

NUMERO 16, MAYO DE 2022.

TESIS DE BECARIOS DE INVESTIGACION

20 21



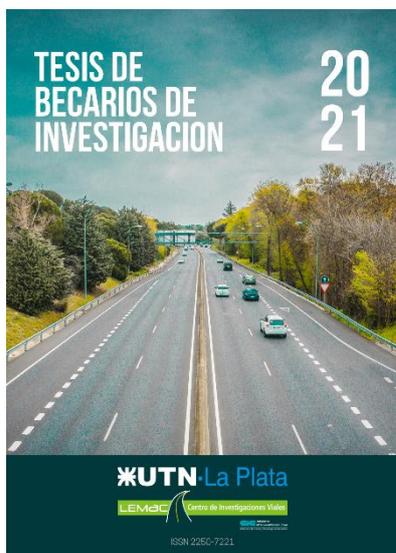
UTN·La Plata

LEMAC Centro de Investigaciones Viales

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

ISSN 2250-7221

TESIS DE BECARIOS DE INVESTIGACION
ISSN 2250-7221 | N° 16 | MAYO 2022



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 2021 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.

INDICE

	página
EQUIPO PARA ESTUDIAR LA INTERACCIÓN ENTRE UN SUELO Y UN GEOSINTÉTICO. Obregón Hug, Tatiana; Delbono, Luis.	5
PARTICULARIDADES DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS Y MORTEROS. Cirone, Manuela; Sosa, M. Eva.	13
PETROGRAFÍA DE DETALLE DE AGREGADOS CUARCÍTICOS PROVENIENTES DE CANTERAS DEL SISTEMA DE TANDILIA. IMPLICANCIAS EN EL GRADO DE DESGASTE POR MICRO DEVAL. Insaurralde, Rocío; Lajoinie, Florencia.	17
DETERMINACIÓN DE SUPERFICIES ESPECÍFICAS EN LA GRANULOMETRÍA DE POLVO DE NFU USADOS EN LA MODIFICACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS. Battista, Mirco; Fensel, Enrique.	23
USO DE BARBIJOS EN BASES DE PAVIMENTOS CON SUELOS ARENOSOS. Corona, Martina; Zapata Ferrero, Ignacio; Rivera, Julián.	29
RELEVAMIENTO Y ESTUDIO DE PATRONES DE MOVILIDAD ACOTADO AL UNIVERSO DE LA UTN-FRLP – 2º ETAPA. Abraham, Beatriz; Das Neves, Gustavo.	35
LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL EN ARGENTINA EN EL MARCO DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO. Cáceres Linda Luz; Mechura, Verónica.	43
EMULSIONES ASFÁLTICAS PARA USO VIAL EN ARGENTINA Gelsi, Agustina; Antieco, Wilson; Rebollo, Oscar.	49
ANÁLISIS INICIAL PARA EL DESARROLLO EN EL LEMAC DE UN GRUPO DE TRABAJO EN FABRICACIÓN ADITIVA. Cedrés Lucas; Oviedo Adrián.	63

EQUIPO PARA ESTUDIAR LA INTERACCIÓN ENTRE UN SUELO Y UN GEOSINTÉTICO

Becaria; Obregón Hug, Tatiana (taatiaanaobregon@gmail.com)

Director; Delbono, Luis (delbonoluis@hotmail.com)

Área: Tecnología de los Pavimentos Flexibles.



Resumen

El trabajo de investigación realiza una compilación de los equipos de ensayo de corte directo para la determinación del coeficiente de fricción entre dos materiales, incorporando un geosintético, en obras del campo de la ingeniería civil. En la industria de los geosintéticos la variedad de estos es amplia y responden a diversas aplicaciones, entre ellas la de refuerzo en muros y taludes. Se mencionan los geosintéticos utilizados como refuerzo, describiendo su comportamiento, para garantizar la función para la cual son diseñados. El informe concluye con una propuesta de implementación de un equipo de ensayo para determinar el coeficiente de fricción entre un geosintético y el suelo, analizando el método de corte directo bajo la normativa IRAM 78014.

Palabras clave: Suelo, geosintéticos, corte directo, coeficiente de fricción, normas técnicas.

1. Introducción

Una estructura de ingeniería apoyada sobre el suelo genera esfuerzos debido al incremento de presiones en su masa, buscando mantener el equilibrio que se daba previo a la sollicitación externa. Si los esfuerzos externos superan a la resultante de los esfuerzos interiores de suelo, el equilibrio deja de existir y se producen planos de falla o de deslizamiento, Figura 1.

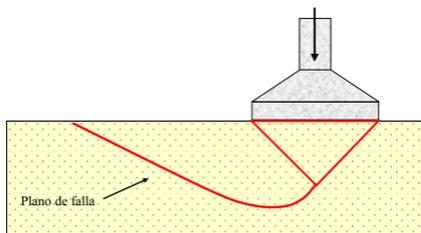


Figura 1. Plano de falla de un suelo debido a sollicitación externa.
Fuente: Leoni A. (2017) [1]

Las fuerzas internas entre los granos de una masa de suelo se traducen en tensiones normales de tracción o compresión, tensiones tangenciales paralelas al plano considerado y tensiones neutras que se deben al incremento o reducción de la presión de agua en los poros del suelo y actúa en todas direcciones. La resistencia que ofrece una masa de suelo frente al deslizamiento se debe a las fuerzas friccionales que se desarrollan entre los granos que la componen. [1]

En un material pre-consolidado una parte importante de las presiones intergranulares, por acción del fenómeno de capilaridad, actúa una tensión superficial, sobre los granos de la muestra, que provoca una resistencia adicional al esfuerzo cortante llamada *cohesión aparente* y, particularmente en las arcillas, estas fuerzas pueden ser de carácter electrostático, generadas por la película de agua absorbida que se forma sobre cada

partícula, o derivar de agentes cementantes. A esta forma casi permanente de resistencia al corte se la denomina *cohesión verdadera*.

En materiales donde no hay adhesión u otra forma de unión entre sus granos, el término de *fricción* es sinónimo de *resistencia al corte*. [1]

Como los suelos deben soportar grandes empujes y tienen baja resistencia al corte, para absorber las tensiones horizontales, el ingeniero francés Henry Vidal, creó una alternativa que consistía en la inclusión de una serie de tiras amarradas a elementos externos de la cara de un muro, hasta una longitud determinada para conformar una masa de contención. Esto dio lugar a lo que se conoce como muros mecánicamente estabilizados (Figura 2).

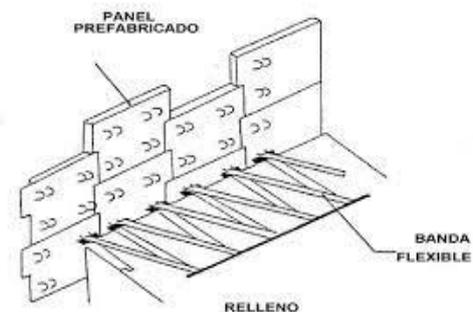


Figura 2. Tiras incluidas en el relleno amarradas al muro
Fuente: Luis Andrés Vera Oyarzun (2004) [2]

En este sentido, gracias al desarrollo de nuevos materiales sintéticos (geosintéticos), capaces de soportar condiciones de humedad, riesgo biológico y químico del suelo, se tienen estructuras reforzadas que permiten suplir las deficiencias de la capacidad soporte de un suelo de fundación o construir secciones geométricas que permitan ser conformadas con un

ángulo igual o mayor al ángulo de reposo natural del suelo de relleno.

Así, se ven mejoradas las características de una masa de suelo debido a la colocación de refuerzos paralelos a la dirección de la deformación principal, producto de la interacción entre el geosintético y el suelo, mediante la transferencia de esfuerzo entre materiales llevada a cabo continuamente a lo largo del geosintético con cierto grado de seguridad.

Los esfuerzos son transferidos entre el suelo y el refuerzo por fricción (Figura 3) o resistencia pasiva “trabazón” (Figura 4), dependiendo de la geometría del refuerzo.

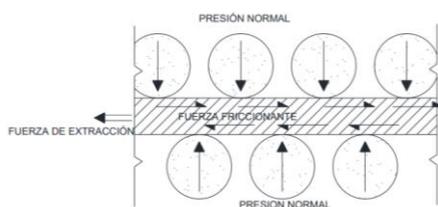


Figura 3. Transferencia por fricción entre suelo y refuerzo
Fuente: Paul Garnica Anguas (2013) [3]

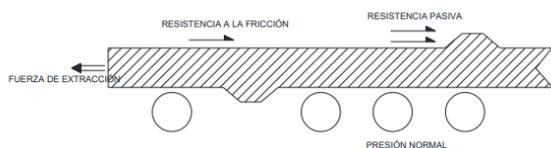


Figura 4. Transferencia por trabazón entre suelo y refuerzo
Fuente: Paul Garnica Anguas (2013) [3]

La contribución de cada mecanismo de transferencia para un refuerzo en particular dependerá de la aspereza de la superficie, dimensión de la abertura de la red, esfuerzos efectivos normales, espesor de los miembros transversales y las características de elongación del refuerzo. De igual manera, para que el desarrollo de esta interacción suelo/refuerzo sea desarrollada, las características del suelo tienen gran importancia; incluyendo el tamaño del suelo granular, distribución del tamaño del suelo granular, forma de la partícula, densidad, contenido de agua, cohesión y rigidez [2].

Tipo de Refuerzo			Mecanismo	
			Fricción	Trabazón
Banda Lisa de Metal			●	
Banda Rugosa de Metal			●	●
Geotextil			●	
Geomalla				●

Figura 5. Mecanismos de interacción, Márquez 1987, citado por Hugo E. Perea (2012). [4]

Para determinar la resistencia al corte existen varios equipos de ensayo, en particular para contacto suelo-geosintético uno de los primeros es el método desarrollado por Kumar&Hua en el 2006 (Figura 6).

El ensayo consiste en hacer deslizar una porción de suelo, respecto a otra a lo largo de un plano de falla predeterminado mediante la acción de una fuerza de corte horizontal incrementada, mientras se aplica una carga normal al plano del movimiento.

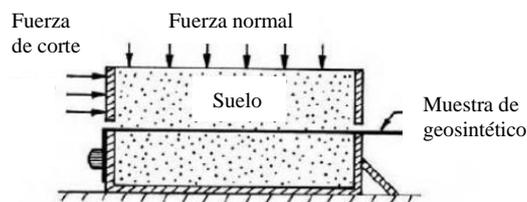


Figura 6. Detalle del ensayo de corte, Kumar&Hua 2006, citado por Hugo E. Perea (2012) [4]

Los resultados del ensayo con el método presente se pueden utilizar para: el diseño de refuerzos de geosintéticos en muros de sostén, terraplenes, o bases para rutas; en aplicaciones en las cuales el geosintético se coloca sobre una pendiente; para la determinación de requerimientos de superposición de geosintéticos, o en otras aplicaciones de diseño, en las cuales la fricción suelo/geosintético o geosintético/geosintético es crítica.

2. Materiales y Métodos

2.1 Geosintéticos

Los geosintéticos son productos formados por polímeros provenientes de la tecnología textil y plástica. Se presentan en forma de manto de estructura tridimensional o de lámina. Se producen a partir de fibras naturales (algodón, lino, seda, lana, etc.), o de fibras sintéticas como nailon, poliéster, polipropileno, aramida, entre otros. Siendo los polímeros más utilizados en su fabricación:

- Polietileno 2%
- Polipropileno 86%
- Poliéster 11%
- Poliamida 1%

Estos materiales son diseñados de acuerdo con su aplicación y se clasifican de acuerdo con su composición, su clase, su proceso de fabricación y su función. Los generalmente utilizados en refuerzo son:

Geotextiles (GTX): Pueden ser tejidos o no tejidos. Los geotextiles tejidos son un entrecruzado o tejido de telar en serie de dos hilos perpendiculares donde se distingue la trama (hilo en dirección perpendicular al rollo) de la urdimbre (hilo en dirección del rollo), de cinta plana, mono o multifilamento. La resistencia está en las direcciones principales de tejido. Los geotextiles no

tejidos, en cambio, para su fabricación, se vuelcan las fibras sobre una bandeja en forma aleatoria. Esta condición permite que las propiedades se verifiquen aproximadamente en todas las direcciones.

Geogrillas o geomallas (GR): Son mallas abiertas y regulares, de estructura plana. Poseen una alta capacidad resistente y su deformación será limitada por el polímero que se utilice en su fabricación.

Geocompuestos (GC): Es un material conformado por más de un geosintético. Pueden existir varias combinaciones de materiales permitiendo favorecer su comportamiento en conjunto a ciertas funciones específicas.

Según su aplicación cumplen la siguiente función:

Separación: prevenir el entremezclado de los dos suelos durante la vida de diseño de la estructura (Figura 7). En general se utiliza un geotextil tejido que trabaja por fricción.

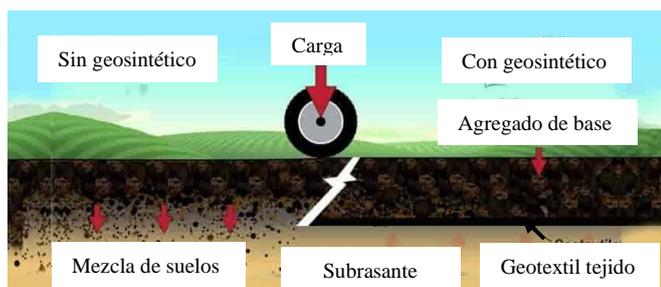


Figura 7. Geotextil tejido como separación de suelos viales. Fuente: Mckevin Zamora Ortiz (2021) [5]

Drenaje: los líquidos y gases son transportados dentro del plano del geosintético. El fluido entra al compuesto y es llevado en los canales del núcleo a un punto deseado en la obra (Figura 8).

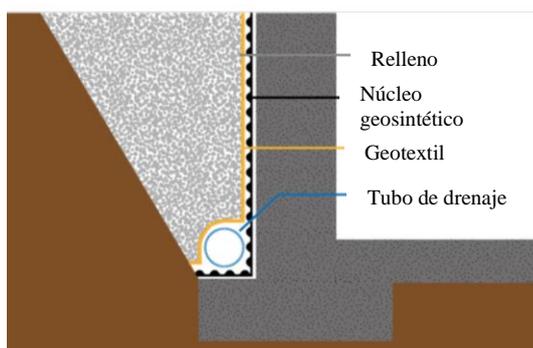


Figura 7. Geotextil cumpliendo la función de drenaje. Fuente: Texdelta [6]

Refuerzo: Se utilizan para reforzar en una o varias direcciones una estructura. En caso de muros o taludes se los coloca a través de los planos rotacionales potenciales de falla para soportar las fuerzas de tracción

que no pueden ser soportadas por una masa de suelo sin reforzar, trabajando en el caso de los muros y taludes en una dirección (Figura 9).

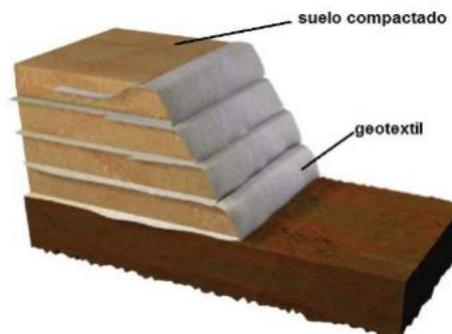


Figura 9. Geosintético como refuerzo en terraplenes. Fuente: Geotexam [7]

En estos casos se introduce una longitud mínima de anclaje para evitar deslizamientos, siendo el contacto suelo geosintético lo que se busca analizar para un correcto funcionamiento de la estructura, Figura 10.

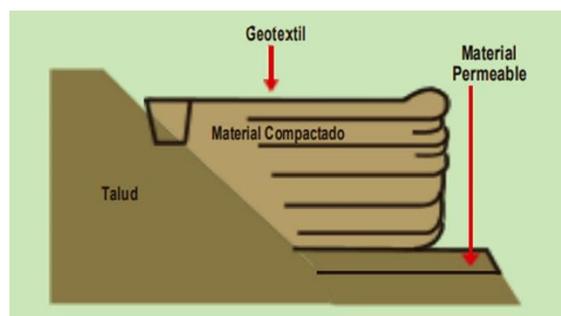


Figura 10. Geotextil como refuerzo en muros. Fuente: SGE [8]

2.2 Metodología. Ensayo de corte directo

En el presente informe de investigación se realiza una recopilación de los diferentes equipos de ensayo de corte directo centrándose en el método de corte directo propuesto en la normativa IRAM 78014 [9].

El método de la IRAM 78014:2002 mide la resistencia total al desplazamiento de un geosintético con un material de soporte o un material superior. La resistencia total al desplazamiento puede ser una combinación de desplazamiento, rodamiento y trabado de las partículas de suelo y la superficie del geosintético y de la deformación por corte, dentro de la probeta de geosintético. El método distingue entre mecanismos individuales, los cuales pueden ser una función del tipo de suelo utilizado, del método de colocación del suelo, de la tensión normal y de corte aplicadas, de la velocidad de desplazamiento horizontal y de otros factores. Cada esfuerzo se realiza para identificar el área de corte y el modo en que se produce la falla en la probeta, para poder realizar ensayos comparativos.

Se puede realizar tanto sobre probetas premoldeadas como testigos de suelos no perturbados. No es apto para establecer relaciones precisas tensión-deformación de la

probeta ensayada, debido a una distribución no uniforme de las tensiones de corte y del desplazamiento.

2.2.1 Procedimiento de ensayo

Se aplica una tensión de compresión constante, normal a la probeta; una fuerza de corte tangencial a la caja, tal que un marco de la caja se mueva con relación al otro. Se registra la fuerza de corte como una función del desplazamiento horizontal del marco deslizante de la caja de corte. El ensayo se realiza con un mínimo de tres tensiones normales diferentes, seleccionadas por el usuario para que el modelo responda apropiadamente a las condiciones del suelo. Se grafica la tensión de corte de pico (o sino la residual) registrada versus la tensión de compresión normal aplicada en el ensayo. Los datos del ensayo se representan generalmente por la línea recta (que interpola los puntos graficados), cuya pendiente es el coeficiente de fricción entre los dos materiales entre los que se produjo el corte. La cohesión será la ordenada al origen de esta línea recta. Figura 11.

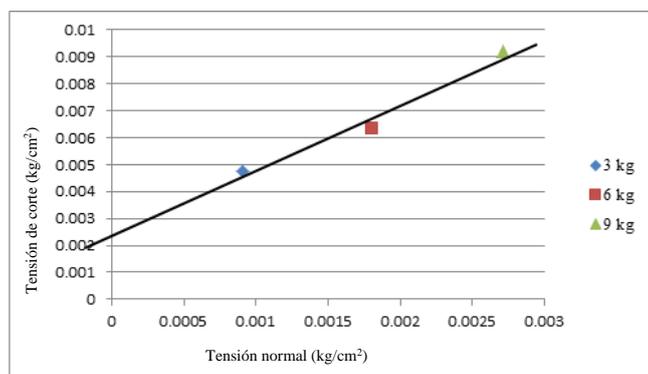


Figura 11. Tensión de corte versus tensión de compresión normal. Fuente: J Widjajakusuma (2019) [10]

2.2.2 Equipo de corte

El aparato de corte debe proporcionar medios para aplicar un esfuerzo normal a las caras de la muestra, permitiendo el drenaje del agua a través de las placas porosas en los límites superior e inferior de la muestra de suelo. La máquina debe ser capaz de aplicar una fuerza cortante a lo largo de un plano de corte predeterminado paralelo a las caras de la muestra. Los marcos que sostienen la muestra deben ser lo suficientemente rígidos para prevenir su distorsión durante el proceso de corte. Las partes de la máquina de corte deben estar hechas de material anticorrosivo resistentes a la humedad o sustancias presentes en el suelo, por ejemplo, acero inoxidable, aluminio, etc.

2.2.3 Caja de corte

La caja de corte debe ser de forma cuadrada hecha de acero inoxidable con complementos que permitan el drenaje a través de la parte superior e inferior. La caja tiene que estar dividida verticalmente por un plano horizontal en dos mitades con el mismo espesor unido

con unos tornillos de seguridad. La caja de corte se ajusta mediante los tornillos de seguridad, que controlan el espacio entre la parte superior e inferior de las dos mitades de la caja de corte.

2.2.4 Complementos de carga

- Complemento para aplicar la fuerza normal aplicada por un marco que tiene un contrapeso.
- Complemento capaz de cortar la muestra a una velocidad uniforme de desplazamiento, con menos de 5% de desviación, con posibilidad de corregir la velocidad de desplazamiento, la fuerza cortante es determinada por un indicador de carga como un anillo de prueba o una celda de carga.
- Complemento para la medición de la fuerza cortante, mediante un anillo de carga o celda de carga con precisión de 1% de la fuerza de corte en condiciones de ruptura.

2.2.5 Indicador de desplazamiento horizontal.

Transductores de desplazamientos capaces de medir el cambio de espesor de la muestra. Se puede utilizar LVDT, con una precisión de 0.002mm, o micrómetro analógico, con una precisión de 0.01mm, o micrómetro electrónico, con una precisión de 0.0001mm.

2.2.6 Otros equipos

Pisón de 5 x 5 cm, pisón de 9.5 x 9.5 cm. Cápsulas de porcelana, cronómetro, balanzas de una precisión de \pm 1 gramo, cucharón.

3. Análisis y discusión

En el mercado existen empresas que fabrican y comercializan máquinas de ensayo de corte directo que permiten determinar el coeficiente de fricción entre suelo-suelo (Figura 12) o suelo geosintético (Figura 13).

En la Tabla 1 se describen las características de equipos de corte directo suelo – suelo.

Tabla 1. Equipos de corte directo suelo – suelo.

	Equipos de corte directo suelo - suelo			
	TBDS-5A	ZJ cuádruple	ZJ ligero	ZJ
Carga	5 kN	100/200/300/400 kPa (variable)	50/100/200/300 /400 kPa (variable)	50/100/200/300 /400 kPa (variable)
Desplazamiento horizontal	0.0030 a 25.4 mm	No específica	No específica	No específica
Deformación vertical	0.003 mm a 12.7 mm	No específica	No específica	No específica
Tamaño de muestra	30 mm x 30 mm x 20 mm	31 mm x 30 mm x 20 mm	32 mm x 30 mm x 20 mm	33 mm x 30 mm x 20 mm
Velocidad de ensayo	0.00001 a 9.99999 mm/min	0.02/0.1/0.8/2.4 mm/min	No específica	No específica
Fuerza de corte	No específica	1.2 kN	1.2 kN	1.2 kN

Fuente: Elaboración propia, datos de NanJing T-Bota Sciotech Instruments & Equipment Co. [11]

En la Tabla 2 se describen las características de equipos de corte directo suelo – geosintético.

Tabla 2. Equipos de corte directo suelo – geosintético.

	Equipos de corte directo suelo - geosintético / geosintético - geosintético			
	HM-385F	HM-384F	Shearac III	SISTEMA DE CORTE DIRECTO AUTOMATIZADO GRANDE GDS (300 MM)
Carga	90 kN	45 kN	50 kN	100 kN
Desplazamiento horizontal	No especifica	No especifica	90 mm	No especifica
Deformación vertical	No especifica	No especifica	90 mm	No especifica
Tamaño de muestra	Cuadrado de 12 pulg. (304,8 mm)	Cuadrado de 12 pulg. (304,8 mm)	305 mm x 305 mm	300 mm x 300 mm
Velocidad de ensayo	0,0508–5,08 mm / min	0,0508–5,08 mm / min	hasta 15 mm/min	No especifica
Fuerza de corte	90 kN	45 kN	50 kN	100 kN

Fuente: elaboración propia de datos extraídos de [12]; [13]; [14]



Figura 12. Equipo TBTD5-5A.

Fuente: NanJing T-Bota Scitech Instruments & Equipment Co. [11]



GeoComp



Durham Geo



GeoTest

Figura 13 Equipos de corte suelo-geosintético.

Fuente: R Swan (2019). [15]

Analizando los diferentes equipos de ensayo de corte directo a nivel mundial que se encuentran en el mercado, se observa no solo la diferencia en el tamaño de las muestras, como era de esperarse, entre equipos para corte suelo-suelo versus suelo-geosintético, sino que entre los mismos difieren las condiciones de borde como ser: capacidad de carga, velocidad de ensayo, tamaños de muestra, transductores de desplazamiento y tecnologías en los dispositivos de salida de información, que determinan sus diferencias respecto de las máquinas de ensayo de corte directo suelo – suelo, siendo estas últimas no aptas para las condiciones de ensayo del análisis del coeficiente de fricción suelo – geosintético que establece la normativa sobre este parámetro.

Hay métodos y desarrollos de equipos más sofisticados como el propuesto por Swan R. (2019) [15], que permite determinar la fricción entre dos materiales mediante el método de corte anular por torsión (Figura 14).

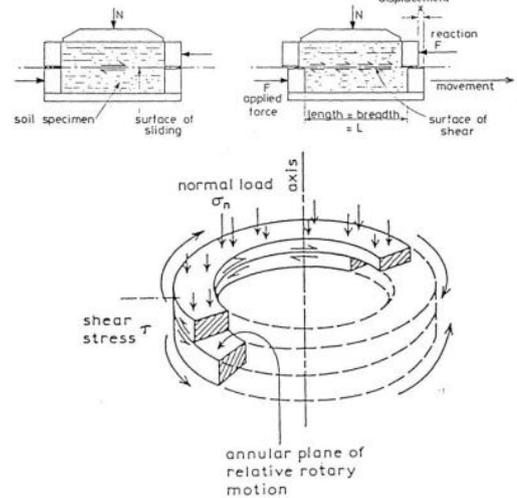


Figura 14. método de corte anular por torsión.

Fuente: Swan R. H. (2019) [15]

O desarrollos y adaptaciones como la presentada por Zornberg J. (2020) [16] (Figura 15), que permite utilizar dispositivos de agarre propios de los ensayos de los geosintéticos en equipos de tracción con dispositivos de medición calibrados.

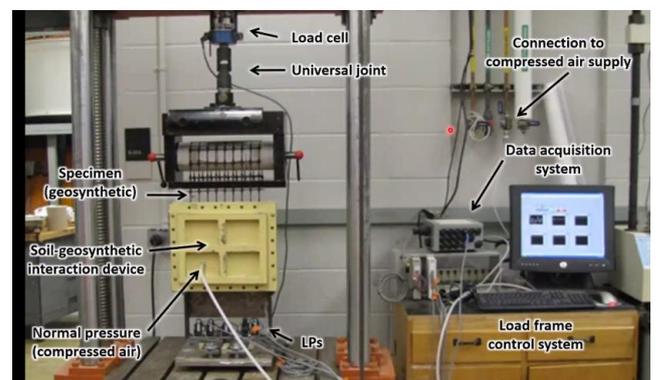


Figura 15. Dispositivo de ensayo suelo-geosintético

Fuente: Zornberg J. (2020) [16]

Basándonos en el Instrumental requerido por la Norma IRAM 78014 se recomienda implementar la fabricación del dispositivo de ensayo, dado que no se encuentra equipamiento capaz de cubrir las necesidades del

ensayo en la Facultad, ni proveedor a nivel Nacional que pueda proporcionarlo según las especificaciones establecidas en la norma. Por ello, se propone fabricar un molde de sección cuadrada de 300 mm, con una profundidad mínima de cada contenedor de 50 mm. Además, contar con dispositivo de carga normal apto para aplicar y mantener una tensión normal uniforme y constante sobre la probeta durante el ensayo con una precisión de $\pm 2\%$ de la tensión normal y una velocidad de desplazamiento controlada con una precisión de $\pm 10\%$ para un amplio ámbito de desplazamientos.

Se recomiendan indicadores de dial o transductor de desplazamiento lineal variable (LVDT), aptos para medir un desplazamiento de como mínimo 75 mm para desplazamientos horizontales y 25 mm para desplazamientos verticales. La sensibilidad del flexímetro debe ser de 0,02 mm para mediciones de desplazamientos horizontales.

Para asegurar la probeta de geosintético al marco inferior de contención, sin que interfiera con las superficies de corte dentro de la caja, se recomienda anclar la probeta de geosintético sobre la cara inferior externa del molde (Figura 16).

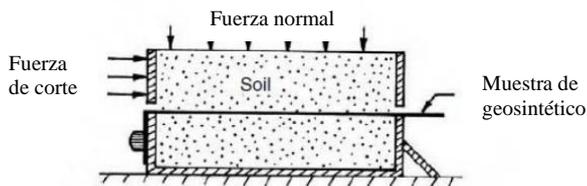


Figura 16. Sistema de anclaje de la muestra de geosintético propuesta por Kumar&Hua 2006 [17]

De esta manera el equipo permitiría determinar los siguientes parámetros:

$$P = 2 \cdot L \cdot W \cdot \sigma_n \cdot C_i \cdot \tan \phi$$

despejando;

$$C_i = P / (2 \cdot L \cdot W \cdot \sigma_n \cdot \tan \phi)$$

Donde:

C_i = coeficiente de interacción

P = carga de extracción de la muestra (KN)

L = longitud de la muestra (m)

W = ancho de la muestra (m)

σ_n = carga Normal (KPa)

ϕ = ángulo de fricción del suelo

En la universidad se encuentra el laboratorio "MECASUR: mecánica de suelos y rocas" el cual posee una máquina de ensayo de corte directo (Figura 18). No obstante, no es de utilidad para la aplicación de interés desarrollada porque no se ajusta a la norma IRAM 78014, ya que la caja de corte está diseñada para una muestra cilíndrica de diámetro menor a 70 mm, siendo requerida por la norma una muestra de 300 mm para lograr un ensayo representativo. Figura 17 y Figura 18.



