

## Capítulo 6: Diseño y caracterización de los pisos con NFU

En el capítulo 6 "**Diseño y caracterización de los pisos con NFU**" se detalla el criterio seguido para establecer las bases del diseño de las baldosas. Se analizan las propiedades de una matriz de baldosas de caucho reciclado de NFU efectuada utilizando distintas granulometrías de granza de caucho reciclado, dosificaciones de resina aglomerante y densidades. Este grupo de baldosas así confeccionadas se sometieron a distintos ensayos físicos tales como: abrasión, rotura a la tracción, resistencia a la compresión y permeabilidad. Además, en este capítulo se analizó un ensayo de envejecimiento acelerado mediante la aplicación de radiación ultravioleta a algunas muestras, las que luego se compararon con los resultados originales y para la mezcla elegida se muestran imágenes tomadas en microscopio

### 1. DISEÑO DE LAS MEZCLAS

En el diseño de las mezclas para la confección de las baldosas como se ha señalado participan granza de caucho reciclado de NFU, con variaciones granulométricas y resina poliuretánica, que pueden ser de distintos tipos. La elección de que combinaciones utilizar, depende entre otras cosas de:

- ✓ Los costos
- ✓ La funcionalidad de la baldosa
- ✓ La tecnología disponible

#### La tecnología disponible

Como se ha señalado en el capítulo anterior, se ha optado por el moldeo por compresión, en el sistema de moldes diseñados, para la producción en laboratorio y producción a escala.

Es de destacar que, dentro de los objetivos de la presente tesis, se encuentra diseñar e incorporar en el sistema de producción sencillo, de baja inversión, con herramientas habitualmente disponibles en talleres y ferreterías de cercanía elaborado por los actores de la economía social.

Por lo tanto, se asume que tendrán acceso a una prensa hidráulica a desarrollar y a un sistema de moldes reutilizables, tal cual se han diseñado en el capítulo anterior, desarrollándose todo el proceso a temperatura ambiente sin un sistema de curado por temperatura que acorte los tiempos de permanencia de la muestra dentro del molde. Por lo tanto determinar el tiempo de fragüe o de curado será una de las variables a verificar en primer término.

#### La funcionalidad de la baldosa

Los principales factores que influyen en la funcionalidad se pueden definir considerando las siguientes situaciones:

- ✓ Interior o exterior
- ✓ Permeable o impermeable
- ✓ Variación en la resistencia físico-mecánica: desgaste, deformación, resistencia a la tracción.
- ✓ Envejecimiento frente a la acción de UV

Para ello se vio necesario realizar diferentes dosificaciones, considerar distintas funcionalidades y para ello fue necesario ejecutar un importante número de baldosas, sobre las cuales se realizaron los diferentes ensayos.

Por lo que el objetivo de la etapa de diseño comprenderá conocer acabadamente los factores que inciden en el mismo.

Así por ejemplo, se pueden considerar:

- ✓ Los efectos producidos en las propiedades de las baldosas en función de la presión de moldeo.
- ✓ Control del tiempo de curado o tiempo de fragüe,
- ✓ La variación en las proporciones de los componentes de las mezclas, (tipos de granza, proporciones, datación de resina).
- ✓ Dimensiones de las piezas a moldear
- ✓ Y como se ha señalado la disponibilidad tecnológica del moldeo.

## 2. ETAPAS DEL PROCESO DE DISEÑO

Como se ha señalado se necesitan ajustar una serie de variables, que muestran dependencias entre sí, por lo cual la combinatoria de las mismas, puede resultar en la realización de una cantidad de muestras de baldosas que requieran un consumo de materiales elevados y por consiguiente en un tiempo de procesamiento también muy largo.

### 2.1. Dosificaciones sobre modelo a escala

Para ello se decide ajustar las variables sobre muestras patrones cilíndricas, de 15,40 cm. de diámetro, como las que se muestran en la figura 1.



*Figura 1: Vista superior de una probeta.*

Se ha utilizado un molde metálico compuesto de dos partes, un cilindro de 15,4 cm de diámetro, con una tapa desmontable provista de un sistema de barras roscadas ajustables para mantenerlo en su sitio. Dentro el molde se mueve un pistón con peso de diámetro 15,3 cm que recibe la presión de la prensa comprimiendo la mezcla hasta alcanzar el valor establecido. Determinando de esta manera el espesor de la probeta y la densidad buscada.



