Se realizaron pastones de HAC con relaciones a/c 0,43, 0,48 y 0,53, a las cuales se le reemplazó el 0%, 20% 40% y 60% del AN con AR.

(Priano, Señas, Moro, & Marfil, 2016) Dosifico hormigones con relación agua/cemento 0,50 y un 50% de reemplazo, en volumen, de agregado grueso por agregado reciclado. Este último se impregno con dos productos impermeabilizantes de uso comercial (denominados por los autores, como A y B) y con pastas cementíceas, previo a su incorporación al hormigón. En los casos de tratamientos previos (TP) con pasta cementíceas, se estudiaron dos variables, una vinculada con la relación agua/cemento de la pasta cementícea: a/c = 0,50 (TP1); a/c = 0,74 (TP2) y a/c = 1,00 (TP3) y la otra, relacionada con la cantidad de días transcurridos entre la fecha de realización del tratamiento y la de hormigonado de las probetas, los cuales se estipularon en 1 y 28 días.

Además, se elaboraron dos hormigones de referencia: patrón (P) sin incorporación de agregado reciclado y (R) con 50 % de agregado reciclado sin tratamiento previo de impregnación.

5.1. Fluidiez

(Señas, Priano, & Marfil, 2014) Encontró que la velocidad en el ensayo del embudo aumentaba a incluso 14 segundos, en aquellos HAC que poseían un 20 % finos reciclados, cuando en aquellos que solo tenían AFN los valores eran menores a 10 segundos, en cuanto al extendido y el J-ring no se encontró una relación entre los valores obtenidos y el contenido de AFR, siendo muy similares.

Por el contrario, (Zega, et al. 2016) observaron un menor tiempo de fluidiez a medida que aumentaba el porcentaje de AFRM utilizado, pero el diámetro final alcanzado seguía esta misma tendencia. El mismo comportamiento fue evidenciado en los tiempos de pasaje del embudo en V. Los resultados mostraron una disminución de la viscosidad y cohesión de la muestra con el aumento del contenido de ARM. La microestructura del ARM difiere de la del polvo calizo y a la vez es un material más higroscópico debido a su contenido de silicato de calcio hidratado. La absorción del ARM hizo necesario incrementar el contenido unitario de

agua para mantener la fluidez de la mezcla, y se incrementó así mismo el contenido de cemento para evitar que la resistencia a compresión se afecte sensiblemente.

Los HAC con relación a/c 0,43 aumentaron su viscosidad considerablemente con el uso de AGR (Tuyan, et al. 2014). Esto puede atribuirse a la superficie más rugosa de las partículas de AR, en relación a las de piedra caliza natural, y si bien se vio reflejado en los ensayos de t50 y embudo, en el ensayo de L-Box no se observaron diferencias significativas. Además, el PUV de las mezclas de HAC, disminuyó ligeramente con el uso de AR y con el aumento de del contenido de agua, como era de esperarse.

Manzi & Bignozzi (2017) hallaron que el asentamiento disminuía con el aumento del porcentaje del AR, esto se puede deber a la alta capacidad de absorción del AFR en comparación con la AN, las cuales eran del 10 % y del 2,2% respectivamente. Como los agregados durante el estudio se utilizaron saturados, esto podría explicar porque los t50 son menores cuanto mayor era el contenido de AR.

5.2. Absorción

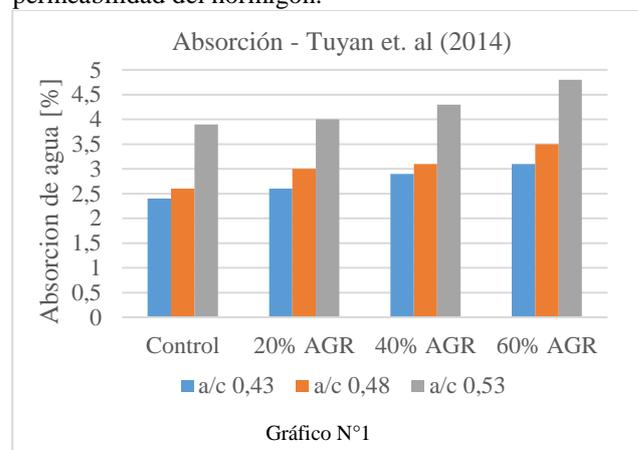
Kou & Pou (2012) comprobaron que la absorción de agua en el hormigón con AR fue mayor respecto a los hormigones elaborados con agregado natural (AN); y esto se atribuye a la mayor absorción que presenta el AR respecto al granito natural utilizado Sin embargo, estos valores disminuyeron con la incorporación de cenizas volantes.

Manzi, et al. (2017) encontró que, como tendencia general que cuanto mayor es la cantidad de AR, menor es la densidad aparente del agregado y, en consecuencia, mayor es la absorción de agua. De todas maneras, esto es menos evidente cuando el AR proviene de hormigones de alta resistencia (Malta, et al, 2013), en casos de hormigones compuestos por fracciones tanto de finos como de gruesos, mostraron menor absorción que aquellos que solo presentaban una fracción de AR (Manzi, & Bignozzi, 2017). De los resultados obtenidos surge que las propiedades habitualmente evaluadas en los AFR tales como densidad, absorción de agua y contenido de pasta no resultaron sensibles frente a las variables estudiadas. (Sosa, 2018)

(Señas, et al. 2014) Apreció que las mezclas con inclusión del AFN presentaron un leve incremento en los valores de capacidad y velocidad de succión capilar, respecto de las mezclas de referencia, siendo la diferencia más marcada en el caso del aditivo S. Pese a la mayor absorción de agua que presentan los agregados reciclados frente a los naturales, el comportamiento en el ensayo de succión capilar resultó similar. Esto se podía atribuir a la menor relación agua/cemento efectivo de los hormigones con agregado fino reciclado frente a los hormigones con arena natural, ya que la capacidad de absorción de agua del agregado triturado es mucho mayor que el del agregado fino natural. Debido a ello, parte del agua de mezclado es absorbida por el agregado reciclado.

La absorción de agua de las mezclas de HAC aumento del 2,4% al 3,9% de la relación a/c de 0,43 a 0,53; y del 19,1 a 32,1% con el aumento de la sustitución de AGR DE 0% a 60% (Tuyan, et al. 2014). Esto puede deberse a la mayor capacidad de absorción de agua de los agregados de hormigón reciclado en comparación con el AGN (Gráfico N°1). Con un análisis petrográfico se comprobó que también

podría deberse a la petrografía de los agregados originales y la presencia de microporos producto del mortero original adherido. Estos macroporos conducirían a el aumento de la absorción de agua y afectarían negativamente la permeabilidad del hormigón.



Zega, et al. (2016) Observó una mayor absorción en los hormigones con 50% de reemplazo de AR, en correspondencia con una menor densidad y resistencia a compresión; sin embargo, las diferencias entre los pastones con 100% de reemplazo y el de referencia eran muy pequeñas, por lo cual se podría concluir que la influencia del reemplazo de filler calizo por AFRM, no resultan significativas.

5.3. Porosidad

Manzi & Bignozzi (2017) Examinando los diferentes rangos de porosidad, pudieron observar que todas las mezclas presentaron aproximadamente el mismo contenido de poros, aunque en el caso de 25% de reemplazo de AN por AR la cantidad de macroporos, se vio fuertemente incrementada. Sin embargo, el total de poros entre las mezclas realizadas con el 100% de AR y las que no contenían, es muy similar.

Priano, et al. (2016) concluyó que, en los ensayos de succión capilar, las diferencias fueron más notorias. Los hormigones elaborados con AR, al que se le aplicó previamente los tratamientos A y todos los TP, lograron una clara mejoría (del orden del 40% o más) respecto al hormigón reciclado sin tratamiento previo (R). Inclusive el comportamiento de algunas mezclas en el ensayo de succión capilar fue superior al del hormigón patrón realizado sin la utilización de agregados reciclados (P). La mezcla B fue la que presentó la menor disminución en los valores de capacidad y velocidad de succión capilar, solo 14% y 12%, respectivamente.

5.4. Contracción

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. (Antieco, Battista, & Diaz, 2019)

(Kou & Poon, 2012) La contracción por secado del hormigón aumento con el aumento del contenido de AR en la mezcla. El mortero adherido al AR contribuye a un aumento en el volumen de la pasa, aumentando así la contracción por secado del hormigón resultante. El uso de cenizas volantes ya sea como sustitución o adición, en el hormigón reduce los valores de la contracción por secado. En el trabajo realizado, además, se puede apreciar que esta construcción fue más alta en la serie que contenía relación a/c 0,55 frente a la otra serie con cenizas volantes y relación a/c 0,42, como había previsto los autores en trabajos anteriores.

5.5. Resistencia a la compresión

En los hormigones reciclados, propiedades tales como la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, la porosidad y los parámetros de succión capilar se encontraron relacionados directamente con la relación a/c total y no exhibieron ninguna relación con la razón a/c efectiva. (Sosa, 2018)

En cuanto a la resistencia a compresión, en los hormigones con 75 % de AGR se alcanzaron los mismos niveles resistentes que en los hormigones originales, mientras que en los elaborados con 25 % de AR la resistencia se incrementó en aproximadamente 15 %.

Santos, et al. (2019) Encontró que la resistencia en los HAC aumentaba con los tiempos de curado, como era esperado; y cuando utilizo AR originarios de hormigones de alta resistencia no observó variaciones significativas con el uso de estos hasta aplicar por lo menos un 40% de la fracción con el mismo.

Otros estudios sobre HAC (Manzi, et al. 2017) dieron menores resistencias a compresión en aquellos hormigones que utilizaban AR de hormigones de bajas resistencias a compresión.

Priano, et al. (2016) No obtuvo grandes diferencias entre los 8 pastones con 50% de AR, pretratados con distintos métodos, y el compuesto con 100% de AGN, a excepción de un pastón que fue pretratado con un impermeabilizante comercial B, tal como se puede apreciar en el Gráfico N° 2.

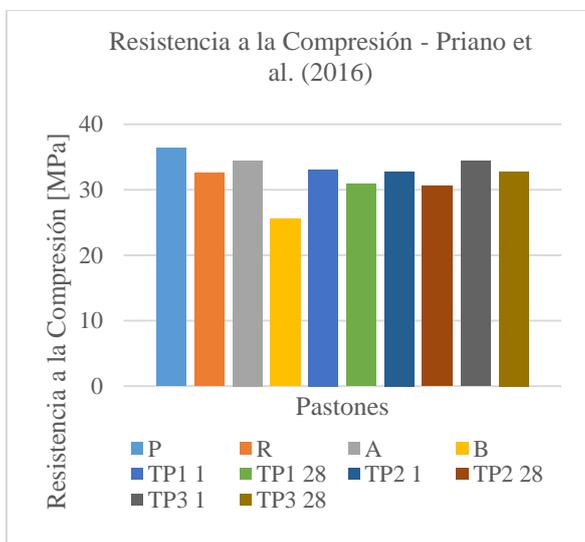


Gráfico N°2

(Kou & Poon, 2012) Encontraron que el uso de cenizas volantes junto con la incorporación de un 25 – 40% de AR contribuían al aumento de la resistencia, debido a que las cenizas son capaces de reacción con el calcio presente en los AR. Para relaciones de incorporación más altas, este efecto se compensaba con la pérdida de resistencia de los AR en comparación con los AN. Pero en los casos que se utilizó 100% de AR y una relación a/c 0,55 se obtuvieron disminuciones de la resistencia que llegaron incluso a ser el 50% con respecto al pastón sin AR ni cenizas volantes, y un 40% en el que presentaba la misma relación a/c y ceniza volantes, y sin AR.

En el caso de la serie con relación a/c 0,42, si bien los resultados del ensayo a compresión disminuyeron en relación a los que no contenían AR, estos resultados no fueron tan alarmantes como ocurrió en la serie I, sobre todo luego de los 28 días, en los cuales la resistencia aumentó considerablemente en los que contenían cenizas volantes, respecto a los que no.

Señas, et al. (2014) Encontró que, con la inclusión de polvos de trituración, la resistencia a compresión disminuía levemente.

Tuyan, et al. (2014) Concluyó que la resistencia a compresión aumento con el descenso de la relación a/c y estos valores fueron mayores en los casos que se utilizó el 40% de AR (Gráfico N°3). De acuerdo con varios autores mencionados, estos resultados pueden deberse a la composición del hormigón de origen de los AR, que aún se encuentra adherido al agregado.

Zega, et al. (2016) determinó que el AFRM mostraba una baja influencia sobre la resistencia a compresión.