Figura 17. Caja de corte.
Fuente: elaboración propia



Figura 18. equipo de corte directo suelo-suelo.
Fuente: elaboración propia

En forma comparativa se utilizará el equipo para realizar algunas determinaciones utilizando un geotextil No Tejido y Tejido.

En el LEMaC se encuentran dos equipos de ensayo que podrían ser adaptados para realizar el ensayo de corte directo entre geosintético y suelo. Entre los propuestos se encuentra el dispositivo de apertura y cierre de fisura, que consta de un motor con un reductor de velocidad, celda de carga y LVDT, compuesto por una parte móvil y una parte fija, lo que permitiría generar el esfuerzo de corte requerido. No obstante, si bien es posible fabricar una caja de corte de 300 mm para realizar el ensayo, debe analizarse su adaptación en el equipo junto con el adquisidor de datos en caso de poder implementarlo. Por otro lado, viendo el ensayo presentado por Jorge Zornberg, se evalúa trabajar con la máquina de ensayos EMIC, la cual podría producir el corte directo de manera vertical en lugar de horizontal, tal como se observara en la Figura 15. Esta propuesta debe ser evaluada para ver si los resultados son representativos. Además, se deberá confeccionar una caja de corte acorde con lo que establece la norma IRAM 78014:2002.

4. Conclusiones

Se realizó amplia búsqueda bibliografía a nivel internacional sobre los equipos y dispositivos capaces de determinar el coeficiente de fricción entre un suelo y un geosintético, estableciéndose una comparativa entre los mismos.

Los distintos equipos que se encuentran en las instalaciones de la UTN - FR La Plata a priori pueden ser implementados para unas primeras experiencias, sin embargo, deben ser estudiados en particular para ver la posibilidad de adaptarlos a los requerimientos del ensayo según la norma IRAM 78014, de manera de determinar el coeficiente de fricción entre suelo – geosintético o geosintético – geosintético, debiendo realizar ensayos para verificar que la adaptación de las máquinas permitan ensayos representativos de las muestras en estudio.

En primera instancia, para analizar la interacción suelo geosintético, se realizarán ensayos utilizando el equipo de corte directo disponible en el MECASUR para interpretar el fenómeno utilizando dos tipos de geotextiles, un geotextil no tejido y un geotextil tejido, comparándolos con una muestra de referencia que no tenga geotextil en el plano de interacción.

Como la norma posee requerimientos del ensayo de ambos materiales en conjunto (suelo – geosintético) que hacen que no sea posible adaptar la máquina de ensayo de corte directo del MECASUR, se propone diseñar una máquina específica en el LEMaC basando el diseño de esta según los requerimientos establecidos en la norma IRAM 78014:2002 para poder ejecutar dicho ensayo de la manera correspondiente.

5. Referencias

- 1) Leoni A. J. (2017). Resistencia al corte. Universidad Nacional de La Plata. 144 pág. Argentina. https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Capitulo%203_ Resistencia%20al%20corte.pdf
- 2) Luis Andrés Vera Oyarzun. (2004). Muros de retención de suelos con sistema de tierra armada. Tesis final de carrera de Ing. civil. Universidad de Chile. Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/bmfciv473m/doc/bmfciv473m.pdf>
- 3) Garnica P, Ramírez R. Rivera J. G. (2013). Diseño de muros reforzados con geosintéticos. Publicación Técnica No. 382. ISSN: 0188-7297. Sanfandila, Qro. México. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt382.pdf>
- 4) Perea H. E. (2012). Refuerzo de cimentaciones superficiales con geosintéticos. Máster en mecánica de suelos e ingeniería geotécnica. 109 pág. España. https://geoapuntes.files.wordpress.com/2012/10/tesis_refuerzo-de-cimentaciones-superficiales-con-geosinteticos-hugo-egoavil-perea_final.pdf
- 5) Mckevin Zamora Ortiz (2021). Geosintéticos en proyectos viales. Construyendo obras y vías. Perú. <https://coovias.com/geosinteticos-maccafferri-en-proyectos-viales/>

- 6) Texdelta. Sitio Web Fabricantes y distribuidores de Geotextiles técnicos para la construcción. <https://texdelta.com/blog/geosinteticos-en-el-proceso-de-impermeabilizacion-de-muros-enterrados/>
 - 7) Geotexan. Fabricante español de geotextil y fibras sintéticas. <https://geotexan.com/geotextiles-en-el-mercado-2012-2018>
 - 8) SGE Perú. <https://sge-peru.com/service/geotextiles/>
 - 9) IRAM 78014 (2002). Determinación del coeficiente de fricción entre un geosintético y el suelo u otro geosintético, mediante el método de corte directo. IRAM Argentina.
 - 10) J Widjakusuma et al (2019). Study on tropical organic soil stabilization based on biogrouting. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/620/1/012032 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/620/1/012032>
 - 11) NanJing T-Bota Scitech Instruments & Equipment Co. EE.UU. <https://www.tbt-sciotech.com/>
 - 12) Gilson Company. EE.UU. <https://www.globalgilson.com/high-capacity-direct-shear-machine>
 - 13) UTEST Material Testing Equipment. Turquía. <https://www.utest.com.tr/en/23196/Fully-Automated-Sheartrac-III-System>
 - 14) Geocomp. Servicios de consultoría. EE. UU. <https://www.geocomp.com/GeoTesting/Laboratory/Interface-Shear>
 - 15) Swan R. H. (2019). Geosynthetic interfase shear testing. Webinar organizado por FGI (Fabricated Geomembrane Institute).
 - 16) Zorberg Jorge (2020). Estabilización de base en la construcción de carreteras utilizando geosintético. Webinar organizado por IGS Chile.
 - 17) Kumar S.K, Hua Y.J. (2006). Fundamentals of Geosynthetic engineering, The Netherland. https://www.academia.edu/42742257/Fundamentals_of_Geosynthetic_Engineering
- Otras consultas bibliográficas**
- a) ASTM D5321/D5321-17. Standard test method for determining the shear strength of soil-geosynthetic and geosynthetic-geosynthetic interfases by direct shear. (1992)
 - b) ASTM D6243/D6243M-16. Standard test method for determining the internal and interfase shear resistance of geosynthetic clay liner by the direct shear method (1998).
 - c) ASTM D7702M-14. Standard guide for consideration when evaluating direct shear results involving geosynthetic (2014).
 - d) Autor desconocido. Ensayo de corte directo. Universidad de las Américas Puebla. México.
 - e) Martínez Bacas, A. (2009). Comportamiento resistente al deslizamiento de geosintéticos. Universidad de Cantabria. España.
 - f) Concrereservicios S.A.S. (2015). Equipos de corte directo. <https://site.concrereservicios.com.co/index.php/equipos-de-corte-directo/>
 - g) Del Santo, M. (2020). Resistencia al corte en suelos. Geotecnia. Universidad Nacional de La Plata. https://www.youtube.com/watch?v=y0KtNIE03Pw&ab_channel=GeotecniaUNLP
 - h) Franch, J. (2013). Estudios geotécnicos. <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-de-laboratorio-resistencia-de-los-suelos-2-ensayo-de-corte-directo/>

PARTICULARIDADES DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS Y MORTEROS

Becaria: Cirone, Manuela (manucirone@hotmail.com)

Directora: Sosa, María Eva (ingmesosa@gmail.com)

Área: Tecnología de los Pavimentos Rígidos y Estructura.



Resumen

La absorción de agua de los agregados es una propiedad de gran relevancia al momento de dosificar mezclas asfálticas y cementíceas. En nuestro país, así como en una gran cantidad de normas internacionales se utiliza el método del cono para determinar el estado saturado a superficie seca de los agregados y a partir de él la absorción que los mismos poseen. Esta tesis discute las similitudes y diferencias en el procedimiento que indican las normativas y su posible implicancia en el valor determinado de la absorción.

Palabras clave: Absorción, agregados finos, estado saturado superficie seca.

1. Introducción

La absorción se define como la cantidad de agua que un cuerpo poroso incorpora en sí llenando sus poros permeables. La determinación de la absorción de los agregados cobra una gran relevancia en el diseño de mezclas asfálticas por cuanto influye en el contenido de material ligante a incorporar en la mezcla. Así mismo, en mezclas cementíceas determina la cantidad de agua a adicionar o quitar de la mezcla siempre que el agregado no se utilice en estado saturado superficie seca (ACI 211).

Para su determinación, tanto la norma nacional (IRAM 1520), como una gran cantidad de normativa internacional (ASTM C 128, NMX C 165, UNE EN 1097-6, NTC 237, NTP 4000.022, etc) utilizan el método del cono. Este método consiste en determinar la forma que adopta una muestra del material bajo estudio y consecuentemente el estado saturado a superficie seca (sss). El método se basa en el hecho que cuando el agregado fino presenta humedad superficial, la película de agua que recubre las partículas le otorga cohesión al esqueleto granular gracias a la tensión superficial y por consiguiente al retirar el molde el agregado conserva la forma de él (Carrizo et al 2015). Por el contrario, cuando la muestra de agregado se encuentra en condición saturada y con su superficie seca, se pierde dicha película acuosa y la muestra de agregado se dispone según su ángulo de reposo o de fricción interna. Por consiguiente, el estado sss representa el momento en el cual todos los poros accesibles de las partículas de

agregados se encuentran colmados de agua sin que dicha agua se encuentre en su superficie. Figura 1.

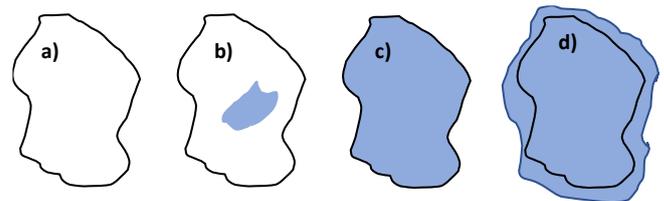


Figura 1. Estado de humedad posibles. a) Seco, b) seco al aire, c) saturado a superficie seca, d) con humedad superficial

A pesar de que las normas mencionadas establecen el mismo método para determinar la condición sss, existen diferencias sustanciales en los procedimientos que tornan al menos debatible la comparabilidad de los resultados obtenidos por diferente normativa. En esta tesis se analizan las diferencias en los procedimientos establecidos en las diferentes normativas y su posible implicancia en la absorción determinada.

2. Normativas

En este apartado se discutirán los procedimientos indicados en la norma para la determinación de la absorción del agregado fino. Independientemente de las particularidades de cada norma, el método de ensayo consiste en sumergir una muestra representativa del material en agua durante un determinado periodo de tiempo. Posteriormente mediante corriente suave de aire ese material es secado y a intervalos determinados de tiempo colocado en un

cono con una compactación determinada. Posteriormente se retira el cono suavemente y observando la forma que adquiere el material se determina el estado saturado a superficie seca. Cuando la forma del material es la indicada en la norma, la muestra se encuentra en la condición sss y es secada en estufa hasta peso constante, determinándose la absorción mediante la Ecuación 1.

Donde: A (%) corresponde a la absorción del agregado; M1 corresponde al peso del material en estado sss y M0 corresponde al peso del material seco hasta peso constante.

$$A (\%) = \frac{M1 - M0}{M0} \times 100$$

Ec. 1

3. Análisis de normativa

Se analizaron los procedimientos de ensayo de las normas ASTM C 128, IRAM 1520, NMX C 165, UNE EN 1097, NTC 237, NTP 4000.022 y NBR NM 30 que se utilizan en Estados Unidos, Argentina, México, Unión Europea, Colombia, Perú y Brasil respectivamente. En todas ellas se determina la absorción del agregado fino mediante el empleo del método del cono.

Se abordan a continuación las diferentes etapas inherentes al ensayo:

Tamaño de la muestra bajo análisis:

Las normas ASTM C 128, IRAM 1520, UNE EN 1097, NTC 237 y NBR NM 30 establecen que para realizar el ensayo se debe disponer de una muestra de 1 kg de peso. En tanto que la norma NTP 4000.022 no especifica la cantidad de muestra necesaria para la realización del ensayo y la norma mexicana establece que el volumen de la muestra debe ser de al menos dos veces del volumen del picnómetro que se utilizara (del cual solo fija el diámetro).

Preacondicionamiento de la muestra:

Previo a la realización del ensayo la muestra debe ser secada hasta peso constante.

En la norma IRAM 1520 se establece que el secado debe realizarse a una temperatura de 105 ± 5 °C La temperatura de secado en las normas ASTM C 128, NMX C 165, NTP 4000.022 y NTC 237 es de 110 ± 5 °C. La norma NBR NM 30 no requiere un preacondicionamiento de la muestra. En la norma UNE EN 1097 se indica que el material bajo análisis se lava sobre un tamiz de 0,063 mm siendo este el único preacondicionamiento. En todos los casos en que las normas indican que el material debe ser secado a peso constante, se define a este como una diferencia entre dos pesadas sucesivas menor a 0,1%.

Sumersión de las muestras:

Todas las normas establecen que el material bajo análisis debe sumergirse en agua durante un periodo de al menos 24 hs. Luego del periodo de sumersión las distintas normativas establecen que el material bajo estudio debe ser extendido superficialmente y sometido a una suave corriente de aire. Mientras el material es secado debe realizarse a intervalos de tiempos que ninguna de la normativa su duración al método del cono hasta que el material adquiera la forma correspondiente a la condición saturado a superficie seca.

Llenado y compactación del molde troncocónico

La norma IRAM 1520, NTC 237, NTP 4000.022 y ASTM C 128 indican que el molde se debe llenar en una sola capa sin enrasar y que la compactación se realiza mediante 25 golpes con pisón normalizado dejando caer el mismo desde una altura de 5 mm sobre la superficie del material. Tanto en la norma UNE EN 1097 como en la NBR NM52 la compactación se establece también con 25 apisonamientos sin rellenar el molde, sin especificarse la altura de caída del pisón. La norma NMX C 165 establece que el molde debe llenarse procediendo a la compactación con 10 apisonamientos apoyando el pisón en la superficie del material y dejándolo descender por su propio peso. Posteriormente se rellena el cono y se apisona otras 10 veces, se vuelve a rellenar y se apisona otras 3 veces, repitiendo el procedimiento una vez más, pero apisonando finalmente dos veces.

Determinación del estado saturado a superficie seca

La forma que adquiere el material luego de la compactación y de que el cono es retirado puede asociarse a la condición de humedad que posee la muestra bajo estudio. En el caso de la norma IRAM se define la forma que debe tomar el material para considerarlo en la condición sss como: un desmoronamiento del material, pero conservando una pendiente de generatriz recta y adquiriendo una forma cónica. Complementariamente a la definición de la forma que adquiere la muestra para considerarla en estado sss, la norma provee esquemas con las posibles condiciones de humedad de la muestra bajo estudio y su correspondencia con la forma que adopta el material Figura 2.

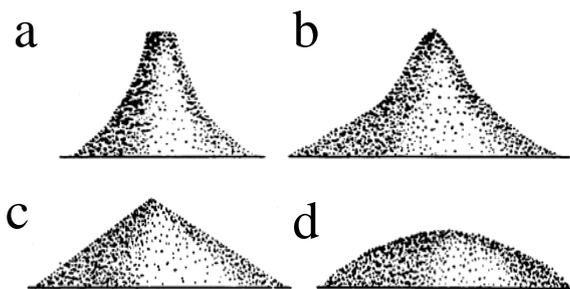


Figura 2. Forma que adquiere el material de acuerdo con su contenido de humedad. a) Con exceso de humedad, b) ligeramente húmedo, c) sss, d) casi seco.

La norma ASTM C 128 define la forma que adopta el material en estado sss como: *Un ligero desmoronamiento del material*. Dicha forma en la norma NMX queda definida como “cuando el material se disgrega un poco, perdiendo parcialmente la forma del molde y es acompañada por un esquema como el mostrado en la Figura 3.

La norma NTC describe la mencionada forma como “el agregado fino se asienta levemente”. La norma UNE indica que la condición sss se alcanza cuando la muestra “se desmorona”. La norma NTP caracteriza a la forma que debe adquirir el material como “la ligera caída del agregado fino”. Finalmente, la norma NRB indica que la condición sss se alcanza cuando “el agregado fino se desmorone”.

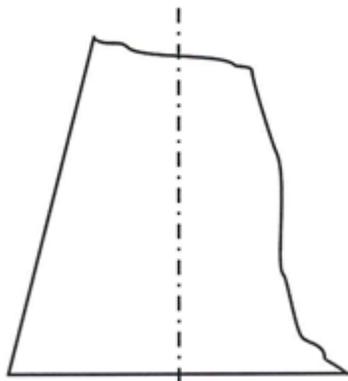


Figura 3. Material en condición sss de acuerdo con NMX C 165.

4. Discusión

En las distintas etapas del procedimiento establecido en las normas que son comparativamente analizadas se pueden observar diferencias. Esas diferencias podrían tener algún impacto en el valor de la absorción determinada. Es de esperar que las diferencias en la temperatura de secado de las muestras en la etapa de precondicionamiento no tenga una gran influencia en la determinación de la absorción, por cuanto solo generaría un mayor gradiente de humedad y consecuentemente una mayor velocidad de ingreso de agua en los poros del agregado. Sin embargo, la

determinación del estado sss no se vería influenciada en mayor medida por cuanto no depende de dicha velocidad. Respecto a la forma de compactación, si bien la mayoría de las normas aquí analizadas adoptan como criterio dejar caer el pisón desde una altura de 5 mm por sobre la superficie del agregado, sin rellenar el molde posteriormente al proceso de compactación, una mayor altura de caída, el rellenado del molde o la compactación en capas implican un mayor contenido de muestra, a la vez que contribuye a la cohesión de las partículas y a la densificación de la muestra. Es posible que esas causen alguna influencia en la forma que adquiere el material una vez retirado el molde y consecuentemente generen algún impacto en el valor de absorción determinado. Mediciones experimentales serían necesarias para establecer el impacto de la compactación.

Por último, la definición del estado saturado a superficie seca, con excepción de la norma IRAM 1520 y la norma NMX C 165 que presentan esquemas representativos, se realiza mediante definiciones que resultan vagas e imprecisas quedando, en consecuencia, a criterio del operador interpretar que se considera como “un leve desmoronamiento del material”, cuando “el material se disgrega un poco, perdiendo parcialmente la forma del molde” que es un “leve asentamiento”, etc. Resulta claro que tal subjetividad podría generar grandes variaciones en el valor de absorción determinado de acuerdo con cada norma. Al respecto, en Sosa et al 2018 al evaluar, la absorción de diferentes agregados conforme con la norma ASTM C 128, encontraron que las diferencias en los valores de absorción determinados en un mismo material por tres diferentes operarios fueron del orden del 60%. Esa dispersión no representa una importancia significativa en agregados de baja absorción como lo son las arenas silíceas (entre el 0.5 y 0.8% de absorción), pero cobran una importancia significativa en agregados con alta absorción como son los agregados reciclados cuyos rangos de variación se encuentran entre 2,4 y 14,3 (Villagrán Zaccardi et al 2021). Por lo discutido resulta adecuado considerar, fundamentalmente en agregados con alta absorción que los valores reportados de absorción podrían no ser directamente comparables con los de una normativa diferente a la considerada en el estudio.

5. Conclusiones

Del análisis comparativo de distintas normas para determinar la absorción de los agregados finos, particularmente aquellas que utilizan el método del cono para la determinación del estado surge que: Pese a utilizar un mismo método las normas presentan diferencias en los procedimientos de

preacondicionamiento de la muestra bajo análisis, compactación y definición de la forma que adopta el material que pueden conllevar a diferencias en el valor de la propiedad determinada.

La definición que las normas brindan de la forma que debe adquirir el material cuando se encuentra en estado sss resulta en muchos casos imprecisa por lo cual implica la subjetividad del operador.

UNE-EN 1097. (2014). Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua. AENOR

Villagrán Zaccardi, Y.A., Marsh, A., Sosa, M.E., Zega, C.J., De Belie, N., Bernal, S. (2021). Complete re-utilization of waste concretes-Valorisation pathways and research needs. Resources, conservation and Recycling. 177 105955.

Referencias bibliográficas

ACI 211. (1991). Standard Practice for Selecting

Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, ACI Committee 211, Farmington Hills, USA

ASTM C 128. (2001). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. ASTM

Carrizo, L., Sosa, M.E., Zega, C.J., Villagrán Zaccardi, Y.A. (2015). Determinación efectiva del estado saturado a superficie seca en arenas de trituración. En: Memorias de la 21° Reunión técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Salta, Argentina.

IRAM 1520 (2012). Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua. Argentina

NBR NM 30. (2003). Agregado miúdo. Determinação da absorção de agua. ABNT.

NMX C 165. (2014). Industria de la construcción – agregados – Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino – Método de ensayo. OONCCE.

NTC 237 (1995). Ingeniería civil y Arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción de agua del agregado fino. ICONTEC.

NTP 4000.022. (2013). Método de ensayo normalizado para la densidad relativa real (peso específico) y absorción de agua el agregado fino. INDECOPI.

Sosa, M.E., Carrizo, L.E., Zega, C.J., Villagrán Zaccardi, Y.A. (2018). Water absorption of fine recycled aggregates: effective determination by a method based on electrical conductivity, Mater. Struct. Constr. 51 (2018). <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1248-2>.

PETROGRAFÍA DE DETALLE DE AGREGADOS CUARCÍTICOS PROVENIENTES DE CANTERAS DEL SISTEMA DE TANDILIA. IMPLICANCIAS EN EL GRADO DE DESGASTE POR MICRO DEVAL

Becaria: Insaurralde Rocío V. (ro_insaurralde@hotmail.com)

Directora: Lajoinie María F. (florencialajo@hotmail.com)



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

El presente trabajo expone los resultados de estudios petrográficos de detalle de cuatro variedades de rocas provenientes del Sistema de Tandilia, genéricamente denominadas como cuarcitas. Las variaciones texturales y mineralógicas identificadas han demostrado que el desgaste medido en trabajos anteriores por el ensayo de Micro Deval depende fuertemente de las mencionadas propiedades en esta variedad litológica.

Palabras clave: Agregado grueso, cuarcitas, propiedades de origen, propiedades mecánicas.

1. Introducción

Los agregados cuarcíticos, provenientes de canteras ubicadas en el ámbito geológico del Sistema de Tandilia, se encuentran constituidos por un conjunto de rocas denominadas en términos generales como cuarcitas. Dicho término, incluye tanto rocas sedimentarias como areniscas cuarzosas, con diferente grado de compactación, así como rocas metamórficas conformadas casi en su totalidad por cuarzo recristalizado [1]. En este sentido, es de esperar que estas rocas en su conjunto no presenten un comportamiento químico y mecánico homogéneo. En el Sistema de Tandilia, estas rocas, se desarrollan en dos unidades diferenciadas: las cuarcitas inferiores de edad neoproterozoica y las cuarcitas de la Formación Balcarce pertenecientes al Paleozoico Inferior [2]. Esta última, 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” [3]. Sin embargo, en otros sectores, estas cuarcitas constituyen el “destape” que permite explotar los estratos de arcillas que se desarrollan estratigráficamente por debajo. En este último caso, estas rocas son acumuladas en pilas de descarte que permanecen como pasivos ambientales. Esta situación se debe principalmente al escaso conocimiento que existe sobre las propiedades de este tipo de rocas al ser utilizadas, por ejemplo, como agregados gruesos en pavimentos rígidos y flexibles.

Recientemente, se han presentado resultados preliminares que postulan que la resistencia en estas rocas cuarcíticas está influenciada por la textura presente, o relación 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 [1].

En el presente trabajo de investigación, se exponen los resultados de estudios petrográficos detallados realizados sobre cuatro variedades de cuarcitas obtenidas en canteras ubicadas en Estación López, Sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires. Estas variedades han sido seleccionadas principalmente por sus valores diferenciales de desgaste de coeficientes Micro Deval (MD) realizados en contribuciones anteriores [1]. De esta forma, se espera poder identificar las principales características de origen que han condicionado los resultados de desgaste obtenidos para cada una de las variedades estudiadas.

2. Materiales y Métodos

Las muestras de cuarcitas fueron caracterizadas bajo lupa binocular, Olympus modelo SZH10, y en un microscopio petrocalcográfico, marca Olympus modelo BX53, del laboratorio de microscopía del INREMI, y Olympus modelo U-TV.5XC-3, del laboratorio de microscopía del LEMaC (Fig. 2a y b). 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 las estructuras presentes de acuerdo a las normas IRAM 1702 [4] y 1703 [5]. Cabe destacar que todas estas características

tienen implicancias en la interpretación de los procesos geológico-genéticos ocurridos y en la valoración de los parámetros de desgaste por Micro Deval [1]. 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.

La información obtenida del estudio petrográfico fue utilizada para interpretar los valores obtenidos en los ensayos de Micro Deval realizados en investigaciones previas [cita tesis].

3. Resultados

Las muestras estudiadas corresponden a cuatro variedades de cuarcitas denominadas genéricamente como C1, C2, C3 y C4, cuyos coeficientes MD se encuentran incluidos en la imagen de la Fig. 1.

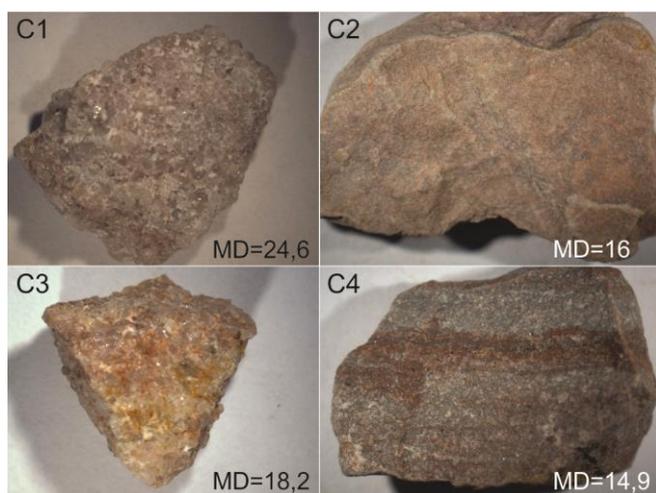


Figura 1: Aspecto mesoscópico de los agregados cuarcíticos C1, C2, C3 y C4 con sus respectivos valores de MD.

La muestra C1, presenta un tamaño de grano medio-fino (general) y una textura levemente inequigranular, destacándose una moda granulométrica de clastos menores a 0,5 mm y otra, menos representativa, de clastos mayores a 1 mm (Fig. 2a). Los clastos más pequeños corresponden a cuarzo y presentan una morfología irregular con bordes angulosos. Además, estos cristales se encuentran acompañados por filossilicatos (Fls) del grupo de las arcillas y, en menor proporción, del grupo de las micas (Fig. 2a) que en determinados sectores presentan crecimiento en dos direcciones perpendiculares entre sí (Fig. 2b).

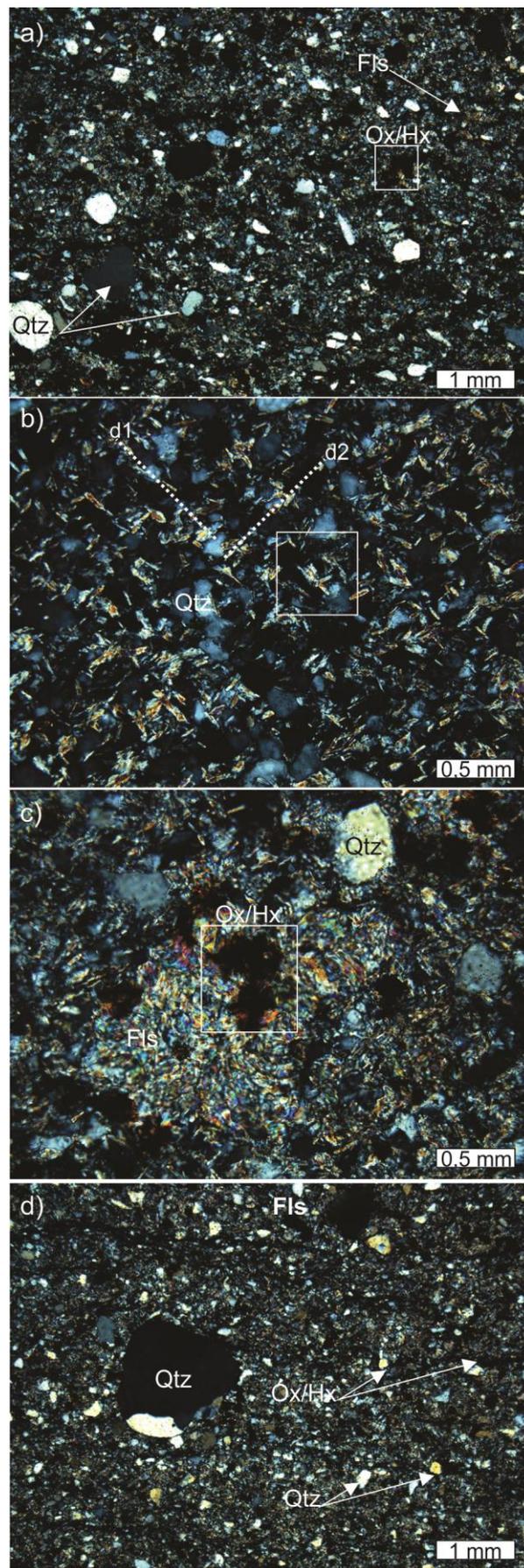


Figura 2: Fotomicrografías con analizador de la cuarcita C1. a) Apariencia microscópica general. b)

Matriz de grano más con crecimiento de filosilicatos (Fls) en dos direcciones (d1-d2). c) Acumulación de óxidos e hidróxidos de hierro (Ox/Hx). d) Clasto de cuarzo (Qtz) policristalino.