Figura 2: Sistema de moldes utilizado, armado y sus componentes por separado.

El sistema de moldes armado y con la muestra en su interior se puede ver en la Figura 2, en tanto que a la derecha en se los puede apreciar por separado.



Figura 3: Probeta antes de ser desmoldada

En la Figura 3 se encuentra la probeta a punto de ser retirada del molde cilíndrico.

Para estas muestras de menor tamaño, se cuenta en laboratorio de diseño, en este caso el LEMaC, centro de investigaciones viales, donde realicé la presente tesis, con una prensa automatizada, que cuenta con una velocidad de avance de 50 mm por minuto, habitualmente utilizada en un método de ensayos para mezclas asfálticas, denominado método Marshall, norma IRAM 6845. Como se puede observar en la figura 4, que muestra el desarrollo del momento del prensado de la probeta.



*Figura 4: Prensa Marshall durante el proceso de compresión de la muestra.*

Se confeccionaron ocho grupos diferentes de moldeo, organizados de forma tal de analizar cuatro variables, de los cuales se extraen consideraciones iniciales sobre el proceso:

- ✓ Tiempo de fragüe
- ✓ Dosificación
- ✓ Prensado en Caliente
- ✓ Presión.

Las muestras fueron ejecutadas con una mezcla de granza de caucho reciclado de NFU denominadas M1 y M2; junto con distintas proporciones en peso del total de resina poliuretánica AG 30 de Recsabond (RECSA Reactores Especiales Controlados S.A., 2018); tal como se describe en el capítulo 4.

Para determinar los tiempos de fragüe se verá que se comenzaron con tiempos menores a los adoptados finalmente, para el prensado en frío. Para el prensado en caliente se tomaron 30 minutos.

En el caso de las presiones se comenzó con 1 kg/cm<sup>2</sup>, aunque luego para verificar una correspondencia entre presión y densidad se hicieron probetas sometidas a valores superiores.

Grupo A1 Tiempo de fragüe (93/7, 1, 6).

Los códigos señalados en el grupo A corresponden a las siguientes proporciones

93: Expresada en % en peso del total de la granza M1; 7% en peso de la resina Recsabond AG30; 1 kg/cm<sup>2</sup> de presión ejercido por el equipo sobre el molde; y 6 horas de fragüe.

Muestra	M1	M2	Resina	Tiempo	Vol.	Peso	Densidad.
2	93,00	0,00	7,00	6,00	563,85	349,00	0,6190

Tabla 1: Grupo A1

Grupo A2 Tiempo de fragüe (90/10,1,12)

90 % en peso total de granza M1, 10% de resina AG30, 1kg/cm<sup>2</sup> de presión y 12 horas de fragüe.

Muestra	M1	M2	Resina	Tiempo	Vol.	Peso	Densidad.
11	90,00	0,00	10,00	12,00	0,00	348,20	falló

Tabla 2: Grupo A2

Grupo A3 Tiempo de fragüe (90/10,1,24)

90% en peso total de granza M1, 10% de resina AG30, 1Kg/cm<sup>2</sup> de presión y 24 horas de fragüe.

Muestra	M1	M2	Resina	Tiempo	Vol.	Peso	Densidad.
1	90,00	0,00	10,00	24,00	435,00	348,20	0,8005
10	90,00	0,00	10,00	24,00	575,86	458,80	0,7967

Tabla 3: Grupo A3



Figura 5: Probeta con problemas de fragüe.



Conclusiones: Para este prensado en frío se pudo comprobar que tanto las probetas desmoldadas a 6 como 12 horas, no estaban polimerizadas completamente, dando lugar a probetas defectuosas. En cambio, en las probetas desmoldadas a 24 horas, se consiguieron valores esperados de densidad y de estabilidad dimensional, por lo que para lo sucesivo se tomará este valor como tiempo de fragüe.

#### Grupo A4 Dosificación (95/5, 1, 24)

95% del peso total en granza M1 o M2, 5 % en peso de resina AG30; 1kg/cm<sup>2</sup> de presión; 24 horas de fragüe.

Muestra	M1	M2	Resina	Tiempo	Vol.	Peso	Densidad.
3	95,00	0,00	5,00	24,00	457,26	348,20	0,7615
9	0,00	95,00	5,00	24,00	468,20	347,30	0,7418

Tabla 4: Grupo A4

#### Grupo A5 Dosificación (93/7, 1, 24)

93% del peso total en granza M1 o M2, 7 % en peso de resina AG30, 1 kg/cm<sup>2</sup> de presión; 24 horas de fragüe.