Manzi & Bignozzi, (2017) reportaron mayores valores para los pastones que contenían mayor porcentaje de AR, aproximadamente un 23% más alto entre el que contenía 100% de AR y el realizado con AN. Esto se puede deber a una buena adherencia entre el nuevo mortero y el mortero adherido de los AR, pero también a la alta calidad de los áridos reciclados

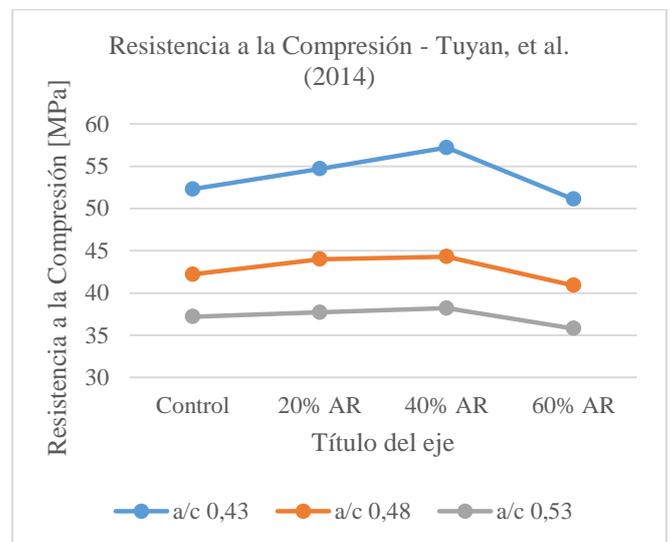


Gráfico N°3

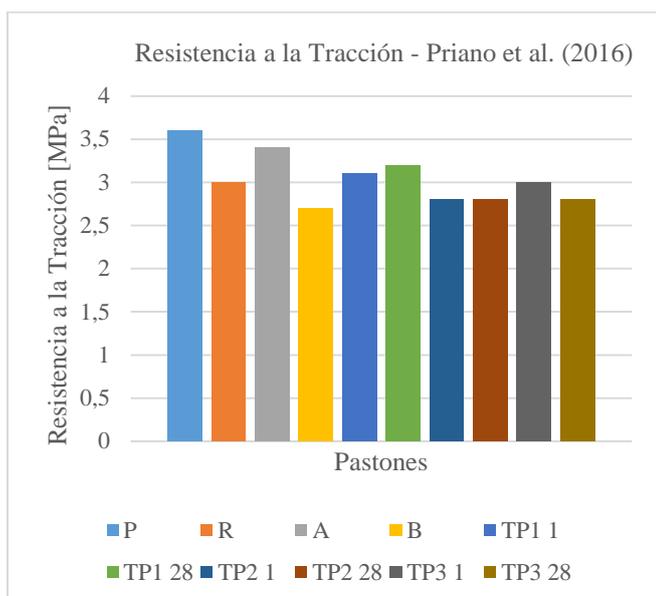


Gráfico N°4

5.6. Resistencia a la tracción

Se verificó una leve disminución en los valores de resistencia a tracción de las mezclas con inclusión de polvos de trituración, frente a los del hormigón de referencia. (Señas, et al. 2014).

(Manzi & Bignozzi, 2017) No se hallaron grandes variaciones ni relación entre los valores obtenidos y el contenido de AR, por lo cual es evidente que la presencia de AFR no juega un papel perjudicial desde el punto de vista mecánico.

(Priano, et al. 2016) A partir de los resultados obtenidos por el ensayo de tracción simple por compresión diametral (Gráfico N°4), se puede apreciar que se obtuvo un material con buenas prestaciones como para poder ser utilizado en estructuras resistentes.

Conclusiones

Del análisis de la bibliografía consultada sobre la utilización de agregados reciclados (AR) en hormigones autocompactantes (HAC) surge que:

La resistencia a compresión disminuye a medida que se aumenta el contenido de AR, pero la utilización de adiciones minerales mitiga el efecto nocivo del empleo de AR. Dicho comportamiento fue observado también frente a la absorción, resistencia a la penetración y carbonatación del hormigón.

El uso de adiciones también contribuyó a reducir la contracción por secado del hormigón convencional con AR, por lo cual podría suponer una solución frente a la contracción de los HAC que se realicen con AR.

Es factible la inclusión de polvos de molienda como agregado fino reciclado, en reemplazo de un 20% del agregado natural. De esta manera se logra el aprovechamiento integral del material tratado, es decir agregado grueso, arena y polvos del AR. El uso de ARM mostro baja influencia sobre las propiedades en estado endurecido que incluyeron resistencia a compresión, penetración de agua a presión, velocidad de secado, velocidad de succión capilar y resistividad eléctrica.

Referencias

- Antieco, W., Battista, N., & Diaz, C. (2019). *Desarrollo de hormigones autocompactantes destinado para mobiliario urbano*. La Plata.
- Kou, S., & Poon, C. (2012). *Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate*. Kowloon, Hong Kong: Departament of Civil and Structural Engineering.
- Malta, J. O., Siveira Silva, V., & Pereira Gonçalves, J. (2013). *Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de residuo de construção e demolição*. Salvador de Bahia, Brasil: GESTA.
- Manzi, S., & Bignozzi, M. (2017). *Self-Consolidating concrete with recycled aggregates*. Bologna, Italia.
- Manzi, S., Mazzotti, C., & Bignozzi, M. (2017). *Self-compacting concrete with recycled concrete aggregate: Study of the long-term properties*. Bologna, Italia.
- Priano, C., Señas, L., Moro, J., & Silvina, M. (2016). *Agregados reciclados pretratados para uso en hormigón*. Buenos Aires: Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente n°36.
- Señas, L., Priano, C., & Marfil, S. (2014). *Inclusión de polvos de molienda en hormigón autocompactante con agregados reciclados*. Bahia Blanca.
- Sosa, M. E. (2018). *Estudio de la contracción por secado en morteros y hormigones elaborados con agregados finos reciclados*. La Plata.
- Tuyan, M., Ramyar, K., & Mardani-Aghabaglou, A. (2014). *Freeze-thaw resistance, mechanical and transport properties of self-consolidating concrete incorporating coarse recycled concrete aggregate*. Bornova-Izmir, Turquia: Ege University.
- Zega, C. J., Villagrán Zaccardi, Y. A., & Laurente, R. D. (2016). *Agregado fino reciclado molido como fino para la elaboración de hormigones autocompactantes*. La Plata.

USO DE MOBILIARIO URBANO FABRICADO CON MEZCLAS CEMENTÍCEAS

Becaria; Florencia Ferreyra¹; fferreyra@alu.frlp.utn.edu.ar

Directora; Anahí López²; anahilopez@frlp.utn.edu.ar

^{1,2} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina

Área: Tecnología de los pavimentos rígidos. **PID Asociado:** “Desarrollo de hormigones autocompactantes destinados a mobiliario urbano para el mejoramiento del espacio público”. Código: UTN MAUTNLP0007828.



Resumen

Los mobiliarios urbanos son elementos, en su gran mayoría, emplazados en los distintos espacios públicos de las ciudades. Su función principal es brindar a las personas el confort y la comodidad necesaria mientras los utilizan. Estos elementos urbanos pueden ser fabricados con muchos materiales combinados. Las mezclas cementíceas, como morteros u hormigones, son algunos de los más elegidos. Esta tesis hace referencia específicamente a la producción de mobiliarios urbanos con estas mezclas, y en particular, se va a explicar la elección del Hormigón Autocompactante para realizarlos. Por otra parte, se presentarán el plan y algunos resultados de encuestas realizadas a empresas que fabrican hormigón elaborado y a empresas que fabrican prefabricados; de esta manera, se obtiene un análisis de su alcance y de su producción. Finalmente, se mostrará un relevamiento realizado en la mayoría de las plazas y parques de la ciudad de La Plata para demostrar que este tipo de elemento es el que más se utiliza en la actualidad. Para dicho relevamiento, previamente se confeccionaron fichas con distintos modelos de mobiliario.

Palabras clave: mobiliario, mezclas cementíceas, HAC, moldes, relevamiento.

1. Introducción

Un mobiliario urbano (MU) se define a todo tipo de mueble emplazado en un espacio público o semi-público y expuesto casi siempre al exterior. Son muebles que tienen como característica principal no ser móviles, por el contrario, es muy probable encontrarlos fijos o semifijos debido a la naturaleza del espacio donde se ubican, como también al uso y la función que otorgan. [1]

Estos son tipos de mueble que les permite a las personas poder disfrutar de una sensación mucho más cómoda y agradable en áreas públicas de las ciudades, como por ejemplo los parques, las plazas, las veredas, entre otras. Lo que conlleva decir que los mobiliarios urbanos logran contribuir en una gran mayoría con el nivel de calidad de vida de las personas; por este motivo, son muebles muy aceptados que sirven para el confort, el disfrute de la sociedad y de gran complemento en los espacios públicos.

Asimismo, son elementos que crean espacios públicos dinámicos, tienen variadas formas y están confeccionados con distintos materiales resistentes. Los materiales deberán garantizar la durabilidad y la estabilidad de los elementos construidos debido a que serán utilizados por las personas de manera muy frecuente y cotidiana. Además, el tipo de material influye mucho en los mobiliarios ya que estarán expuestos a la intemperie y darán servicio en los distintos espacios. Por ejemplo, si son construidos de madera o de metal y no son debidamente protegidos, con el tiempo pueden pudrirse u oxidarse, respectivamente.

Como se mencionó anteriormente, los MUs pueden ser construidos con distintos materiales, algunos de los más

seleccionados son el metal, el plástico, el hormigón, y también combinaciones de ellos. El objetivo principal de esta tesis es generar bases conceptuales para diseñar mobiliarios urbanos de sencillo desmolde. Para ello, se plantearon los objetivos específicos: a) analizar el interés y uso de mobiliarios utilizados en espacios públicos; b) evaluar el mercado nacional y provincial que comercializan prefabricados para el destino planteado; c) plantear un esquema de trabajo y fichas para realizar el relevamiento de mobiliarios en espacios públicos de La Plata. Contemplar forma, textura y estimación del tipo de molde utilizado; d) determinar ventajas y desventajas de la utilización de mezclas cementíceas en mobiliario urbano. En esta primera parte se muestran los avances del conocimiento sobre a) los tipos de mobiliarios urbanos más utilizados considerando su función, tipo de mezcla (mortero u hormigón a partir de ahora mezclas cementíceas) y material del molde; b) el diagrama de las encuestas a realizar para definir el mercado del hormigón elaborado y el mercado de prefabricados de este tipo y c) el modelo de ficha relevamiento a realizar (Ing. Arq. Salamone, modificado). La expresión “mezclas cementíceas” se refiere a que se utiliza cemento Portland en morteros u hormigones elegidos para fabricar los muebles; elección que depende del tipo y de la forma del molde, tema que se va a explicar en apartados siguientes.

En Provincia Buenos Aires existen extensas obras públicas que utilizaron mezclas cementíceas en mobiliarios urbanos emplazados en espacios públicos, dan cuenta de estas aplicaciones la Obra del Ing. Arq. Francisco Salamone que en la década del cuarenta culminará su impronta. [2- 3]

La tesis está vinculada a un proyecto basado en la confección de mobiliarios urbanos con hormigones autocompactantes (HAC). Los mismos son considerados especiales o nuevos y pueden adquirir además otras características especiales relacionados con lo estético (hormigón arquitectónico), con liviandad (hormigón ligero), con elevada resistencia y durable (hormigón de alta performance), entre otros. [4]

2. Características del HAC

En lo que respecta a la realización de mobiliarios urbanos, como se dijo anteriormente, los materiales utilizados son varios; entre ellos se destacan las mezclas cementíceas, específicamente los hormigones autocompactantes. Esta mezcla presenta propiedades únicas que lo convierte en uno de los más ideales para construir MUs.

Los hormigones autocompactantes son un tipo de hormigones especiales y estructurales, que como consecuencia del empleo de aditivos superplastificantes y de una dosificación adecuada, son capaces de fluir en el interior del encofrado o molde, pasando entre las barras de armadura y consolidándose bajo la acción de su peso propio, sin ayuda de medios de compactación y sin que se produzca segregación de sus componentes. [4]

El HAC tiene ventajas que lo hace un hormigón durable, versátil y resistente, tales características son muy importantes a la hora de elegir el tipo de hormigón a utilizar. Esta serie de ventajas se basan en un hormigonado fácil y rápido, una mayor resistencia a la compresión con igual contenido de cemento mejorado por el uso de adiciones, un excelente acabado superficial por su capacidad de adaptación y perfecto llenado del encofrado, una gran adaptabilidad ya que puede aplicarse en formas complejas, una buena combinación con fibras y pigmentos, una menor contaminación acústica en la obra por su forma de colocación, y una mayor durabilidad e impermeabilidad por el mejor refinamiento de poros.

La maleabilidad y la versatilidad, indican que puede emplearse en moldes con diversos diseños, desde los más simples con aristas vivas, hasta los más complejos con aristas curvadas. Finalmente, con respecto al peso, el hormigón es utilizado para construir los mobiliarios urbanos porque son difíciles de mover o dañar.

2. 1. Dosificación del HAC

El HAC tiene como característica principal la fluidez que se obtiene con el uso de superfluidificantes. Su dosificación tiene un mayor contenido de finos considerado estos: el cemento, las adiciones minerales y partículas muy pequeñas de agregado fino. La función, debidamente dosificados, es la de conformar una mezcla que confiera moderada viscosidad. En efecto, su dosificación en forma generalizada está basada en algunas de los siguientes parámetros de diseño [5]:

- Agregado grueso de tamaño máximo menor a 20 mm
- Contenido mínimo de cemento: 330 kg/m³.
- Incorporación de todo tipo de adiciones minerales.
- Agregados de granulometría continua, preferentemente de forma esférica.
- Relación agua/finos en volumen entre 0,9 y 1,05.

- Incorporación de aditivos superfluidificantes (en proporción al 3% del contenido de cemento) y aditivos moderadores de la viscosidad.

3. Tipo de mezclas según su composición

Existen tres tipos de mezclas cementíceas, la pasta, el mortero y el hormigón que suelen ser utilizados en la industria de la construcción.

La pasta se compone principalmente por cemento Portland y agua y muchas veces es necesario agregar alguna adición mineral o aditivo que le otorguen a la mezcla mejoras de la trabajabilidad y la cohesión.

Los morteros se forman cuando a la pasta se le incorpora agregado fino. Esta mezcla se compone entonces por los mencionados anteriormente para pasta y agregado fino (arena).

Los hormigones son mezclas formadas por mortero y partículas minerales de tamaño más grande llamados, agregados gruesos relativamente inertes. Finalmente, los materiales componentes de los hormigones son el agua, el ligante (cemento Portland generalmente), aditivos, adiciones minerales, agregados finos (arenas) y agregados gruesos. [4]

3. 1. Usos de las pastas

Las pastas tienen como principal función el uso estético, debido a que es la mezcla utilizada para realizar terminaciones y acabados finales, logrando un “maquillaje” ideal que homogeniza el color y rellena imperfecciones.