En diversos sectores del corte se pueden distinguir acumulaciones irregulares de material de coloración rojiza correspondiente a óxidos e hidróxidos de hierro (Ox/Hx) (Fig. 2c). Los clastos de mayor tamaño son de cuarzo y presentan morfologías esféricas y bordes redondeados. Además, algunos corresponden a cuarzo policristalino (Fig. 2d).

La muestra C2 es la más homogénea y posee una textura arenosa equigranular, conformada por más del 90% de clastos de cuarzo de 1 mm de tamaño aproximado y escasos fragmentos de chert o ftanita (Fig. 3a y b). Los clastos de cuarzo presentan numerosas inclusiones tanto sólidas como fluidas. Es importante remarcar que en algunos sectores puede observarse bordes con disolución por presión (Fig 3b), mientras que en otros se pueden identificar numerosas microtexturas de deformación y recrystalización como extinción ondulosa (eo) y subgranos (sg) (Fig. 3c y d). Algunos clastos evidencian sobrebordes de sílice posiblemente asociado a la cementación de los mismos (Fig. 3a). No se ha identificado matriz de ningún tipo.

La cuarcita C3 presenta una textura homologable a una arenisca cuarzosa constituida por clastos redondeados de cuarzo de 1mm de tamaño medio, rodeados por una matriz de clastos de cuarzo de menor tamaño (< 0,1 mm) y un cemento silíceo (Fig. 4a y b). Los clastos de menor tamaño también presentan bordes redondeados a subredondeados con morfologías casi equidimensionales. La proporción de estos elementos es variable, en los lugares donde la matriz y cemento son escasos la textura es clasto-sostén (Fig. 4c) y en donde abundan es matriz-sostén (Fig. 4d). Además, se han detectado microfisuras que atraviesan tanto matriz como clastos que constituyen sectores de debilidad predeterminados. Por otro lado, algunos límites de clastos presentan deformación por presión con límites de borde casi a 120°.

La muestra correspondiente a la cuarcita C4 presenta una textura equigranular a levemente inequigranular seriada y un tamaño de grano de 1 a 0,5 mm (Fig. 5a). La cuarcita se encuentra conformada en su totalidad por cristales o clastos de cuarzo que presentan morfologías irregulares, algunas más equidimensionales y otras más elongadas (Fig. 5b). Los bordes de los clastos son también variables, aunque predominan aquellos angulosos y, en menor medida, los suredondeados (Fig. 5a y b). En ciertos sectores se observan clastos con bordes recrystalizados o con presencia de subgranos (Fig. 5c). Por otro lado, se han observado relictos de clastos más redondeados

rodeados por clastos de menor tamaño similares a los descritos para la muestra C3.

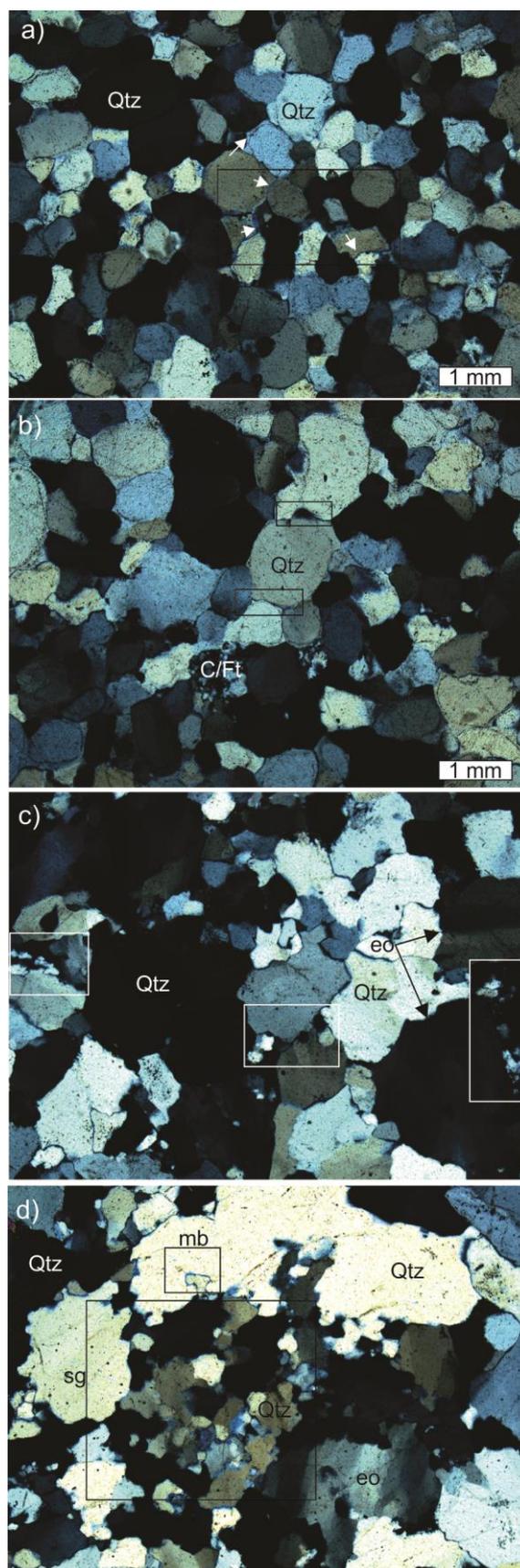


Figura 3: Fotomicrografías con analizador de la cuarcita C2. a) Aspecto general de la textura y

mineralogía y sectores con presencia de cemento silíceo (indicado con flechas). b) En los recuadros se destaca bordes de disolución por presión. C/Ft posibles fragmentos de chert o ftanita. c) Clastos con extinción ondulosa (eo) y subgranos (sg). d) Numerosos subgranos (sg) y migración de borde de grano (mb).

4. Discusión

Escasos son los estudios destinados a conocer el comportamiento de los agregados cuarcíticos utilizados en pavimentos rígidos y flexibles. En términos generales los principales estudios se enfocan en el uso de estos agregados en hormigones y su actividad ante la reacción álcali-sílice. En el caso particular de las rocas cuarcíticas de la provincia de Buenos Aires, particularmente aquellas extraídas en canteras de arcilla del Sistema de Tandilia, se requiere de una caracterización de detalle con fin de comenzar a utilizar estas rocas que se acumulan como pasivos ambientales [6]. Los primeros los primeros resultados de los ensayos de desgaste Micro Deval, obtenidos en trabajos anteriores [1], permitieron reconocer importantes diferencias en el comportamiento de estas rocas y postular que los valores más altos de coeficientes MD se registraron en muestras de cuarcitas con mayor proporción de matriz y cemento de composición arcillosa, mientras que los valores más bajos fueron registrados en rocas con alta proporción de clastos de cuarzo y de sílice amorfa, sin participación de matriz. Los estudios petrográficos detallados de las mismas muestras de cuarcita que se realizaron en este trabajo indican que la muestra con mayor desgaste (C1) se encuentra conformada por un alto porcentaje de matriz micácea-arcillosa. En este sentido, si bien esta muestra presenta clastos de cuarzo redondeados, la alta participación de material fino de menor dureza tiene una fuerte influencia en la aceleración del desgaste que sufre este tipo de agregado. El resto de las muestras C2, C3 y C4 no presentan gran variación composicional, siendo el cuarzo el mineral más abundante en todas (>90%). Sin embargo, si se observaron diferencias importantes en cuanto a la textura y grado de deformación de estas cuarcitas. La muestra C3 presentan características típicas de una cuarcita sedimentaria con presencia de clastos, matriz y cemento todos de composición silíceo. Esta variación de elementos puede contribuir a generar un desgaste heterogéneo considerando sobre todo la diferencia de resistencia entre los sectores clasto-sostén y matriz-sostén. Además, la presencia de microfisuras contribuye a la formación de espacios de mayor debilidad. En cuanto a las muestras C2 y C4, se puede decir que presentan similares características generales con tamaño de grano poco variable, pero con fuertes evidencias de deformación como extinción ondulosa (eo) y migración de borde de grano (mb).

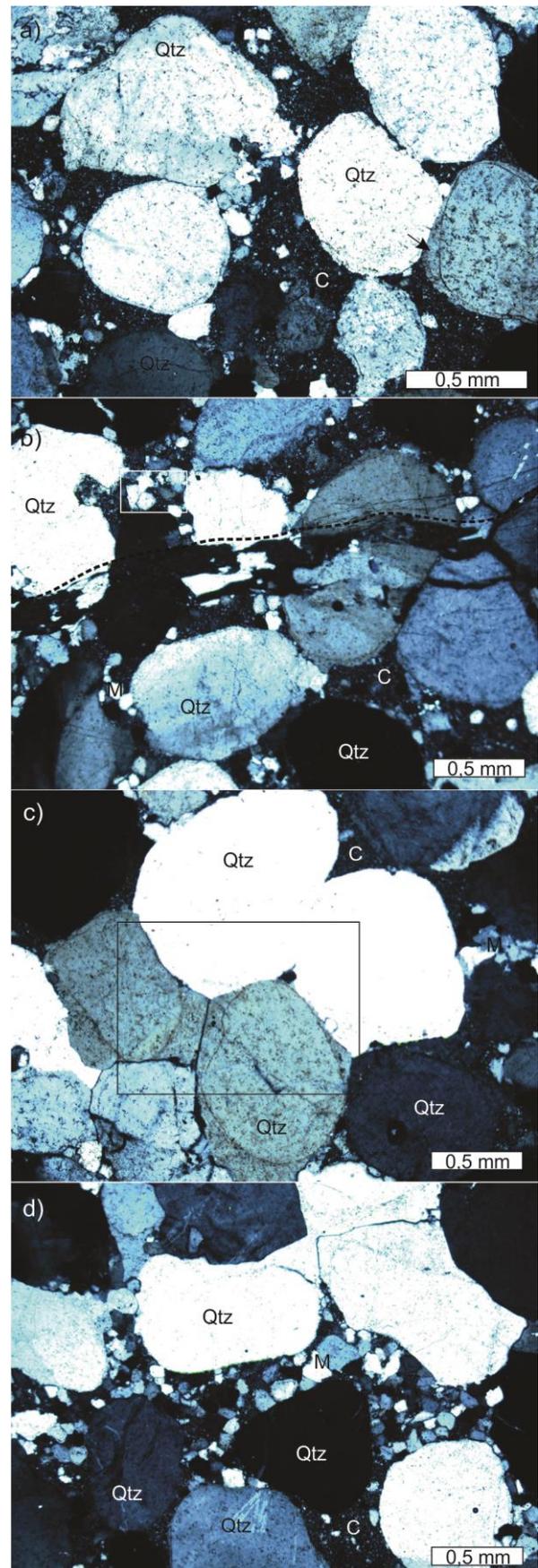


Figura 4: Fotomicrografías de la muestra C3 con analizador. a) y b) Aspecto general de la textura. c) y d) Detalle de los clastos.

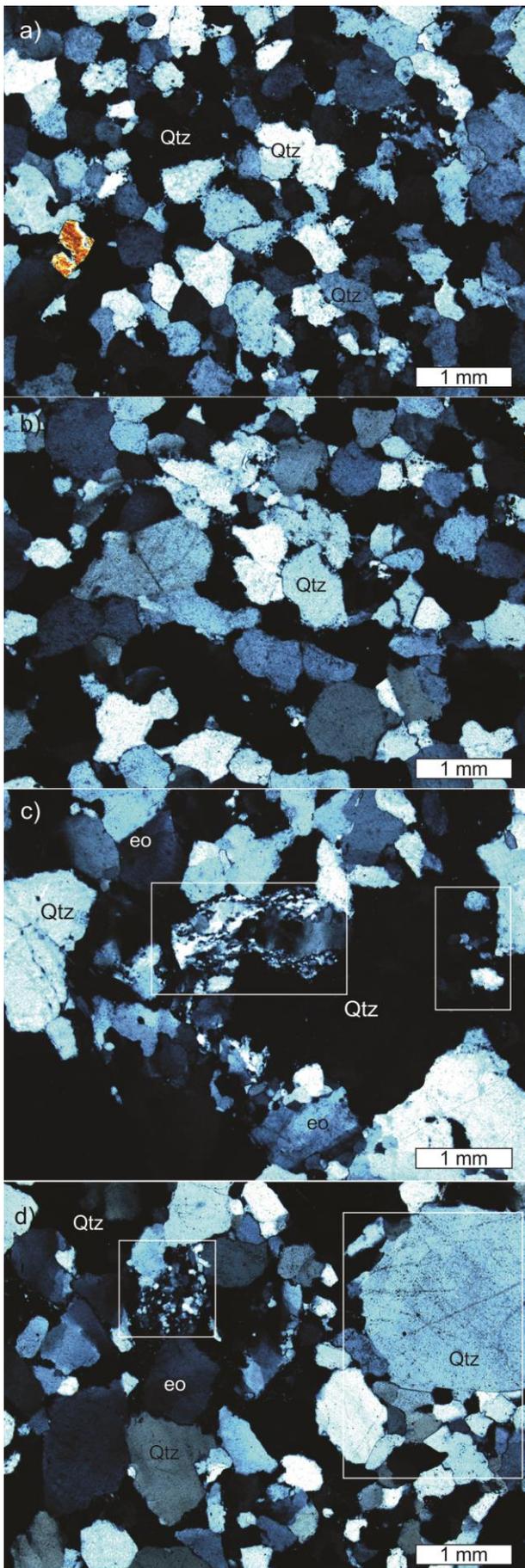


Figura 6: Fotomicrografías de la muestra C4 con analizador. a) y b) Aspecto general de la textura de la

roca. c) Sectores con presencia de cuarzo recrystalizado y subgranos. d) Clasto redondeado rodeado de otros de menor tamaño al igual que en la muestra C3.

En este sentido, estas rocas demuestran haber sufrido el accionar de un proceso de deformación a alta temperatura. Estas características, así como la irregularidad en los bordes de los cristales de cuarzo podrían ser responsables de una mejor respuesta de estas muestras ante el desgaste Micro Deval.

5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, la petrografía de los agregados cuarcíticos (identificación de textura, mineralogía y fábrica) es una herramienta fundamental al momento de predecir la resistencia de este tipo de rocas que en su génesis pueden presentar diferentes características las cuales influyen directamente en sus propiedades mecánicas.

Referencias bibliográficas

- [1] Insaurralde R.V., Lajoine, M.F. 2020. 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. Tesis de becarios de investigación, Lemac, UTN La Plata. Argentina.
- [2] Cingolani. C.A. 2011. The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: an overview. *International Journal of Earth Sciences*, 100: 221-242. doi.org/10.1007/s00531-010-0611-5
- [3] 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.ta, 21-24, ISSN 2250-7221. Argentina.
- [4] Agregados gruesos para uso vial. Método de análisis del estado físico de la roca. Norma IRAM 1702. 1981.
- [5] Agregados gruesos para uso vial. Características basadas en el análisis del estado físico de la roca. Norma IRAM 1703. 1981.
- [6] 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.

DETERMINACIÓN DE SUPERFICIES ESPECÍFICAS EN LA GRANULOMETRÍA DE POLVO DE NFU USADOS EN LA MODIFICACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

Becario: Battista, Mirco (mircobattista@alu.frlp.utn.edu.ar)

Director: Fensel, Enrique (efensel@frlp.utn.edu.ar)

Área: Tecnología de los Pavimentos Flexibles.

PID Asociado: “Utilización de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en elementos de construcción vial”.



Resumen

La presente tesis se enmarca en el contexto de utilización de caucho de neumáticos fuera de uso en la construcción de pavimentos asfálticos. Se abarcan todos los conceptos que intervienen en la incorporación de NFU en cementos asfálticos para pavimentos flexibles como los procesos de molienda, obtención del polvo de caucho, granulometría asociada al tipo de incorporación, los métodos de medición y análisis de dichas partículas y cálculo de su superficie específica.

Palabras clave: Pavimentos flexibles, Asfalto, Reciclado, Neumáticos fuera de uso, Caucho, Granulometría, Superficie específica

1. Introducción

En el mundo se generan toneladas de residuos de NFU (Neumáticos Fuera de Uso) los cuales requieren un gran consumo de energía para su fabricación y su disposición final es muy compleja, por su volumen, elasticidad y porque no se compactan, ocupando así mucho espacio en los vertederos. Una de las posibles aplicaciones es en la fabricación de mezclas asfálticas para carreteras. En estas el polvo de caucho obtenido de los NFU se incorpora en los cementos asfálticos, lo cual produce una interacción entre el asfalto y las partículas de caucho generando modificaciones en las propiedades del producto final.

De esta interacción asfalto-caucho se colige que, más allá del porcentaje de aditivación que intervenga, el tamaño y la distribución de las partículas es fundamental en este proceso. Por ello se plantea el estudio del tamaño, la distribución y la morfología de las partículas de NFU por los distintos métodos que se tiene al alcance.

2. Materiales y Métodos

Neumáticos fuera de uso

Como se indicó en la introducción los NFU son residuos muy importantes que se fabrican masivamente y que terminan acumulados en vertederos sin ningún tipo de uso (fig. 1). Por suerte, hoy en día las posibles aplicaciones de reutilización y reciclado de los NFU son muy variadas. La aplicación principal de reutilización es el recauchutado; tarea que consiste en retirar la banda de rodadura gastada para colocar una nueva en su lugar; pero también se pueden incluir el uso de neumáticos

enteros en defensas de muelles, rompeolas, barreras sonoras, elementos de seguridad vial, entre otros.

Como material reciclado se los puede triturar y utilizarlos en campos de fútbol, baldosas, pistas, entre otros. Siendo de interés la utilización como material granulado y polvo en la fabricación de mezclas bituminosas para carreteras. Esto se debe a que su uso es más económico en comparación con otros modificadores alternativos, permite consumir una considerable cantidad de residuo y mejora las prestaciones de las mezclas asfálticas para pavimentos tales como:

- Mejoras estructurales
- Mejoras funcionales en la capa de rodamiento, como adherencia neumático-calzada, textura y disminución del espray entre otras
- Mejoras en el comportamiento de la fisuración refleja en recapados
- Mejoras en las características reológicas de la mezcla (elasticidad, resistencia, durabilidad)



Fig 1. Vertedero de NFU.

Polvo de caucho

Los neumáticos son estructuras toroidales compuestos por cauchos naturales y sintéticos, cargas reforzantes, antioxidantes, materiales metálicos, textiles y otros ingredientes necesarios para su vulcanización.

El polvo de caucho reciclado (fig.2) se obtiene triturando los neumáticos enteros hasta el tamaño deseado y separando los metales y tejidos que pueda contener. Esta forma de trituración, la granulometría de las partículas, el contenido de contaminantes metálicos y textiles afectan directamente a las propiedades del polvo de caucho.

Procesos de molienda

Existen distintos métodos de trituración del NFU, entre los más comunes:

- Trituración Mecánica

Este es un proceso puramente mecánico de trituración para conseguir “gránulos” de diferentes tamaños dependiendo de las etapas a las que se haya sometido. La eficacia de la separación entre el acero triturado y los textiles del caucho es función del grado de molienda

- Trituración criogénica

En este proceso los neumáticos se someten a bajas temperaturas, del orden de -70°C que corresponden al nitrógeno líquido, en forma de espuma criogénica, en un túnel de ciclo cerrado aislado al vacío, a la cual el caucho se vuelve frágil y quebradizo.

Por este método se obtiene una excelente molienda (partículas de aproximadamente 0,1mm, un aspecto favorable para la micro dispersión de éste en ligantes asfálticos) y una buena separación de cenizas, acero y fibras textiles.

Para la utilización del mismo se requiere la trituración del caucho en forma de partículas finas de tamaño máximo nominal inferiores a 2mm (N°10) y mayores a 0,063mm (N°230) de tamices ASTM.

Incorporación de polvo de caucho en mezclas asfálticas

La incorporación de polvo de caucho a una mezcla asfáltica puede realizarse de tres maneras:

Por vía húmeda: Este procedimiento consiste en dispersar el polvo NFU dentro del asfalto para posteriormente utilizarlo en la fabricación de mezclas asfálticas. Cuando el polvo de caucho es incorporado a elevada temperatura las partículas de caucho se reblandecen, absorben fracciones livianas del asfalto y se hinchan. Con el aumento de volumen, debido al hinchamiento, disminuye la distancia entre las partículas de caucho y el asfalto se vuelve más viscoso. A este fenómeno se lo suele denominar digestión o maduración del caucho. Las características del producto

resultante dependen del tiempo y temperatura de mezclado, pero fundamentalmente del tamaño de las partículas de caucho que se incorporan.

Por vía semi-húmeda: se incorpora el polvo de caucho directamente al mezclador durante la fabricación de la mezcla bituminosa, estando este pretratado industrialmente y recubierto por aditivos que le confieren propiedades de predigestión. Esta tecnología, desarrollada en los últimos años, permite minimizar el efecto de la digestión en el caucho, favoreciendo la posibilidad de introducir cantidades más elevadas. Este producto es dosificado como filler de aportación en la planta.

Por vía seca: Consiste en introducir el polvo de caucho directamente en el mezclador de la central de fabricación de mezclas asfálticas, como si este fuere un árido más. Posteriormente en la mezcla asfáltica las partículas más finas interaccionan con el asfalto modificando sus propiedades, consiguiéndose así mejorar el comportamiento de la mezcla.

A su vez, pueden distinguirse dos técnicas, dependiendo del tamaño máximo de polvo de caucho a utilizar.

- Utilizar tamaños máximos de hasta 2mm:

Como el tamaño máximo es elevado, consecuentemente la superficie específica de polvo de caucho se reduce. Al ser además el tiempo de interacción limitado, no hay tiempo suficiente para que la digestión tenga lugar en la totalidad de la masa de las partículas de caucho más gruesas. Por lo tanto el polvo de caucho funciona en dos sistemas componentes en los que: las partículas más finas (principalmente los que pasan el tamiz 0,5mm) interactúan con el betún a elevadas temperaturas y modifican su reología mediante un procedimiento similar al húmedo; y las partículas gruesas se comportan como un agregado elastomérico dentro del esqueleto mineral de la mezcla asfáltica, aunque de manera superficial también reaccionan con el asfalto formando una interfaz asfalto-caucho que cohesiona ambos materiales.

- Utilizar tamaños máximos hasta 0,5mm:

Al ser el polvo de caucho de menor tamaño, las partículas más finas actúan como un modificador del betún añadido al mezclador. Se añade polvo de caucho en menor proporción.

De lo explicado anteriormente se llega a la conclusión de que el tamaño y distribución de las partículas es fundamental en el proceso de incorporación del NFU, especialmente en las fracciones finas comprendidas entre el Tamiz de ASTM N° 35 (0,50 mm) y el N° 230 (0,063 mm), en donde la metodología de fraccionado

puede llevar a una dispersión importante en la composición granulométrica de cada fracción.



Fig 2. Polvo de caucho.

Granulometría

Se puede entender a la granulometría como el estudio de la distribución del tamaño de los elementos que conforman una muestra y la representación de estos a través de tablas, números y gráficos. Al conjunto de operaciones realizadas para arribar a tal fin se lo conoce como análisis granulométrico.

Para conocer la distribución de los tamaños de las partículas estudiadas se utiliza el método de medición por tamizado (Fig. 3).

Este método consiste en medir el peso del material que pasa a través de una criba (tamiz) de malla calibrada. Los tamices se superponen en forma de ir disminuyendo la malla y se mide el peso del material retenido en cada tamiz. (Tabla 1)

La medición puede llevarse a cabo por vía seca o bajo una corriente de agua, dependiendo del tamaño del material.

A su vez pueden definirse dos series:

- Serie Gruesa; retiene tamiz N°4 - 4,760 mm
- Serie Fina; Pasa tamiz N°4 - 4,760 mm, retiene tamiz N°400 – 0,037mm



Fig. 3. Tamices normalizados

TAMICES ASTM - IRAM	
Luz	N°
2,000 mm	10
1,680 mm	12
1,410 mm	14
1,190 mm	16
1,000 mm	18
0,840 mm	20
0,710 mm	25
0,590 mm	30
0,500 mm	35
0,420 mm	40
0,350 mm	45
0,297 mm	50
0,250 mm	60
0,210 mm	70
0,177 mm	80
0,149 mm	100
0,125 mm	120
0,105 mm	140
0,088 mm	170
0,074 mm	200
0,062 mm	230

Tabla 1. Tamices serie ASTM-IRAM

Superficie específica

Se entiende a la superficie específica de un sólido como aquella propiedad que describe la relación entre el área superficial total y la masa o volumen de este.

Su determinación toma mayor importancia sobre partículas finas debido a que hay una relación inversa entre el tamaño de la partícula y la superficie específica. En cuanto a su medición, el valor obtenido de superficie específica depende en gran medida del método utilizado. El método seleccionado va a depender de qué tan grandes o pequeñas sean las partículas. Las más grandes pueden medirse por métodos clásicos a través del tamizado, pero para las más pequeñas deben recurrirse a métodos más complejos como por ejemplo la medición por difracción laser basado en las teorías de difracción de Mie y Fraunhofer.

Resulta importante destacar que la teoría de MIE se utiliza para partículas que son finas (menor que 1 μm) y/o transparentes, mientras que Fraunhofer - la más común - es una aproximación de la teoría de MIE y se utiliza para los demás tipos de partículas de mayores tamaños.

Análisis de partículas

El problema básico del análisis del tamaño de las partículas es poder describir un objeto tridimensional con un solo número que lo represente. La única forma de hacerlo es utilizando la esfera equivalente. Es decir,

medimos alguna propiedad de la partícula y asumimos que se refiere a una esfera de diámetro equivalente. Esto trae aparejados inconvenientes al realizar las mediciones con diferentes técnicas ya que si observamos nuestra partícula en un microscopio estaremos viendo una proyección sobre 2 dimensiones y habrá un número de diámetros que podemos medir para caracterizar a nuestra partícula. Si tomamos la máxima longitud de la partícula y consideramos ésta para nuestro tamaño, realmente estamos determinando que nuestra partícula es una esfera de esta máxima dimensión. De la misma forma, si usamos el diámetro mínimo o alguna otra medida, se producirá otra respuesta al tamaño de nuestra partícula. Por tanto, se obtendrá una respuesta diferente de las técnicas que midan otras dimensiones alternativas.

Dos métodos muy utilizados para medir el área superficial de las partículas son, el D (3,2) o diámetro medio “Sauter”, donde se determina la medida del momento del área superficial,

$$D(3,2) = (1^3+2^3+3^3)/(1^2+2^2+3^2) = 2.57 = \Sigma d^3 / \Sigma d^2$$

Y el D (4,3), Medida del Momento del Volumen o Masa – Diámetro medio “De Brouckere”.

$$D(4,3) = (1^4+2^4+3^4)/(1^3+2^3+3^3) = 2.72 = \Sigma d^4 / \Sigma d^3$$

Estas fórmulas indican sobre que punto central de la frecuencia podría rotar la distribución. En efecto, son centros de gravedad de las respectivas distribuciones. La ventaja de este método de cálculo es que la fórmula no contiene el número de partículas. La tecnología de Difracción Láser calcula inicialmente una distribución basada en términos de volumen y ésta es la razón por la que el valor del D(4,3) está reportado de una manera un poco especial a través de volúmenes relativos.

Utilizar microscopía electrónica para medir nuestras partículas, es similar a medir los diámetros con una crátula (artificio dispersor de la luz, consistente en una superficie pulida con numerosas y finísimas rayas equidistantes). Añadimos datos y dividimos entre el número de partículas para conseguir el resultado medio. Por tanto, estamos generando el D (1, 0) o número de longitud; el D (2, 0) o número de área superficial media o el D (3, 0) o número de volumen o peso medio.

La técnica de Difracción Láser puede generar el D (4, 3) media del volumen equivalente. Esto es lo mismo que la medida del peso equivalente si la densidad es constante. Por tanto, cada técnica es responsable de generar diferentes medidas del diámetro, así como diferentes propiedades de nuestra partícula.

Un tema importante a tener en cuenta es que, al realizar medidas de manera indirecta, es decir usando diámetros derivados de otras medidas, se podría introducir un error o incerteza en los cálculos. Se debe confiar más en los diámetros medidos que en los derivados, entonces si lo que queremos es calcular el área de la superficie específica de nuestro material, lo más apropiado sería usar una técnica específica para este tipo de medida.

Medición de tamaño y distribución de partículas a través de difracción láser.

La medición de partículas usando difracción de rayo láser es uno de los métodos más comunes que permite de forma rápida, a través de la óptica, estimar el tamaño de la distribución de una muestra representativa de partículas. Los equipos de medición hoy en día permiten medir desde niveles subatómicos hasta niveles milimétricos.