Muestra	M1	M2	Resina	Tiempo	Vol.	Peso	Densidad.
4	93,00	0,00	7,00	24,00	442,31	350,40	0,7922

Tabla 5: Grupo A5

#### Grupo A6 Dosificación (90/10, 1, 24)

90% del peso total en granza M1 o M2, 10% en peso de resina AG30, 1 kg/cm<sup>2</sup> de presión; 24 horas de fragüe.

Muestra	M1	M2	Resina	Tiempo	Vol.	Peso	Densidad.
1	90,00	0,00	10,00	24,00	435,00	348,20	0,8005
10	90,00	0,00	10,00	24,00	575,86	458,80	0,7967
8	0,00	90,00	10,00	24,00	443,58	349,44	0,7878

Tabla 6: Grupo A6

Conclusiones: Las muestras se acercaron a las densidades buscadas, y aunque éstas aumentan con la cantidad de resina, no lo hacen de un modo significativo. En todos los casos se obtuvieron muestras perfectamente conformadas.

#### Grupo A7 Prensado en caliente (1, 100, 1/2)

Distintas dosificaciones ya ensayadas, 1 kg/cm<sup>2</sup> presión; 100 °C de temperatura, ½ hora de tiempo de fragüe.

Muestra	M1	M2	Resina	Tiempo	Vol.	Peso	Densidad.
12	90,00	0,00	10,00	0,50	428,28	349,70	0,8165
15	0,00	95,00	5,00	0,50	455,47	348,70	0,7656
14	0,00	90,00	10,00	0,50	439,78	347,90	0,7911
13	95,00	0,00	5,00	0,50	439,66	349,50	0,7949

Tabla 7: Grupo A7

Conclusiones: Como se esperaba, las muestras quedan perfectamente conformadas a los 30 minutos de fragüe, alcanzando la polimerización de la mezcla. Previo al prensado de las muestras se calentó el conjunto de moldes en estufa a 100° C, luego manejado con los cuidados necesarios fue colocado en su posición en la prensa y puesto en presión. Este grupo sólo fue elaborado con el objeto de obtener información útil para ser utilizada eventualmente en el futuro.

#### Grupo A8 Presión (90/10)

90% del peso total en granza M1, 10% en peso de resina AG30.

Muestra	M1	Resina	Presión	Vol.	Peso	Densidad.
17	90,00	10,00	3,21	364,11	364,20	1,0002
16	90,00	10,00	3,00	364,59	346,20	0,9495
5	90,00	10,00	2,00	393,37	348,68	0,8864
1	90,00	10,00	1,00	435,00	348,20	0,8005

Tabla 8: Grupo A8

Conclusiones: Como era de esperar la densidad aumenta con la presión, y las muestras quedan perfectamente conformadas. El objeto de este grupo es establecer una relación entre la presión y la densidad obtenida.

Durante la serie de pruebas con temperatura en el molde, se hicieron distintas experiencias con los agentes desmoldantes, como la parafina, el alcohol polivinílico y la cera. En ellas se puede apreciar que en el caso del alcohol polivinílico quedaron residuos que se debieron solubilizar para retirarlos con agua, la parafina en algún caso no fue del todo eficiente y hubo que realizar una acción mecánica con una espátula para separar el molde de la muestra. La cera tuvo un buen comportamiento como desmoldante; de todas maneras, al ser el trabajo sobre un sistema de prensado en frío cualquiera de los tres cumple con lo esperado como agente desmoldante.

Una variante no explorada en el presente estudio es el uso de catalizadores para acelerar el curado o completamiento de la polimerización de la mezcla. La empresa fabricante de la resina provee uno específico del cual sólo conocemos algunas de sus propiedades. El mismo cuya denominación es Catalizador AG 1030 (Recsa Reactores Controlados S.A., 2018), es un aditivo acelerante sin disolventes apto para utilizar en



sistema de reciclaje por aglutinación de cargas con poliuretanos, por lo que es recomendado por la empresa para acelerar la reacción de reticulado de los productos.