Por otra parte, la pasta y su composición son fundamentales para definir un HAC de moderadamente viscoso, cohesivo y fluido. Estas características permiten lograr la homogeneidad ideal para ser moldeado en distintas matrices, como también para adaptarse a muchas formas siendo muy versátiles. [6]

3. 2. Usos de los morteros

Los morteros se usan en la construcción para rellenar los espacios entre los ladrillos, para realizar el aplanado de muros, y también para revestir las paredes, entre otras.

En cuanto a su uso estético, los morteros suelen ser mezclas que utilizadas para acabados finales en macetas y baldosas [3] y por su composición, su cohesión y su buena trabajabilidad son consideradas las mezclas ideales para ser empleadas en la fabricación de mobiliarios urbanos. Por ejemplo, esto es posible porque logran cumplir las propiedades del HAC como la versatilidad, maleabilidad y durabilidad, facilitando que se adapten a las diversas formas de los moldes y que resistan a la exposición a la intemperie y a la acción de los agentes físicos y químicos. [7]

3. 3. Usos de los hormigones

Los hormigones cumplen con las funciones principales de resistir los esfuerzos mecánicos y durar en los distintos ambientes.

Son utilizados en cualquier estructura resistente, no solo para la construcción de los elementos estructurales de los edificios, también en pavimentos, e inclusive presas de grandes dimensiones.

Existe una gran variedad de tipos de hormigones que presentan características similares, pero son empleados en la construcción de diversas obras. Esto ocurre dado que a la

mezcla cementícea se le agregan aditivos y adiciones minerales que generan una modificación de alguna propiedad de este, ya sea en estado fresco o en estado endurecido. Los distintos hormigones existentes se pueden reunir en dos grandes grupos:

-Hormigón convencional: este tipo de hormigón es una mezcla homogénea que se compone por una pasta (cemento y agua), agregados finos y gruesos.

-Hormigón especial: son diferentes hormigones con características especiales también se los llama nuevos hormigones. Se les agrega otros materiales y cambian las proporciones para lograr tales características. Dentro del grupo de hormigones especiales se encuentran:

-Hormigón arquitectónico: es una mezcla que cumple con las necesidades relacionadas a aspecto estético en la superficie (color y textura). El color gris del hormigón convencional puede modificarse usando cemento blanco y pigmentos (cantidades menores al 10% en peso del cemento). La textura puede generarse por el tipo de molde o encofrado a utilizar, y por algunos tratamientos que logran dejar a la vista los agregados finos y gruesos.

-Hormigón ligero: se elaboran modificando la pasta y agregando aditivos que generan una “mouse de cemento” y, por ende, logran aliviar el peso, y/o incorporando a la mezcla agregados de baja intensidad (como el polietileno expandido, la vermiculita, la puzolana) para aligerar el peso.

-Hormigón de alta resistencia: es una mezcla que se debe diseñar con una baja relación agua/cemento, y se le deben agregar aditivos reductores de agua y adiciones minerales activas.

-Hormigón de alta performance: es un tipo de hormigón que presenta mayor durabilidad, se emplea el mismo diseño de los hormigones de alta resistencia.

-Hormigón reforzado con fibras: las fibras pueden ser de acero, de polipropileno o nylon; éstas logran aumentar la tenacidad del hormigón logrando que no se rompa rápidamente, y, por lo tanto, posibilitan aumentar la capacidad de carga post-pico; también, las fibras previenen las fisuraciones.

-Hormigón autocompactante (HAC): ya definido y evaluado anteriormente. Las características de fluir sin inconvenientes se eligen para ser empleado en la construcción de mobiliarios urbanos que posean formas no convencionales y también, se pueden emplear hormigones de otra propiedad, como la estética de los hormigones arquitectónicos.

En lo que respecta a los tipos de HAC, existen dos variedades; por un lado, están los HAC prefabricados que ofrecen una gran resistencia y se destacan por su versatilidad y gran maleabilidad de la mezcla al llenar los diferentes moldes y encofrados; y, por otro lado, se encuentra el HAC elaborado que no es tan utilizado como el prefabricado y su fabricación es más difícil. [4]

4. Tipos de materiales para moldes y su preparación

Para realizar cualquier tipo de mobiliario urbano se requiere utilizar moldes o encofrados que son llenados con mezcla cementícea. Éstos presentan diferentes formas, desde las más simples (estructuras prismáticas con aristas vivas) hasta las más complejas (estructuras con aristas curvas).

Los encofrados son aquellos elementos que se construyen para dar forma a los distintos elementos mientras la mezcla fragua. Entre las características principales que deben

presentar los encofrados, se encuentran la resistencia a la presión y peso del material para impedir deformaciones y rupturas, la precisión de ejecución para asegurar la óptima forma final de la pieza, la estanqueidad y la impermeabilidad para que no pierdan la mezcla ni absorban o pierdan humedad, y, la inmovilidad y la rigidez, para no someter al hormigón armado a cargas que no pueda soportar mientras no haya endurecido. [8]

Los moldes pueden ser clasificados de forma general en moldes absorbentes y moldes no absorbentes según el nivel de permeabilidad que tienen cuando interactúan con la mezcla. [4-9]

4. 1. Moldes absorbentes

Estos tipos de moldes no son impermeables, lo que hace que haya flujo de agua y se formen canalículas o canales en la mezcla. De esta manera, las superficies de las estructuras que se realicen con moldes absorbentes serán texturizadas con baja presencia de burbujas, y adoptarán el mismo patrón estético que tenga el molde. [4] En este caso, los moldes absorbentes son de madera o de arena de fundición.

4. 1. 1. Moldes de madera

Los moldes de madera tienen una vida útil de 3 a 4 usos debido a que la madera es un material que se hidrata fácilmente y puede deformarse luego de varios usos.

Haciendo referencia a la estética, la madera genera una superficie vetada en la mezcla al endurecerse. Esto ocurre porque la mezcla cementícea se adhiere a la superficie del molde y se “estampa”, por lo que se requiere el uso fundamental de un agente desmoldante. Este tipo de moldes es utilizado generalmente en encofrados para la construcción ya que puede formar volúmenes rígidos o estructuras monolíticas (estructuras prismáticas). [4]

4. 1. 2. Moldes de arena de fundición

Otro material con el que se construyen moldes absorbentes es la arena de fundición. Este material logra producir moldes rápidamente, pero tiene una baja resistencia al impacto y se desgrana debido al desgaste por fricción; por ende, presenta una vida útil extremadamente baja (solo 1 uso).

Estéticamente genera una superficie rugosa y homogénea, dado que el material se adhiere mucho a la superficie incluso teniendo un agente desmoldante. La arena de fundición permite formas de moldes muy variadas logrando estructuras con aristas curvas y formas muy versátiles. [4]

4. 2. Moldes no absorbentes

Los moldes no absorbentes suelen ser de acero, plástico, caucho de silicona o vidrio. Este tipo de moldes al ser impermeables, no hacen fluir el agua, por lo tanto, no ocurre el arrastre de partículas que llenen las burbujas y, de esta forma, el aire propio que posee la mezcla queda atrapado. Por esta razón, las superficies presentan mayor cantidad de burbujas, pero no son texturizadas, sino que son lisas, y muchas veces adoptan el brillo que tiene el molde. [4-9-10]

4. 2. 1. Moldes de acero

El acero tiene la propiedad de armar moldes con una buena rigidez, los cuales poseen una muy elevada vida útil,

siempre y cuando se le realicen los mantenimientos adecuados.

Con respecto a la estética, este tipo de material logra generar superficies lisas regulares sin gran brillo. Esto ocurre porque los moldes son fáciles de desmoldar y, en consecuencia, la mezcla no se adhiere a las paredes de estos, siempre que se emplee un agente desmoldante.

Este material es el indicado para morfologías varias; se pueden realizar matrices con aristas vivas y curvas, pero generalmente se construyen estructuras prismáticas con simples curvaturas. Los moldes realizados con este material son empleados como encofrados para la construcción, y también se los utiliza para la producción masiva de piezas seriadas.

4. 2. 2. Moldes de caucho de silicona

Otro material que se lo clasifica en el grupo de los moldes no absorbentes es el caucho de silicona. Con éste se obtienen morfologías variadas con posibilidad de doble curvatura. Es un tipo de material que tiene una extremada flexibilidad, el cual en piezas grandes requiere de contramoldes.

El caucho de silicona es un componente con una vida útil elevada para una producción en serie a gran escala, que, en cuanto a la estética puede formar y exhibir un gran nivel de detalles, dando la posibilidad de formas como ornamentaciones y texturas variadas.

Es un material que presenta un excelente desmolde y se lo utiliza principalmente para el copiado y la reproducción de texturas, más precisamente en esculturas y obras de arte.

Conocidos los diferentes tipos de materiales con los cuales se pueden realizar los moldes y sus características, es necesario ahora tener en cuenta los requisitos para llevar a cabo la elección de estos.

El primer requisito es la cantidad de piezas que se van a producir, es decir, la vida útil del molde; en segundo lugar, se debe tener en cuenta la morfología de la pieza, dependiendo de ella se va a elegir el molde adecuado; también es condición necesaria la estética que se quiere lograr con el tipo de molde; y, por último, el costo productivo (relación costo/beneficio) que se requiere para construirlos, desde el material hasta la elaboración propia del molde.

Según los requisitos que se determinen para la producción de los moldes, se va a proseguir a la elección del material con el cual se elaborarán. Para el caso de los MU de mezclas cementíceas, se utilizan principalmente los moldes de madera y de acero, pero no se dejan de lado los demás materiales puesto que, hay empresas que se dedican y se especializan en construir mobiliarios que presentan en su superficie muchos detalles, y para ello se deben emplear moldes de caucho para copiar de manera idéntica lo que se necesite.

5. Tipo de superficies

El hormigón puede presentar en estado endurecido diferentes terminaciones superficiales; esto se debe a la utilización de encofrados de diversos materiales o a la realización de algún tratamiento posterior. Las superficies pueden ser lisas como también texturizadas. [7-9-10]

5. 1. Superficies lisas

Las superficies lisas se producen cuando se utilizan, para realizar los encofrados, materiales no absorbentes. Al emplearlos, la mezcla cementícea no se adhiere a la superficie del molde y, por lo tanto, no copia su textura, sino que se desprende fácil y su terminación superficial es del tipo lisa o pulida, otorgando así uniformidad de color y claridad.

Igualmente presentan en sus superficies otros defectos como el aumento en el número y tamaño de las burbujas debido a que los moldes son impermeables o de baja permeabilidad. [7-9-10]

5. 2. Superficies rugosas

Éstas se obtienen utilizando moldes absorbentes o removiendo las superficies para generar terminaciones con agregados expuestos.

En el primer caso, se obtienen superficies texturizadas que copian la superficie del material con la que se armó el encofrado, esto sucede porque la mezcla cementícea se adhiere a las paredes del mismo. También se puede revestir el encofrado con diversos patrones para generar intencionalmente texturas en los MUs.

En el segundo caso, para obtener superficies rugosas con agregados expuestos, se utilizan varios métodos mecánicos, como el método face up o la técnica sand-bedding donde se trata de remover la pasta para dejar a la vista los agregados que conforman el hormigón. [7-8]

6. Agentes desmoldantes

Para poder evitar defectos de desmolde, existen agentes desmoldantes específicos para cada tipo de molde. Estos agentes pueden o no contener disolventes en su composición química y también pueden estar hechos a base de emulsiones acuosas. Cualquiera sea su composición, los agentes desmoldantes poseen un efecto desencofrante físico y químico que se da debido a los aditivos y a la componente oleaginosa que contienen. Los ácidos grasos son aquellos que activan la separación entre el MU y el encofrado.

Otro tipo de emulsión, en este caso vegetal, es utilizada también para mejorar la uniformidad del color y evitar rechupes. [8]

7. Mercado y MUs más comunes

La siguiente sección muestra parte del plan indicado en los objetivos y algunos de los avances experimentales. Como se mencionó, se formularon las encuestas para definir el mercado del hormigón elaborado y el mercado de prefabricados de MUs. A su vez, se modificó la propuesta de relevamiento planteada en la bibliografía que registraron las obras del Ing. Arq. Salamone, principalmente cuando inventariaron y relevaron los bancos de sus plazas.

Ambas encuestas tienen tres bloques en común: el primero referido a los datos de la empresa (nombre, localidad, alcance local, provincial y/o nacional); el segundo vinculado al nivel de producción expresados en metro cúbicos elaborados en una semana laboral y el tercero a la aplicación del hormigón discriminando a) edificios de altura, b) viviendas familiares, c) viviendas industrializadas, d) pavimentos y, el objeto de estudio, e) mobiliarios urbanos

(bancos, mesas y adornos). A partir del cuarto bloque las encuestas se diferencian puesto que a la empresa elaboradora de hormigón se le pregunta si podría distribuir los porcentajes de producción según los usos mencionados en el bloque tres; el quinto bloque evalúa el desinterés de usar el hormigón en mobiliarios urbanos mostrando alternativas para elegir; el sexto bloque indaga si en alguna instancia de la producción se les pidió mortero en lugar de hormigón; y finalmente el séptimo bloque se le sugiere manifestar alguna opinión u aporte que considere importante.

En cambio, para la empresa de prefabricados el cuarto bloque es igual al quinto de la encuesta anterior, el quinto bloque evalúa el tipo de material de los moldes que prefiere utilizar la empresa (metálicos, de madera, silicona u otros); en un sexto bloque se le pregunta con qué tipo de agente desmoldante son tratados los moldes y si la empresa utiliza agentes desmoldantes que complete las marcas que prefiere; el séptimo bloque pregunta que tipo de mezcla emplea para realizar los mobiliarios; en el octavo bloque pregunta si encuentra defectos en los productos al desmoldarlos y cuales son; y por último, en el noveno bloque se le pide realizar un comentario o aporte que no se consideró en los bloques anteriores.