Este tipo de instrumentación se desarrolló hace unos 20 años y su método se basa en el factor de que “el ángulo de difracción es inversamente proporcional al tamaño de la partícula”.

Un instrumento de estas características consiste en:

- Un láser como fuente de luz coherente con una longitud de onda fijada. Los láseres de HeNe ($\lambda = 0,63 \mu\text{m}$) son los más comunes, ya que proporcionan mayor estabilidad.
- Fuente de luz azul adicional de 466 nm de longitud de onda, que proporciona un incremento extraordinario de la resolución en la región submicrónica.
- Un apropiado detector. Normalmente suele ser una estructura muy fina tipo diapositiva de sílice fotosensible, que dispone de un número de detectores discretos.

Equipo LEMaC

El Particle Size Analyzers (PSA) de CILAS que se encuentra en el Centro de Investigaciones LEMaC, está diseñado para medir el tamaño de las partículas que van desde 0,2 μm a 500 μm . El principio de medición utilizado se basa en la difracción de una fuente de luz por la muestra bajo los principios de MIE y Fraunhofer. Para trabajar con el equipo se debe preparar muy cuidadosamente la muestra a estudiar. La etapa de extracción y preparación de la muestra es de las más importantes, ya que es la mayor fuente de errores de medición.

Además, para utilizar el equipo debe establecerse un método de dispersión. El equipo brinda dos tipos:

- El modo líquido
- El modo seco

La elección depende de las propiedades del producto (fluidez, humectabilidad, densidad, heterogeneidad, la robustez y la solubilidad, etc.), así como en su uso (aplicación o el medio ambiente).

Tras el examen de todo este listado de parámetros, es posible determinar el modo de dispersión para una muestra sólida y comenzar con análisis de partículas.

El equipo CILAS tiene la capacidad de brindar datos finales de la superficie específica.

Para calcular este parámetro solo hay que conocer e introducir en el equipo CILAS la densidad y el factor de forma del material a analizar. Esto se debe a que en las teorías Fraunhofer o de Mie, las partículas se suponen que son de forma esféricas pero para trabajar en partículas no esféricas, se tiene que insertar dicho parámetro llamado factor de forma, señalado como S, para que el cálculo pueda ser realizado correctamente. el factor de forma ofrece una mejor aproximación para partículas no esféricas. La ecuación matemática con la que trabaja el equipo para la superficie específica es la siguiente:

$$\text{Superficie específica} = \frac{S \times C}{\rho} \times \left[\sum \left(\frac{Q3(x_i) - Q3(x_{i-1})}{\frac{1}{2} \times (x_i - x_{i-1})} \right) \right]$$

en la que:

C: constante

S: factor de forma (= 1 para partículas esféricas)

ρ : densidad de la muestra (g/cm^3)

x_i : valor de diámetro para la clase “i”

Q3 (x_i): valor acumulado de diámetro “i” clase

3. Resultados

Si bien no se pueden expresar resultados de determinaciones físicas a causa de la no presencialidad, que serán realizadas en una segunda etapa de la presente tesis, el camino recorrido nos asegura el poder realizar lo planteado teóricamente en la formulación de este proyecto.

A través de esta investigación se colige que como tamaño máximo nominal del polvo de NFU debe usarse los 500 μm , límite que nos fija el equipo CILAS. Por otro lado, es importante señalar que para tamaños de partículas que pasan el tamiz N°230 (0,063 mm) se tiene demostrado que las superficies específicas tienen un aumento exponencial, por lo que habrá que analizar exhaustivamente el porcentaje del material con esta condición.

4. Discusión

El planteo de los objetivos respecto a la metodología a emplear para en forma comparativa determinar la superficie específica de las segmentaciones según tamices respecto a la superficie específica medida con el analizador del tamaño y distribución de partículas nos puede llevar a mensurar un contenido óptimo de polvo de NFU en función del contenido de Cemento Asfáltico que interviene en una mezcla asfáltica.

5. Conclusiones

Los estudios realizados permiten arribar a la conclusión de que existen diversos métodos de medición de partículas de polvo de caucho para la incorporación en mezclas asfálticas. Los métodos van desde aquellos que se realizan de forma mecánica hasta los métodos más novedosos que se realizan con equipos especializados, como el CILAS.

Cada uno de ellos tiene ciertas ventajas y desventajas con respecto al otro, solo es cuestión de definir según el caso el método mas conveniente. Por ello se plantea como continuación de la presente tesis una etapa de análisis de fracciones por tamizado mecánico versus analizador de partículas para determinar las superficies específicas según los contenidos porcentuales de fracciones granulométricas que compongan la curvan total.

Referencias bibliográficas

- Inclusión de caucho reciclado en mezclas asfálticas. Tesis para Magíster en Ingeniería Ambiental. Botasso, H. G., (2004). El caucho: Orígenes, los Neumáticos y Sistemas de Molienda, Capítulo III, Argentina.
- Inclusión de caucho reciclado en mezclas asfálticas. Tesis para Magíster en Ingeniería Ambiental. Botasso, H. G., (2004). Tecnología de la Dispersión, Caracterización del Asfalto, del Caucho y del Sistema Asfalto-Caucho, Capítulo V, Argentina.
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), (2007), Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas, España.
- CILAS – Particle Size Analysers, (2004), User Manual, Estados Unidos.
- CILAS - Particle Size Analysers, (2004), Theory & Applications of Laser Diffraction, Estados Unidos.
- IESMAT, S.A., Principios Básicos del Análisis del Tamaño de Partículas, España.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), (2011), Asfalto con incorporación de caucho reciclado por vía húmeda para uso vial: Clasificación y requisitos; Argentina.
- International Organization for Standardization (ISO), (1999), Particle Size Analysis – Laser Diffraction Methods, Part 1: General Principles, Estados Unidos.

USO DE BARBIJOS EN BASES DE PAVIMENTOS CON SUELOS ARENOSOS

Becaria: Corona, Martina Eugenia (martinaecorona@yahoo.com.ar)

Director/res: Zapata Ferrero, Ignacio (izapata@frlp.utn.edu.ar), Rivera, Julián (jrivera@frlp.utn.edu.ar)

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.

A partir de la pandemia de COVID, los barbijos han dejado de ser residuos patógenos para convertirse mayoritariamente en desechos domiciliarios. Se calcula que 3400 millones de barbijos descartables por día se acumulan en el ambiente sin posibilidad de ser tratados o reciclados naturalmente. Nuestro proyecto busca solucionar este pasivo ambiental utilizándolos en obras viales.

En el laboratorio del LEMaC se realizan experiencias de incorporación de barbijos de único uso (celestes), de friselina, un geotextil no tejido S.M.S; los mismos son esterilizados, triturados e incorporados en suelos arenosos provenientes del Oeste de la provincia de Buenos Aires. Se prueban cantidades crecientes de barbijos en dichos suelos y su posible mejora en la respuesta estructural de las capas de material granular (subrasante y subbases) para minimizar variables de entorno de la investigación y determinar contenido óptimo de barbijos asegurando mayor efectividad al ente interesado.

Con los resultados de laboratorio, se analizarán técnicas de trituración de barbijos a nivel industrial, su esterilización y posterior distribución en tramos de prueba de pavimentos, solucionando un problema ambiental-jurisdiccional.

Palabras clave: Pandemia – Barbijos - Residuo

1. Introducción.

A dos años de la aparición del COVID-19, el uso del barbijo, uno de los símbolos de la pandemia [1], y su descarte diario se transformó en un serio problema debido al impacto ambiental que genera, teniendo en cuenta que el tiempo aproximado de descomposición es de 450 a 500 años [2].

La pandemia del COVID-19 no solo ha creado una crisis económica y de salud mundial, sino que también ha provocado efectos dramáticos en el medio ambiente. Según estimaciones de la revista National Geographic, a nivel mundial, se descartan 129.000 millones de barbijos al mes, es decir, tres millones por minuto [3].

Antes, los barbijos eran considerados únicamente residuos patógenos que se descartaban de los centros de salud, con un sistema de tratamiento para poder ser recuperados [4]. En la actualidad, se han transformado mayoritariamente, en residuos domiciliarios y el sistema a cargo de tratarlos, se ha desbordado y es de difícil implementación.

En 2020, más de 1.500 millones de barbijos terminaron en los océanos, es decir, 6.200 toneladas de desechos plásticos adicionales, según datos de OceansAsia. La mala gestión de residuos de protección personal usado, puede causar graves problemas para la vida silvestre. Los barbijos amenazan con convertirse en un problema de salud severo ya que pasarán a descomponerse en microplásticos que terminan siendo incorporados a la cadena alimentaria para ser ingeridos por la fauna acuática y luego por nosotros mismos.

Se requiere un enfoque colaborativo multidisciplinario para luchar contra la pandemia y reducir los riesgos ambientales. Para paliar el impacto ambiental negativo surge la posibilidad de reciclar, reutilizar y reducir el volumen de los

residuos. Esta “Política de Las 3 R”, ha aumentado significativamente en proyectos de Ingeniería Civil.

Investigadores australianos han explorado una forma innovadora de reducir los desechos generados por la pandemia al reciclar las máscaras faciales usadas con otros materiales de desecho en construcciones civiles. Se realizan una serie de experimentos que incluyen pruebas de compactación modificada, resistencia a la compresión no confinada y módulo, en las mezclas de diferentes porcentajes de la Máscara Facial Triturada (SFM) adicionada al Agregado de Concreto Reciclado (RCA) para aplicaciones de bases y subbases de carreteras. Los resultados experimentales muestran que el RCA mezclado con tres porcentajes diferentes (es decir, 1%, 2% y 3%) de SFM alcanza los requisitos de rigidez y resistencia para la base/subbase de los pavimentos. Asimismo, mejora la ductilidad y la flexibilidad de las mezclas RCA/SFM. La inclusión de 1% de SFM a RCA dio como resultado los valores más altos de resistencia a la compresión no confinada (216 kPa) y el módulo resiliente más alto (314.35 MPa) [5].

La iniciativa australiana llevada a cabo por científicos del Real Instituto Tecnológico de Melbourne (RMIT), logra desarrollar con éxito un pavimento hecho de mascarillas recicladas, buscando reducir los impactos ambientales derivados de la pandemia.

Los resultados, que fueron publicados en la revista *Science of the Total Environment* son destacados por ser los primeros en investigar sobre las posibles aplicaciones de las mascarillas quirúrgicas desechables en la construcción civil. Normalmente, los escombros de la construcción procesados son usados como RCA, que se puede usar en forma potencial por sí solo para tres de las cuatro capas base que

necesita una carretera. Sin embargo, los investigadores australianos encontraron que, agregando las mascarillas trituradas, el RCA mejora el material y, al mismo tiempo, logra ofrecer un camino sostenible para la eliminación de los elementos de protección personal (EPP) y los desechos de construcción.

El estudio identifica una mezcla óptima que ofrece resistencia y mantiene una buena cohesión entre los dos materiales. La mezcla se comporta bien y muestra resultados de resistencia, deformación y dinámica satisfactorios [6].

Los investigadores del RMIT también han investigado el uso de máscaras faciales desechables trituradas como material agregado para la fabricación de hormigón, con hallazgos preliminares prometedores [6].

Basados en la iniciativa australiana para una aplicación de barbijos, el LEMaC – Centro de Investigaciones Viales de UTN – Facultad Regional de La Plata propone una aplicación similar para los suelos finos que constituyen las bases de los pavimentos en la región central de la Argentina, reemplazando contenidos de los materiales comerciales habitualmente utilizados como estabilizadores (cemento, cales, arenas, piedras) por estos barbijos, que constituyen un pasivo ambiental [7]. Además, las cifras anteriormente mencionadas, llamaron la atención del grupo de trabajo y provocaron el interés hacia la temática en cuestión.

El LEMaC propone analizar esa aplicación australiana, pero las capas de bases y subbases en pavimentos, es decir, en aquellas capas que van por debajo de la capa asfáltica de rodamiento y están por encima de la capa del terreno natural o la denominada subrasante.

El proyecto consiste en la incorporación de materiales reciclables en los denominados pavimentos flexibles multicapa. Su campo de aplicación está destinado a las vías de bajo tránsito urbanas y caminos rurales [8].

La idea principal es establecer una vía de deposición de este residuo, que incrementa sus volúmenes de producción de manera exponencial desde el inicio de la pandemia, con una utilidad en cuanto a la aplicación vial asociada [9].

La investigación tiene una doble finalidad; resolver el problema ambiental de la acumulación de barbijos descartados y, al mismo tiempo, aportar al sistema vial con respecto a incrementar la vida útil del pavimento. Además, se busca encontrar alternativas a las técnicas tradicionales para la construcción de carreteras, en las que se emplea un material granular, además de cemento, cal, o técnicas como asfaltos en frío [10].

El beneficio técnico es que puede introducirse una economía de obra [11]. Además, existe un beneficio al solucionarse un pasivo ambiental serie que tendrá un impacto más severo a futuro.

Como objetivos específicos se propone:

- Reducir las variables de laboratorio caracterizando los suelos arenosos y los barbijos a ser utilizados a fin de lograr una muestra representativa.
- Analizar las técnicas disponibles de trituración de barbijos a nivel laboratorio y de producción en vista a su empleo en la obra vial.
- Analizar el tratamiento de esterilización de los barbijos, una vez recolectados y previo a su empleo en obra.

- Determinar el contenido óptimo de barbijos triturados a ser utilizados en las capas inferiores del pavimento o capa de rodamiento.
- Establecer un procedimiento del empleo en obra (método constructivo).

2. Materiales y Métodos.

El estudio se realiza en pavimentos flexibles; éstos cuentan con una mezcla asfáltica que es la capa de rodamiento superior. Debajo de ella, se encuentran otras capas que le dan estructura al pavimento y reciben una denominación, desde lo vial, de bases, subbases y subrasante [12]. Cada una de estas capas deben ser resistentes y flexibles para que puedan soportar las presiones de los vehículos pesados que las transitan; este modelo de estructura flexible lo diferencia de un pavimento rígido de hormigón [13].

En las capas intermedias de base y subbase, van a incluirse barbijos en reemplazo de otros materiales comerciales utilizados habitualmente como estabilizante.

La experiencia de laboratorio consiste en la trituración de barbijos y su mezcla con el suelo [14] y evaluar su mejora estructural. Los barbijos descartables son provistos por el personal que participa de la iniciativa en cuestión.

El estudio se centra en los barbijos de un solo uso, los que coloquialmente se denominan los “celestes” [15]. Por otra parte, se utilizan muestras de suelos característicos que conforman las carreteras del oeste de la provincia de Buenos Aires que refieren a suelos arenosos o friccionales.

Los barbijos son una versión específica de lo que se conoce comercialmente como la friselina. Se trata de un textil no tejido SMS [16] de un solo uso que está hecho de fibras plásticas, principalmente de polipropileno, lo que hace que dificulte aún más su recuperación y descomposición natural. Para llevar adelante los estudios preliminares, los barbijos son esterilizados con lavandina y triturados a mano para que sean exactamente iguales y en dimensiones de 0.5 cm x 2 cm. Además, se descartan sus elásticos y el fijador metálico. Entre las tareas de laboratorio se destacan Límite Líquido, Límite Plástico, Clasificación de Suelos HRB, Proctor y Valor Soporte Relativo incorporando, en este último, distintos porcentajes de barbijos.

2.1. Clasificación de Suelos.

El límite líquido se define como el contenido de humedad, necesario para que las dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm de espesor fluya y se unan (por fluencia) en una longitud de 12 mm aproximadamente, en el fondo de la muesca (Cascador de Casagrande, Figura 1) que separa las dos mitades, cuando la cápsula que la tiene golpea 25 veces desde una altura de 1 cm, a una velocidad de 2 golpes por segundo [17]. Éste tiene que ver con la capacidad de succión de agua que tiene un suelo.



Figura 1 - Cascador de Casagrande

El límite plástico es el contenido de humedad para el cual comienza a agrietarse un suelo cuando es amasado en cilindros de 3 mm de diámetro (Figura 2).



Figura 2 - Amasado de cilindros para la determinación del Límite Plástico

El índice de plasticidad está dado por la diferencia que hay entre el límite líquido y el límite plástico [17], es decir, es la diferencia de humedades entre dos estados de humedad de un suelo.

El sistema de clasificación que se utiliza para la técnica vial es el Highway Research Board (H.R.B.) dado por Vialidad Nacional en la Norma de ensayo E4 – 84. La calidad de los suelos, para ser utilizados en subrasantes, va disminuyendo desde el A-1 al A-7, que es el más pobre. Sin embargo, esta clasificación se completa obteniendo el Índice de Grupo del suelo, el cual, la misma Norma de ensayo (VN – E4 – 84) especifica su obtención [1].

2.2. Ensayo Proctor.

Para la realización de una obra vial, los ingenieros necesitan que el suelo sea modificado respecto de su estado natural. Cambiar el estado de un suelo es ofrecerle una compactación y, de alguna manera, proveerle una condición adicional llamada estabilización.

La compactación consiste en proveerle una energía a la masa de suelo en el estado en que se encuentra para que las partículas de ese suelo pasen a estar en contacto entre sí, disminuyendo y expulsando aire hacia afuera. Esa energía se simula en escala de laboratorio mediante el Ensayo Proctor.

El ensayo de Proctor evalúa la manera en la que se la que se comporta un suelo cuando se lo compacta a una determinada energía, variando la condición de humedad de ese suelo. El trabajo mecánico es el peso de un pisón que cae desde una cierta altura. Este produce una cantidad de golpes en un determinado número de capas, dentro del volumen que ofrece un molde que contiene el material a ensayar.

Este ensayo determina la densidad seca máxima ($PUV_{S_{máx.}}$) y humedad óptima ($H_{ópt.}$) correspondiente, para lo cual, se efectuarán las determinaciones que sigan.

Se realiza el ensayo de compactación de suelos que, dado que se trata de un suelo granular, el procedimiento de ensayo responde a la categoría de Proctor Tipo V. Éste consiste en compactar una pastilla en 5 capas de 56 golpes cada una, dentro de un molde de 152.4 mm. de diámetro, con un pisón de 4.53 kg., y una altura de caída de 45.7 cm.

2.3. Ensayo de Valor Soporte.

Entre las tareas de gabinete se destaca el ensayo de Valor Soporte Relativo (V.S.R.) en donde se establece la capacidad portante de cada una de las muestras de suelos que se extrajeron de los caminos del oeste de la provincia de Buenos Aires.

El V.S.R. de un suelo es la resistencia que ofrece al punzonado de una probeta del mismo, moldeada bajo ciertas condiciones de densificación y humedad (obtenidas del

ensayo de Proctor), y ensayada bajo condiciones preestablecidas. Se la expresa como porcentaje respecto de la resistencia de un suelo tipo tomado como patrón [17].

Para el estudio, se ha optado por el método de ensayo estático a densidad prefijada. Se trata de colocar el suelo seco dentro de un molde al que, por una presión estática, hay que llevarlo a la condición de $PUV_{smáx.}$ y $H_{ópt.}$. Al conocer la densidad y el volumen que va a tener la probeta cuando esté terminada, se podrá poner dentro del molde la cantidad de peso que se trabaje, a la humedad correcta y se presionará al suelo hasta que llegue a la altura normativa.

A escala de laboratorio, el ensayo se realiza para las condiciones que se reflejan en la siguiente tabla (Tabla 1).

Condición	% Barbijos
Suelo Solo	0.00
Suelo + 0.25 % de barbijos	0.25
Suelo + 0.50 % de barbijos	0.50
Suelo + 1.00 % de barbijos	1.00
Suelo + 1.50 % de barbijos	1.50
Suelo + 2.00 % de barbijos	2.00
Suelo + 2.50 % de barbijos	2.50
Suelo + 3.00 % de barbijos	3.00

Tabla 1 - Condiciones de laboratorio para el Valor Soporte Relativo

A continuación, se observan algunas de las condiciones recién descritas (Figura 3).



Suelo Fino con 0.25% de barbijos Suelo Fino con 1.5% de barbijos



Suelo Fino con 2.5% de barbijos Suelo Fino con 3.0% de barbijos

Figura 3 - Mezclas de suelo y barbijos triturados

Midiendo la presión de contacto, se encuentra que en la medida que el pistón hace subir al molde con la probeta, esta última resiste al punzonado que se registra en el aro dinamométrico. Se registra entonces la resistencia con la que el suelo se opone a esa penetración y se selecciona la tensión para 2.5 mm y 5.1 mm, con respecto a los valores de una muestra patrón que tiene un comportamiento perfectamente conocido. Estos ensayos se hacen por duplicado, esperando

que la probeta duplicada confirme lo anterior. Se toma el mayor de los dos valores de cada ensayo y luego se los promedia. De haber controversia, se elige el valor soporte del primer ensayo.

3. Resultados.

3.1. Resultados de la Clasificación H.R.B.

La tabla que sigue (Tabla 2) proporciona la información de la clasificación del suelo realizada según la Norma de Ensayo de Vialidad Nacional VN - E4 – 84.

PT N°10	99.7
PT N°40	89.7
PT N°200	23.5
L.L.	No Plástico
L.P.	No Plástico
I.P.	0
CLASIFICACIÓN H.R.B.	A - 2 - 4 (0)

Tabla 2 - Resultados de la clasificación H.R.B.

El suelo analizado se encuentra en el grupo opuesto a las arcillas, en el grupo de los suelos granulares. Éstos contienen un porcentaje importante de partículas friccionales que son materiales granulares que quedan retenidos en los tamices 3/8", 1/2" o 3/4".

La clasificación H.R.B. ubica al suelo seleccionado en el grupo A – 2 – 4. Esto significa que se trabaja con un suelo areno – limoso. Dicha muestra, Es un suelo arenoso cuyas constantes físicas (I.P.; L.L.) son del mismo tipo que las de un suelo limoso. Los componentes de las partes más finas que presenta este suelo son sometidos a los estudios de L.L. e I.P., se hacen sobre la fracción de suelo que pasa el tamiz N°40. Ésta es igual a la fracción que pasa el tamiz N°40 en un suelo granular y lo que lo distingue de este tipo de suelo es el material pasante por el tamiz N°200.

Se tiene en consideración que como se trata de una masa de suelo no plástica y el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo es cero (0), valor que indica un material adecuado para ser utilizado como subrasante.

3.2. Resultados del Ensayo de Proctor.

Mediante el Ensayo de Proctor tipo V realizado según la Norma de Ensayo de Vialidad Nacional VN – E5 – 93, se determina la humedad en donde la compactación es máxima. Se manifiesta una densidad seca máxima de 1.807 gr/cm³ y una humedad óptima del 11.0 %. Asimismo, es importante remarcar que el ensayo no varía de manera significativa al ir incorporando las distintas proporciones de barbijos.

3.3. Resultados del Ensayo de Valor Soporte Relativo.

Se determina la prefactibilidad de laboratorio, lo que significa que se llega a establecer la cantidad necesaria de barbijos a emplear y los valores o proporciones a los cuales no hay que llegar [18].

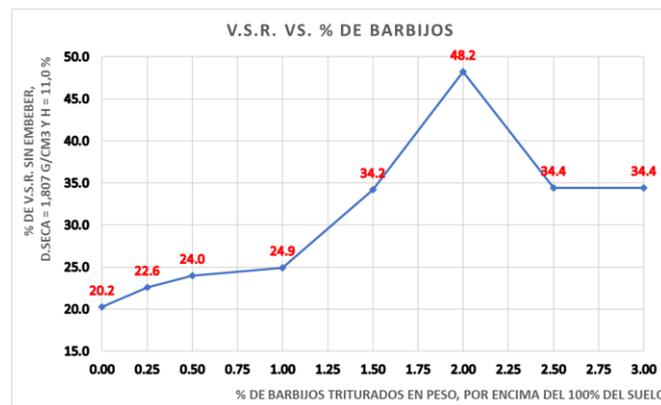


Figura 4 - Resultados del ensayo de V.S.R. vs. % de barbijos incorporados al suelo.

La Figura 5 muestra cómo se parte de una baja aptitud vial del suelo solo, representada por un V.S.R. de 20.2 % y se alcanzan valores de respuesta aceptables de V.S.R. del 48.3 %. También cabe analizar como porcentajes mayores de empleo del residuo, vuelven a dar por resultado valores de V.S.R. por debajo de ese máximo.

Usando las proporciones indicadas, se advierten resultados aceptables en condiciones de laboratorio [19], alcanzando los estándares de seguridad estructural de la obra civil. Se llega a un cierre preliminar que establece un contenido de barbijos del 2 % sobre el peso seco. Quiere decir que cada 100 kilos u otra unidad de peso, van 2 unidades de peso de barbijos que cosen el corte interno, es decir, las tensiones de corte que se dan a una humedad óptima. Entonces, para una aplicación urbana, el óptimo vial de barbijos es de aproximadamente, bastante más a un millón y medio por cuadra.

4. Discusión

La experiencia de laboratorio se refiere a los barbijos del tipo “celeste” de un solo uso, un textil no tejido conformado por friselina. Sin embargo, se puede avalar a otro tipo de versiones o elementos que tiene la friselina tales como las cofias, cubrepies, delantales o sábanas del sector de la salud, o incluso, las bolsas de mercado de uso domiciliario.

Por otra parte, antes de llevar este estudio preliminar a su uso masivo, es necesario generar una prueba de campo. Se trata de una instancia que permite establecer más fehacientemente las condiciones de aplicación en obra, es decir, que el rol de la repartición vial pública es esencial para el proyecto ya que permite la generación del tramo de prueba para ajustar las variables de laboratorio. Por lo tanto, se busca el interés por parte del gobierno, municipio, provincia, empresa o de un ámbito cerrado (para las vías de algún parque industrial o barrio cerrado) que cuente con una determinada autorización para llevar adelante los tramos de prueba [20]. En función de quién vaya a aplicar este estudio a obra, estos serán los encargados de la concentración, trituración y distribución de los barbijos [21].

La gestión de residuos es clave en este proceso. Si bien existen algunos avances en la temática, sigue abierta la incorporación de nuevas propuestas.

Un aspecto a determinar es la recolección masiva de los barbijos por parte de la comunidad; una opción para esto es reinventar lo que hoy en día se conoce como las “botellas de amor” que permiten la reutilización de bolsas descartables

[22]. En tal sentido, dentro de cada familia del municipio interesado, los barbijos serían guardados dentro de estas botellas para luego ser directamente trituradas, incorporadas al suelo y compactadas para la constitución de las capas de los pavimentos asfálticos.

Hay que evitar transportar estos barbijos, porque esto es lo que le daría un costo a los mismos. La idea es dar una solución con el residuo que se genera en el lugar, evaluando el equipamiento disponible para su trituración.

Actualmente, el LEMaC mantiene contacto con Vialidad Nacional de Chubut posicionando a la provincia como otro de los lugares donde podría aplicarse el trabajo. En este marco, se están realizando los estudios para la materialización de los primeros tramos de prueba.

5. Conclusiones

El estallido de la pandemia de COVID – 19 produce no solamente una crisis sanitaria y financiera mundial, sino también un impacto sin precedentes en el entorno. Esta investigación propone una forma innovadora de reducir, reciclar y reutilizar las mascarillas faciales quirúrgicas, que hoy son residuos domiciliarios.

El principal interrogante planteado en torno al proyecto es cómo dotar a los profesionales, de herramientas adaptadas a los condicionantes locales, que guíen su accionar y decisiones, en la inclusión de materiales alternativos como es este residuo en las obras viales.

Los resultados son positivos, con incrementos del aporte estructural, es decir de la fuerza que hace esa capa con la incorporación de los barbijos para mantener a toda la estructura firme, de hasta un 100 %.

Las mascarillas trituradas demuestran dar resistencia y rigidez a los pavimentos flexibles. En tal sentido, se puede pensar en un diseño de capas de bases y subbases con espesores menores.

Se debe evaluar la manera de que el estudio realizado en laboratorio sea llevado a la obra vial buscando despertar el interés de algún municipio, provincia o empresa para la realización de pruebas de campo o tramos de prueba que ajusten las variables o parámetros que hacen a su aplicación. Hay que tener en cuenta una serie de recaudos entre los que se destacan:

- Se tienen que depositar aproximadamente, un millón y medio de barbijos por cuadra urbana; por encima de esta cifra se pierde aptitud vial, pero por debajo no se genera inconveniente alguno.
- Con la incorporación de barbijos se pueden reemplazar parcialmente, o en su totalidad, aquellos materiales comerciales que se utilizan como refuerzo en las capas del pavimento, logrando la misma vida útil o incluso mejor, además de dar solución a este pasivo ambiental.
- Debe tenerse en cuenta las técnicas eficientes de trituración y posterior distribución de los barbijos en las capas del pavimento sin la voladura de los mismos.
- La distancia de la fuente de origen del residuo con su lugar de aplicación es fundamental para que la ecuación técnico-económica implicada cierre adecuadamente, al disminuir al máximo los costos de transporte.

El residuo en sí que genera la comunidad no tiene costo alguno; pero sí le da un valor el sistema de recolección (que va a depender de la colaboración de la comuna), el sistema de trituración (que va a estar en función del equipamiento que se pueda utilizar), y el sistema de transporte (en función de la distancia que exista entre el eje centralizador de barbijos y el lugar de implantación de la obra).