Para su uso se aconseja aplicar una cantidad máxima del orden del 5% sobre el total de la fórmula, en tales proporciones se puede lograr tiempos de gel del orden de la hora. En una mezcla que no lo contenga este mismo tiempo se extiende más allá de las 4 horas, se debe mezclar bien y tener especial cuidado en el tiempo de moldeado porque endurece al aire rápidamente.

#### Conclusiones del moldeo a escala:

Teniendo en cuenta que el sistema de moldeo que se utilizará será el de prensado en frío y luego de analizar el resultado de los distintos grupos, se concluye que a los efectos prácticos para el siguiente paso, es uniformar un tiempo de fragüe de 24 horas.

De acuerdo a lo esperado las distintas dosificaciones encaradas dieron piezas homogéneas aptas para ser utilizadas en el moldeo a escala real, se aclara que se utilizó el propuesto por el fabricante de resinas y se avanzó con menores contenidos de resina.

Sobre el sistema de prensado, ya ha quedado claro cual se utilizará, por lo que las pruebas en caliente serán utilizados en futuros estudios.

La presión ejercida sobre la mezcla dentro del molde influye directamente sobre la densidad, mayores presiones dieron lugar a muestras más densas.

La utilización de catalizadores para acortar los tiempos de fragüe como el descrito precedentemente no fue utilizado en esta etapa de pruebas, se advierte como una posible alternativa para eventualmente, una etapa de producción.

Luego de utilizar varios desmoldantes, todos dieron para el prensado en frío, buenos resultados. Para la siguiente etapa se utilizará la parafina.

## **2.2. Diseño de las baldosas en escala real**

El objetivo de esta etapa es confeccionar baldosas a escala real, utilizando las consideraciones de la etapa anterior, para luego someterlas a ensayos para determinar sus características. De este grupo de muestras podríamos obtener una baldosa que tenga el mejor rendimiento relativo frente a los ensayos a los que fueron sometidas, y más importante aún, tener parámetros para el diseño de las mismas de acuerdo a la prestación requerida.

Para realizar el moldeo a escala real se utilizaron moldes existentes en el laboratorio, confeccionados en acero, con una dimensión de 300x300x50 mm y fácilmente desmontables. Estos moldes pueden colocarse encimados y prensarse en grupo, por lo que se utilizaron en paquetes de cuatro y sometidos a la acción de la prensa hidráulica.

El tamaño de la pieza resultante es de 300x300 mm de superficie con un espesor de 23 mm. El sistema utilizado consiste en colocar un molde en posición completo con

la mezcla, luego la placa que le dará su espesor; posteriormente el piso de otro molde al cual se le completa con la mezcla y así sucesivamente.

Luego por acción de la prensa, la fuerza ejercida irá colocando en posición el grupo de moldes hasta enrasarlos a todos. En ese momento la mezcla compactada dentro del molde adquiere el espesor libre entre la altura total del molde y el espesor de la placa de compresión.

Cuando el grupo de cuatro moldes está enrasado y en presión se procede a asegurar el paquete de moldes mediante dos planchuelas, una superior y otra inferior, perforadas y unidas por dos varillas roscadas que se ajustan a tope para mantener la posición de los moldes.



Figura 6: Mezclado de los componentes.



Figura 7: Llenado con mezcla de los moldes.

En las figuras 5 y 6 se muestran las tareas de mezclado de la materia prima para obtener la mezcla homogeneizada y su colocación dentro de los moldes.

Luego de completado el llenado de los cuatro moldes, cada uno de ellos responde a una baldosa de diseño específica, se procede a colocarles la placa de presión y a



Figura 8: Paquete de moldes preparados en la base de la prensa.



Figura 9: Colocación del sistema para mantener la presión.

La figura 8 muestra el sistema de moldes ya colocado sobre la base de la prensa, con su correspondiente equipo para mantener la presión durante el fragüe luego del prensado (figura 9).

Luego de transcurrido el tiempo de fragüe se procede al desmolde de la baldosa, como ya se ha dicho, los moldes son desmontables lo que facilita su extracción.



Figura 10: Desmolde luego del fragüe.

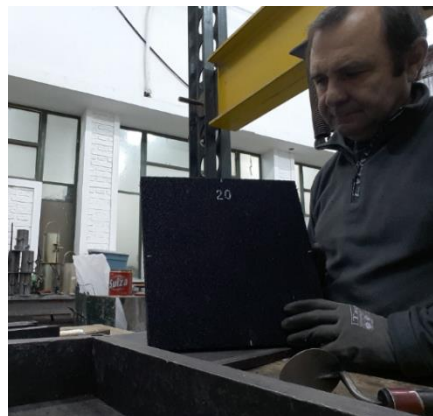


Figura 11: Baldosa terminada.