En primer lugar, se enviaron encuestas a empresas de hormigón elaborado y así definir el mercado a nivel local y provincial. Las empresas consultadas faltan recibir las respuestas de dos de éstas.

Por otro lado, se enviaron las encuestas a las empresas de prefabricados de MUs. En este caso, se obtuvo una respuesta y se logró confeccionar un diagnóstico con los resultados. Dicho diagnóstico indica que la empresa tiene alcance local, que su nivel de producción de mezclas cementíceas semanal es de 50 m³, que utiliza mortero y hormigón para elaborar mobiliario urbano. Además, indicó que elige moldes metálicos para realizar los encofrados y que dichos moldes son tratados con agentes desmoldantes comercializados, específicamente con BASF.

Por otro lado, se realizaron las fichas de relevamiento con los tipos de bancos que hay en las plazas y parques de la ciudad de La Plata. En las fichas se colocan fotos de los mobiliarios y se releva su estado actual, además se hace una breve descripción de la ubicación de la plaza o parque analizado. En las imágenes se pueden ver los tipos de bancos más comunes en la ciudad y su estado actual. La Figura 1 muestra los bancos designados como tipo 1 y tipo 2, mientras que la Figura 2 esquematiza los designados como tipo 3 y tipo 4.



Figura 1. Banco Tipo 1 y Tipo 2.

El banco tipo 1 se encuentra en Plaza Belgrano y claramente se distingue que es el original y fabricado de hormigón armado, muy similar al banco Tipo 2 pero de un espesor menor.

El banco tipo 3, claramente indica una intervención moderna en la misma plaza lo que supone también fue fabricado de hormigón y la elección de un formato más robusto que los originales.

El banco tipo 4 es un modelo emplazado en Plaza Moreno, la rotura alerta que se utilizaron dos tipos de mezclas, hormigón en el interior, y un mortero blanquecino en la superficie. Esta técnica es similar a la utilizada por el Ing. Arq. Salamone. [3]

En algunos casos se observaron bancos de madera en muy mal estado y éstos como los de hormigón fueron pintados con un recubrimiento de color verde, probablemente para su mantenimiento y protección.



Figura 2. Banco Tipo 3 y Tipo 4.

8. Conclusiones

La tesis presentó un plan para analizar el interés de usar mobiliario urbano en espacios públicos y su relación con los fabricantes de hormigón elaborado y prefabricados.

El nivel de avance alcanzado en cuanto al relevamiento mobiliario demostró que actualmente se encuentran en la mayoría de los espacios públicos, principalmente en plazas. Éstos presentan gran variedad de formas definidas según la época y el grado de deterioro es avanzado. No obstante, cumplen con la función de proporcionar comodidad y confort al utilizarlos.

El plan presentado y los primeros resultados abordados indicaron que las mezclas cementíceas elegidas para fabricar mobiliarios urbanos son las preferidas; tanto mortero como hormigón incentivan la aplicación.

Agradecimientos

A las empresas que colaboraron en las encuestas.

A mi tutora Anahí López.

Referencias

[1] <https://www.nekomexico.com/post/2016/11/18/-qu%C3%A9-es-mobiliario-urbano>

[2] R. Gutiérrez, R. Longoni, J. Molteni, A. Nicolini, A. Novacovsky, F. Paris Benito, J. Ramos, S. Roma, M. Torres Cano, G. Viñales, G. Zuppa *Francisco Salamone en la Provincia de Buenos Aires. Reconocimiento Patrimonial de sus obras*. A. Novacovsky, F. Paris Benito, S. Roma (Eds), Argentina (2001)

[3] LP. Traversa, V. Rosato, F. Iloro, *La obra del Ing. Arq. Francisco Salamone en la provincia de Buenos Aires (1936-1940)*. Anales LEMIT. Serie III, Año 3, 9. (2017).

[4] Módulo 5: Diseño, Moldes y Mezclas – A. López. Capacitación Srta. Florencia Ferreyra (LEMAC/UTN-FRLP y Centro Asociado CICPBA). Archivo en pdf.

[5] EFNARC, 2002. “Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete”. EFNARC (European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures). www.efnarc.org.

[6] <https://www.construmaster.com.mx/servicios-residenciales/acabados/pastas/#:~:text=Pastas%20En%20la%20construcci%C3%B3n%20cuando,Recubrir%20irregularidades>.

[7] <https://www.cemix.com/para-que-sirve-el-mortero-en-construccion/>

[8] <https://es.slideshare.net/tecnicoenconstruccion/estructuras-de-hormign-armado#:~:text=Los%20Moldajes%20o%20Encofrados%20son,facilidad%20de%20trabajo%20en%20Obra>.

[9] S. Mindess, J. Franis Young, D. Darwin, *Cap 20 Concretes for Special Applications*, en *Concrete*. Pearson

Education (ed.), Inc. Upper Saddle River, EEUU. 2nd-ed (2003)

[10] A. López, JM. Tobes, G. Giaccio, R. Zerbino 2008. Evaluación de la calidad superficial del hormigón autocompactante. *Ciencia y Tecnología del Hormigón*, Editorial LEMIT, **15** (2008), 33-50.

CARACTERIZACIÓN DE LOS ASFALTOS PARA USO VIAL EN ARGENTINA

Becarias: Agustina Gelsi¹; gelsiagus@gmail.com;
Tatiana M. Obregón Hug²; taatiaanaobregon@gmail.com



Director: Oscar R. Rebollo³; orebollo@frlp.utn.edu.ar

^{1,2,3} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y
124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina

Área: Tecnología de los Pavimentos Flexibles.

Resumen

Este trabajo de investigación reúne las características principales exigidas a los asfaltos para uso vial en Argentina. A lo largo del tiempo las metodologías para clasificar los asfaltos fueron variando, por lo cual se especifican en esta redacción, los ensayos requeridos para cada una siguiendo un orden cronológico. En cuanto a los asfaltos convencionales, se expresan las normas establecidas para la clasificación más antigua por penetración y la clasificación actual por viscosidad. Respecto a los asfaltos modificados, se exponen las normas establecidas para la clasificación según su uso frecuente en nuestro país en el caso de modificados con polímeros, y la clasificación Superpave que se utiliza actualmente en el extranjero.

Palabras clave: asfalto, polímero, caucho, asfaltos modificados, normas técnicas.

1. OBJETIVO

Exponer la caracterización y clasificación de los asfaltos para uso vial convencionales y modificados a través del tiempo junto con el avance de la tecnología y explicar los ensayos requeridos para ello.

2.- ASFALTOS PARA USO VIAL.

2.1.- ASFALTO.

El asfalto es un aglomerante que se compone de un 99% de betunes y presenta una coloración marrón oscura.

Los betunes son largas cadenas de hidrocarburos que se obtienen de forma natural o procesando el petróleo.

2.2.- OBTENCIÓN.

La principal fuente de asfalto es el petróleo y su fabricación es, en esencia, la destilación completa del mismo.

El asfalto puede ser residual, de destilación directa, que se compone de hidrocarburos no volátiles en la materia prima, junto con materiales similares producidos por la alteración térmica durante las secuencias de destilación, o pueden ser producidos por aire soplado residual.

En el proceso de destilación, el petróleo es extraído del pozo y luego es remitido como crudo a las destilerías, donde se lo procesa y se extraen sus principales derivados. Previo al ingreso a la torre, el petróleo crudo se somete a un proceso de precalentado en hornos que queman gas natural. Los gases que salen de la torre se reutilizan en el precalentamiento del crudo, antes de entrar al horno. El crudo puede ser aprovechado para condensar el gas que sale por la parte superior de la torre y para enfriar el resto de las corrientes de salida. En este trayecto el crudo se precalienta y está listo para entrar al horno para posteriormente ingresar a la torre de destilación primaria y tren de calentamiento de

crudo. Dentro de la torre existen dos corrientes que fluyen en direcciones opuestas. Hacia arriba se ubica la fase gaseosa, impulsada por el rehervidor de la parte inferior. Hacia abajo se posiciona la fase líquida, alimentada por el condensador de la parte superior.

En cada plato de la torre el gas y el líquido entran en contacto íntimo. El resultado es que los compuestos más volátiles y ligeros pasan a la fase gaseosa, con lo que continúan su ascenso hacia el plato superior, mientras que los menos volátiles se condensan como líquidos y acompañan esta fase hacia el plato. En la parte superior se tiene la temperatura más baja, donde se encuentran en equilibrio los componentes más ligeros (y de menor punto de ebullición). Por el contrario, en la parte inferior la temperatura es mucho más alta y lo es también la proporción de los componentes pesados y menos volátiles. Como se colocan diversas salidas laterales en la torre, el petróleo crudo logra separarse en varias fracciones, cada una con un intervalo diferente de temperaturas de ebullición e hidrocarburos de diferente número de carbonos en su cadena. Cada una de las corrientes que abandonan la torre primaria de destilación recibe tratamientos posteriores en la propia refinería o en plantas externas siendo el asfalto el último compuesto aprovechable del petróleo.

2.3.- COMPOSICIÓN.

Los hidrocarburos presentes en el asfalto se diferencian según su peso molecular en asfaltenos y maltenos; y forman una estructura coloidal dispersa donde las moléculas de asfaltenos se encuentran rodeadas de las moléculas de maltenos, con una transición ocupada por los aceites.

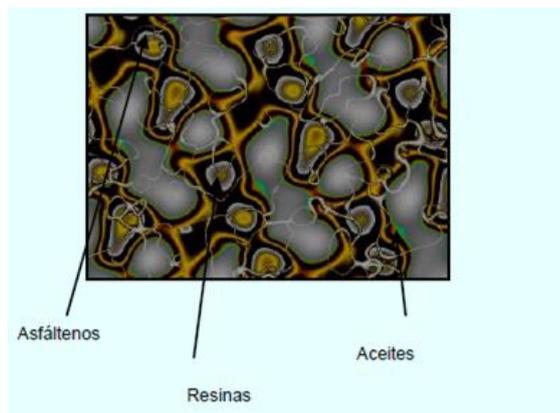


Figura 1 - Estructura molecular

Los asfáltenos son los hidrocarburos más pesados. Constituyen la parte soluble del asfalto y son un cuerpo negro, frágil. Ocupan entre un 5% y un 25% del asfalto dependiendo del crudo y del proceso de obtención siendo los que influyen en las características adhesivas y aglomerantes del asfalto. Proporcionan dureza y su presencia es fundamental en las propiedades mecánicas.

Los máltenos, son hidrocarburos más livianos, constituyen la fracción insoluble en heptano y son de aspecto aceitoso. Ocupan entre un 40 y 60% del ligante. Dan la consistencia necesaria para hacerlos trabajables. Son líquidos poco viscosos, de color claro, no adherentes y muy estables. Permiten el desplazamiento entre componentes de la fase dispersa.

La estructura coloidal está relacionada con las propiedades reológicas de los betunes y permite distinguir a los asfaltos de dos maneras:

Asfaltos tipo sol: aquellos que presentan un comportamiento newtoniano, poseen suficiente contenido de maltenos.

Asfaltos tipo gel: aquellos que presentan un comportamiento visco-elástico, poseen escaso contenido de maltenos.

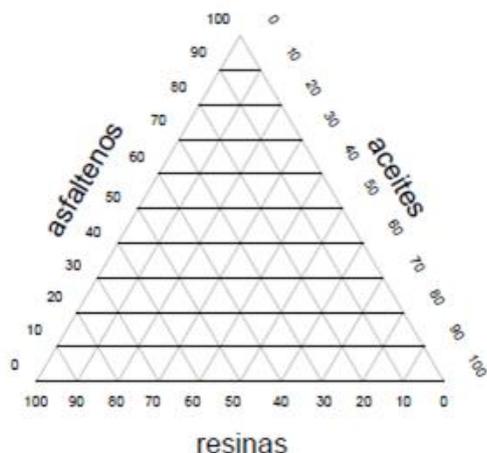


Figura 2 - Diagrama triangular para el análisis de componentes de un betún

En la figura 2 se observa en la parte derecha del diagrama los asfaltos de tendencia newtoniana, mientras que los que aparecen en el lado izquierdo son de carácter visco-elástico en función del contenido de aceites y resinas.

2.4.- ASFALTOS CONVENCIONALES.

Según la norma IRAM 6501/1955 “Nomenclatura de productos de petróleo” se define al Asfalto de Petróleo como una sustancia sólida o semisólida, de características adhesivas a temperatura conveniente, obtenido como residuo de la destilación conservativa o destructiva de petróleos de base asfáltica o mixta, y que se adapta por tratamientos apropiados a los usos especiales a que se destine

2.4.1.- CLASIFICACIÓN DE LOS ASFALTOS PARA USO VIAL POR PENETRACIÓN (IRAM-IAPG A 6604).

Esta clasificación fue la más utilizada previa a la clasificación por viscosidad, la cual actualmente está vigente.

El principio fundamental es clasificar el asfalto de acuerdo con los resultados del ensayo de penetración a 25 °C, lo cual se traduce en su grado de dureza o consistencia. Se debe verificar el cumplimiento de los demás parámetros especificados.

2.4.1.1.- CLASIFICACIÓN - REQUISITOS.