Se disminuyen los costos respecto a las técnicas tradicionales, pero, además, se reduce el impacto ambiental del residuo, que tiene una importante componente presente visible (barbijos arrojados en las calles, cursos de agua o cualquier botadero) y otra futura asociada a la salud, porque esos barbijos van a terminar descomponiéndose en microplásticos que consumirá la fauna acuática y luego la humanidad (cadena alimentaria).

Con el proyecto no solo se beneficia la sociedad a la que sirven estas vías y el medio tecnológico relacionado con el área vial, sino también todos aquellos sectores productivos potencialmente proveedores de nuevas tecnologías o generadores de residuos y materiales subevaluados que no cuentan hoy con un adecuado uso o disposición final.

Referencias bibliográficas

- [1] CTyS. (2022, enero 24). *De la cara al pavimento: estudian reciclar barbijos descartables para mejorar suelos viales*. (On line). Disponible: <http://www.ctys.com.ar/>
- [2] Canal TN. (23 de febrero de 2022). *Entrevista de Jason Mayne para Canal TN por inclusión de barbijos en capas granulares de pavimentos*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Qn_mZ93oA2o&ab_channel=LEMaCCentrodeInv.VialesUTNFRLP-CICPBA
- [3] Parker L. (2021). *¿Cómo evitar que las mascarillas desechadas contaminen el planeta?* National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com>
- [4] DEC. *Reciclar barbijos para usar en pavimento*. (Acceso 20 de diciembre de 2021) -< <https://desdeelconocimiento.com.ar/>
- [5] Saberian, M., Liy J., Kilmartin-Lynch S., Boroujeni M., Barceló D. (2021). *Reutilización de mascarillas COVID – 19 de un solo uso para base/subbase de aceras*. *Science of the Total Environment*. <https://www.elsevier.com/locate/scitotenv>
- [6] Científicos descubrieron la manera de incluir mascarillas recicladas en las mezclas para hacer pavimento. (2021, febrero 10). *Infobae: Ciencia*.
- [7] Canal UNIFE. (22 de marzo de 2022). *Entrevista barbijos en bases de pavimentos*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=HUg8-StgKMM>
- [8] CIC. *Estudian reciclar barbijos descartables para mejorar suelos viales finos*. (Acceso 23 de diciembre de 2021) -< <https://www.cic.gba.gob.ar/>
- [9] U - Universidad. *Analizan si los barbijos descartables sirven para incrementar la vida útil del pavimento*. (Acceso 28 de diciembre de 2021) - < <https://www.universidad.com>
- [10] Grupo LaProvincia.com. *Investigadores analizan el uso de barbijos descartables para pavimentos viales*. (Acceso 27 de diciembre de 2021) -< <https://www.grupolaprovincia.com/>
- [11] *Novedoso proyecto platense plantea utilizar al barbijo como componente del pavimento*. (2022, marzo 21). *Hoy: Interés General*

- [12] Radio Rosales – Punta Alta. (2022). 88.1 FM
- [13] La UTN avanza en un estudio para reciclar barbijos e incorporarlos al pavimento. (2022, marzo 27). *La Voz de Tandil*.
- [14] Canal TN. (3 de febrero de 2022). *Entrevista en “Redespertos” del Canal TN sobre uso de barbijos con suelos viales*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=93aOpn50gKI&ab_channel=LEMaCCentrodeInv.VialesUTNFRLP-CICPBA
- [15] El Día. (17 de diciembre de 2021). *El curioso proyecto de la UTN para reciclar barbijos y mejorar pavimentos*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=goWlrugiP7E&ab_channel=LEMaCCentrodeInv.VialesUTNFRLP-CICPBA
- [16] Canal Somos. (21 de diciembre de 2021). *Julián Rivera barbijos*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=HrT5RT1Buc8>
- [17] *Normas de Ensayo de Vialidad Nacional*.
- [18] Canal Somos. (21 de diciembre de 2021). *La UTN recicla barbijos para hacer pavimento*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=HrT5RT1Buc8>
- [19] UTN – La Plata. (2021, diciembre 14). *Utilizan barbijos de un solo uso para el mejoramiento de suelos viales*. (on line). Disponible: <https://www.frlp.utn.edu.ar/>
- [20] Radio Bahía Blanca. (2022). 840 AM
- [21] El Enfoque Provincial. (16 de diciembre de 2021). *Utilización de barbijos triturados en suelos viales y pavimentos*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=kd1qGjKThTQ>
- [22] LVDiez. (2022). 104.1 AM

RELEVAMIENTO Y ESTUDIO DE PATRONES DE MOVILIDAD ACOTADO AL UNIVERSO DE LA UTN-FRLP – 2° ETAPA

Becaria: Abraham, María Beatriz (beatrizabraham24@gmail.com)

Director: Das Neves, Gustavo (gdneves@frlp.utn.edu.ar)

Área: Gestión y Diseño Vial

PID Asociado: “Relevamiento y estudio de patrones de movilidad acotado al universo de la UTN-FRLP”



Resumen

En la primera etapa se diseñaron y emplearon encuestas digitales con el objetivo de recopilar datos que permitan conocer los patrones de movilidad de las personas que acuden a la Facultad en sus variantes alumnos, docentes o no docentes, desde su origen hasta destino. Dichos datos recopilados fueron publicados en la edición de Tesis de becarios del LEMaC 2020. En esta segunda etapa se procederá al análisis estadístico, de modalidades (transportes masivos, individuales o no motorizados), tiempos, costos y percepción de calidades, incursionando en la elaboración de mapas que permitan referenciar geográficamente los datos recabados.

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

1. Introducción

Analizando la información obtenida de la 1° etapa (Tesis 2020) con un análisis estadístico más profundo, evaluando cada zona en cuestión según las respuestas obtenidas, realizando mapeos para visualizar la zona de influencia de la encuesta.

2. Materiales y Métodos

Los resultados obtenidos de la encuesta mediante formulario de Google Forms, fueron extraídos en un Excel, en el cual se dividieron las preguntas y respuestas, analizando cada una en función de la zona de residencia, de modo de obtener un resultado más específico por área.

En la primera etapa de la tesis se evaluó de manera general todas las preguntas (sin tener en cuenta la zona afectada), en este caso, serán estudiadas las siguientes:

- 1) Edad
- 2) Situación académica
- 3) Frecuencia semanal
- 4) Medios de transporte utilizado
- 5) Tiempo de viaje

Respecto a las preguntas destinadas a usuarios de transporte público:

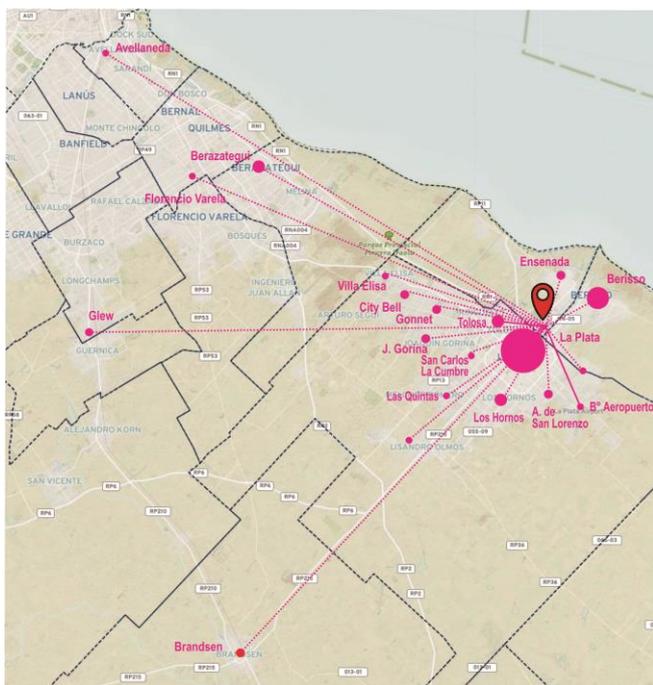
- 6) Transporte público utilizado
- 7) Tiempo de espera
- 8) Gasto semanal
- 9) Tiempo total del viaje
- 10) Relación costo-servicio
- 11) Mayor problema de este sistema

Se obtuvieron 176 respuestas, de las cuales las respuestas pertenecen a las siguientes zonas:

Localidad	Resp.	Localidad	Resp.
La Plata	60	City Bell	4
Berisso	32	A. de San Lorenzo	3
Los Hornos	17	Berazategui	3
Tolosa	12	Brandsen	2
Ensenada	10	Gorina	2
Gonnet	9	Quilmes	2
Abasto	1	B°Aeropuerto	1
Villa Elvira	4	Florencio Varela	2
San Carlos 4	4	Villa Elisa	1
Las Quintas	1	San Cristobal	1
Avellaneda	1	La Cumbre	1
La Loma	1	Glew	1
Lomas de Copello	1		

Esta información fue volcada en una planilla de cálculo, la cual, debido a su tamaño, se encuentra en:

<https://frlp.utn.edu.ar/EOGIQtacacP5LrZYk2QZp6CwBRvFTgDTSHDXidTsVcBM9dw?e=8vixAS>



2. Resultados

Los resultados obtenidos del análisis estadístico para cada zona se detallan a continuación, además de un mapa mostrando la zona en cuestión y su distancia a la UTN FRLP.

Zona La Plata Casco Urbano: (La UTN FRLP se encuentra ubicada a 200m del límite).

- Se observa que el 80% de las respuestas corresponden a personas de 17 a 45 años.
- Perteneciendo un 70% a docentes, un 20% a estudiantes/docentes y lo restante a estudiantes de posgrado, segunda carrera universitaria, no docente y estudiante.
- Un 90% de los encuestados correspondientes al Casco Urbano platense, concurren a la Facultad de lunes a viernes, y el restante por ciento de lunes a sábado.
- Para esta zona se observó que más de un 50% utiliza transporte público.
- Dada la cercanía de esta zona con el predio de la UTN FRLP, más del 70% tarda menos de 30 minutos en el recorrido.
- En esta pregunta, casi un 90% de las respuestas pertenecen a personas que eligen utilizar el colectivo como medio de transporte público, el 10% restante utiliza remis, bicicleta o a pie.

En esta pregunta ocurre algo similar con la N°5, dado la cercanía, el tiempo de espera para un 75% de las respuestas, es menor a 20 minutos.

- Respecto al gasto semanal, un 60% utiliza menos de \$500 semanales, un 25% entre \$500 y \$1000 y el restante más de \$1000.

(Cabe aclarar que estos montos son respecto al fines del año 2019)

- Un 53% de las respuestas tiene un tiempo de viaje en el transporte público de 20 a 40 minutos. Quedando un 35% para un tiempo de menos de 20 minutos y un 12% para un viaje de más de 40 minutos.
- Más del 50% de las respuestas indicaron un estado de costo-servicio regular, dejando un 25% para un estado bueno y el porcentaje restante para un estado de mala calidad.
- En esta pregunta, el porcentaje más alto fue para la opción de las frecuencias, con un 38%, seguido por costos, estado de unidades y tiempo de espera, como principales factores problemáticas.

Zona Quilmes – Quilmes Oeste: (a 40 km de la UTN FRLP).

Para este caso, hubo solo dos respuestas por lo cual algunos porcentajes son 100%.

- Correspondiente un 50% a una persona entre 46 a 60 años y el 50% restante a una persona de 31 a 45 años.
- De manera similar, un 50% docente en la Facultad y el 50% faltante no docente.
- Con una frecuencia semanal de solo algunos días en la semana para el 50% y de lunes a viernes para el restante.
- En esta pregunta sucede lo mismo respecto a porcentajes, el 50% utiliza transporte público y el 50% restante transporte privado.
- Un 50% cuenta con un tiempo de viaje de 30 a 60 minutos, y el otro 50% más de 60 minutos.
- Ambas personas utilizan como transporte público, el colectivo y el tren.
- Las dos respuestas tienen un tiempo de espera menor a los 20 minutos.
- Una de las respuestas posee un gasto de \$500 y la otra un gasto mayor a \$1000.
- Ambas respuestas fueron de más de 40 minutos de viaje.
- Esta respuesta también se encontró un 50% y 50%, con un estado regular y otro bueno.
- Ambas respuestas coincidieron que la mayor problemática es la de las frecuencias.

Zona Villa Elisa: (20 km de distancia a la UTN FRLP).

En esta opción se obtuvo una sola respuesta, por lo cual la respuesta fue del 100%, además solo fue contestada la primera parte de la encuesta, dado a que la persona utiliza transporte particular.

- Donde la respuesta corresponde a un usuario de 46 a 60 años.
- Con una situación académica de docente.
- Frecuencia semanal de lunes a viernes.
- Utilizando vehículo particular.
- Con un tiempo total entre 30 y 60 minutos.

Zona Berisso: (a 7 km de la UTN FRLP).

- Observando que un 80% de las respuestas corresponden a personas de 17 a 45 años, de manera similar al Casco Urbano
- Donde un 50% pertenecen a estudiantes, un 30% a no docentes y el 20% restante a docentes.
- Donde más de un 70% concurre al predio de la facultad de lunes a viernes.
- Un 50% utiliza vehículo particular, un 25% transporte público, 22% a pie y el restante 3% bicicleta.
- La mayor parte de las respuestas, un 88% corresponde a usuarios que tienen un tiempo de viaje menor a 30 minutos.
- Donde más del 93% utiliza como transporte público el colectivo.
- Más del 60% tiene un tiempo de espera de menos de 20 minutos y el restante porcentaje, entre un 20 a 40 minutos.
- En esta pregunta pasa exactamente igual que la anterior respecto al gasto semanal, un 64% tiene de 500\$ y el 36% entre \$500 y \$1000.
- Más del 60% de las personas encuestadas tiene un tiempo de viaje de 20 a 40 minutos.
- Donde la mitad de las respuestas opinan que la relación costo-servicio es muy mala y el restante tiene opiniones variadas entre buena, mala y regular.
- En este caso, el porcentaje más alto fue para el estado de las unidades, seguido de las frecuencias, tiempo de espera, y en menor porcentaje: costos, confort, mala distribución de paradas.

Zona Abasto: (a 25 km de distancia de la UTN FRLP).

En esta opción se obtuvo una sola respuesta, por lo cual la respuesta fue del 100%.

- Donde la respuesta corresponde a un usuario de 17 a 30 años.
- Estudiante de la Universidad.
- Concurre a la Facultad de lunes a viernes.
- Utiliza transporte público. Colectivo.
- Con un tiempo de viaje de más de 60 minutos.
- Tiempo de espera del colectivo de menos de 20 minutos.
- Gasto semanal entre \$500 a \$1000.
- Un tiempo total de viaje de más de 40 minutos.
- Dio una buena relación entre el costo y servicio del transporte público.
- Eligió como mayor problemática de este sistema los recorridos deficientes.

Zona San Cristóbal: (60 km de la UTN FRLP)

En esta opción se obtuvo una sola respuesta, por lo cual esta fue del 100%.

- Corresponde a un usuario de 31 a 45 años.
- Estudiante.
- Concurre a la Facultad de lunes a viernes.
- Utiliza transporte público.
- Con un tiempo de viaje entre 30 a 60 minutos.
- Utilizando tanto el colectivo como el tren.
- Tiempo de espera del colectivo de menos de 20 minutos.
- Gasto semanal entre \$500 a \$1000.
- Teniendo un tiempo total de viaje de más de 40 minutos.
- Esta persona dio una relación regular entre el costo y servicio del transporte público.
- Eligió como mayor problemática de este sistema las frecuencias.

Zona San Carlos: (10 km de distancia con la UTN FRLP).

- En esta zona, el 75% de las respuestas fue de personas de 46 a 60 años, y el 25% restante de 31 a 45 años.
- Donde el 100% corresponde a docentes de la Facultad
- Un 50% viaja de lunes a viernes, mientras el 50% restante solo algunos días de la semana.
- El 100% utiliza vehículo particular (Si bien ninguna de las personas que contestaron la encuesta utiliza el transporte público, de igual manera respondieron las siguientes preguntas)
- Un tiempo de viaje de menos de 30 minutos.
- Utilizando en su totalidad el tren.
- Con un tiempo de espera de 20 a 40 minutos.
- Un gasto semanal entre \$500 a \$1000.
- Con un tiempo de viaje entre 20 a 40 minutos.
- Todas las respuestas concordaron en que la relación costo-servicio del sistema público es mala.
- La mayor problemática son los tiempos de espera.

Zona Tolosa: (a 8 km de la UTN FRLP).

- Para esta pregunta estuvo repartido, mitad y mitad entre edades de 17 a 30 y de 31 a 45 años.
- Las respuestas tuvieron las siguientes respuestas: 33% docentes, 42% estudiante, 17% no docente y el 8% restante no docente y estudiante.
- Respecto a la frecuencia semanal de viajes, un 58% viaja de lunes a viernes, un 33% solo algunos días y el 8% restante de lunes a sábado.
- En los medios de transporte utilizados, el 50% es para vehículo particular, el restante está dividido entre 25% transporte público y 25% a pie.
- Las respuestas mostraron un tiempo de viaje, menor a 20 minutos para el 50%, 42% entre 30 y 60 minutos y más de 60 minutos el restante 8%.

- Para las respuestas que utilizan transporte público, el 70% utiliza como medio el colectivo, mientras el restante utiliza remis o remis/colectivo.
- Con un tiempo de espera, donde la mitad cuenta con menos de 20 minutos, y la otra mitad de 20 a 40 minutos.
- En esta respuesta, las opciones menos de \$500, entre \$500 y \$1000 y más de \$1000, estuvieron iguales en respuestas, 33% cada opción.
- Donde casi el 70% tiene un tiempo de viaje en transporte público de 20 a 40 minutos y el porcentaje restante de más de 40 minutos.
- El 50% de las respuestas piensa que la relación costo-servicio es mala, mientras que un 33% opina que es regular y el 17% restante que es muy mala
- En esta respuesta las opciones elegidas fueron, un 50% eligió las frecuencias, un 33% los costos y el 17% los recorridos deficientes.

Zona Villa Elvira: (a 7 km de la UTN FRLP).

- Un 75% pertenece a personas de 17 a 30 años, y el restante entre 46 a 60 años.
- El 50% corresponde a estudiantes, un 25% a no docente y el 25% restante a docentes.
- Respecto a la frecuencia semanal, un 75% viaja de lunes a viernes mientras que el resto solo algunos días.
- El 100% de las respuestas utiliza vehículo particular

De todas formas, algunos respondieron las preguntas para usuarios de transporte público.

- Respecto al tiempo de viaje, la totalidad de las respuestas fue menor a 30 minutos.
- El transporte público utilizado fue en su totalidad el colectivo.
- Con un tiempo total de espera de más de 40 minutos.
- Un gasto semanal menor a \$500.
- Un tiempo total de viaje de 20 a 40 minutos para el 100% de las respuestas.
- Donde para todas las respuestas la relación costo-servicio es regular.
- Para todas las respuestas la mayor problemática es el tiempo de espera.

Zona Altos de San Lorenzo: (6 km de distancia a la entrada de la UTN FRLP)

- El 67 % pertenece a ed.ades de 17 a 30 años, y el porcentaje restante a edades de 31 a 45%.
- Respecto a la situación académica, un 67% corresponde a estudiantes y el restante a no docente.
- El 100% de las respuestas viaja con una frecuencia semanal de lunes a viernes.
- Utilizan todos vehículos particulares

Zona Avellaneda: (a 50 km de la UTN FRLP)

- Hubo una sola respuesta, por lo cual las siguientes opciones fueron contestadas al 100%.
- Edad entre 17 y 30 años
- Situación académica: docente
- Frecuencia semanal de viajes: solo algunos días
- Utilizando el transporte público.
- Con un tiempo de viaje entre 30 a 60 minutos.
- Utilizando como transporte publico tanto el colectivo como el tren.
- Con un tiempo de espera entre 20 a 40 minutos.
- Gasto semanal menor a \$1000.
- Un tiempo de viaje mayor a 40 minutos.
- Relación costo-servicio buena.
- Mayor problemática de este sistema es la frecuencia.

Zona Barrio Aeropuerto: (Zona perteneciente a Villa Elvira, a 6km de la UTN FRLP).

En este caso, también hubo solo una respuesta, por lo cual las respuestas a continuación tienen el 100%.

- Edad entre 31 a 45 años.
- Situación académica: no docente.
- Frecuencia de viajes semanales de lunes a sábado.
- Utilizando como transporte una bicicleta.
- Con un tiempo de viaje de más de 40 minutos.
- Utilizando como transporte público el colectivo.
- Con un tiempo de espera de más de 40 minutos.
- Un gasto semanal mayor a \$1000.
- Un tiempo total de viaje de 40 minutos.
- Relación costo-servicio muy mala.
- La mayor problemática son los costos.

Zona Berazategui: (a 30 km de distancia de la UTN FRLP).

- Donde el 67% de las respuestas pertenece a personas de entre 17 a 30 años, y el 33% restante entre 31 a 45 años.
- La situación académica se divide en: 67% estudiantes y 33% no docentes.
- Frecuencia semanal de viajes: de lunes a viernes 67% y de lunes a sábado 33%.
- Utilizando un 67% el transporte público y el 33% restante el particular.
- Con un tiempo de viaje, donde un 67% demora entre 30 y 60 minutos y el porcentaje restante más de 60 minutos
- Utilizando como transporte público tanto colectivo como tren
- Con un tiempo de espera repartido, para la mitad de las respuestas menor a 20 minutos, y para la otra mitad entre 20 a 40 minutos.
- Un gasto semanal entre \$500 y \$1000 para todas las respuestas.

- Un tiempo total de viaje mayor a 40 minutos para todas las respuestas.
- Una relación costo-servicio dividida, donde la mitad opina que es mala y la otra mitad muy mala
- La mayor problemática también está dividida, 50% elige el tiempo de espera y el otro 50% la seguridad vial.

Zona Brandsen: (a 46 km de la UTN FRLP).

- El 100% de las respuestas corresponde a personas de 17 a 30 años, siendo todos estudiantes.
- Frecuencia semanal de viajes: de lunes a viernes 50% y de lunes a sábado 50%.
- Utilizando como medio de transporte el sistema público de colectivos.
- Con un tiempo de viaje de más de 60 minutos.
- Con un tiempo de espera de menos de 20 minutos.
- Un gasto semanal de más de \$1000.
- Tiempo de viaje en el transporte público mayor a 40 minutos
- Relación costo servicio considerada buena
- La mayor problemática es el tiempo de espera.

Zona City Bell: (a 16 km de la UTN FRLP).

- Donde el 50% tiene entre 17 a 30 años, un 25% de 31 a 45 años y el 25% restante entre 45 a 60 años.
- Donde el 50% es estudiante, un 25% no docente y el 25% restante es docente.
- Con una frecuencia semanal dividida a la mitad, entre lunes a viernes y solo algunos días.
- Utilizando como medio de transporte vehículos particulares.
- Con un tiempo de viaje de 75% entre 30 a 60 minutos y el 25% restante menos de 30 minutos.

Zona Ensenada: (a 7 km de la UTN FRLP).

- Edades: 40% entre 17 a 30 años, 50% entre 31 a 45 años y el 10% restante entre 45 y 60 años.
- Con una situación académica, donde el 70% de las respuestas son de estudiantes, 10% no docente y 20% docente.
- Una frecuencia semanal de lunes a viernes un 80% y el 20% restante solo algunos días.
- Medios de transportes utilizados, un 80% utiliza vehículo particular y el restante público.
- Todas las respuestas coincidieron en un tiempo de viaje menor a 30 minutos.
- Respecto al transporte público utilizado, el 75% hace uso del colectivo mientras que el porcentaje restante utiliza tanto colectivo como tren.
- Teniendo un tiempo de espera repartido, un 50% menor a 20 minutos y el 50% restante entre 20 a 40 minutos.

- El gasto semanal también está dividido, la mitad de las respuestas gasta menos de \$500 semanales y la otra mitad entre \$500 y \$1000.
- El tiempo total de viaje en el transporte público es de menos de 20 minutos para un 25% de las respuestas y de 20 a 40 minutos para el 75% restante.
- Respecto a la relación costo-servicio todas las respuestas coincidieron que esta es regular.
- En este caso las respuestas fueron muy repartidas; 25% costos, 25% frecuencias, 25% tiempo de espera y un 25% restante eligió todas las opciones.

Zona Florencio Varela: (a 45 km de distancia de la UTN FRLP).

- Las edades de las respuestas fueron, 50% entre 17 y 30 años, y el 50% restante entre 31 a 45%.
- Situación académica: estudiante y no docente, 50% cada opción.
- Respecto a la frecuencia de viaje fue un 100% para la respuesta de lunes a viernes..
- El medio de transporte estuvo dividido, una mitad utilizada transporte público y la otra particular.
- Con un tiempo de viaje de entre 30 a 60 minutos para el transporte particular y un tiempo de más de 60 minutos para el transporte público.
- Respecto al transporte público el utilizado es el colectivo.
- Con un tiempo de espera de 50% de las respuestas menos de 20 minutos, el otro 50% restante entre 20 a 40 minutos.
- Respecto al gasto semanal, la mitad de las respuestas gasta entre \$500 y \$1000 y la otra mitad más de \$1000 semanales.
- Y un tiempo de viaje mayor a 40 minutos para todas las respuestas.
- Respecto a la relación costo-servicio, la mitad de las respuestas piensa que es buena y la otra mitad regular.
- La mayor problemática también está dividida, el 50% piensa que la mayor falencia son las frecuencias y el porcentaje restante que es el estado de las unidades de los vehículos utilizados por el transporte público

Zona Glew: (65 km de distancia con la UTN FRLP).

Hubo una sola respuesta, por lo cual las siguientes opciones fueron contestadas al 100%.

- Edad: entre 17 a 30 años
- Situación académica: estudiante
- Frecuencia de viajes: de lunes a viernes
- Transporte utilizado: vehículo particular
- Con un tiempo de viaje mayor a 60 minutos

Esta persona no es usuario del transporte público, por eso las otras preguntas no fueron contestadas.

Zona Gonnet: (a 10 km de distancia con la UTN FRLP)

- Edades: entre 17 a 30 años: 22%, entre 31 a 45 años: 56%, entre 46 y 60 años: 22%.
- Situación académica: docente: 56%, estudiante: 22% y el 22% no docente
- Frecuencia semanal de viajes: de lunes a viernes 56%, de lunes a sábado 11% y el 33% restante viaja solo algunos días
- Medio de transporte utilizado: el 89% utiliza transporte particular mientras que el 11% restante se maneja en transporte público.
- Los tiempos de viajes son: menos de 30 minutos un 22%, entre 30 a 60 minutos un 56% y el 22% de las respuestas restantes tiene un tiempo mayor a 60 minutos.
- Respecto al transporte público, un 67% utiliza tanto el colectivo como el tren, mientras que el porcentaje restante utiliza solamente el tren.
- Teniendo un tiempo de espera de 20 a 40 minutos para todas las respuestas.
- Sobre el gasto semanal, se observó que un 67% gasta entre \$500 y \$1000, mientras el restante destina más de \$1000 al gasto semanal.
- Con un tiempo de viaje de: entre 20 a 40 minutos: 33% y más de 40 minutos: 67%
- Respecto a la relación costo-servicio: la mayoría de las respuestas (67%) opina que es una relación regular, mientras que el porcentaje restante piensa que es mala.
- La mayor problemática es: para un 67% el tiempo de espera y para el porcentaje restante las frecuencias de paso de las unidades.

Zona J. Gorina: (a 10 km de distancia de la UTN FRLP, pertenece a Pdo. de La Plata)

- El 100% de las respuestas fue para la edad de 46 a 60 años.
- Situación académica: no docente: 100%.
- Frecuencia de viajes semanales: de lunes a viernes: 100%.
- Transporte utilizado: vehículo particular
- Tiempo de viaje: entre 30 a 60 minutos: 100%

Estas personas no son usuarias del transporte público, por eso las otras preguntas no fueron contestadas.

Zona La Cumbre: (a 9 km de distancia de la UTN FRLP, pertenece a Pdo. de La Plata)

Hubo una sola respuesta, por lo cual las siguientes opciones fueron contestadas al 100%.

- Edad: entre 17 a 30 años
- Situación académica: estudiante
- Frecuencia de viajes: de lunes a viernes
- El transporte utilizado es el público

- Con un tiempo de viaje mayor a 60 minutos
- Utilizando el colectivo como medio de transporte público elegido.
- Con un tiempo de espera de 20 a 40 minutos.
- Un gasto semanal entre \$500 a \$1000.
- Un tiempo de viaje en el transporte de más de 40 minutos
- Relación costo-servicio como regular
- La mayor problemática es la capacidad de las unidades del transporte público utilizado.

Zona La Loma: (a 7 km de la UTN FRLP, pertenece a Pdo. de La Plata).

Hubo una sola respuesta, por lo cual las siguientes opciones fueron contestadas al 100%.

- Edad: entre 31 a 45 años
- Situación académica: docente.
- Frecuencia de viajes: de lunes a viernes.
- El transporte utilizado es el público.
- Con un tiempo de viaje entre 30 a 60 minutos.
- Utilizando el colectivo como medio de transporte público elegido.
- Con un tiempo de espera de 20 a 40 minutos.
- Un gasto semanal mayor a \$1000.
- Un tiempo de viaje en el transporte entre 20 a 40 minutos.
- Relación costo-servicio como regular.
- La mayor problemática es la capacidad de las unidades del transporte público utilizado.