De las variables observadas en los modelos a escala se han adoptado las siguientes conclusiones:

- ✓ Variación de la granza de caucho reciclado: Razones estéticas en primer lugar, al logarse una mayor sensación de compacidad y de terminación más delicada, hacen a la utilización de las granulometrías más finas en desmedro de las más gruesas.
- ✓ Variación de la dosificación de la resina: Se utilizaron cuatro dosificaciones de resina en la confección de la batería de muestras, las mismas fueron de 5%, 7%, 10% y 13% de peso de resina en el peso de la granza de caucho reciclado.
- ✓ Variación de la presión de moldeo: Se utilizó la conclusión de presión del moldeo a escala, mayores presiones dieron lugar a piezas con mayor densidad. En este caso, tal como se ha descripto la presión de moldeo en realidad, es indirecta. Lo que se busca es una densidad dada, colocando la cantidad de material necesaria en los moldes para proceder luego a colocar los mismos en presión. En otras palabras, lo que se calcula y diseña es el volumen de material a aportar, ya que la presión de moldeo vendrá como consecuencia cuando el producto esté fraguado.
- ✓ Sistema de prensado: se adopta el sistema de prensado en frío, por motivos puramente económicos, pues es el que se adaptaría a las posibilidades de fabricación de baldosas por actores de la economía social
- ✓ Tiempo de fragüe: Al optar por el sistema de prensado en frío, se adopta un tiempo de fragüe de 24 horas.
- ✓ Agente desmoldante: Por las mismas razones expuestas, se adopta la parafina que tuvo un desempeño aceptable en el moldeo a escala y es de fácil obtención.

Se confeccionaron ocho grupos de baldosas a escala real, organizados por tipo de granza (M1 y M2) y por dosificación (cuatro valores diferentes, 5, 7, 10 y 13% del

peso del total de la mezcla expresado en el peso de la resina. En cada grupo se buscó obtener tres distintos valores de densidad, 0,75; 0,80 y 0,90 gr/cm<sup>3</sup>.

#### Grupo B1 (M1, 95/5, 24)

Dosificación 95% de granza M1 y 5% de resina AG30 en peso del total de la mezcla, y el tiempo de fraguado de 24 horas.

Muestra	Densidad buscada (gr/cm <sup>3</sup> )	M1 (%)	Resina (%)	Peso Inicial (grs.)	Tiempo (hs)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Peso final (grs.)	Densidad. Obtenida (gr/cm <sup>3</sup> )
19	0,744	95,00	5,00	1440,00	24,00	2024,98	1442,60	0,7124
29	0,800	95,00	5,00	1616,00	24,00	2101,50	1612,60	0,7674
33	0,900	95,00	5,00	1818,00	24,00	2220,75	1814,20	0,8169

Tabla 9: Grupo B1

Conclusión: la densidad buscada es sensiblemente inferior a la buscada, explicada en la relajación de la tensión dentro del molde. Mayor cuando mayor sea la densidad buscada.

#### Grupo B2 (M2, 95/5,24)

Dosificación: 95% de granza M2 y 5% de resina AG30 en peso total de la mezcla, y el tiempo de fraguado es de 24 horas.

Muestra	Densidad buscada (gr/cm <sup>3</sup> )	M2 (%)	Resina (%)	Peso Inicial (gr)	Tiempo (hs)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Peso final (gr)	Densidad. Obtenida (gr/cm <sup>3</sup> )
21	0,744	95,00	5,00	1440,00	24,00	1998,00	1442,20	0,7218
40	0,800	95,00	5,00	1616,00	24,00	2140,88	1617,50	0,7555
41	0,900	95,00	5,00	1818,00	24,00	2122,88	1819,90	0,8573

Tabla 10: Grupo B2

#### Grupo B3 (M1, 93/7, 24)

Dosificación: 93% de granza M1 y 7% de resina AG30 en peso del total de la mezcla, tiempo de fragüe 24 horas.