Características	Unidad	Norma IRAM	ASFASOL A		BITALCO	
			Min.	Max.	Min.	Max.
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s	dmm	6576	150	200	70	100
Índice de Penetración Pfeiffer		6604	-1,5	0,5	-1,5	0,5
Ductilidad a 25 °C, 5 cm / min	cm	6579	100	----	100	----
Densidad a 25 °C / 25 °C		6586	0,98	----	0,99	----
Pto. de Inflamación, V.A. Cléveand	°C	6555	230	----	230	----
Solubilidad en Tricloroetileno	% p	6604	99	----	99	----
Ensayo de Oliensis		6594	Negativa		Negativa	
Ensayos sobre residuo de película delgada (RTFOT)		6839				
Pérdidas por Calentamiento	%	----	----	0,8	----	0,8
Penetración Retenida a 25 °C	% p.o.	6576	40	----	50	----
Ductilidad a 25 °C, 5 cm / min	cm	6579	100	----	75	----

Características	Unidad	Norma IRAM	ASFASOL F		ASFASOL G	
			Min.	Max.	Min.	Max.
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s	dmm	6576	50	60	40	50
Índice de Penetración Pfeiffer		6604	-1,5	0,5	-1,5	0,5
Ductilidad a 25 °C, 5 cm / min	cm	6579	100	----	100	----
Densidad a 25 °C / 25 °C		6586	0,99	----	0,99	----
Pto. de Inflamación, V.A. Cléveand	°C	6555	230	----	230	----
Solubilidad en Tricloroetileno	% p	6604	99	----	99	----
Ensayo de Oliensis		6594	Negativa		Negativa	
Ensayos sobre residuo de película delgada (RTFOT)		6839				
Pérdidas por Calentamiento	%	----	----	0,8	--	0,8
Penetración Retenida a 25 °C	% p.o.	6576	50	----	50	----
Ductilidad a 25 °C, 5 cm / min	cm	6579	50	----	50	----

2.4.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS ASFALTOS PARA USO VIAL POR VISCOSIDAD (IRAM-IAPG A 6835:1998)

El principio fundamental de la caracterización por grado de viscosidad es determinar la viscosidad absoluta a 60 °C y asignar como resultado o consistencia obtenida el grado CA correspondiente, para luego verificar los demás requisitos para este grado CA en el resto de ensayos especificados. La clasificación por viscosidad es la que está vigente en nuestro país.

2.4.1.2.- NORMAS IRAM Y ENSAYOS UTILIZADOS PARA ESTA CLASIFICACIÓN.

IRAM 115:1959 - Método de anillo y esfera para la determinación del punto de ablandamiento. (Actualmente está siendo revisada como IRAM 6841)

Objetivo

Con este ensayo se desea conocer la consistencia de los asfaltos a través del punto de ablandamiento de los mismos. Se considera como punto de ablandamiento la temperatura a la cual el asfalto se hace lo suficientemente blando para permitir el paso de una esfera de acero.
Preparación de las muestras

Para preparar las muestras se eligen asfaltos sin tomar partes de la capa superficial y se lo hace pasar a través de un tamiz IRAM 300 μm .

Se toma una cantidad que resulte el doble de la necesaria para llenar los dos anillos y se funde calentándose cuidando que no se incorporen burbujas de aire a la masa.

Luego se calientan los anillos de bronce a una temperatura próxima a la de la muestra y se vierte la misma en los anillos. Se los deja enfriar unos minutos y se enrasan con una espátula ligeramente calentada.

Procedimiento

Para ejecutar este ensayo se llena un vaso de vidrio con agua destilada al cual se le incorpora un termómetro y un soporte donde se apoyarán los anillos. Dicho soporte sostiene los anillos y contiene debajo (a 25 mm) una chapa de bronce.

Luego se ubican los anillos con la muestra en el recipiente, se introduce una bolilla de acero en el centro de los mismos y se aplica calor de modo que la temperatura aumente 5°C por minuto.

Se determina para cada esfera, la temperatura correspondiente al instante en que el material que impregna a la esfera toca el soporte. Dicha temperatura se considera el Punto de Ablandamiento del asfalto.

Se desechará toda determinación en la cual la velocidad de aumento de temperatura sea distinta a la estipulada.

IRAM 6576:1975 - Betunes. Método de determinación de la penetración, utilizando un penetrómetro de aguja.

Objetivo.

Con este ensayo se desea conocer la consistencia de los asfaltos.

A mayor valor de la penetración, más blanda es la consistencia.

Preparación de las muestras.

Primero se procede a preparar la muestra calentándose a estufa, aproximadamente 30 minutos, homogeneizando la mezcla con una varilla.

Se preparan 4 muestras, de las cuales se utilizan para los ensayos y las restantes se conservan en caso de que deba repetirse el ensayo.

Luego se cubren y se dejan enfriar para realizar posteriormente el ensayo.

Procedimiento.

Para ejecutar el ensayo se selecciona una aguja teniendo en cuenta la penetración esperada, la cual se moja con un solvente adecuado y se coloca en el penetrómetro.

Se carga el penetrómetro y se ajusta la posición de la misma, bajándola con cuidado hasta tocar la superficie de la muestra.

Se lee la indicación de la aguja o bien se lleva a cero. Simultáneamente se comienza a tomar el tiempo y se libera la aguja del sistema portante por el tiempo especificado.

Se efectúan 3 determinaciones sobre cada muestra en puntos situados a 10 mm del borde del recipiente con una separación de 10 mm entre sí.

Luego se realiza un promedio de las 3 determinaciones siempre que la diferencia entre el valor mayor y menor sea menor o igual que unos valores determinados por tabla.

La profundidad de la penetración se registra en décimas de milímetros

Si la diferencia es mayor se repite el ensayo en las muestras reservadas.

Si no cumple se descartan los valores obtenidos y se realiza un nuevo ensayo.

IRAM 6579:1966 - Método para ductilidad en materiales bituminosos

Objetivo

Con este ensayo se desea conocer la ductilidad del asfalto. Se define ductilidad a la capacidad de deformarse bajo la acción de distintas cargas sin romperse.

Preparación de las muestras

Se utilizan probetas normalizadas. Primero se funde el asfalto a la menor temperatura posible y se vierte en el molde de bronce observando que no queden burbujas de aire incorporadas a la masa.

Luego de media hora, se enrasa con una espátula caliente y se introduce la probeta en un baño de agua a 25°C durante una hora.

Procedimiento

Se retira la probeta del agua y se introduce en el ductilómetro con batea de agua a 25°C. Luego se pone en funcionamiento el motor y se da lugar al estiramiento. Se mide sobre una regla metálica el recorrido efectuado por la aguja indicadora hasta que se produce la rotura del material. Se determina la ductilidad en cm.

IRAM 6585:1966 - Betunes. Método de determinación del contenido de betún soluble en tetracloruro de carbono.

Objetivo

Esta norma establece un método para determinar el grado de solubilidad del material asfáltico en tricloroetileno, el cual puede contener cierta cantidad de material mineral.

Preparación de la muestra

Si la muestra no es fluida, se la calienta a una temperatura conveniente; esta temperatura no debe superar los 180 °C.

Además, el frasco y la muestra en solución se debe colocar en un baño de agua que se mantiene a 40 °C \pm 1 °C durante 1 h, antes de la filtración

Procedimiento

Se colocan el crisol de Gooch y el filtro de fibra de vidrio, o el equipo filtrante elegido, en la estufa a $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 15 min. Luego se los deja enfriar en un desecador, y se determina la masa del conjunto al 1 mg. Esta masa se designa como mA.

Se transfieren 2 g de la muestra a un erlenmeyer de 125 ml, se deja enfriar a temperatura ambiente y se determina la masa al 0,1 mg. Esta masa se denomina mB.

Se agregan 100 ml de tricloroetileno al recipiente en pequeñas porciones con agitación continua, se tapa el frasco y se lo mantiene de esta forma como mínimo 15 min.

Se humedece el material filtrante con una pequeña porción de tricloroetileno y se decanta la solución a través del equipo filtrante.

Cuando la materia insoluble sea apreciable, se la retiene hasta drenar la solución, se limpia el recipiente con una pequeña cantidad de solvente, se lava, se deja secar hasta peso constante y luego se pesa. A esta masa se la denomina mc.

Luego, se calcula el contenido de materia insoluble o el contenido de materia soluble de la muestra, en gramos por cien gramos, aplicando las fórmulas siguientes:

$$W_{INS} = \frac{m_C - m_A}{m_B} \cdot 100$$

$$W_S = \frac{m_B - (m_C - m_A)}{m_B} \cdot 100$$

IRAM 6599:1957 - Extracción de muestras de betunes. Asfaltos de petróleo, emulsiones asfálticas, alquitranes y breas.

Objetivo

Este ensayo consiste en la extracción de muestras, que simbolizan la naturaleza y las condiciones del material, para determinar un promedio del material muestreado o expresar la variación máxima de las características del mismo.

Procedimiento

Se deben muestrear los materiales en el punto de producción y almacenamiento, en caso de no ser posible, deben muestrearse en el lugar de carga inmediatamente antes de la distribución.

El tamaño de las muestras, los recipientes y la metodología de extracción varía con el estado de los materiales que se quieren analizar.

En el caso de los materiales líquidos, el tamaño de las muestras es:

1L muestras para examen, 4L en caso de emulsiones.

4L muestras para envasados.

1L para barriles.

Los recipientes suelen ser latas de boca ancha de tamaños dependientes de la cantidad de muestra, o botellas de materiales plásticos en caso de emulsiones; los mismos deben estar limpios, secos y cerrados herméticamente.

Para muestreos en el lugar de producción se utilizan tres métodos:

Método de la válvula de muestreo.

Método del sacamuestra "robador".

Método del recipiente lastrado.

En el caso de los materiales sólidos, si estos provienen de un lote de producción se debe seleccionar un envase al azar y si no cumple estas condiciones se debe seleccionar aleatoriamente un número de envases equivalente a la raíz cúbica del número total de envases del lote.

Las muestras se deben extraer de un sector ubicado a 75 mm por debajo de la superficie y del costado del envase. Se puede emplear un hacha limpia para materiales duros y espátula rígida y grande si es más blando. El tamaño de cada muestra debe ser como mínimo 0,1 kg si se muestrea más de un envase por lote. Cuando es de producción única, se deben calentar hasta $180 \text{ }^\circ\text{C}$ para fundir todas las muestras del lote y mezclarlas completamente, y extraer una muestra promedio de 4 L del material combinado para ensayar.

Toda operación de extracción de muestra se debe acompañar de su correspondiente informe, firmado por la persona responsable y los agentes de las partes interesadas.

IRAM 6594:1955 - Betunes. Método de ensayo de "Oliensis"

Objetivo

Este ensayo nos permite individualizar los betunes asfálticos que han sufrido un proceso de cracking o sobrecalentamiento durante la elaboración o aplicación, por la observación del tipo de mancha que produce una gota del mismo luego de efectuada una dilución.

Preparación de las muestras

Se toma una cantidad de cemento asfáltico y se calienta a $140 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Luego se toman 2g del producto bituminoso y se la coloca en un frasco Erlenmeyer de 25cm³ de capacidad con tapón. se agregan 10cm³ de solvente (aguarrás) y se coloca el tapón.

Procedimiento

Una vez preparado el frasco se procede a agitar el contenido con rapidez durante 5 segundos. Se deja descansar un minuto y se vuelve a agitar hasta que en el término de 6 a 8 min de repetida esta operación la muestra se encuentre totalmente dispersada. (Si esto no ocurriera se debe calentar el frasco en baño de agua a lenta ebullición)

Luego, se toma una varilla de vidrio que se sumerge en la muestra y se saca una gota que se coloca sobre un papel de filtro a los efectos de observar si el ensayo resulta positivo o negativo.

Si la gota forma una mancha circular o marrón amarillento con un núcleo interior oscuro en el centro, el ensayo debe considerarse positivo, es decir, el cemento asfáltico es heterogéneo.

Si en cambio la gota forma una mancha circular uniforme, el ensayo será negativo, es decir, el cemento asfáltico es homogéneo.

IRAM 6837:2000 - Asfaltos para uso vial. Determinación de la viscosidad mediante un viscosímetro rotacional con cámara termostatazada, de tipo Brookfield Thermosel o de características similares.

Objetivo

Este ensayo se emplea para la determinación de la viscosidad aparente de asfaltos a una temperatura especificada o a distintas temperaturas.

Se denomina Viscosidad Aparente a la relación entre el esfuerzo aplicado y la velocidad de cizallamiento de un líquido newtoniano o no-newtoniano.

Preparación de las muestras

Se utiliza un viscosímetro rotacional con cámara termostatizada, de tipo Brookfield Thermosel.

Primero se enciende el equipo y se realiza el auto cero, conforme a las indicaciones del fabricante.

Luego se funde la muestra, homogeneizándola por agitación evitando la incorporación de burbujas. Se deben evitar el sobrecalentamiento de la muestra y evitar ignición en caso de bajo punto de inflamación.

Se agrega el volumen necesario de asfalto a la cámara y se coloca la cámara cargada dentro del recipiente térmico.

Inmediatamente se introduce el rotor seleccionado en el líquido de la cámara, y se lo ajusta al viscosímetro.

Procedimiento

Se espera hasta obtener la temperatura de ensayo con el rotor seleccionado en la cámara y se mantiene la temperatura de ensayo durante 30 min.

Se fija una determinada velocidad de rotación del motor, se enciende el motor y se realiza la lectura de la viscosidad a los 60 s.

Para obtener la viscosidad (en mili pascal segundos), se multiplica la lectura del viscosímetro por el factor de viscosidad apropiado

Se repite el procedimiento indicado en estos puntos hasta obtener 4 lecturas a 4 velocidades de rotación distintas.

Luego se registra la lectura y la correspondiente velocidad de cizallamiento y se detiene el motor.

IRAM 6839 - Asfaltos para uso vial. Ensayo de calentamiento en la película delgada rotativa – ensayo RTFOT. Efecto del calor y del aire sobre una película de asfalto en movimiento

Objetivo

Reproduce el efecto del aire y del calor sobre una película delgada del ligante asfáltico, simulando el envejecimiento que éste sufre a corto plazo durante los procesos de mezclado y colocación de las mezclas de concreto asfáltico

A la muestra así envejecida, se le determinan la pérdida de masa, la penetración (25° C), la ductilidad (25° C) y la viscosidad a 60° C para medir el endurecimiento anticipado del material durante las operaciones de mezcla y colocación llamado Índice de Durabilidad

IRAM-IAP A 6555:1974 - Productos inflamables. Método de determinación del punto de inflamación y del punto de combustión mediante el aparato Cleveland, vaso abierto.