Zona Las Quintas: (a 5 km de la UTN FRLP, pertenece a Pdo. de La Plata).

Hubo una sola respuesta, por lo cual las siguientes opciones fueron contestadas al 100%.

- Edad: entre 17 a 30 años
- Situación académica: estudiante
- Frecuencia de viajes: de lunes a viernes
- El transporte utilizado es su vehículo particular
- Con un tiempo de viaje entre 30 a 60 minutos

Esta persona no es usuaria del transporte público, por eso las otras preguntas no fueron contestadas

Zona Lomas de Copello: (10 km de distancia con la UTN FRLP, pertenece a Pdo. de La Plata).

Hubo una sola respuesta, por lo cual las siguientes opciones fueron contestadas al 100%.

- Edad: entre 46 a 60 años.
- Situación académica: docente.
- Frecuencia de viajes: solo algunos días.
- El transporte utilizado es su vehículo particular.
- Con un tiempo de viaje entre 30 a 60 minutos.

Esta persona no es usuaria del transporte público, por eso las otras preguntas no fueron contestadas

Zona Los Hornos: (a 9km de la UTN FRLP).

- Edades: entre 17 a 30 años: 65%, entre 31 a 45 años: 12%, entre 46 y 60 años: 24%.
 - Situación académica: docente: 18%, estudiante: 71% y el 12% no docente.
 - Frecuencia semanal de viajes: de lunes a viernes 71%, de lunes a sábado 24% y el 6% restante viaja solo algunos días.
 - Medio de transporte utilizado: el 59% utiliza transporte particular, un 6% utiliza bicicletas, mientras que el 35% restante se maneja en transporte público.
 - Los tiempos de viajes son: menos de 30 minutos un 41%, entre 30 a 60 minutos un 47% y el 12% de las respuestas restantes tiene un tiempo mayor a 60 minutos.
 - Respecto al transporte público, el 100% utiliza el colectivo.
 - Teniendo un tiempo de espera de 20 a 40 minutos para un 44% y un 56% para un tiempo menor a 20 minutos.
 - Sobre el gasto semanal, se observó que un 22% gasta menos de \$500, un 56% entre \$500 y \$1000, mientras el restante destina más de \$1000 al gasto semanal.
 - Con un tiempo de viaje de: entre 20 a 40 minutos: 22% y más de 40 minutos: 78%.
 - Respecto a la relación costo-servicio: la mayoría de las respuestas (56%) opina que es una relación regular, mientras que un 33% opina que es buena y el porcentaje restante piensa que es mala.
- 1- La mayor problemática es: para un 44% las frecuencias, un 22% para recorridos deficientes, otro 22% para tiempo de viaje y el 11% restante para tiempo de espera.

5. Conclusiones

Con todos los resultados obtenidos anteriormente se llegó a una conclusión más general, dado que ya se analizó cada zona y se generaron conclusiones específicas para estas.

Se puede observar que el casco urbano de LP tiene el mayor porcentaje de respuestas, sumado a que dada la cercanía con la facultad, más del 50% utiliza el transporte público, ya que no demora más de 20 a 40 minutos entre tiempo de espera y viaje juntos. Continuando en cantidad de respuestas, siguen las localidades de Berisso y Los Hornos; a medida que nos alejamos de la Facultad va descendiendo el porcentaje de personas de otras localidades que contestaron la encuesta. Sumado a que aumenta el tiempo total de viaje, tiempo de espera para usuarios de transporte público y su gasto semanal.

A su vez, todos los usuarios de transporte público coinciden en que la mayor problemática de este

sistema de transporte es la frecuencia con que pasan las unidades por las paradas

A modo de cierre para esta investigación:

Dados los datos relevados de la encuesta y su análisis estadístico, tanto de la primer y segunda etapa, se observa que del Universo UTN encuestado, el mayor porcentaje se encuentra en las zonas más cercanas al lugar del predio de la Universidad, Casco Urbano La Plata, Berisso, Los Hornos, Tolosa y Ensenada, concentrando a las personas que conforman dicho universo en un radio menor a 10 km.

Referencias bibliográficas

http://observatorioconurbano.ungs.edu.ar/Tesis%20de%20urbanismo/02-Fernandez_tesina_urbanism_final.pdf

<https://core.ac.uk/download/pdf/147475334.pdf>

LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL EN ARGENTINA EN EL MARCO DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO

Becario/s; Cáceres Linda Luz (cacereslindaluz@hotmail.com.ar)

Director/res; Mechura Verónica V. (vmechura@frlp.utn.edu.ar)

Área: Gestión y Diseño Vial.

PID Asociado: “Implementación de ensayos viales en materiales de demarcación horizontal” (Código: TVFALP0008559).



Resumen

Una de las demandas requeridas a la hora de transitar una vía de comunicación e infraestructura vial, son las señales horizontales y verticales. Las mismas son indispensables para tener altos niveles de seguridad vial, ya que ordenan y regulan el tránsito logrando de esta manera reducir los siniestros. Para abordar un análisis relacionado con la demarcación horizontal en nuestro país, se instrumentan tres tareas principales. En primer lugar, se analizan los tipos de señalización vial existentes en Argentina. Luego, se analizan los requisitos y se hace un relevamiento de las normativas y especificaciones existentes y, finalmente, se relevan algunos esquemas de demarcación, materiales y ensayos utilizados. Como resultado obtiene información la clasificación de los materiales utilizados en el ámbito de la demarcación horizontal y un relevamiento de las especificaciones y normativa existente en nuestro país. Finalmente se presentan algunos ejemplos de conformaciones físicas utilizadas en la infraestructura vial para mejorar la seguridad de los autores involucrados en el tránsito.

Palabras clave: demarcación horizontal, ordenamiento urbano, retrorreflexión, normativas.

1. Introducción

Desde la antigüedad, la humanidad movida por las necesidades más elementales intenta referenciar tanto su entorno, como sus espacios personales y de uso común. Esto, lo hace mediante el uso de marcas o señales dentro de los territorios.

Los registros históricos señalan que los egipcios usaban una mezcla de resinas, pigmentos y arenas para que sus caminos fueran señalizados horizontalmente en sus entradas. Los romanos para mantener los carros en la mano derecha utilizaban ladrillos o piedras en el centro. Los aztecas utilizaban flechas en la superficie del camino como señalización horizontal. El mayor desarrollo de los materiales se produce luego de la llegada del automóvil a finales del siglo XIX.

A fines de la década de 1940 y principios de la de 1950, la señalización horizontal comenzó a tener una expresión significativa, ya que las marcas disciplinaron el flujo de vehículos y peatones, dando lugar al nacimiento de materiales específicos para el sector. Las sendas y caminos se convirtieron en redes camineras y luego en modernas vías que han tenido que “marcarlas” con el objeto de orientarse convenientemente [1].

Una vía es un espacio destinado al paso de personas o vehículos que van de un lugar a otro, es un sistema de transporte o comunicación entre dos lugares. Este concepto de vía está vinculado a la noción de vialidad, que suele emplearse para nombrar al grupo de servicios

que se vinculan al desarrollo, el mantenimiento y la organización de las vías públicas.

En nuestro país el organismo o entidad encargada de ejecutar las políticas nacionales en materia de obras y servicios de viajes, se llama Dirección Nacional de Vialidad (DNV). Entre las principales tareas que desarrolla la DNV se pueden mencionar: ejecutar las obras, ejercer la propiedad y jurisdicción total sobre la red troncal vial nacional, impulsar la iniciativa y participación provincial, municipal y privada mediante concesiones de peajes y programas de propiedad participada, planificar y programar obras de mejoras de caminos, rutas expresas y autopistas, promover proyectos para caminos de fomento agropecuario, minero, forestal, industrial, turístico, entre otras funciones. Además, cada provincia del territorio argentino está comprendida por un subsistema llamado Vialidad Provincial cuya misión es construir, conservar, mantener, mejorar y ampliar la red troncal que la provincia requiera a su demanda.

Una de las demandas requeridas a la hora de transitar una vía de comunicación e infraestructura vial, como por ejemplo una ruta, son las señales horizontales y verticales. Las mismas son indispensables para tener altos niveles de seguridad vial, ya que ordenan y regulan el tránsito logrando de esta manera reducir los siniestros [2]. Para ello, es necesario que los elementos a utilizar contengan en sí mismos valores informativos, lo cual determina que puedan presentarse solos o formando conjunto con otros para comunicar un mensaje más

extenso. Además, se debe considerar que en un vehículo las señales se perciben de forma fugaz y, si la misma es confusa o contiene exceso de información o es poco atractiva, lo más probable es que el mensaje sea ignorado. Por este motivo, tanto los símbolos gráficos como dibujos, flechas, pictogramas o logotipos; así como las composiciones tipográficas deben permitir una rápida percepción. Las ventajas de una buena señalización se traducen en mensajes claros y sencillos que puedan ser entendidos por conductores y transeúntes. Para ello, se debe responder a un sistema de señalamiento vial uniforme, que está integrado por los subsistemas: señalamiento vertical, señalamiento horizontal, señalización luminosa y señalamiento Transitorio de Obra. Este conjunto de elementos constituye la forma más expeditiva y económica que poseen la autopistas, carreteras, convenciones y vías urbanas para comunicarse con sus usuarios. Ya sea para anticipar su conformación para indicar por donde se tiene que circular y por donde no corresponde, transmitir posibles inconvenientes o limitaciones, orientar la circulación especialmente en horas nocturnas y otorgar consistencia al camino, entre muchas otras ventajas. El señalamiento vertical está conformado por señales de tránsito colocadas al costado del camino (laterales) o elevadas sobre la calzada, mediante pórticos o ménsulas (aéreas).

La señalización horizontal se conforma por marcas viales aplicadas sobre la calzada con la finalidad de guiar el tránsito vehicular y regular la circulación informando, advirtiendo y ordenando determinadas circunstancias y/o indicando zonas prohibidas, canalizando el tránsito vehicular en la forma deseada, mejorando el uso de la vía y sus condiciones de seguridad. El sistema de demarcación tiene gran alcance a la hora de comunicar en las tramas urbanas, ya sea en vías de penetración, sendas para bicicletas, sendas peatonales, espacios destinados a estacionamiento e intersecciones varias. Es preciso diferenciar entre la demarcación usada en redes urbanas y carreteras, puesto que los objetivos inmediatos de cada una de ellas son diferentes, así como las condiciones de visibilidad. Las vías urbanas más jerarquizadas y con alto "ruido visual" deberán ser tratadas en forma similar a las carreteras donde el señalamiento horizontal alcanza su máxima importancia en condiciones de mínima visibilidad (noche, lluvia, niebla, polvo, etc.), compatible con la amplia gama de elementos distractores que existen en un centro urbano, constituyendo la aplicación de materiales más duraderos y visibles, la mejor ayuda al conductor y por ende a los administradores de las redes. Se puede decir que, en entornos urbanos, se tiene una mayor exigencia con respecto al tiempo de secado y mayores requisitos en la evaluación de la resistencia al deslizamiento, a la abrasión y al ensuciamiento. En cambio, en carreteras o autovías, se considera que la

propiedad más importante es la visibilidad nocturna que se obtiene gracias al fenómeno de retroreflexión de las marcas viales.

El objetivo del presente trabajo es generar bases conceptuales sobre los dispositivos existentes en Argentina relacionados con la demarcación horizontal. Para abordar esta temática, se instrumentan tres tareas principales. En primer lugar, se analizan los tipos de señalización vial existentes en Argentina. Luego, se analizan los requisitos y se hace un relevamiento de las normativas y especificaciones existentes y, finalmente, se relevan algunos esquemas de demarcación, materiales y ensayos utilizados.

2. Materiales utilizados en el ámbito de la demarcación horizontal

Existe una gran variedad de materiales para demarcar los pavimentos. El Manual de señalamiento horizontal [3] los clasifica de acuerdo a la temperatura de aplicación, en la cual especifica los que se aplican: a temperatura ambiente, que pueden ser de un componente (pinturas) o de dos o más componentes (plásticos en frío); o en caliente, que pueden conformarse in-situ (termoplásticos) o venir preformado, es decir, cortado en piezas congruentes para el armado final.

Las **pinturas** son materiales constituidos por pigmentos y cargas de forma diversa y granulometría fina, dispersas en la resina o ligante, contiene además disolvente y aditivos, y a veces alguna sustancia plastificante para proporcionar flexibilidad. El disolvente es una parte relativamente importante en peso y por lo tanto es necesario tener en cuenta su porcentaje en las dosificaciones que se apliquen. De acuerdo al proceso de secado, las pinturas se pueden dividir en secado físico o secado fisicoquímico.

En el caso de los **plásticos en frío**, la resina más utilizada es el metacrilato de metilo, que se utiliza disuelto en su propio monómero acrilato de butilo que se polimeriza por la acción de un iniciador de la reacción como el peróxido de benzoilo. En este caso el monómero (que actúa dando flexibilidad) hace las veces de disolvente manteniendo la fluidez necesaria, pero en lugar de evaporarse pasa a formar parte de la reacción formando la película que alcanza todas sus propiedades en un periodo de tiempo no mayor a 40 minutos. La característica particular de estos materiales son sus dos componentes que deben ser mezclados inmediatamente antes de su aplicación hasta conseguir una perfecta homogeneidad, ya que se endurecen por reacción química entre ambos.

Los **termoplásticos** son una mezcla de sustancias minerales de granulometría gruesa (hasta 700 micras), una resina y un plastificante (ambos en forma sólida). Además, contiene microesferas de vidrio y un aceite mineral especial que ayuda a controlar la viscosidad de

aplicación y a plastificar el conjunto. Carecen de disolventes y se presentan en forma de polvo granulado grueso. La resina es de tipo termoplástico, solida a temperatura ambiente que se reblandece con el calor pasando a líquida y retorna nuevamente al estado sólido al enfriarse. Por lo tanto, es el calor el que juega el que fluidifica el producto para permitir su aplicación [4]. El proceso de fusión del material en el momento de aplicarse es de vital importancia, debe tener una eficaz agitación para así tener una correcta mezcla de los componentes y una buena dispersión del pigmento, asimismo el control de la temperatura de fusión y aplicación es fundamental ya que un sobrecalentamiento en la caldera produce separación de los componentes y alteración de las propiedades de la resina.

También se utilizan materiales auxiliares que se emplean conjuntamente con los mencionados para modificar o mejorar alguna de sus características. Dentro de este grupo, podemos mencionar a las microesferas de vidrio. Éstas, permiten que una marca se vea de noche, gracias al fenómeno de retroreflexión, que se produce cuando la luz de los faros del vehículo incide sobre las marcas viales en el pavimento y se redirige a su fuente, haciendo que este material sea visible por la noche.

3. Relevamiento de normativas argentinas

El Decreto Nacional N°779/95 Aprueba la reglamentación de la ley N° 24.449 de Tránsito y Seguridad Vial y el Anexo L “Sistema de señalización vial uniforme”. El mismo, en su Capítulo VI establece: “...CONCEPTO. Las marcas viales o demarcación horizontal son las señales de tránsito demarcadas sobre la calzada, con el fin de regular, transmitir órdenes, advertir determinadas circunstancias, encauzar la circulación o indicar zonas prohibidas. El material debe ser antideslizante, resistente y de un espesor no mayor a CINCO MILIMETROS (5 mm), con excepción de las tachas y separadores de tránsito.

Las demarcaciones serán uniformes en diseño, posición y aplicación. Tal como para los demás dispositivos de control de tránsito, es necesario su uniformidad a fin de que puedan ser reconocidas y entendidas instantáneamente por los usuarios de la vía...”

En otro de los ítems, establece “...b) REFLECTIVIDAD: En autopistas, semiautopistas, rutas, túneles y puentes, accesos y egresos de las vías mencionadas y en calles y avenidas de intenso volumen vehicular, toda la demarcación debe ser reflectiva.

El Manual de Señalamiento Horizontal de la Dirección Nacional de Vialidad aprobado por resolución N°2501/2012 [2] según lo indicado en su inciso I.1.2. “debe servir para dar un marco de HOMOGENEIDAD Y UNIFORMIDAD al sistema de señalamiento vial de la Red Nacional de Caminos. El MSH responde al

critero de utilizar un sistema de señalización, capaz de proporcionar la información esencial y adecuada...”. El mismo determina principalmente las condiciones geométricas de las marcas a realizarse en la Red Nacional de Caminos (autopistas, semiautopistas, multicarriles indivisos, caminos convencionales, puentes y túneles, intersecciones y accesos, calles y avenidas urbanas, obras complementarias). Es decir, en el mismo se establecen los patrones básicos para la conformación física de las distintas configuraciones, distinguiendo en marcas normales y marcas especiales. A su vez, las marcas normales se pueden clasificar en función de su posición relativa a la calzada, en marcas longitudinales y marcas transversales. Las marcas Especiales a su vez incluyen marcas como: símbolos, leyendas y otras demarcaciones, que no se incluyen en ninguna de las anteriores.

Las demarcaciones de pavimento serán de color blanco o amarillo, excluyendo el pintado de cordones o la aplicación de tachas reflectivas u otras. El color blanco se utiliza para las marcas transversales, leyendas, números y símbolos, y también para marcas longitudinales. El color amarillo define la separación de corrientes de tránsito de sentido opuesto en camino de doble sentido con calzada de varios carriles, líneas de barreras y zonas de obstrucciones.

Las marcas deben cumplir con ciertas características, por ejemplo, deben estar diseñadas para ser pisadas, es decir, tener una alta resistencia a la abrasión tanto en estado seco como húmedo y/o un alto espesor sometido a desgaste. Además, deben resistir las agresiones de la intemperie, tales como el sol (no debe degradarse con los rayos ultravioletas UV), la lluvia (ya que permanecen más tiempo húmedos después de cada lluvia) y la acción del propio sustrato, entre otros.

Es importante que sean visibles de día y reflectantes de noche. Esta propiedad debe mantenerse durante toda la vida útil de la marca.

Estos aspectos son analizados en diversas normativas. Por ejemplo, el análisis de los materiales en sí, se realiza en las normas IRAM. En ellas, se abarca el tema de materiales de demarcación en tres normas de referencia, donde se establecen los requisitos y métodos de ensayo de estos materiales y de las microesferas de vidrio empleadas. La norma IRAM 1212 “Recubrimientos para demarcación de pavimentos. Recubrimientos termoplásticos retroreflectantes” que actualmente se encuentra en revisión. La norma IRAM 1221/21[5] establece los Requisitos de las pinturas retroreflectantes y no retroreflectantes y, la IRAM 1225/2014 [6] establece la clasificación, los requisitos y los métodos de ensayo de las microesferas de vidrio que se emplean en la demarcación de pavimentos urbanos y viales. En estas normas se presentan los procedimientos para los ensayos de abrasión, determinación del tiempo de secado, color, sangrado entre otras.

Por otro lado, el tema de la retrorreflexión se abarca en el pliego de especificaciones técnicas generales de la Dirección Nacional de Vialidad (Edición de 1998) que tiene la Sección D-XIV referida a señalamiento horizontal. Se hace referencia a la Sección 4B de las especificaciones técnicas particulares que reemplazan a las mismas. En éstas se diferencia en: Material Termoplástico reflectante aplicado por pulverización, pintura acrílica para pavimentos aplicada a temperatura ambiente con equipo neumático de proyección neumática y material termoplástico reflectante aplicado por extrusión. En las mismas, en el caso de los materiales termoplásticos agrega una serie de requisitos a cumplir (por ejemplo, porcentaje de ligante, dióxido de titanio, granulometría, deslizamiento a 60°C, absorción de agua, adherencia, etc.). Para la evaluación de la reflectancia, en demarcaciones continuas aplicadas con equipo mecánico, la DNV solicita la evaluación con equipos dinámicos de medición de reflectancia (ángulo de iluminación: 1°24; ángulo de observación: 2°29). En lo que respecta a los límites se establece un valor mínimo de 200 mcd.lux⁻¹.m⁻² para la recepción provisional de las obras (entre los 15 y 90 días) y, para flechas comunes, combinadas, banda de frenado, sendas peatonales, bandas óptico-sonoras, texto, símbolos, números, etc. Un valor de 180 mcd.lux⁻¹.m⁻² para la recepción provisional con equipo estático MIROLUX MP-12. Establece a su vez, que, en la recepción definitiva la reflectancia con equipo dinámico, no debe ser inferior a 100 mcd.lux⁻¹.m⁻². Los valores indicados son para el color blanco. En el caso de las pinturas acrílicas los valores son menores.

Por otra parte, en el caso que los pavimentos son de color muy claro (por ejemplo, en pavimentos de Hormigón), se recomienda hacer un rebordeo con un color que aumente el contraste con el pavimento. Las condiciones geométricas que deben cumplir están detalladas en el manual de señalamiento horizontal [2]. Se debe aprovechar el valor agregado que posee el sistema de marcas óptico-táctiles-sonoras, especialmente ante la presencia de lluvia, reducida visibilidad o alteración del estado de los conductores (sueño, excesos, distracción, etc.)

4. Ejemplos de esquemas de demarcación vial.

Se resaltan las diferencias entre lo especificado en el manual de señalamiento horizontal y lo que se observa en la trama urbana.

La Figura 1 ilustra las características de las sendas peatonales en zonas urbanas. Relacionado a esto, tanto en la ciudad de La Plata como en otras localidades se utiliza una configuración con franjas blancas y amarillas para “delimitar” senderos escolares, Figura 2.

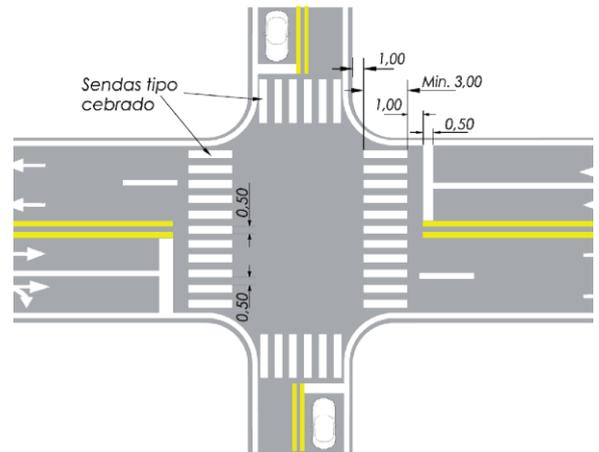


Figura 1. Configuración senda peatonal en zona urbana [3]



Figura 2. Configuración de senderos escolares en La Plata [fuente: Google maps]

Otro de los elementos utilizados para realizar ordenamientos urbanos son las ciclovías y bisisendas. La diferencia entre ambas es que la ciclovía es una infraestructura exclusiva y especializada para ciclistas y, en cambio, la bisisenda es una infraestructura exclusiva y especializada para ciclistas que se implanta sobre veredas, parques, plazas y en relación con vías peatonales separadas de la calzada, formando una cinta de hormigón alisado, con un ancho variable [7]. En determinadas jurisdicciones de nuestro país, se da un color determinado a la calzada de las “bisisendas” – o “ciclovías”, tal como el verde (“Verde Bisisenda”) o el rojo, de forma que se distinga de la calzada destinada a los automotores. Resulta interesante comparar distintos ejemplos observados en la ciudad de La Plata. Los mismos se pueden observar en la Figura 3 a Figura 5. En las mismas se utilizan elementos auxiliares para separar el tránsito y se destaca que en los casos presentados se eligió el color verde para demarcar las zonas.



Figura 3. Ciclovía en la ciudad de La Plata. [fuente: Google maps]



Figura 4. Ciclovía en la ciudad de Buenos Aires [fuente: Google maps]



Figura 5. Bicisenda en la ciudad de La Plata. [fuente: Google maps]

5. Conclusiones

Como resultado se cuenta con el conocimiento de la clasificación de los materiales utilizados en el ámbito de la demarcación horizontal y un relevamiento de la normativa existente en nuestro país. Este trabajo es un punto de partida para el análisis de las distintas conformaciones físicas posibles en las infraestructuras viales con la finalidad de aumentar la seguridad de los autores involucrados en el tránsito y, demuestra la importancia de planificar y llevar a cabo un ordenamiento urbano que permita organizar el tránsito y los distintos autores involucrados.

Referencias bibliográficas

- [1] MOREIRA H. Y MENEGON R. (2003) “Sinalização Horizontal”, São Paulo: Master Set Gráfica. Brasil
- [2] Dirección Nacional de Vialidad (1012); “Manual de señalamiento Horizontal De la dirección Nacional de Vialidad”; aprobado por resolución “2501/2012.
- [3] Dirección Nacional de Vialidad (2012), “Manual de señalamiento Horizontal de la Dirección Nacional de Vialidad”, aprobado por resolución 2501/2012.
- [4] MINISTERIO DE FOMENTO (2012) “Guía para el proyecto y ejecución de obras de señalización horizontal”, Editorial Centro de Publicaciones, secretaria general Técnica, Ministerio de Fomento (ISBN 978-84-498-0926-2), España, 2012.
- [5] IRAM, “Norma IRAM 1221: Recubrimiento para demarcación de pavimentos. Pintura vial retroreflectante y no retroreflectante”, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina, 2021.
- [6] IRAM. “Norma IRAM 1225: Recubrimientos para demarcación de pavimentos. Microesferas de vidrio”, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina, 2014.
- [7] Ministerio de transporte, Secretaria de planificación de transporte (2019), “ANEXO V: Lineamientos generales Ciclovías y Bicisendas”. Recuperado de: <https://www.transporte.gob.ar/UserFiles/boletin/ANEXOS-RESOLUCION-RS-23-2018-SECPT/ANEXO%204-RES%2022.pdf> [20/04/2022]
- [8] Rodriguez Perrotat, J. (2021), “Seguridad Vial: Caminos Escolares Seguros reflejados en la infraestructura”

EMULSIONES ASFÁLTICAS PARA USO VIAL EN ARGENTINA

Becario/s:

Agustina Gelsi.
(gelsiagus@gmail.com)

Wilson Alexander Antieco.
(wilson.alexander.antieco@gmail.com)

Director: Rebollo Oscar
orrebollo@hotmail.com

Área: Tecnología de los Pavimentos Flexibles.



Resumen

Los constantes avances tecnológicos, la búsqueda de la practicidad y funcionalidad en las obras viales y la creciente importancia y atención a los factores medioambientales despiertan cierto interés por la utilización de las emulsiones asfálticas.

Este trabajo consiste en recopilar información que nos permita adquirir, como becarios de grado, conocimientos en profundidad sobre las propiedades básicas y los distintos usos de las emulsiones asfálticas, concretando una fuente de investigación para todos los profesionales interesados en la temática como así también para cualquier miembro del LEMaC.

Palabras clave: Aplicaciones, emulsiones asfálticas, catiónicas, aniónicas, normas IRAM.

1. Objetivo

Recolectar información sobre las emulsiones asfálticas, teniendo en cuenta los distintos tipos de emulsiones existentes, los ensayos realizados de acuerdo con las normas vigentes en nuestro país y principalmente considerando sus propiedades para el uso de las mismas en las obras viales.

2. Introducción a las emulsiones asfálticas

2.1. Concepto

Una emulsión es una dispersión de un líquido en otro, no miscible con el primero. Una emulsión asfáltica hace referencia a las dispersiones del ligante asfáltico en un medio acuoso.

Su importancia en la construcción y mantenimiento de pavimentos, radica en la reducción de la viscosidad del ligante asfáltico. Las emulsiones permiten poner en obras, betunes a temperatura ambiente, sin generar preocupaciones respecto a que la presencia de humedad produzca problemas de adhesividad con los áridos.

2.2. Fabricación

La fabricación de emulsiones asfálticas comprende la dispersión del ligante asfáltico en el agua, lo cual puede realizarse de tres maneras distintas.

2.2.1. Molino Coloidal

Es un proceso en el cual la energía se aplica al sistema pasando la mezcla de asfalto en caliente y la fase acuosa entre un rotor y un estator fijo.

En el molino coloidal se produce la dispersión de asfalto en agua en pequeñas gotas de emulsión. Para que esta sea estable y no coagule, se agregan agentes químicos llamados *emulsivos*, constituidos por moléculas que contienen un grupo polar hidrófobo (ácido graso) que es cuando la fase dispersa atrae a la dispersante, y un grupo polar hidrófilo, que es cuando la fase dispersa repele a la dispersante.

El emulsivo que se agrega al agua se fija a la partícula de asfalto la cual queda eléctricamente cargada. En función del tipo de carga, las emulsiones se diferencian en:

- Catiónicas: cuando la carga que adquiere el glóbulo de asfalto es positiva.
- Aniónicas: cuando la carga que adquiere el glóbulo de asfalto es negativa.

2.2.2. Plantas Tipo Batch

Es un proceso que comprende dos procedimientos:

- Preparación de la fase acuosa o jabonosa: Se realiza en un tanque donde se va aumentando la temperatura, en el que se puede incorporar el emulsionante y otros químicos.
- Preparación de la emulsión en sí: Una vez obtenida, se dosifica junto al ligante asfáltico y se lleva al molino coloidal.

Se utiliza poco flujo de material y se puede realizar el control manualmente.

2.2.3. Proceso en línea

El agua se calienta y se adicionan los materiales restantes con bombas para su correcta dosificación.

Se diseña previamente la fase acuosa considerando el tiempo de reacción.