Muestra	Densidad buscada (gr/cm <sup>3</sup> )	M1 (%)	Resina (%)	Peso (gr)	Tiempo (hs)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Peso Final (gr)	Densidad. Obtenida (gr/cm <sup>3</sup> )
25	0,744	93,00	7,00	1440,00	24,00	2045,25	1436,50	0,7024
28	0,800	93,00	7,00	1616,10	24,00	2130,75	1612,30	0,7567
32	0,900	93,00	7,00	1818,00	24,00	2184,75	1814,40	0,8305
34	0,800	93,00	7,00	1616,00	24,00	2106,00	1614,60	0,7667
35	0,900	93,00	7,00	1818,00	24,00	2175,75	1815,70	0,8345

Tabla 11: Grupo B3

Se repitieron las baldosas de las muestras 28 y 32 para control, mediante las muestras 34 y 35, no obteniéndose diferencias sustanciales en cuanto a la densidad obtenida.

No obstante no fueron tenidas en cuenta para la realización de los ensayos que posteriormente se analizarán, por lo que las muestras 34 y 35 no se mostrarán en las planillas de resultados de los ensayos correspondientes.

#### Grupo B4 (M2, 93/7, 24)

Dosificación 93% de granza M2 y 7% de resina AG30 en peso del total de mezcla, tiempo de fragüe 24 horas.

Muestra	Densidad buscada (gr/cm3)	M2 (%)	Resina (%)	Peso (gr)	Tiempo (hs)	Vol. (cm3)	Peso Final (gr)	Densidad. Obtenida (gr/cm3)
23	0,744	93,00	7,00	1440,00	24,00	2054,33	1435,40	0,6987
36	0,800	93,00	7,00	1616,00	24,00	2061,00	1611,70	0,7820
37	0,900	93,00	7,00	1818,00	24,00	2090,25	1814,00	0,8678

Tabla 12: Grupo B4

#### Grupo B5 (M1, 90/10, 24)

Dosificación: 90% de granza M1 y 10% de resina AG30 en peso del total de la mezcla tiempo de fragüe 24 horas.

Muestra	Densidad buscada (gr/cm3)	M1 (%)	Resina (%)	Peso (gr)	Tiempo (hs)	Vol. (cm3)	Peso Final (gr)	Densidad. obtenida (gr/cm3)
18	0,744	90,00	10,00	1440,00	24,00	2065,50	1438,10	0,6962
27	0,800	90,00	10,00	1616,00	24,00	2115,00	1613,60	0,7629
31	0,900	90,00	10,00	1818,00	24,00	2268,00	1814,40	0,8000

Tabla 13: Grupo B5

#### Grupo B6 (M2, 90/10, 24)

Dosificación 90% de granza M2 y 10% de resina AG30 en peso del total de la mezcla, tiempo de fragüe 24 horas.



Muestra	Densidad Buscada (gr/cm3)	M2 (%)	Resina (%)	Peso (gr)	Tiempo (hs)	Vol. (cm3)	Peso Final (gr)	Densidad obtenida (gr/cm3)
20	0,744	90,00	10,00	1440,00	24,00	2017,98	1438,90	0,7130
39	0,800	90,00	10,00	1616,00	24,00	2148,75	1614,00	0,7511
43	0,900	90,00	10,00	1818,00	24,00	2108,25	1815,30	0,8610

Tabla 14: Grupo B6

Grupo B7 (M1, 87/13, 24).

Dosificación: 87% de granza M1 y 13% de resina AG30 en peso del total de la mezcla. Tiempo de fragüe 24 horas.

Muestra	Densidad Buscada (gr/cm3)	Resina (%)	Peso (gr)	Tiempo (hs)	Vol (cm3)	Peso Final (gr)	Densidad. obtenida (gr/cm3)	
24	0,744	87,00	13,00	1440,00	24,00	2007,00	1438,00	0,7165
26	0,800	87,00	13,00	1616,00	24,00	1971,00	1608,00	0,8158
30	0,900	87,00	13,00	1818,00	24,00	2243,25	1809,90	0,8068

Tabla 15: Grupo B7

Grupo B8 (M2, 87/13, 24)

Dosificación: 87% de granza M2 y 13% de resina AG30 en peso del total de la mezcla, tiempo de fragüe 24 horas.