Objetivo

Este ensayo se emplea para identificar la temperatura máxima a la cual el asfalto puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame.

El punto de inflamación es la temperatura a la cual puede ser calentado con seguridad un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores que libera en presencia de una llama libre.

Esta temperatura está bastante por debajo de la que el material entra en combustión permanente (punto de combustión).

Preparación de las muestras

Se utiliza el vaso abierto Cleveland (coc).

Procedimiento

Se llena el vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, y se calienta con un aumento de temperatura normalizado. Luego se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo estipulados. Cuando se liberan suficientes volátiles como para provocar una inflamación instantánea se considera dicha temperatura como el punto de inflamación.

IRAM-IAP A 6910:1992 - Práctica para determinar correcciones de volumen en base a la temperatura.

2.4.2.- CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD - REQUISITOS.

La clasificación de los asfaltos vigente en Argentina se realiza de acuerdo con la viscosidad, de la siguiente forma:

Clase	Ámbito de viscosidad (dPa s)	
	min.	máx.
CA-5	400	800
CA-10	800	1 600
CA-20	1 600	2 400
CA-30	2 400	3 600
CA-40	3 600	4 800

Característica	Unidad	Clase de asfalto										Método de ensayo
		CA-5		CA-10		CA-20		CA-30		CA-40		
		min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	
Viscosidad a 60 °C ⁽¹⁾	dPa s	400	800	800	1600	1600	2400	2400	3600	3600	4800	IRAM 6836 ó IRAM 6837
Viscosidad a 135 °C ⁽¹⁾	mPa s	175	-	250	-	300	-	350	-	400	-	IRAM 6836 ó IRAM 6837
Índice de Penetración de Pfeiffer ⁽²⁾	-	-1,5	+0,5	-1,5	+0,5	-1,5	+0,5	-1,5	+0,5	-1,5	+0,5	5.1
Ensayo de Oliensis	-	Negativo										IRAM 6594
Solubilidad en tricloroetileno	g/100 g	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-	5.2
Punto de inflam. Cleveland vaso abierto	°C	230	-	230	-	230	-	230	-	230	-	IRAM IAP A 6555
Ensayo sobre el residuo de pérdida por calentamiento – RTFOT												IRAM 6839
Índice de durabilidad ⁽³⁾	-	-	3,0	-	3,0	-	3,0	-	3,0	-	3,0	5.3
Ductilidad del residuo a 25 °C, 5 cm/min	cm	100	-	75	-	50	-	50	-	25	-	IRAM 6579

2.4.3.- ÍNDICE DE INESTABILIDAD COLOIDAL.

Existen varios índices que utilizan únicamente la información de la composición del petróleo crudo para la evaluación del posible riesgo de precipitación de asfaltenos. No obstante, algunos autores indican que dichos índices no son adecuados para este propósito. La razón es que la

precipitación de asfaltenos no solo depende de la composición de los petróleos crudos, sino también de otros factores como las propiedades físico- químicas de la fase dispersa y la fase continua, la temperatura y la presión.

Estas pruebas no siempre son suficientes debido a que la solubilidad de los asfaltenos en la mezcla podría verse afectada por la cantidad y composición de la fracción no asfáltica de los aceites que los constituyen. En algunos casos, las mezclas de petróleo crudo son menos estables que los petróleos que conforman la mezcla debido a la alteración del comportamiento por interacción entre los asfaltenos de petróleo originales.

A continuación, se describirá uno de los índices para determinar la estabilidad del petróleo y sus mezclas.

ÍNDICE DE INESTABILIDAD COLOIDAL (IIC)

En el IIC el petróleo se considera como un sistema coloidal que toma en cuenta las fracciones del análisis SARA. Este índice expresa la estabilidad de los asfaltenos en función de estas fracciones y se define como la relación entre la suma de los asfaltenos y los componentes desfavorables a su estabilidad en el petróleo, es decir, sus floculantes (saturados) y la suma de sus agentes peptizantes (aromáticos y resinas), que constituyen los componentes favorables a la estabilidad de los asfaltenos.

Puede calcularse como:

$$IIC = \frac{(\% \text{Asfaltenos}) + (\% \text{Saturados})}{(\% \text{Resinas}) + (\% \text{Aromáticos})}$$

A menor valor del IIC, mayor es la estabilidad de los asfaltenos en el medio, por lo tanto, la estabilidad determinada es relativa y permite evaluar si un petróleo es más o menos estable en relación con otro.

Asomaning y Watkinson evaluaron la estabilidad de petróleos a partir del análisis SARA determinado por cromatografía líquida y demostraron experimentalmente que:

$IIC \geq 0.9$, los asfaltenos son inestables en el medio.

$0.7 \leq IIC \leq 0.9$, hay incertidumbre sobre la estabilidad.

$IIC < 0.7$, los asfaltenos son estables en el petróleo.

En la siguiente figura se muestra una gráfica que representa las regiones de estabilidad e inestabilidad en función del IIC.

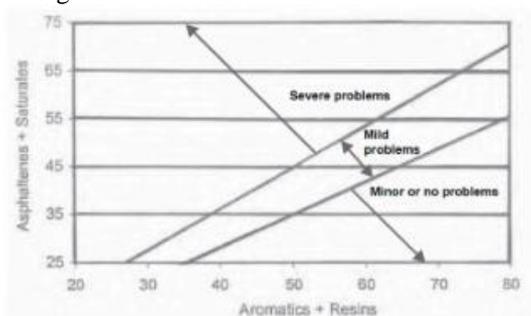


Figura 3.

2.5.- ASFALTOS MODIFICADOS.

Los asfaltos modificados son ligantes, que para mejorar algunas de sus propiedades, se les incorporan productos como polímeros, caucho molido, etc. Estos productos pueden ser disueltos o incorporados en el asfalto ya que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura. Esta modificación favorece sus propiedades físicas y

reológicas, también disminuye su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

2.5.1.- CLASIFICACIÓN ASFALTOS MODIFICADOS.

Se consideran cuatro tipos de asfaltos modificados con polímeros para uso vial, de acuerdo con su uso más frecuente:

Asfalto modificado AM 1

Estos asfaltos son utilizados para carpetas de rodamiento resistentes a la deformación plástica y a la fatiga.

Asfalto modificado AM 2

En esta clasificación se encuentran los asfaltos comúnmente utilizados para capas drenantes.

Asfalto modificado AM 3

Son asfaltos comúnmente utilizados para mezclas en capas delgadas y para mezclas de alta prestación.

Asfalto modificado AM 4

Los que integran esta clasificación son asfaltos utilizados para mezclas arena-asfalto.

2.5.1.1.- REQUISITOS

Requisitos generales

Los asfaltos modificados deben presentar un aspecto homogéneo y estar prácticamente exentos de agua, de modo que no formen espuma cuando se calienten a la temperatura de aplicación recomendada por el fabricante.

Requisitos particulares para cada tipo de asfalto modificado.

Los asfaltos modificados deben cumplir con los requisitos indicados en la tabla 1.

Característica	Unidad	Tipo de asfalto modificado								Método de ensayo
		AM 1		AM 2		AM 3		AM 4		
		min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s)	0.1 mm	20	40	50	80	50	80	120	150	IRAM 6576
Punto de ablandamiento	°C	60	-	60	-	65	-	60	-	IRAM 6841
Punto de ruptura Fraass	°C	-	-5	-	-10	-	-12	-	-15	IRAM 6831
Recuperación elástica por torsión total (a 5 °C)	%	10	-	40	-	70	-	60	-	IRAM 6830
Punto de inflamación	°C	230	-	230	-	230	-	230	-	IRAM IAPG A 6555

Tabla 1. Requisitos particulares de los asfaltos modificados

Otros requisitos

3.1. Requisitos para los asfaltos modificados luego de someterlos al ensayo de estabilidad al almacenamiento.

Estabilidad al Almacenamiento IRAM 6840

Este ensayo se realiza para determinar la estabilidad de asfaltos modificados generalmente con polímeros, los cuales almacenados a temperaturas elevadas pueden presentar

procesos de separación de fases tales como sedimentación o cremado, en función de sus densidades, como resultado de la dispersión incorrecta del aditivo o por incompatibilidad entre sus componentes

En el procedimiento que se detalla en la Norma IRAM 6840, el cual se utiliza una muestra del ligante modificado, contenido en un recipiente conveniente, se somete a la acción de temperatura elevada 165° C durante 5 días determinándose, al final de este tiempo, el punto de ablandamiento, la penetración, u otras características especificadas, en partes de muestra tomadas en la zona superior e inferior del recipiente, el resultado de estabilidad al almacenamiento de un ligante modificado se expresará como diferencia entre las penetraciones y entre los puntos de ablandamiento, el cual debe cumplir con las especificaciones de la norma, en la cual la máxima diferencia del punto de ablandamiento es de 5° C

Luego de ser sometidos al ensayo según la IRAM 6840, los asfaltos deben cumplir con lo indicado en la tabla 2.

Característica	Unidad	Tipo de asfalto modificado								Método de ensayo
		AM 1		AM 2		AM 3		AM 4		
		min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	
Diferencia del punto de ablandamiento	°C	-	5	-	5	-	5	-	5	IRAM 6841
Diferencia de penetración	0,1 mm	-	8	-	10	-	10	-	15	IRAM 6576

Tabla 2. Requisitos para los asfaltos modificados, luego de someterlos al ensayo de estabilidad al almacenamiento

3.2. Requisitos para el residuo de película delgada.

Luego de someter al asfalto modificado al ensayo de acuerdo con la IRAM 6839, el residuo de la película delgada del asfalto modificado debe cumplir con lo indicado en la tabla 3.

Característica	Unidad	Tipo de asfalto modificado								Método de ensayo
		AM 1		AM 2		AM 3		AM 4		
		min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	
Variación de masa (5 h, 163 °C)	%	-	1	-	1	-	1	-	1	IRAM 6839
Penetración residual (25 °C, 100 g, 5 s)	%	70	-	65	-	65	-	60	-	IRAM 6576
Variación del punto de ablandamiento	°C	-5 a 10		-5 a 10		-5 a 10		-5 a 10		IRAM 6841

Tabla 3. Requisitos del residuo de película delgada solubilidad en bisulfuro de carbono (IRAM 6584)

Solubilidad en tetracloruro de carbono (IRAM 6535)

2.5.2. RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN

En circunstancias especiales, climáticas, orográficas o de tránsito, se pueden utilizar productos, generalmente poliméricos, que adicionados al ligante asfáltico, modifican algunas o varias de las características de éste, con objeto de mejorarlo funcionalmente.

Por ejemplo, la incorporación de algunos tipos de polímeros al ligante, proporciona a este una elasticidad mayor que la que presentan sin el polímero. En síntesis, modifican la reología y las propiedades mecánicas del asfalto y sus mezclas para uso vial.

En esta norma se describe un método de ensayo que evalúa la recuperación elástica por torsión, que es un indicativo de la forma en que el asfalto modificó sus propiedades.

Esta norma establece un método para determinar la recuperación elástica por torsión que presentan los asfaltos modificados, en particular con polímeros, de aplicación en construcción vial.

RESUMEN

Se sumerge un cilindro metálico, de medidas especificadas, en la muestra fundida. Luego se deja enfriar hasta temperatura ambiente y se termostatiza el conjunto a 25 C ± 0,5 C.

Mediante un dispositivo de torsión, se hace girar el cilindro 180 en un tiempo entre 3 s y 5 s, y se determina, después de un lapso prefijado, el ángulo recuperado por el cilindro, debido a la respuesta elástica del asfalto modificado.

2.5.3. ÍNDICE DE PENETRACIÓN, MÉTODO PFEIFFER (IRAM 6604)

El índice de penetración Pfeiffer nos da un criterio de la susceptibilidad térmica de los ligantes asfálticos.

Para calcular el índice de penetración deben determinarse el punto de ablandamiento y la penetración operando a 25 °C, 100 g y 5 s.

Una vez determinados estos dos valores, se acude a una tabla o bien se halla el índice de penetración realizando un cálculo.

El Índice de Penetración Pfeiffer se calcula como:

$$IP = 301 + 90\beta - 10$$

Donde

$$\beta = 800 - P \cdot 1.8 T_a - 45$$

P = Penetración del asfalto.

T_a = Temperatura del P. A.

Según el valor del IP, los asfaltos pueden ser clasificados en 3 grupos:

Asfaltos con IP > +1: Son poco susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo no newtoniano, con cierta elasticidad

Asfaltos con IP < -1: Son altamente susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo newtoniano.

Asfaltos con -1 < IP < +1: Poseen características reológicas y de flujo intermedias entre los dos casos anteriores. La mayoría de los Ligantes asfálticos empleados en pavimentación presentan valores de IP comprendido en este rango.

En nuestro país, utilizamos asfaltos para uso vial con IP entre -1,5 a +0,5.

2.5.3.- CLASIFICACIÓN SUPERPAVE

Superpave (superior performing asphalt pavement) es un sistema de diseño de pavimentos más duraderos cubriendo las 3 etapas en la vida útil de un asfalto.

Desde la selección y dosificación de los materiales, su elaboración y por último su vida en servicio.

La especificación de Superpave se basa en ensayos adaptados y/o diseñados específicamente para medir las propiedades fundamentales de los materiales en contraposición a los métodos de prueba empíricos

empleados por la clasificación basada en viscosidad y penetración.

2.5.3.1.- ENSAYOS REQUERIDOS

Ensayo del reómetro de haz de flexión para medir las propiedades de fluencia a bajas temperaturas. (AASHTO T313)

Ensayo de tensión uniaxial a una tasa de alargamiento constante, simula la carga (en uniaxial tensión) durante el enfriamiento térmico del pavimento. (ASTM D6723).