Se puede realizar el control de forma automática mediante medidores de flujo.

2.3. Tipos de emulsiones

2.3.1. Emulsión Directa

En la cual la fase dispersa (o interna) es hidrocarbonada y la dispersante (o externa) es agua.

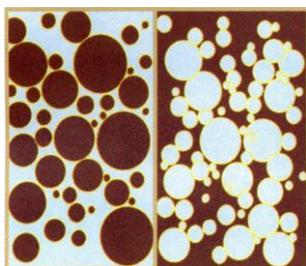
Este tipo de emulsión es la más utilizada.

2.3.2. Emulsión Inversa

En la cual la fase dispersa es la acuosa, es decir el asfalto recubre la partícula de agua.

2.3.3. Microscopia de emulsión directa e inversa

Como se muestra en la imagen, en la fase directa se observan los glóbulos de asfalto, representados por circunferencias en color marrón, disueltos en agua, representada en color celeste. En cambio, en la fase inversa se advierten burbujas de agua, expresadas como circunferencias en color celeste, envueltas en asfalto, expresado en color marrón.



DIRECTA – INVERSA
Imagen 1.

2.4. Emulsionantes

Los tensoactivos son compuestos químicos que cuando se disuelven en un líquido (particularmente en agua), reducen su tensión superficial.

Se utilizan para lograr la estabilidad de la emulsión y evitar la coalescencia de las partículas de betún.

Se llama surfactante al agente activo de superficie que tiene la propiedad de disminuir la tensión superficial entre dos fases o superficies, para mejorar el contacto entre ellas.

2.4.1. Tipos de emulsionantes

2.4.1.1. Emulsionantes aniónicos

Se tratan de “tensoactivos” que se ionizan en una solución acuosa para dar origen a iones orgánicos cargados negativamente, que son los responsables de la actividad superficial.

Son ácidos grasos que poseen una parte lipófila y otra parte hidrófila. Cuando se disuelven en solución acuosa continua, la parte hidrófila se ioniza formando cationes y aniones.

Los cationes son absorbidos por el agua mientras que los aniones son afines con los glóbulos de betún, permitiendo obtener una emulsión estable.

Entre ellos se encuentran:

- Sales alcalinas de ácidos grasos.
- Sales metálicas de ácidos grasos.
- Sales de base orgánica y de ácidos grasos.

Los glóbulos de asfalto llevan carga eléctrica negativa, por lo que la adherencia con los agregados no es tan efectiva, dado que la mayoría de ellos tienen cargas electronegativas. Por ello, las emulsiones aniónicas tienen muy poca demanda y casi no se fabrican.

Presentan buena adhesividad y resistencia al desplazamiento frente a los áridos calizos.

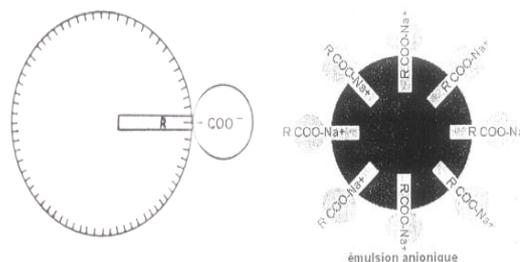


Imagen 2.

2.4.1.2. Emulsionantes catiónicos

Son los tensoactivos que se ionizan en solución acuosa y que originan los iones orgánicos cargados positivamente, responsables de la actividad superficial.

Son compuestos formados por una parte hidrófila y otra parte hidrófoba. Cuando se ponen en contacto con una solución acuosa, se ionizan, formando aniones y cationes.

Los cationes son absorbidos por los glóbulos de asfalto, cargados positivamente, mientras que los aniones permanecen en el agua.

De esta forma se consigue una emulsión estable por repulsión electrostática y también buena afinidad del betún con los agregados que se encuentran cargados negativamente.

Los tensoactivos más utilizados son:

- Alquilaminas.
- Alquilamidoaminas.
- Heterociclos nitrogenados de tipo imidazolina.

Estos reaccionan solos o en asociación y deben estar en forma de sales. Producen sobre la superficie del glóbulo de asfalto una carga eléctrica positiva, con lo que tienen gran afinidad con casi todos los agregados pétreos que se hallan cargados negativamente, como los áridos silíceos, es por eso que se utilizan en las construcciones viales con mayor frecuencia.

Si bien los áridos calizos se encuentran cargados positivamente, también presentan buena adherencia, dado que se produce un contacto previo entre los aniones de la parte hidrófila (ácido clorhídrico) disueltos en el agua con la caliza del árido, que facilita luego la adherencia de las micelas del betún.

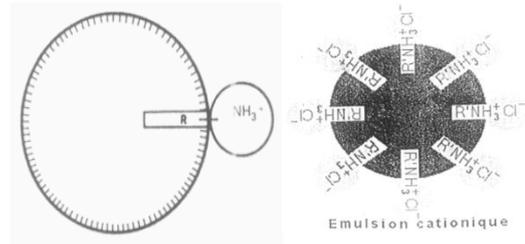
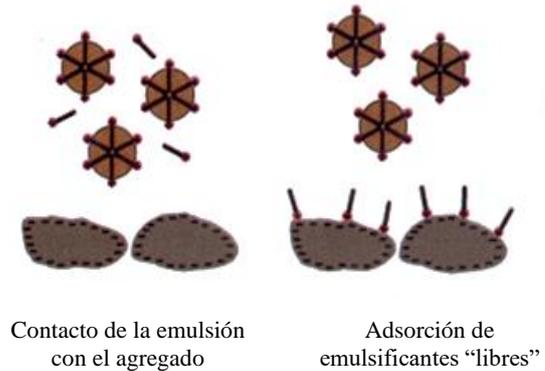


Imagen 3.



Contacto de la emulsión con el agregado

Adsorción de emulsificantes "libres"

2.5. Tamaño de las partículas de la emulsión

El tamaño de las partículas de la emulsión depende de ciertos factores, entre ellos:

- Emulsionantes: a mayor concentración, menor es el tamaño de las partículas.
- Naturaleza y cantidad del ligante.
- Energía mecánica aplicada en la fabricación.
- Condiciones hidrodinámicas en el proceso de emulsificación.

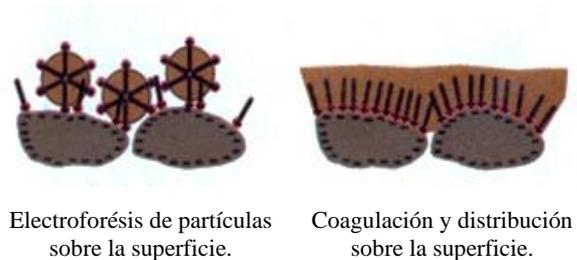
2.6. Almacenamiento

El almacenaje de las emulsiones asfálticas puede realizarse en tanques de hierro o cisternas con paredes de chapa.

Actualmente se utiliza un tanque cilíndrico en posición vertical, ya que se considera el más apto para el acopio dado que se forma una menor cantidad de nata.

Esta nata no es perjudicial ni tampoco indica que este en mal estado la emulsión, por el contrario, protege al resto de la masa de la posterior evaporación y de la entrada accidental de materiales extraños; pero es importante evitar su rotura y su dispersión por el tanque, ya que podría causar problemas de bombeo y taponamiento de filtros.

Para ello, el caño de alimentación del tanque debe atravesarla y efectuar su descarga a nivel del fondo del mismo. El caño de salida, ya sea para cargas de cisternas o para recirculación, se deberá ubicar en



Electroforésis de partículas sobre la superficie.

Coagulación y distribución sobre la superficie.

Imagen 4

posición diametralmente opuesta a la del caño de alimentación, cerca del fondo.

3. Propiedades Intrínsecas de la emulsión

3.1. Distribución de las partículas

La distribución del tamaño de las partículas influye en la estabilidad al almacenamiento, la viscosidad, adhesividad y la reactividad de la emulsión.

La determinación de la distribución de las partículas se realiza mediante una técnica en laboratorios especializados conocida como Granulometría Laser, un método que permite obtener alto grado de precisión y conocer el comportamiento fisicoquímico de la emulsión.

3.2. Emulsificante libre o residual

Es aquel contenido adicional de emulsificante utilizado para llenar la fase intermedia y evitar la coalescencia de las partículas. Se presentan como soluciones micelares.

Durante el proceso de fabricación, una vez que se formaron las partículas, deben ser estabilizadas para evitar la coalescencia de las mismas.

Las partículas se mantienen “separadas” debido a la repulsión electrostática, pero a veces esta repulsión puede verse interrumpida por contacto con minerales, favoreciendo la floculación y posterior creación de grumos que perjudican la coalescencia. Para evitar esta situación, se agrega más emulsificante, llamado emulsificante residual.

Este emulsificante residual, se absorbe más rápido que el emulsificante presente en las partículas de betún. Cuando se pone en contacto con la superficie mineral, el emulsificante libre tiende a modificar la carga eléctrica de la superficie mineral del árido, provocando repulsión electrostática de las partículas de betún y retardando así la rotura de la emulsión.

3.3. Rotura de la emulsión

Cuando la emulsión entra en contacto con el agregado, el agua se separa del ligante asfáltico, se libera y se evapora.

La rotura de la emulsión puede darse mediante dos métodos:

- **Rotura por Evaporación:** Depende de las condiciones atmosféricas y suele darse en las emulsiones anicónicas.
- **Rotura por Método Físico Químico:** No depende de las condiciones atmosféricas. Se trata de la absorción de los iones presentes en la fase acuosa sobre el árido. Se da en emulsiones catiónicas y la velocidad de rotura dependerá del tipo de agregado.

El emulsificante influye en la velocidad de rotura, y esta influye en la estabilidad a través del tiempo de la emulsión.

En la velocidad de rotura también influye el PH de la emulsión, la distribución del tamaño de los glóbulos, la presencia de aditivos, factores dependientes de los agregados y factores externos.

En general, el porcentaje de emulsificante no excede el 1%, en particular en las emulsiones catiónicas suele ser incluso menor, alrededor del 0,2%.

A continuación, se detalla el porcentaje de emulsificante y PH requerido para las distintas velocidades de rotura de emulsión.

Tipos de emulsión	Emulsificantes %	PH de la emulsión	Tipos de emulsificantes
Catiónica de rotura rápida	0,15 – 0,25	2 – 4	Grasa diamina
Catiónica de rotura media	0,3 – 0,6	1,5 – 4	Grasa diamina
Catiónica de rotura lenta	0,8 – 2,0	2 – 5	Amina cuaternaria
Aniónica de rotura rápida	0,2 – 0,4	10,5 – 12	Resina ácida
Aniónica de rotura media	0,4 – 0,8	10,5 – 12	Resina ácida
Aniónica de rotura lenta	1,2 – 2,5	7,5 – 12	Lignosulfato no-níonico

Imagen 5.

4. Clasificación de las emulsiones

4.1. En función del tipo de emulsificante

- Catiónicas
- Aniónicas

4.2. En función de la velocidad de rotura

4.2.1. Aniónicas

- Rápidas
- Medias
- Lentas

4.2.2. Catiónicas

- *Rápidas (CRR)*
 - tipo CRR-0
 - tipo CRR-1
 - tipo CRR-2
- *Medias (CRM)*
 - tipo CRM-1
 - tipo CRM-2
- *Lentas (CRL)*
- *Superestables (CRS)*
- *Imprimación. (CI)*
- *Controlada (especiales) (CRC)*
- *Para reciclado en frío (CRF).*

5. Propiedades

5.1. Viscosidad

La viscosidad de una emulsión asfáltica depende fundamentalmente de la proporción de cemento asfáltico presente en la misma y de la distribución del tamaño de los glóbulos de asfalto.

El valor de la viscosidad no debe posicionarse en ninguno de los extremos. Debe ser lo suficientemente baja como para cubrir con facilidad a los agregados pétreos pero lo necesariamente alta para no escurrirse en las vías al momento de efectuar el riego o el mezclado.

5.2. Almacenamiento

Esta propiedad nos permite determinar el tiempo entre la fabricación y el empleo sin que la emulsión tienda a romper o sedimentarse, ya que el paso del tiempo, factor de tipo externo, puede llegar a producir alteraciones irreversibles.

5.3. Adhesividad

Es la capacidad de cubrir al agregado pétreo sin peligro de desplace. Es una característica muy importante en las emulsiones, especialmente en las catiónicas.

6. Ensayos Emulsiones Asfálticas Catiónicas Convencionales

TABLA I – ENSAYOS Y CLASIFICACIÓN – IRAM 6691 – EMULSIONES ASFÀLTICAS CATIÒNICAS

Características	Unidad	Requisitos												Método de ensayo IRAM				
		Rotura rápida				Rotura a media				Rotura lenta		Superestable			Impiimación			
		CRR-0		CRR-1		CRR-2		CRM-1		CRM-2		CPL			CRS		CI	
Viscosidad Saybolt Furol	s	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	6721
25 °C		50	20	20	20	40	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	50
50 °C		50	20	20	20	40	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	50
Residuo asfáltico por destilación	g/100g	57	62	62	65	65	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	6719
Hydrocarburos destilados	ml/100ml	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	15
Contenido de agua	ml/100ml	43	38	38	35	35	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	55
Asentamiento	g/100g	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	15
Residuo sobre tamiz IRAM/850 micrones.	g/100g	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	6717 y 6.1
Frecubrimiento y resistencia al agua (**)	...	80	80	80	80	80	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	6679
Mezcla con cemento	g/100g	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6718
Mezcla con arena silicea (**)	...	...	...	...	...	...	Cumplirá el ensayo	Cumplirá el ensayo	Cumplirá el ensayo	Cumplirá el ensayo	Cumplirá el ensayo	Cumplirá el ensayo	Cumplirá el ensayo	Cumplirá el ensayo	Cumplirá el ensayo	Cumplirá el ensayo	Cumplirá el ensayo	6.3
Mezcla de lechada asfáltica en clima cálido (**)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6.4
Carga de partícula	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6690

(*) El residuo obtenido de acuerdo a la Norma IRAM 6719, se utiliza posteriormente para realizar los ensayos descriptos en la tabla 2.
 (**) Estos ensayos deben realizarse con el agregado de obra, en condiciones similares a las que existirán en ella en cuanto a las condiciones de mezclados y climáticas, cuando se proyecten tratamientos superficiales y estabilizados de arena.

6.1. IRAM 6716 - Emulsiones asfálticas. Método de ensayo de asentamiento

El asentamiento es la diferencia en residuo asfáltico, entre el contenido de asfalto de la fracción del fondo y de la superior de la emulsión, producida luego de un reposo de 5 días.

Se calcula el asentamiento con la fórmula:

$$A = B - C$$

Donde

- A: El asentamiento, en gramos por 100 gramos, a los 5 días.
- B: El residuo de la parte superior, en gramos por 100 gramos
- C: El residuo en la parte inferior, en gramos por 100 gramos.

Este ensayo refleja la estabilidad de la emulsión en el almacenaje. Las variables que influyen son fundamentalmente, la calidad de emulsificación, la temperatura ambiente y la diferencia de densidades entre la fase dispersa (asfalto) y la dispersante (solución acuosa).

6.2. IRAM 6717 - Emulsiones asfálticas. Método para la determinación del residuo sobre tamiz

Es el primer ensayo que se lleva a cabo sobre la emulsión. Con este ensayo se tiene una idea de la homogeneidad de una emulsión al establecer un porcentaje máximo de partículas de tamaño indeseable, las cuales, pueden producir taponamientos de filtros o picos regadores y, por otro lado, conspirar con un recubrimiento fino y uniforme de la superficie de los agregados pétreos.

6.3. IRAM 6718 - Emulsiones asfálticas. Método de ensayo de mezcla con cemento Portland

Este ensayo permite definir a una emulsión como de rotura lenta, en función de su compatibilidad con un material fino normalizado, como es el cemento Portland de alta resistencia inicial (ARI). El porcentaje de emulsión que coagula al ponerse en contacto con el cemento permite darnos una idea de la estabilidad de la emulsión.

La siguiente expresión determina la cantidad de emulsión coagulada:

$$E = \frac{(mf - mi) * 100}{V}$$

Donde

- E: la porción de emulsión coagulada, en gr * 100 cm³.
- *mi*: la masa del tamiz, recipiente y varilla, antes del ensayo, en gr.
- *mf*: la masa del tamiz, recipiente y varilla con el residuo, en gr.
- V: el volumen de emulsión empleado, en cm³.

6.4. IRAM 6721 - Emulsiones asfálticas. Método para la determinación de la viscosidad Saybolt Furol

Consiste en medir el tiempo de flujo de un volumen dado de emulsión a través de un orificio (Furol) de diámetro normalizado y a una temperatura establecida, que representa una condición de trabajo común.

Es importante y necesario medir la viscosidad para mejorar el manejo de una emulsión tanto en acopio, bombeo, carga y descarga, como en obra.

La viscosidad depende de varios factores, siendo uno de los más importantes la concentración de asfalto, o residuo de la emulsión; pero además influye, la concentración de emulsificante, la distribución de tamaño de partículas, el tipo de cemento asfáltico, la presencia o no de fluxantes (estos pueden ser gas oíl, kerosene, etc.) u otras sustancias como gas mineral o espesantes orgánicos.

7. Determinación del Residuo Asfáltico

7.1. IRAM 6715 – Determinación del residuo asfáltico por determinación de agua.

Consiste en una destilación en presencia de Xileno, recogiendo el agua y el solvente en una trampa graduada y determinándose el contenido de asfalto en forma indirecta. Para la determinación de este nos basamos en las siguientes expresiones:

$$A = \frac{V * \rho * 100}{m}$$

Dónde:

- V: el volumen de agua contenido en la trampa, en cm³.
- ρ : la densidad del agua que, a los efectos de este cálculo, se considera igual a 1 gr/cm³.
- m: la masa de la muestra, en gr.
- A: el contenido de agua, en gr * 100 gr.

$$R = 100 - A$$

Donde

- R: el residuo asfáltico, en gr * 100 gr.
- A: el contenido de agua determinado en la ecuación anterior, en gr * 100 gr.

7.2. IRAM 6719 - Emulsiones asfálticas. Método de determinación por destilación del residuo asfáltico y de los hidrocarburos destilables

Consiste en una destilación simple que permite recoger y medir el agua y los hidrocarburos destilables hasta 260°C. El residuo de destilación es el asfalto base, el cual puede ser sometido a ensayos de caracterización. El mismo y los hidrocarburos destilables se calculan por medio de las siguientes expresiones:

$$R = \frac{(m2 + 1.5 - m1) * 100}{m}$$

Donde

- R: residuo asfáltico, en gr *100 gr.
- m2: masa del alambique, sus accesorios y el residuo, en gr.
- 1.5: masa correspondiente a la diferencia en las pesadas entre la del alambique a temperatura ambiente y en caliente (emulsión aproximadamente 260°C), en gr.
- m1: masa del alambique y sus accesorios, en gr.
- m: masa de emulsión, en gr.

$$H = \frac{V * \rho * 100}{m}$$

Donde

- H: hidrocarburos destilados en $cm^3 * 100 cm^3$ de emulsión asfáltica.
- V: volumen de hidrocarburos destilados, medido en la probeta, en cm^3 .
- ρ : densidad de la emulsión asfáltica a temperatura ambiente, en $gr * cm^3$.
- m: masa de emulsión, en gr.

7.3. IRAM 6720 – Determinación del residuo asfáltico por evaporación

Consiste en evaporar el agua por calentamiento de la emulsión, mezclada previamente con arena, a razón de 4 partes de arena por cada parte de

emulsión. La evaporación se realiza sobre mechero en recipientes de hojalata y por duplicado.

Es utilizable en obra y en los casos en los cuales no se tengan en Laboratorio los elementos para realizar el ensayo descrito en *Determinación del residuo asfáltico por determinación de agua (IRAM 6715-86)*.

La siguiente expresión nos permite determinar el residuo asfáltico:

$$R = \frac{m3 - m1 * 100}{m2 - m1}$$

Dónde:

- R: residuo asfáltico por evaporación, en gr * 100gr.
- m1: masa del recipiente con la varilla y la arena, en gr.
- m2: masa del recipiente con la varilla, la arena y la emulsión incorporada, en gr.
- m3: masa del recipiente con la varilla, la arena y el residuo de la evaporación, en gr.

8. Ensayos sobre el residuo

8.1. IRAM 6576- Penetración

Este ensayo se realiza para determinar la consistencia de los materiales bituminosos de naturaleza sólida o semisólida en construcción de carreteras.

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetros, que penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones de carga, tiempo y temperatura. Normalmente el ensayo se realiza a 25°C durante 5 segundos y una carga móvil total (incluida la aguja) de 100 gramos.

8.2. IRAM 6579- Ductilidad

El procedimiento consiste en someter una probeta del material bituminoso, a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad.

Se define la ductilidad como la distancia en centímetros que se estira la probeta hasta el instante de la rotura, si esto no sucediera se toma la distancia de recorrido máxima del ductilómetro que son 100 cm.

El ensayo normalmente se realiza a una velocidad de 50 milímetros por minuto y a una temperatura de 25°C.

8.3. IRAM 6585- Contenido de betún soluble en tricloroetileno

Es un método utilizado para determinar el grado de solubilidad en tricloroetileno de material asfáltico, el cual puede contener cierta cantidad de impurezas de material mineral. La porción soluble en este solvente representa los constituyentes cementosos activos.

8.4. IRAM 6594- Oliensis

Este ensayo se realiza para determinar el equivalente de heptano-xileno (la cantidad de xileno requerida para suprimir la mancha producida por la dispersión en heptano natural) el cual indica si el asfalto ha sufrido descomposición térmica (cracking) o alterado por sobrecalentamiento durante, o posteriormente, al proceso de refinado.

Este ensayo es aplicable solamente a productos asfálticos derivados del petróleo y no se aplicará a asfaltos naturales conteniendo materiales no bituminosos insolubles en xileno.

9. Ensayos Emulsiones Asfálticas Catiónicas Convencionales

9.1. IRAM 6679 - Emulsiones asfálticas catiónicas. Método de determinación de la superficie recubierta del agregado pétreo y de la resistencia al agua de la película

Este ensayo determina la capacidad de las emulsiones de rotura rápida para cubrir los agregados pétreos. Se denomina “*Superficie Recubierta*” a toda superficie del agregado que, después del tratamiento efectuado en condiciones normalizadas, presente color negro o castaño oscuro, que tape la textura propia del agregado; y se llama “*Resistencia al Agua*”, al porcentaje del agregado que permanece recubierto con asfalto después del lavado con agua.

Dado que las emulsiones de corte rápido son utilizadas casi exclusivamente para efectuar riegos, este ensayo no reproduce las condiciones reales de trabajo en una obra. Por ello, se debe verificar la afinidad de un agregado para un tratamiento con las

emulsiones catiónicas disponibles. Es frecuente observar que si el agregado a emplear es polvoriento y no va a ser lavado en obra para eliminar dicho polvo, se hace necesario emplear una emulsión de corte medio, y a veces una superestable, ya que de lo contrario, el recubrimiento será pobre y la adherencia prácticamente nula.

9.2. IRAM 6690 - Emulsiones asfálticas catiónicas. Método de identificación del signo de la carga de los glóbulos asfálticos

Una muestra de emulsión es sometida a una electrólisis entre dos electrodos de acero inoxidable, identificándose el signo de la carga eléctrica por la polaridad del electrodo donde se produce el depósito de asfalto.

Si se verifica en el electrodo negativo (cátodo) un depósito, la emulsión es catiónica. Si por el contrario, el asfalto migra hacia el ánodo (electrodo positivo) se trata de una emulsión aniónica.

9.3. IRAM 6691 – Emulsiones asfálticas catiónicas. Mezcla de lechada asfáltica en clima cálido

Este ensayo se realiza para diferenciar una emulsión lenta de una superestable. En esta última, la exigencia es que permanezca 4 horas en condiciones de trabajabilidad, realizando una lechada. Si realizásemos una lechada con emulsión lenta esto no se cumple.

9.4. IRAM 6691 - Emulsiones asfálticas catiónicas. Mezcla con arena silícea

Este ensayo establece el método para determinar la capacidad de las emulsiones asfálticas de rotura media para recubrir los agregados pétreos y la resistencia al agua de la película media.

Se recomienda efectuar este ensayo con los agregados de obra y en condiciones similares a las que existirán en ella en cuanto a las condiciones “climáticas y de mezclado”, cuando se proyecten tratamientos superficiales y estabilización de arena.

9.5. Aplicaciones

TABLA II – APLICACIONES EN CONSTRUCCIONES VIALES – EMULSIONES CATIONICAS CONVENCIONALES.

Aplicación	Rotura rápida			Rotura media		Rotura lenta	Rotura superestable	Imprimación	Rotura controlada	Reciclado en frío
	CRR-0	CRR-1	CRR-2	CRM-1	CRM-2					
Riegos de liga, de curado, en negro	A	P			CRM-2	CRL	CRS	CI	CRC	CRF
Tratamientos superficiales	P	A	A	P						
Mezclas en frío abiertas				A	A					
Mezclas en frío almacenables para bacheo				P	A					
Mezclas densas en frío						P	A			
Riegos antipolvo						P	A			
Estabilizaciones de suelos.						P	A			
Gravaemulsión										
Lechadas asfálticas convencionales						A	A			
Riegos de imprimación								A		
Microaglomerados en frío									A	
Reciclado mezclas asfálticas							P			A

Referencias A: Aconsejable P: Posible

9.6. Riego de Liga

Se define como riego de liga a la aplicación de una emulsión asfáltica sobre una capa asfáltica o una capa granular imprimada, previo a la colocación sobre esta de una capa asfáltica o tratamiento asfáltico. Esto se realiza con el objetivo de mejorar la adherencia entre capas ligadas.

Se le realiza el ensayo de adherencia entre capas de rodadura y entre capas de base, exigiendo que la Dotación del Riego de Liga éste comprendido entre 0.25-0.40 MPa.

9.7. Lechadas Asfálticas

Son mezclas uniformes de "agregados", con relleno mineral o sin él, con aditivos o sin ellos, agua, y emulsión asfáltica modificada o no, que se colocan para recubrir y proteger el pavimento.

Un buen sistema de lechada permite obtener los valores adecuados en los ensayos de rueda cargada y abrasión húmeda, que le aseguran la calidad de la obra. Además, con esta técnica es posible obtener la rugosidad deseada en el pavimento.

9.8. Riego de Imprimación

Se define como riego de imprimación a la aplicación de una emulsión asfáltica sobre una capa granular, previo a la colocación sobre esta de un riego de liga o una capa o tratamiento asfáltico.

Esto se realiza con el objetivo de penetrar la superficie, cerrar vacíos y mejorar el anclaje y la adherencia entre la capa granular existente y la capa de mezcla asfáltica a colocar por encima. Se utiliza emulsión "CI".

La dotación se realiza según la metodología IRAM 6701, debe ser tal que resulte absorbida por la capa granular sobre la que se aplica en un período menor a cuarenta y ocho horas (< 48 hs) y no puede ser en ningún caso inferior a cuatrocientos gramos por metro cuadrado (400 gr/m²) de ligante asfáltico residual.

9.9. Microaglomerados en frío

Se define MAF a la combinación de una emulsión asfáltica (convencional o modificada), agregados (incluido Filler) y eventualmente aditivos. Estas mezclas son elaboradas en equipos ambulo-operantes, a temperatura ambiente y extendidas en bajos espesores sobre una superficie de pavimento adecuadamente preparada.

Se utilizan para la reconstitución de las condiciones superficiales de rodamiento (mantenimiento preventivo) en estructuras de pavimentos existentes

o para obtener condiciones especiales de fricción o superficies de desgaste, en obras nuevas.

10. Emulsiones Asfálticas Modificadas

10.1. Introducción

Se presentan como soluciones ante las emulsiones asfálticas convencionales, incrementando la adherencia en la interfaz entre el agregado y el asfalto, contribuyendo a la resistencia a la deformación permanente, a la fatiga, y disminuyendo la susceptibilidad a la temperatura.

10.2. Clasificación de las emulsiones asfálticas catiónicas modificadas

- de rotura rápida (CRR)
 - tipo CRR 0m
 - tipo CRR 1m
 - tipo CRR 2m
- de rotura media (CRM);
- de rotura lenta (CRL);
- de rotura superestable (CRS);
- de rotura controlada (CRC).