Muestra	Densidad buscada (gr/cm3)	M2 (%)	Resina (%)	Peso (gr)	Tiempo (hs)	Vol. (cm3)	Peso Final (gr)	Densidad obtenida (gr/cm3)
22	0,744	87,00	13,00	1440,00	24,00	2018,25	1437,90	0,7124
38	0,800	87,00	13,00	1616,00	24,00	2023,88	1610,60	0,7958
42	0,900	87,00	13,00	1818,00	24,00	2199,38	1811,00	0,8234

Tabla 16: Grupo B8

Conclusión del moldeo a escala real:

Se obtuvieron piezas bien conformadas, en apariencia aptas para su uso, aunque lo más trascendente es que no se obtuvieron las densidades buscadas, obteniéndose densidades menores. Está claro que la misma se debe al aumento de espesor de las piezas, no observándose aumentos de las dimensiones en forma



superficial. El motivo de lo ocurrido puede deberse a que no ha sido posible mantener durante el tiempo de polimerización establecido la presión constante en el paquete de moldes; o que el tiempo de polimerización es insuficiente, sin perder de vista el carácter elastomérico de la mezcla. De todas maneras las empresas que las producen, que las conforman por prensado en caliente, advierten sobre un porcentaje en más o en menos del espesor de las piezas que se ofrecen.

Las densidades con que se ha trabajado en la matriz de este grupo de moldeo de baldosas a escala real, son las más cercanas de lograr con el equipamiento a que podrían acceder los destinatarios de este estudio, los actores de la economía social.

Por todo lo expuesto y con las salvedades del caso, estas piezas están en condiciones de ser sometidas a los ensayos para determinar sus características.

Se confeccionó además una tercera etapa con muestras de baldosas con el fin trabajar con densidades mayores, para tener referencias en futuros trabajos

#### Grupo C1. (M1,M2; 45/45/10; 24)

Dosificación: 45% de granza M1, 45% de granza M2, 10% de resina AG30 en peso del total de la mezcla, tiempo de fragüe 24 horas.

Muestra	Densidad buscada (gr/cm3)	M1 (%)	M2 (%)	Resina (%)	Peso Inicial (grs.)	Vol. (cm3)	Peso final (grs.)	Densidad obtenida (gr/cm3)
45	0,8000	45,00	45,00	10,00	1615,50	1986,75	1623,90	0,8174

Tabla 17: Grupo C1

#### Grupo C2: (M1, 93/7, 24)

Dosificación: 93% de granza M1, 7% de resina AG30 en peso del total de la mezcla, tiempo de fragüe 24 horas.

Muestra	Densidad buscada (gr/cm3)	M1 (%)	Resina (%)	Peso Inicial (grs.)	Tiempo (hs)	Vol. (cm3)	Peso final (grs.)	Densidad obtenida (gr/cm3)
44	1,0000	93,00	7,00	2161,400	24,00	2136,38	2017,60	0,9444

Tabla 18: Grupo C2

#### Grupo C3: (M1, 90/10, 24)

Dosificación: 90% de granza M1, 10% de resina AG30 en peso del total de la mezcla, tiempo de fragüe de 24 horas.

Muestra	Densidad buscada (gr/cm3)	M1 (%)	Resina (%)	Peso Inicial (grs.)	Tiempo (hs)	Vol. (cm3)	Peso final (grs.)	Densidad. Obtenida (gr/cm3)
46	0,9000	90,00	10,00	1779,70	24,00	2038,50	1779,70	0,8730
47	1,0000	90,00	10,00	2007,60	24,00	2063,25	2007,60	0,9730
48	1,1000	90,00	10,00	2102,10	24,00	2101,50	2102,10	1,0003
49	1,2000	90,00	10,00	2428,40	24,00	2349,00	2428,40	1,0338

Tabla 19: grupo C3

Conclusiones: este grupo C se elaboró para obtener parámetros a utilizar en futuros trabajos, se aprecia que se obtienen menores densidades a las buscadas. Las baldosas obtenidas tienen buen aspecto, incluso la que fue realizada con mezcla de las granulometrías de las granzas M1 y M2.

### 3. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BALDOSAS TERMINADAS

#### ✓ Volumen

Las baldosas fueron mensuradas en sus tres dimensiones, para el caso de la superficie se puede concluir que no tuvieron diferencias ya que están contenidas por el molde metálico. En el caso del espesor, se tomaron cuatro mediciones (una por lado) y se determinó un espesor promedio que es el que luego se multiplicó con la superficie para determinar el volumen, figuras 12 y 13.