Cálculo de la temperatura crítica de fisuración mediante un algoritmo. (AASHTO MP1a; ASTM D6816)

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	GRADO DEL DESEMPEÑO							
		PG 46	PG 52	PG 58	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82	
Promedio 7-días Temperatura Máxima de Diseño de Pavimento	°C	<46	<52	<58	<64	<70	<76	<82	
Temperatura Mínima de Diseño de Pavimento ¹⁾	°C	>34-40-46	>10-16-22-28-34-40-46	>16-22-28-34-40	>10-16-22-28-34-40	>10-16-22-28-34-40	>10-16-22-28-34-40	>10-16-22-28-34-40	
Aglutinante Original									
Temperatura de Punto de Inflamación, Mínima	°C	230							
Viscosidad, 3 Pa.s, Temperatura de Prueba, máxima	°C	135							
Cizalla Dinámica ²⁾ G'isen 8, mín. 1.10 kPa, de 25-mm, Plato 1-mm de Espacio, Temp. de Prueba a 10-rad/s	°C	46	52	58	64	70	76	82	
Horno sobre película delgada rotante (Método de Prueba D-2872)									
Pérdida de masa, máxima	%	1.0							
Cizalla Dinámica: G'isen 8, mín. 2.20 kPa, Plato de 25-mm, 1-mm de Espacio, Temp. de Prueba a 10 rad/s	°C	46	52	58	64	70	76	82	

Tabla N° 4 - Especificaciones de calidad para aglutinante asfáltico. Clasificado por desempeño.

Residuo de Recipiente para Envejecimiento a Presión (AASHTO PPI)								
Temperatura de Envejecimiento PAV ³⁾	°C	90	90	100	100	100 (110)	100 (110)	100 (110)
G'isen 8, máx. 5000 kPa, Plato de 8 mm, 2 mm de Espacio, Temp de Prueba a 10 rad/s	°C	10 7 4	25 22 19 16 13 10 7	25 22 19 16 13	31 28 25 22 19 16	34 31 28 25 22 19	37 34 31 28 25	40 37 34 31 28
Resistencia a la Fluencia ⁴⁾ S, máx. 300 MPa, valor m, mín. 0.300, Tempo de Prueba en 60 s	°C	-24-30 -36	0-6-12-18 -24-30-36	-6-12-18-24 -30	0-6-12-18 -24-30	0-6-12-18 -24-30	0-6-12-18 -24	0-6-12-18-24
Tensión Directa: (4) Falla de Deformación, mín. 1.0 %, Tempo de Prueba a 1.0 m/minuto	°C	-24-30 -36	0-6-12-18 -24-30-36	-6-12-18-24 -30	0-6-12-18 -24-30	0-6-12-18 -24-30	0-6-12-18 -24	0-6-12-18-24

1) Las temperaturas del pavimento se estiman por medio de las temperaturas del aire utilizando un algoritmo contenido en el Programa de Computadora SUPERPAVE.
2) Para control de calidad de la producción de cemento asfáltico sin modificar, la medida de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituir a las medidas de cizalla dinámica de G'isen 8 en las temperaturas de prueba donde el asfalto es un fluido Newtoniano. Se puede utilizar cualquier norma adecuada para medir la viscosidad, incluyendo viscosímetro capilar o rotacional (Métodos de Prueba D-2170 o D-2171).
3) La temperatura de envejecimiento PAV es 100°C para PG 64 y grados superiores, excepto para climas desérticos donde es 110°C.
4) Si la dureza a la deformación gradual es menor que 300 MPa, no se requiere la prueba de tensión directa. Si la dureza a la deformación está entre 300 y 600 MPa el requerimiento de falla de deformación de la tensión directa se puede utilizar en lugar del requerimiento del esfuerzo a la fluencia. El requerimiento del valor m se debe satisfacer en ambos casos.

2.5.4.- CLASIFICACIÓN DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS PARA USO VIAL (IRAM 6596*)

2.5.4.1.- NORMAS IRAM Y ENSAYOS UTILIZADOS PARA ESTA CLASIFICACIÓN

IRAM 115:1959 - Método de anillo y esfera para la determinación del punto de ablandamiento. (Actualmente está siendo revisada como IRAM 6841)

IRAM 6576:1975 - Betunes. Método de determinación de la penetración, utilizando un penetrómetro de aguja.

IRAM 6579:1966 - Método para ductilidad en materiales bituminosos

IRAM 6585:1966 - Betunes. Método de determinación del contenido de betún soluble en tetracloruro de carbono

IRAM 6599:1957 - Extracción de muestras de betunes. Asfaltos de petróleo, emulsiones asfálticas, alquitranes y breas.

IRAM 6594:1955 - Betunes. Método de ensayo de "Oliensis"

IRAM 6836:1998 - Asfaltos para uso vial. Determinación de la viscosidad mediante viscosímetros capilares, con vacío.

IRAM 6837:2000 - Asfaltos para uso vial. Determinación de la viscosidad mediante un viscosímetro rotacional con cámara termostatazada, de tipo Brookfield Thermosel o de características similares.

IRAM 6839 - Asfaltos para uso vial. Ensayo de calentamiento en la película delgada rotativa – ensayo RTFOT. Efecto del calor y del aire sobre una película de asfalto en movimiento (En estudio) (*)

(*) Hasta tanto no se apruebe la correspondiente norma IRAM, se consultará la norma siguiente: ASTM D 2872 - Test method for Effect of Heat and Air on a moving Film of Asphalt (Rolling Thin - Film Oven Test).

IRAM-IAP A 6555:1974 - Productos inflamables. Método de determinación del punto de inflamación y del punto de combustión mediante el aparato Cleveland, vaso abierto.

IRAM-IAP A 6910:1992 - Práctica para determinar correcciones de volumen en base a la temperatura.

3.- CONCLUSIÓN.

Este trabajo se realizó durante la cuarentena debido a la pandemia por COVID - 19, pretende enumerar y hacer un detalle de los ensayos necesarios para la clasificación de los asfaltos convencionales y modificados, con las normas en vigencia y ensayos para tener en cuenta en el futuro, dado que estos superan en calidad y evaluación a los actuales, teniendo en cuenta la reometría de los asfaltos.

4.- BIBLIOGRAFÍA.

Cuattrocchio, Adrián; Subiaga, Alicia – Asfaltos 1 y 2 - Cátedra Tecnología de los materiales – UTN FRLP.

Speight, James G. - Asphalt material science and technology - 2016.

Alfredo Torres Dahbura - Estudio de la estructura química, comportamiento reológico y susceptibilidad al envejecimiento de asfaltos modificados.

Normas IRAM N°6576; N°6835; N°6841 y N°6604.

Guzmán Rodas, Roque - Tesis Doctorado PTA.

SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE ASFALTOS PARA USO VIAL

Becarias: Agustina Gelsi¹; gelsiagus@gmail.com;
Tatiana M. Obregón Hug²; taatiaanaobregon@gmail.com

Director: Oscar R. Rebollo³; orebollo@frlp.utn.edu.ar

^{1,2,3} LEMaC Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP – CIC PBA
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, Calle 60 y
124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina



Área: Tecnología de los Pavimentos Flexibles.

Resumen

Este trabajo de investigación consiste en desarrollar las tesis de Puesta a punto del equipo de Penetración y Punto de Ablandamiento, asociadas al proyecto de “Utilización de caucho reciclado de NFU en elementos de la construcción vial”. Debido a la pandemia ocasionada por COVID-19, a lo largo del trabajo se detallarán las propiedades de los asfaltos y los distintos ensayos para determinarlas.

Palabras clave: reología, susceptibilidad térmica, viscosidad.

1. OBJETIVO

Realizar un trabajo de investigación para recolectar información sobre las propiedades de los asfaltos, pulir las mismas y lograr una mejoría en los elementos de la construcción vial de uso cotidiano.

2. METODOLOGÍA

Este año nos encontramos ante una situación extraordinaria que nos obliga a realizar las investigaciones desde nuestros hogares, impidiendo el desarrollo y utilización de los equipos correspondientes para cada una de las tesis mencionadas. No obstante, el desempeño de las mismas se llevará a cabo mediante un trabajo de investigación sobre las propiedades del asfalto y los distintos ensayos que deben realizarse para conocerlas.

3. ASFALTOS PARA USO VIAL

3.1. ASFALTO

El asfalto es un aglomerante que se compone de un 99% de betunes y presenta una coloración marrón oscura. Los betunes son largas cadenas de hidrocarburos que se obtienen de forma natural o procesando el petróleo.

3.2. OBTENCIÓN

Se obtienen como residuo de la destilación o evaporando las materias volátiles que contienen los petróleos.

3.2.1. Asfaltos Naturales

Los asfaltos naturales pueden encontrarse en depresiones de la corteza terrestre constituyendo los Lagos de Asfalto o pueden aparecer impregnados en poros de rocas formando las llamadas Rocas Asfaltitas. (Gilgonita). Se encuentran también mezclados con impurezas minerales.

3.2.2. Asfaltos Artificiales

Los asfaltos artificiales se obtienen a través de procesos industriales aplicados a los petróleos; entre ellos se destacan la destilación, oxidación y “cracking”.

3.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA

El asfalto, como se expresó anteriormente, está compuesto por hidrocarburos. Los mismos son de elevado peso molecular y de distintos tipos: parafínicos, naftínicos y aromáticos.

También es frecuente observar en el asfalto azufre, oxígeno, nitrógeno y algunos metales pesados en distintos porcentajes.

En el asfalto conviven dos fracciones denominadas Maltenos y Asfaltenos.



Figura 1.

Los asfaltenos son la fracción soluble del asfalto, son un cuerpo negro, frágil y se los considera hidrocarburos aromáticos. Ocupan entre un 5% y un 25% del asfalto dependiendo del crudo y del proceso de obtención y son los que influyen en las características adhesivas y aglomerantes del asfalto. Proporcionan la dureza y su presencia es fundamental en las propiedades mecánicas del asfalto.

Los máltenos constituyen la fracción insoluble en heptano, son de aspecto aceitoso y son los de menor peso molecular en el asfalto. Representan entre un 40 y 60% del ligante. Dan la consistencia necesaria para hacerlos trabajables. Son líquidos poco viscosos, de color claro, no adherentes y muy estables. Permiten el desplazamiento entre componentes de la fase dispersa.

Es posible concluir que el asfalto tiene una estructura coloidal dispersa, donde conviven los asfaltenos dispersados

en los aceites y las resinas; la cual se relaciona con las propiedades reológicas de los betunes.

A medida que el contenido de asfaltenos aumenta, la viscosidad también aumenta, lo que significa que este componente solamente coadyuva a mejorar las características reológicas del asfalto, que sin duda se reflejara en una ayuda en la mejora de las condiciones de calidad que un asfalto debe cumplir.

3.4. PROPIEDADES REOLÓGICAS

La reología es la ciencia que define propiedades viscoelásticas de materiales en función del tiempo, temperatura, fuerzas externas (multidireccionales) estáticas o repetitivas, humedad, presión, campos electromagnéticos y otros.

Los asfaltos son un material viscoelástico que presentan un comportamiento reológico muy complejo.

La respuesta del asfalto frente a las solicitaciones depende de la temperatura, la magnitud y tiempo de aplicación de carga.

Para lograr comprender el comportamiento reológico de los asfaltos se los somete a distintos ensayos y luego se realizan adiciones para mejorar sus propiedades.

3.5. ASFALTOS MODIFICADOS

El objetivo de modificar un asfalto es lograr ligantes con propiedades reológicas que no se obtienen en los cementos asfálticos convencionales.

Los asfaltos modificados son ligantes cuyas propiedades son variadas por la adición de un agente químico que produce una alteración en su estructura y sus propiedades físicas y químicas.

Las propiedades que buscan modificarse en un asfalto son tres:

- Aumentar la cohesión interna.
- Disminuir la susceptibilidad térmica.
- Disminuir el ahuellamiento.

Para poder evaluar el cambio provocado en las propiedades reológicas se compara los resultados entre el comportamiento de un asfalto convencional y uno modificado.

En este trabajo de investigación nos centraremos en valorar la susceptibilidad térmica de asfaltos convencionales.

3.6. SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA

La susceptibilidad térmica es la variación de la consistencia frente a los cambios de temperatura.

A medida que aumenta la temperatura, el asfalto se torna más líquido, por el contrario, al disminuir la temperatura se comporta como un sólido. Entonces, se puede decir que a medida que la temperatura aumenta, la viscosidad disminuye.

La susceptibilidad indica la sensibilidad que presenta el asfalto al variar su viscosidad por elevación de la temperatura. Lo que se busca al modificar un asfalto, es que esta sea la más baja posible para las temperaturas de servicio.

En el Gráfico 1, se muestra el comportamiento de un asfalto ideal y uno normal, respecto de la temperatura y su viscosidad.

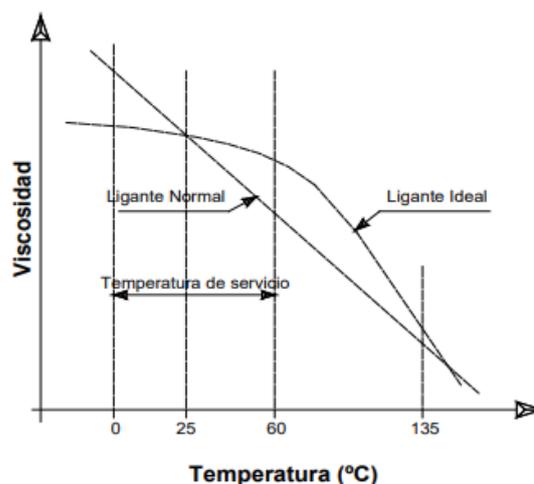


Gráfico 1.