10.3. Ensayos y Requisitos

Características	Unidad	Requisitos												Método de ensayo
		Rotura rápida				Rotura media		Rotura lenta		Rotura superestable		Rotura controlada		
		CRR 0m	CRR 1m	CRR 2m	CRM m	CRLm	CRSm	CRSm	CRSm	CRSm	CRSm	CRSm	CRSm	
Viscosidad Saybolt Furol	25 °C	50	20	-	-	-	-	-	-	50	-	-	50	IRAM 6721
	50 °C	-	-	-	20 (*)	-	-	-	-	-	-	-	-	
Residuo asfáltico	g/100 g	57	-	63	-	67	-	60	-	60	-	60	-	IRAM 6719
Hydrocarburos destilables	ml/100 ml	3	-	3	-	3	-	12	-	-	-	-	-	IRAM 6719
Contenido de agua	g/100 g	43	-	37	-	33	-	40	-	40	-	40	-	IRAM 6719
Asentamiento	g/100 g	5	-	5	-	5	-	10	-	5	-	5	-	IRAM 6716
Residuo sobre tamiz IRAM 850 µm	g/100 g	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	IRAM 6717, 6.1
Superficie recubierta y resistencia al agua	-	80	-	80	-	80	-	30	-	-	-	-	-	IRAM 6679
Mezcla con cemento	g/100 g	-	-	-	-	-	-	-	-	2(**)	-	2(**)	-	IRAM 6718
Mezcla con arena silicea y agua		-	-	-	-	-	-	Debe cumplir con el corte exigido según el tipo (***)	Debe cumplir con el corte con el corte exigido según el tipo (***)	Debe cumplir con el corte con el corte exigido según el tipo (***)	-	-	Ver ¹⁾	6.3
Mezcla de lechada con arena granítica		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Debe cumplir el ensayo	6.4
Carga de partículas		Positiva												IRAM 6650

(*) Para las emulsiones de rotura media sin solvente la viscosidad Saybolt Furol se debe medir a 25 °C exigiéndose un valor mínimo de 20.

(**) Las emulsiones modificadas del tipo CRLm, CRSm y CRSm que no cumplan la especificación de mezcla con cemento, podrán ser aceptadas previa comprobación de su idoneidad para el uso a que destinen.

(***) Para la emulsión de rotura media con solvente no se exige este requisito.

¹⁾ No se le exige un tipo de corte en particular.

10.4. Aplicaciones de las emulsiones asfálticas catiónicas modificadas

Aplicación	Rotura rápida			Rotura media	Rotura lenta	Rotura superestable	Rotura controlada
	CRR 0m	CRR 1m	CRR 2m	CRMm	CRLm	CRSm	CRCm
Riegos de liga especiales	A	A	P				
Tratamientos superficiales		A	A				
Riegos de sellado		A	P				
Impregnación de geotextil			A				
Mezclas en frío abiertas				A			
Mezclas densas en frío					P	P	
Lechadas asfálticas					A	A	
Lechadas asfálticas de rotura controlada y micropavimentos							A

11. Ensayos Emulsiones Asfálticas Aniónicas.

Los ensayos que la norma exige serán citados a continuación, ya que estas casi no son utilizadas.

CLASE	ROTURA RAPIDA		ROTURA MEDIA						ROTURA LENTA			
	RR 1		RM 1		RM 2		RL 1		RL 2		RL 3	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt Furol, a 25 °C (seg)	20	100	20	100	100	---	20	100	20	100	20	100
Residuo asfáltico por determinación de agua, por ciento en peso.	55	60	55	60	60	65	55	60	55	60	55	60
Asentamiento a los 5 días	--	3	--	4	--	4	--	5	--	3	--	3
Demulsibilidad con 35 cm ³ de solución 0,02 N de cloruro de calcio (%) (I)	60	--	--	20	--	20	--	--	--	--	--	--
Demulsibilidad con 50 cm ³ de solución 0,01 N de cloruro de calcio (%)	--	--	80	--	80	--	5	30	--	2	--	1
Miscibilidad con agua (coagulación apreciable durante 2 h)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Miscibilidad modificada (1) con agua (diferencia en el contenido de asfalto)	--	--	--	--	--	--	--	4.5	--	4.5	--	4.5
Mezcla con cemento (%)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	--	2
Recubrimiento	--	--	--	(II)	--	(II)	--	(II)	--	(II)	--	(II)
Tamizado	--	0.10	--	0.10	--	0.10	--	0.10	--	0.10	--	0.10

12. Conclusiones

Para dar cierre al trabajo de investigación realizado citaremos los aspectos a destacar en cuanto a las emulsiones asfálticas. En primer lugar, la utilización de emulsiones asfálticas se enfoca en reducir la viscosidad del ligante asfáltico y permite

la puesta en obra de betunes a temperatura ambiente sin generar inconvenientes. Son consideradas un ligante moderno que frente a los ligantes convencionales presentan ventajas técnicas, como mejor adherencia y mayor número de aplicaciones, económicas y de seguridad, dado que disminuye el

gasto energético con la evaporación de agua en lugar de la evaporación de solventes de petróleo y elimina el riesgo de inflamación, características inherentes a los diluidos.

Según su carácter iónico, se pueden distinguir entre emulsiones aniónicas y catiónicas, siendo estas últimas utilizadas con mayor frecuencia, debido a la afinidad que posee con los distintos agregados, ya estén estos cargados positiva o negativamente. Es importante resaltar que, las emulsiones se diseñan, en nuestro país, según la disponibilidad de áridos existentes, y no a la inversa; y que poseen una gran versatilidad en su aplicación en el ámbito vial, tanto como para protección y preparación del suelo, como mejorador de adherencia entre capas del paquete estructural y para recuperación de calzadas y fabricación de mezclas de altas prestaciones.

Las emulsiones asfálticas son productos amigables con el medio ambiente constituyéndose en un producto apto desde el punto de vista ecológico.

Esta característica de las emulsiones asfálticas se puede analizar de diversas maneras: Desde el punto de vista energético las emulsiones representan un gran ahorro de energía tanto en su elaboración como en su empleo. Para elaborarlas requieren solo el 5% de la energía utilizada para elaborar diluidos asfálticos. Durante su utilización se ahorra energía ya que, presentan la ventaja de poder trabajar con materiales húmedos y fríos. Reducen la utilización de solventes derivados del petróleo. Sin embargo, algunas emulsiones requieren para su formulación un, generalmente, pequeño porcentaje de ellos.

Reducen la polución de la atmósfera ya que poseen una nula o mínima emisión de hidrocarburos. Generalmente, se trabajan a temperatura ambiente por lo que no requieren calentamiento ni para su manipulación ni para su empleo en obra disminuyendo los riesgos de quemaduras en los operarios. Además, como el medio dispersante es agua las emulsiones no son inflamables ni emanan vapores de hidrocarburo a la atmósfera.

13. Bibliografía

- Emulsiones Asfálticas - Soengas, C.; Rebollo, O. R.; González, R. O.
- Norma IRAM 6698
- Norma IRAM 6833
- Norma IRAM 6691
- Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Riegos de Imprimación con Emulsiones Asfálticas. – Vialidad Nacional. Edición 2017.
- Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Lechadas Asfálticas. – Vialidad Nacional. Edición 2017.
- Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Riegos de Liga con Emulsiones Asfálticas. – Vialidad Nacional. Edición 2017.
- Pliego de Especificaciones Técnicas Generales Microaglomerados Asfálticos en frío – Vialidad Nacional. Edición 2017.
- Emulsiones Asfálticas - Bec. Soengas.; Tec. Esp. González, R; Ing. Botasso Gerardo.

ANÁLISIS INICIAL PARA EL DESARROLLO EN EL LEMaC DE UN GRUPO DE TRABAJO EN FABRICACIÓN ADITIVA

Becario/s: Cedrés Lucas (lucasgas_26@hotmail.com)

Director: Oviedo Adrián Mariano (diadrianoviedo@gmail.com)

Área: Gestión y Diseño Vial.

PID Asociado: “Análisis inicial para el desarrollo en el LEMaC de un grupo de trabajo en fabricación aditiva.”



Resumen

Se realiza un relevamiento del estado de la fabricación aditiva por impresión 3D FDM (*Fused Deposition Modeling*), en el ámbito civil y vial, a fin de conocer cuál es el alcance de esta técnica en la actualidad.

Se identifican posibles objetos, productos y obras complementarias factibles de ser ejecutados con el proceso de fabricación propuesto. Como así también, variables de la tecnología que se pueda ajustar a los requerimientos del ámbito respecto de sus características tipológicas, funcionales y los materiales utilizados.

Al final del presente trabajo se espera contar con el conocimiento básico y necesario para determinar una serie de acciones a fin de constituir un sector de fabricación aditiva en el LEMaC.

Palabras clave: Fabricación aditiva, Impresión 3D, Industria 4.0

1. Introducción

Actualmente el proceso de producción por fabricación aditiva o impresión 3D forma parte de la denominada Industria 4.0, término acuñado en Alemania en el año 2011, en referencia a una política económica basada en estrategias de alta tecnología. La misma se caracteriza por la automatización y digitalización de los procesos mediante el uso de la tecnología electrónica y la información de la manufactura. Con resultados que se ven reflejados en la estadística, la trazabilidad, la calidad, como así también en la personalización de la producción, prestación de servicios y creación de negocios de valor agregado. Todos estos factores involucran la capacidad de interacción e intercambio de información entre humanos y máquinas. [1]

La industria 4.0 se enfoca en la innovación de nuevos productos y procesos, a través de fábricas inteligentes totalmente integradas en redes de trabajo que proporcionan nuevas formas de colaboración e infraestructuras. Emplea herramientas de *software*, por ejemplo, en el diseño asistido por computadora para la obtención de productos impresos en 3D. Referenciando el término de Impresión 3D asociado a la pequeña escala y el término de Fabricación Aditiva a la escala industrial o de mayor envergadura.

2. Impresión 3D

Una impresora 3D es un dispositivo que se emplea para ejecutar impresiones a escala real, con lo que se pueden crear una gran variedad de objetos tridimensionales. La tecnología 3D, consiste en crear al objeto mediante un programa de diseño asistido por computadora CAD (*Computer-Aided Design*). Luego se separa el modelo en capas muy delgadas que se imprimen una encima de la otra a medida que se van integrando con el fin de formar el objeto.

El proceso de fabricación comúnmente utilizado corresponde al FDM (*Fused Deposition Modeling*). El mismo consiste en depositar polímero fundido sobre una base plana, capa a capa. El material que inicialmente se encuentra en estado sólido, almacenado en rollos, ingresa a la impresora mediante un extrusor que lo arrastra hasta el pico calefaccionado. Allí se funde y es expulsado por una boquilla en minúsculos hilos, para luego solidificar y dar forma al objeto. [2]

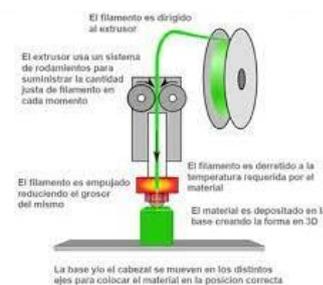


Figura 1. Esquema de impresora 3D [2]

Con impresoras 3D los tiempos para la ejecución de prototipos se reducen al mínimo. Solo hay que concentrarse en el diseño del objeto CAD y mediante un *software* pasarlo a un lenguaje que interprete la máquina, denominado código G del CAM (*Computer-Aided Manufacturing*). De esta manera se ahorra en herramientas y procedimientos.

2.1. Ámbito de ingeniería Civil: Equipos semiautomáticos con movilidad en 2 dimensiones

En el ámbito vial se identifican diversos equipos manuales o semiautomáticos que se pueden pensar, en su evolución y comparación, como un equipo 3D. Ejemplo de ello son los

equipos de demarcación vial dirigidos por una persona o equipos semiautomáticos de nivelación de pisos y paredes. Estos últimos en su desplazamiento avanzan en dirección “y”, construye la carpeta de nivelación y combina movimientos laterales en dirección “x” sin requerir de un operario.



Figura 2. Equipo de nivelación.

2.1.1. Equipo de demarcación vial horizontal

La demarcación vial representa una construcción en 2 dimensiones, puesto que no requiere un crecimiento en altura (eje z). La deposición de pintura, de consistencia viscosa puede compararse con la técnica de aplicación de material con impresión 3D; puesto que se deposita a través de una boquilla que se desplaza sobre el pavimento, similar a lo que sucede en una impresora sobre una base plana.



Figura 3. Equipo de demarcación vial.

A partir de los casos antes mencionados, equipos de nivelación y demarcación, se pueden distinguir algunas características asociadas a la impresión 3D. Ellas son: automatización, movimiento en dos dimensiones y deposición de un material viscoso sobre un plano.

2.2. Tipologías de Impresoras 3D respecto de cómo resuelven su movilidad en el espacio

Según cómo se resuelvan mecánicamente su movilidad en el espacio (ejes: x, y, z), se identifican distintas tipologías. Dentro del campo industrial de la ingeniería civil y fabricación aditiva se pueden detectar las siguientes:

2.2.1. Impresora 3D cartesiana



Figura 4. Impresora del tipo puente grúa, con rieles superiores (movimiento por rieles suspendidos en ejes x e y, y en eje z por columnas sobre 4 vértices).



Figura 5. Impresora con rieles inferiores. Movimiento en eje x con riel suspendido y en eje y con 2 columnas móviles que se desplazan sobre rieles fijos, sobre el suelo.

2.2.2. Impresora 3D tipo Delta



Figura 6. Impresora con boquilla de movilidad cartesiana dirigido por poleas móviles (las mismas suelen estar sostenidas por una estructura fija de tres o cuatro columnas).

2.2.3. Impresora 3D polar (tipo compás)



Figura 7. Apis Cor House (movimiento en el plano tipo radial, con brazo extensible que sostiene la boquilla y desplazamiento central en z).

2.2.4. Robot de impresión 3D



Figura 8. Impresora 3D de Ciber Control robótico de 6 ejes (movimiento rotacional de varios ejes para resolver la configuración x, y, z, y sus variables angulares).

2.2.5. Impresora cartesiana de eje “y” infinito

A partir de las tipologías básicas se pueden encontrar combinaciones. Por ejemplo, agregar rodamientos impulsados que permiten el avance en eje “y”. De esta manera no hay una estructura que limite la dimensión, salvo el mismo suelo. Otra particularidad se refiere a la angularidad en dirección “z” que permite construir piezas impresas a 45°. Esto le suma una característica cuando se trabaja con materiales plásticos, pues al elevarse en altura podría depositar material capa sobre capa sin requerir el agregado de soportes que sostenga la pieza. Cada capa se apoya sobre la anterior que ya solidificó conservando la forma y generando un nuevo sostén.

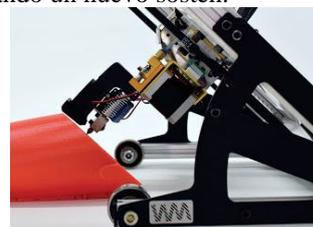


Figura 9. Impresora 3D Walking maker – Chimak 3D. [3]

3. Materiales y sus resultados

La fabricación aditiva presenta una evolución constante y acelerada la cual puede observarse en la gran variedad de insumos disponibles. Se pueden encontrar diversos materiales, de los cuales se destacan los siguientes:

3.1. Polímeros termoplásticos

Los materiales termoplásticos se caracterizan por pasar de su estado sólido a fundido, lo que permite su modelado para la construcción de objetos. Para cada uno se identifica una temperatura de fusión y otra de ablandamiento o de cambio de estado entre sólido y fluido, denominado transición vítrea.

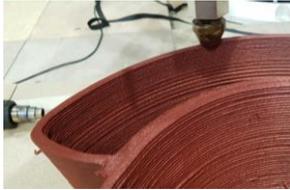


Figura 10. Impresión 3D FDM.

Maceteros

En el *Food Innovation Strip Ede-Wageningen*, centro agroalimentario en la región de Gelderland, se ensamblaron maceteros con el fin de comparar cómo la envoltura afecta el crecimiento de los árboles. [4]



Figura 11. Maceteros con forma de matraz. [4]

Cancha de Baloncesto

Yinka Ilori, diseñó una cancha de baloncesto en Londres que está conformada con baldosas de PP (polipropileno). Tienen la ventaja de ser más duraderas. Las marcas del terreno se han integrado en el propio material, por lo que los colores son más resistentes. [5]



Figura 12. Baldosas de PP. [5]

Puente peatonal

La Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Shanghái, ha desarrollado dos puentes peatonales a partir de plásticos. Uno de 11 m de largo que se extiende sobre un jardín y otro de 4 m sin escaleras. Demandó 360 horas y se ensambló las partes durante un día entero. [6]



Figura 13. Shanghái (China). [6]

Puente retráctil

Denominado *Transformer*, mide 9,34 metros de largo, 1,5 metros de ancho y 1,1 metros de alto, con un peso total de 850 kilos. Está compuesto por 9 segmentos retráctiles que se pueden controlar con un botón. Pero en este caso, son los 36 paneles impresos en 3D. Puede soportar una carga total de una tonelada o el peso total de 20 adultos. [7]



Figura 14. Puente retráctil impreso en poliéster. [7]

3.1.1 Material plástico reciclado

Materiales como PET (Polietileno Tereftalato), ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) y reciclados suelen ser opciones al momento de la ejecución por impresión 3D para mobiliario urbano. [8]



Figura 15. Bancos de plaza. [8]

Escultura que representa un trofeo gigante

El desarrollo se llevó a cabo con la impresora 3D CFAM construida por CEAD para Royal3D. Las siglas hacen referencia a *Continuous Fiber Additive Manufacturing*. El proceso agrega continuamente una fibra de vidrio, al material de impresión. Como resultado se obtienen piezas mucho más fuertes, rígidas y, por lo tanto, más duraderas en el tiempo. [9]



Figura 16. Escultura de Eurovisión (Rotterdam). [9]

Con el fin de fomentar la economía circular se eligió el proceso de FDM debido a que es un método de producción que no emite residuos. Para su fabricación se utilizó PET (polietileno tereftalato) reciclado.

3.2. Conglomerantes hidráulicos

Bancos exteriores

Colección de muebles impresos con hormigón. El mobiliario de hormigón blanco posee un grosor mínimo que garantiza la estabilidad estructural. Además, se integran varillas de fibra de vidrio y textiles de carbono como refuerzo adicional. En cambio, para el otro asiento, en color gris, se utilizó solo hormigón reforzado. [10]



Figura 17. Bancos impresos en hormigón. [10]

Puente peatonal de Hormigón

La Universidad de Tsinghua, Beijing (China), imprimió en 3D un puente de 26 metros de longitud y 3 metros de ancho. Construido a partir de 176 piezas, en un plazo de 450 horas. [11]



Figura 18. Puente de Beijing. China. [11]

3.3. Impresión 3D con armado estructural

El concepto SCRIM (*Sparse Concrete Reinforcement in Meshworks*), refuerzo de hormigón disperso en mallas, emplea mallas de polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) que se imprimen directamente sobre los mismos. Como base o soporte de impresión se emplea una malla pretensada, fabricada de polímero reforzado con fibra de carbono. Posteriormente, el hormigón es incorporado sobre la malla de manera selectiva según el diseño prefijado. La misma puede estar suspendida y pretensada o preformada sobre un molde o encofrado de madera. [12]

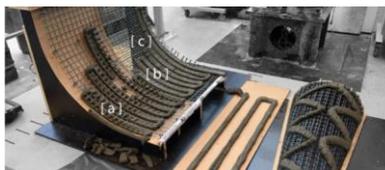


Figura 19. Hormigón sobre malla preformada. [12]

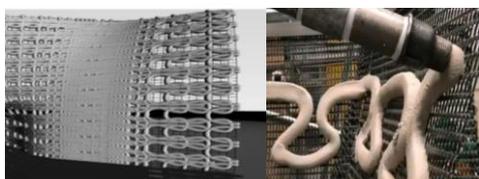


Figura 20. Malla con material depositado. [12]

Viviendas unifamiliares

La empresa *WinSun Decoration Design Engineering*, experimentó la construcción de diez casas en un solo día en China, empleó una mezcla de cemento y residuos de la construcción. [13]



Figura 21. Viviendas, empresa *WinSun Decoration Design Engineering*. [13]

Muros para medianeras

La empresa *ConcreteFlow* diseña muros de hormigón a partir de impresión 3D. Permite realizar superficies decorativas a ambos lados, con altura ajustable, la longitud de las secciones y la configuración de los paneles. [14], [15]



Figura 22. Muro medianero [14], [15]

3.4. Material extraído del suelo

La empresa italiana *WASP* crea una casa con materiales naturales del entorno en un tiempo de construcción de 10 días. Material compuesto por 25% de suelo extraído del lugar (30% arcilla, 40% limo y 30% arena), 40% de paja picada de arroz, 25% cáscaras de arroz y 10% de cal hidráulica. [16]

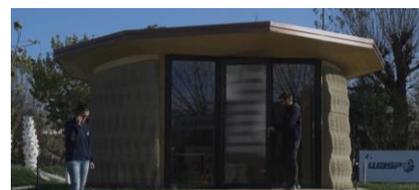


Figura 23. Casa Gaia. Italia. [16]

3.5. Material de acero

La empresa de robótica *MX3D* realizó el proyecto *The Bridge* impreso, con 12 m de largo. El proceso de construcción fue creado por robots a partir de capas de acero fundido. Primero, se calentó el acero a 1500 °C para después soldar y montar la estructura gota a gota. [17]



Figura 24. *The Bridge*, Ámsterdam. [17]

4. Particularización a la vialidad

En el ámbito vial a diferencia del civil, se identifican primeramente sobre la calzada elementos continuos como ser: la propia calle, los cordones; obras de gran envergadura vial y elementos de obras básicas, entre otras, que no tienen el mismo rol que se mostró en las anteriores figuras. Pero si reúnen esas condiciones toda una serie de elementos viales complementarios.

El principal valor característico de la tecnología 3D se refiere a la personalización, para obtener una cantidad limitada de objetos de forma rápida. Como gran ventaja es que no requieren moldes, acorta los tiempos de fabricación y mano de obra. A continuación, se agregan imágenes de elementos viales que pueden fabricarse mediante fabricación aditiva.

Barrera New Jersey

Utilizar la impresión 3D para este tipo de elemento permitiría ampliar fácilmente sus diseños, en cuanto a personalización e innovación de nuevos modelos. Puesto que este proceso fomenta el cambio de diseño constante. Tanto para prototipo de ensayos o producto final.



Figuras 25-26. Barrera permanente de hormigón y barrera provisoria de plástico.

Respecto de su condición formal, se plantea trabajar con diseños en las zonas de encastrados, como así también en requerimientos de acopio, traslado y montaje. Por otro lado, los diseños asociados a una función específica, podrían permitir fácilmente su reubicación temporal. Por ejemplo, en el caso de separación de carriles múltiples que requieran eventualmente cambios de sentido del tránsito.

Separadores y delimitadores viales

Actualmente este tipo de elementos son construidos con el uso de impresoras 3D, en su etapa de prototipado. Finalmente, se fabrican por inyección de plástico y luego se incorporan a las carreteras mediante ensamble con tornillos.



Figura 27. Separador vial/ Delimitador vial.

Estos elementos desde los materiales 3D en pasta, se podrían trabajar en desarrollos de fabricación *in situ*. Mediante el uso de un mortero polimérico y una carga con determinada viscosidad, que permita resolverlo en una sola pasada de manera que conserve su forma. Un nuevo modo de pensar el proceso, tanto en la fabricación como la colocación, habilitaría a desarrollos de materiales compuestos en consistencia de pasta que permitan obtener diferentes resultados. Por ejemplo, incorporar carga de materiales provenientes de reciclados, o mezcla de materiales con distintas características para sus distintas capas constructivas. Como otro ejemplo, podría ser la incorporación de partículas que reflejen la luz, para el caso de uso en la demarcación vial.

Tapas de alcantarilla

En cuanto a su aspecto formal y menor requerimiento de terminación superficial, algunos tipos de tapas de alcantarillas resultan factibles de ser impresas por 3D. De manera que resuelva aspectos de personalización, uso de colores y relieve en su forma.



Figura 28. Tapas de alcantarilla con gráfica.

Bicicleteros

Estos objetos de la vía pública pueden ser rediseñados desde el punto de vista formal y funcionalmente, mediante las alternativas constructivas que habilita la impresión 3D.



Figura 29. Bicicletero tubular.

5. Conclusiones

Actualmente en varios países se llevan adelante proyectos relacionados al ámbito civil y al vial, los cuales adoptan soluciones a través de la fabricación aditiva. Según los casos mencionados anteriormente, se plantea repensar la forma de crear objetos para tratar de obtener beneficios sustentables, emplear materiales reciclados, disminuir los desperdicios de la construcción y obtener una personalización que otros métodos constructivos no ofrecen.

Siendo que la impresión 3D tiene cada vez más protagonismo en una diversidad campos, se espera que desde un Área de Fabricación Aditiva en el LEMaC se pueda brindar asistencia en temas de investigación y desarrollo que incluyan esta técnica. Tener como visión la posibilidad de dar respuesta a las necesidades de contexto. Abarcar trabajos de asesoramiento técnico en fabricación aditiva, formulación y caracterización de materiales 3D, ensayos reológicos de los insumos, ensayos mecánicos de piezas impresas y posibles métodos o normas aplicables.

Referencias bibliográficas

- [1] Antoni Garrell, Llorenç Guilera (2019). La Industria 4.0 en la sociedad digital. Rec.: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YnSIDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA51&dq=que+es+la+industria+4.0&ots=teg9qDa27k&sig=AQNKx7S_1ZTvrkb5ml6LuIWwEk#v=onepage&q=que+es+la+industria+4.0&f=false
- [2] Olgüín Romina. Características de las Impresoras 3D - Instituto Tecnológico Universitario. (2016). Rec.: <http://itu.uncuyo.edu.ar/caracteristicas-de-las-impresoras-3d>
- [3] Chimak 3D. Impresora 3D Walking Maker – Impresora finita. Rec.: <http://www.chimak3d.com/walking-maker.html>
- [4] Felixx (2018). Start test pase 3D printed tree pots for food innovation. Rec.: <https://www.felixx.nl/news/start-test-phase-3d-printed-tree-pots-for-food-innovation-strip.html>
- [5] Yinka Llori. Creative courts. Rec.: <https://yinkailori.com/work/creative-courts>
- [6] C. Lucía (2017). 3Dnatives. China desarrolla sus primeros puentes impresos en 3D. Rec.: <https://www.3dnatives.com/es/china-puentes-impresos-en-3d-01082017/>
- [7] M. Alicia (2021). 3Dnatives. Instalan en China el primer puente retráctil impreso en 3D para peatones – 3Dnatives. Rec.: <https://www.3dnatives.com/es/puente-retractil-impreso-3d-08072021/>
- [8] Imprimalia 3D. Imprime tu ciudad: conversión de residuos plásticos en mobiliario urbano mediante la impresión 3D. Rec.: <http://imprimalia3d.com/noticias/2017/11/23/009490/imprime-tu-ciudad-conversi-n-residuos-pl-esticos-mobiliario-urbano>
- [9] M. Alicia (2021). 3Dnatives. Un trofeo gigante de Eurovision impreso en 3D para fomentar la economía circular. Rec.: <https://www.3dnatives.com/es/trofeo-eurovision-impreso-en-3d-21052021/>
- [10] Steffen Luana (2020). *A 3D Printed Collection of Outdoor Furniture Made With Concrete*. Rec.: <https://www.intelligentliving.co/3d-printed-outdoor-furniture/>
- [11] Imprimalia 3D (2019). Puente impreso en 3D de 26 metros de longitud. Rec.: <http://imprimalia3d.com/noticias/2019/08/15/0011176/puente-impreso-3d-26-metros-longitud>
- [12] Ayres, P., Ricardo, W., Nicholas, P., Andersen, T. J., Portielje, J., & Greisen, R. (2019). *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2018*. Springer International Publishing.
- [13] Euroresidentes. 10 viviendas construidas con impresoras 3D en China (en un sólo día). Rec.: <https://www.euroresidentes.com/hogar/noticias-vivienda/10-viviendas-construidas-con-impresoras>
- [14] *ConcreteFlow — construction 3D printers*. Rec.: <https://concreteflow.tech/en/>
- [15] *Craft Fence — construction 3D printing - YouTube*. Rec.: https://www.youtube.com/watch?v=qWkQvN5pII_M
- [16] MX3D. *Bridge*. Rec.: <https://mx3d.com/industries/infrastructure/mx3d-bridge/>
- [17] Chiusoli Alberto (2018). *The first 3D printed House with earth | Gaia*. Rec.: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/>
- [18] Bejarano, J. E. S. (2019). Impresoras 3D en la nueva era tecnológica. Universidad Santiago De Cali. Rec.: <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4247/IMPRESORAS%203D.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Bibliografía complementaria

- [19] B. Panda, S. C. Paul, N. A. N. Mohamed, Y. W. D. Tay, M. J. Tan (2018). *Measurement of tensile bond strength of 3d printed geopolymer mortar, Measurement 113*
- [20] Buswell, R., Leal da Silva, W.R., Jones, S.Z., Dirrenberger, J. (2018): *3D printing using concrete extrusion: a roadmap for research. Cement and Concrete Research*.
- [21] Costanzi, C.B (2016). *3D Printing Concrete Onto Flexible Surfaces. Delft University of Technology*. Rec.: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A84d36c2e-8969-4432-b1a5-c9c02e6304f6>.
- [22] D. Lowke, E. Dini, A. Perrot, D. Wenger, C. Gehlen, B. Dillenburger, *Particle-bed concrete construction possibilities and challenges, Cement and Concrete Research*
- [23] F. Bos, R. Wolfs, Z. Ahmed, T. Salet (2016), *Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing, Virtual and Physical Prototyping*
- [24] S. Lim, R. Buswell, P. Valentine, D. Piker, S. Austin, X. Kestelie (2016), *Modelling curved-layered printing paths for fabricating large-scale construction components, Addit Manuf*

LEMAC, CENTRO DE INVESTIGACIONES VIALES

AV. 60 Y 124 S/N- BERISSO BUENOS AIRES, ARGENTINA

TEL. +54 9 221 4890413.

E-MAIL: LEMAC@FRLP.UTN.EDU.AR