Para poder evaluar la susceptibilidad térmica de un asfalto, basta con medir la consistencia del mismo a distintas temperaturas. Para ello, hay 3 ensayos que son los más importantes: Viscosidad, Penetración, y Punto de Ablandamiento.

4. ENSAYO DE PENETRACIÓN IRAM – 6576

4.1. OBJETIVO

Con este ensayo se desea conocer la consistencia de los asfaltos.

A mayor valor de la penetración, más blanda es la consistencia.

4.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Primero se procede a preparar la muestra calentándola a estufa, aproximadamente 30 minutos, a una temperatura de 5 °C por encima del punto de ablandamiento esperado, homogeneizando la mezcla con una varilla.

Se preparan 4 muestras, de las cuales se utilizan para los ensayos y las restantes se conservan en caso de que deba repetirse el ensayo.

Luego se cubren y se dejan enfriar para realizar posteriormente el ensayo.

4.3. PROCEDIMIENTO

Para ejecutar el ensayo se selecciona una aguja teniendo en cuenta la penetración esperada, la cual se moja con un solvente adecuado y se coloca en el penetrómetro.

Se carga el penetrómetro y se ajusta la posición de esta, bajándola con cuidado hasta tocar la superficie de la muestra.

Se lee la indicación de la aguja o bien se lleva a cero. Simultáneamente se comienza a tomar el tiempo y se libera la aguja del sistema portante por el tiempo especificado.

Se efectúan 3 determinaciones sobre cada muestra en puntos situados a 10 mm del borde del recipiente con una separación de 10 mm entre sí.

Luego se realiza un promedio de las 3 determinaciones siempre que la diferencia entre el valor mayor y menor sea menor o igual que unos valores determinados por tabla.

La profundidad de la penetración se registra en decimas de milímetros

Si la diferencia es mayor se repite el ensayo en las muestras reservadas.

Si no cumple se descartan los valores obtenidos y se realiza un nuevo ensayo.

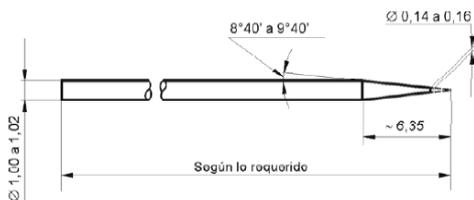


Figura 2.

5. ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO - IRAM 6576

5.1. OBJETIVO

Con este ensayo se desea conocer la consistencia de los asfaltos a través del punto de ablandamiento de estos.

Se considera como punto de ablandamiento la temperatura a la cual el asfalto se hace lo suficientemente blando para permitir el paso de una esfera de acero.

5.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para preparar las muestras se eligen asfaltos sin tomar partes de la capa superficial y se lo hace pasar a través de un tamiz IRAM 300 μm .

Se toma una cantidad que resulte el doble de la necesaria para llenar los dos anillos y se funde calentándola y cuidando que no se incorporen burbujas de aire a la masa.

Luego se calientan los anillos de bronce a una temperatura próxima a la de la muestra y se vierte la misma en los anillos. Se los deja enfriar unos minutos y se enrasan con una espátula ligeramente calentada.

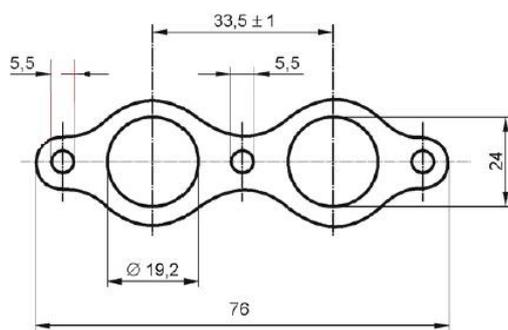


Figura 3.

5.3. PROCEDIMIENTO

Para ejecutar este ensayo se llena un vaso de vidrio con agua destilada al cual se le incorpora un termómetro y un soporte donde se apoyarán los anillos. Dicho soporte sostiene los anillos y contiene debajo (a 25mm) una chapa de bronce.

Luego se ubican los anillos con la muestra en el recipiente, se introduce una bolilla de acero en el centro de estos y se aplica calor de modo que la temperatura aumente 5°C por minuto.

Se determina para cada esfera, la temperatura correspondiente al instante en que el material que impregna a la esfera toca el soporte. Dicha temperatura se considera el Punto de Ablandamiento del asfalto.

Se desechará toda determinación en la cual la velocidad de aumento de temperatura sea distinta a la estipulada.

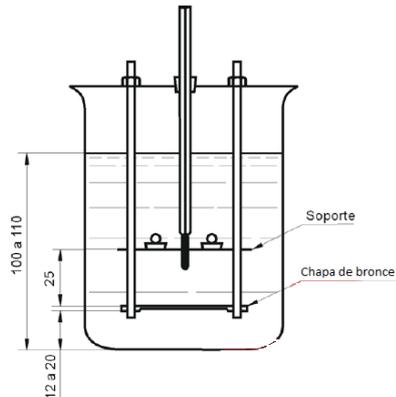


Figura 4.

Una vez obtenidos los valores del ensayo de Penetración y Punto de Ablandamiento, se procede a calcular la susceptibilidad térmica.

6. ÍNDICE DE PENETRACIÓN PFEIFFER

El índice de penetración Pfeiffer nos da un criterio de la susceptibilidad térmica de los ligantes asfálticos.

Para calcular el índice de penetración deben determinarse el punto de ablandamiento y la penetración operando a 25 °C, 100 g y 5 s.

Una vez determinados estos dos valores, se acude a una tabla o bien se halla el índice de penetración realizando un cálculo.

El Índice de Penetración Pfeiffer se calcula como:

$$IP = \frac{30}{1 + 90\beta} - 10$$

Formula 1.

Donde:

$$\beta = \frac{800 - P}{1.8 T_a - 45}$$

P = Penetración del asfalto.

T_a = temperatura del P. A.

Fórmula 2.

Según el valor del IP, los asfaltos pueden ser clasificados en 3 grupos:

Asfaltos con $IP > +1$: Son poco susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo no newtoniano, con cierta elasticidad.

Asfaltos con $IP < -1$: Son altamente susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo newtoniano.

Asfaltos con $-1 < IP < +1$: Poseen características reológicas y de flujo intermedias entre los dos casos anteriores. La

mayoría de los Ligantes asfálticos empleados en pavimentación presentan valores de IP comprendido en este rango.

En nuestro país, utilizamos asfaltos para uso vial con IP entre -1,5 a +0,5.

7. NOMOGRAMA DE HEUKELOM

Es un método gráfico que se utiliza para determinar la susceptibilidad térmica, pero además permite obtener el valor del Módulo de Rigidez del asfalto.

El método se basa en realizar penetraciones a diferentes temperaturas y luego graficarlas en una escala semilogarítmica de Temperatura vs Penetración.

A raíz de estos ensayos se pudo constatar que, si se realiza la Penetración a la temperatura del Punto de Ablandamiento de un asfalto convencional cualquiera, esta da siempre 800.

El nomograma posee dos ejes de ordenadas en escala logarítmica, uno representa la penetración y el otro la viscosidad, y un eje de abscisas en escala lineal que representa la temperatura. Además, posee una escala de Índice de Penetración Pfeiffer.

El Nomograma de Heukelom permite obtener el IP a partir de dos temperaturas distintas; y en función de este, describir el comportamiento reológico de un asfalto. Además, a partir del gráfico se clasifica a los asfaltos en 3 tipos:

- Tipo W.
- Tipo S.
- Tipo B.

Con el nomograma se puede determinar las temperaturas óptimas de mezclado y compactación para poder diseñar correctamente las mezclas asfálticas.

A modo de ejemplo se muestra un nomograma con un asfalto 60-70 de clasificación por penetración según la Norma IRAM 6604, Gráfico 2, donde se obtiene un primer punto con la penetración obtenida a 25°C y, un segundo punto con la temperatura del punto de ablandamiento y su penetración a esa temperatura, que como se dijo es de 800, luego se traza la recta que une los dos puntos y se extiende hasta obtener la intercepción con la viscosidad de 2,8 poise para obtener la temperatura de compactación y, a 1,7 poise para obtener la temperatura de mezclado.

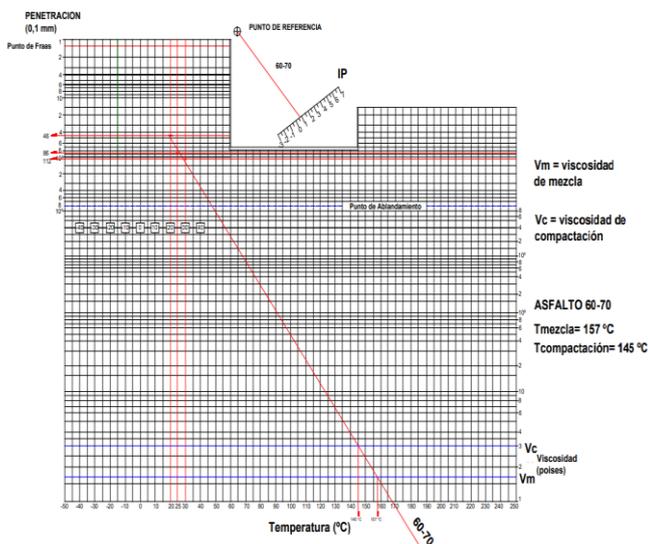


Gráfico 2 – Nomograma de Heukelom.

8. CONCLUSIONES

El asfalto es un material termoplástico, es decir que su consistencia varía con la temperatura, la magnitud y la duración de la carga. Podemos observar que la susceptibilidad térmica es una propiedad inherente a cualquier tipo de cemento asfáltico; y para determinarla es necesario conocer dos medidas de la viscosidad.

Un asfalto utilizado con fines viales no debe tener un alto grado de susceptibilidad térmica ya que su viscosidad puede ocasionar inconvenientes durante el mezclado y compactación. Además, a temperaturas de servicio bajas, su viscosidad puede resultar muy elevada y ser causante de problemas de fisuración por contracciones térmicas.

No obstante, un cemento asfáltico tampoco debe tener una viscosidad demasiado baja a altas temperaturas, ya que esto conllevaría a ahuellamientos.

Por lo cual es posible concluir, que la importancia de determinar la susceptibilidad térmica radica en su utilidad para obtener las temperaturas de mezclado y compactación. Además, es necesario valorarla para conocer el comportamiento de un asfalto respecto a la temperatura en planta como así también en servicio.

En cuanto a la obtención de esta propiedad se recurre al nomograma de Heukelom.

Heukelom clasifica a los ligantes asfálticos de acuerdo con la representación gráfica obtenida mediante los resultados de los distintos ensayos mencionados previamente como tipo W, S o B.

Tipo W: los asfaltos pertenecientes a esta clasificación corresponden a los ligantes parafínicos (Wax). La representación en el Nomograma está dada por dos rectas sensiblemente paralelas con una zona intermedia de discontinuidad. La zona de transición es consecuencia de los posibles estados de cristalización, consecuencia de la fusión de las parafinas. Estos ligantes asfálticos proceden de crudos parafínicos (excesos de parafinas en su composición química) compuestos generalmente por hidrocarburos saturados. Pertenecen a los asfaltos con $IP < -1$ los cuales son altamente susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo newtoniano. No proporcionan buenos asfaltos para vías con un proceso simple de refinación; para ello requieren un proceso adicional de oxidación parcial.

Tipo B: Los asfaltos que se corresponden con esta clasificación, pertenecen a los ligantes soplados (Blown). Son representados por dos rectas que se cortan. A bajas temperaturas, la recta tiene menos pendiente que la recta obtenida a altas temperaturas. El soplado del asfalto se obtiene a través de un proceso continuo de oxidación de residuos de petróleo. Estos asfaltos pertenecen a la clasificación de Pfeiffer $IP > +1$, son poco susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo no newtoniano, con cierta elasticidad y tixotropía. No son apropiados para preparar mezclas asfálticas.

Tipo S: en esta clasificación se encuentran los ligantes de destilación directa (Straight). Se representan en el nomograma de Heukelom con una línea recta. Sus valores de IP se encuentran entre -1 y 1 , esto significa que poseen características reológicas y de flujo intermedias entre los dos

casos anteriores, indicando que son los que reúnen las características para ser de uso vial.

9. BIBLIOGRAFÍA

Cuattrocchio, Adrián; Subiaga, Alicia – Asfaltos 1 y 2 - Cátedra Tecnología de los materiales – UTN FRLP.

Huamán Guerrero, Néstor W. (2011) – La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú - Tesis de maestro en ciencias con mención en Ingeniería de transporte.

http://www.academia.edu/13989918/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_FACULTAD_DE_INGENIERIA_CIVIL_SECCION_DE_POSTGRADO_LA_DEFORMACION_PERMANENTE_EN_LAS_MEZCLAS_ASFALTICAS_Y_EL_CONSECUENTE_DETERIORO?auto=download

Normas IRAM N°6576; N°6835; N°6841 y N°6604.

Autor desconocido - Cap. 3 Caracterización de asfaltos para la mezcla (pp 43-70) - Universidad Nacional de Piura, Perú - http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_627_180_496_5010.pdf

Gottret Arce, Juan Carlos; Quiroz Demmler, Faviola. (2011) - Manual de carreteras del Paraguay: normas para materiales y ensayos de materiales- tomo 6 volumen II (1era edición) - Ministerio de obras públicas y comunicaciones de Paraguay <https://www.mopc.gov.py/userfiles/files/asfalto.pdf>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL | FACULTAD REGIONAL LA PLATA
LEM_aC CENTRO DE INVESTIGACIONES VIALES UTN FRLP-CIC PBA
AV. 60 Y 124 S/N - BERISSO - BUENOS AIRES - ARGENTINA
TEL. +54 221 4890413
E-MAIL: lemac@frlp.utn.edu.ar