Es aquí, donde se pudo apreciar un aumento en esta dimensión que redundó en un aumento del volumen final, claramente es porque la prensa no pudo mantener durante el tiempo de fraguado la tensión necesaria para mantener la baldosa contenida en el molde a causa de su condición de material elastómero.



Figura 12: Preparación para la medición de los espesores.



Figura 13: Medición de los espesores de una baldosa.

Esto representa un verdadero problema ya que el sistema se basa en lograr la presión de moldeo a partir de comprimir una cantidad de mezcla en volumen o peso dada, y se basa en el enrasamiento del molde. Por tal motivo es que se ha

propuesto en el capítulo anterior un sistema de moldes para mantener la presión constante.

### ✓ Densidad.

La densidad es una característica física de la materia que relaciona su peso en relación a su volumen. En el sistema métrico decimal su unidad es la de kg/m<sup>3</sup> aunque se utiliza también muy a menudo y por conveniencia (gr/cm<sup>3</sup>).

La densidad en el moldeo de la mezcla es un parámetro de diseño de la baldosas, ya que el moldeo se realiza colocando un volumen previamente determinado en un molde fijo y al aplicarle la presión de moldeo se espera tenga las medidas especificadas.

La densidad es función principalmente de la presión de moldeo y del tamaño de la granza de caucho reciclado. La tabla de la figura 13 muestra que los mayores valores de desviación se dan en granzas con mayor granulometría (M1) y que las de menor valor, son las baldosas confeccionadas con granzas de menor granulometría (M2).

En la tabla se muestra la desviación entre la densidad esperada y la obtenida, está claro que la variable medida es el volumen de la baldosa, más precisamente como ya se dijo, el espesor. En ella se advierte que si bien el promedio total es del orden de los 4,95%, hay un par de valores que se salen de la serie por los motivos que ya se explicaron, así que se podría concluir que la misma debería ser inferior al 5 %.

Muestra	Densidad Buscada (gr/cm <sup>3</sup> )	M1 (%)	M2 (%)	Resina (%)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Peso (grs)	Densidad Obtenida (gr/cm <sup>3</sup> )	Desv. (%)
31	0,90	90,00	0,00	10,00	2268,00	1814,40	0,8000	-11,11
30	0,90	87,00	0,00	13,00	2243,25	1809,90	0,8068	-10,35
33	0,90	95,00	0,00	5,00	2220,75	1814,20	0,8169	-9,23
42	0,90	0,00	87,00	13,00	2199,38	1811,00	0,8234	-8,51
32	0,90	93,00	0,00	7,00	2184,75	1814,40	0,8305	-7,72
35	0,90	93,00	0,00	7,00	2175,75	1815,70	0,8345	-7,28
18	0,74	90,00	0,00	10,00	2065,50	1438,10	0,6962	-6,44
23	0,74	0,00	93,00	7,00	2054,33	1435,40	0,6987	-6,11
39	0,80	0,00	90,00	10,00	2148,75	1614,00	0,7511	-6,11
25	0,74	93,00	0,00	7,00	2045,25	1436,50	0,7024	-5,62
40	0,80	0,00	95,00	5,00	2140,88	1617,50	0,7555	-5,56
28	0,80	93,00	0,00	7,00	2130,75	1612,30	0,7567	-5,41
41	0,90	0,00	95,00	5,00	2122,88	1819,90	0,8573	-4,75
27	0,80	90,00	0,00	10,00	2115,00	1613,60	0,7629	-4,63
43	0,90	0,00	90,00	10,00	2108,25	1815,30	0,8610	-4,33
19	0,74	95,00	0,00	5,00	2024,98	1442,60	0,7124	-4,27
22	0,74	0,00	87,00	13,00	2018,25	1437,90	0,7124	-4,26

<b>20</b>	0,74	0,00	90,00	10,00	2017,98	1438,90	0,7130	-4,19
<b>34</b>	0,80	93,00	0,00	7,00	2106,00	1614,60	0,7667	-4,17
<b>29</b>	0,80	95,00	0,00	5,00	2101,50	1612,60	0,7674	-4,08
<b>24</b>	0,74	87,00	0,00	13,00	2007,00	1438,00	0,7165	-3,72
<b>37</b>	0,90	0,00	93,00	7,00	2090,25	1814,00	0,8678	-3,57
<b>21</b>	0,74	0,00	95,00	5,00	1998,00	1442,20	0,7218	-3,01
<b>36</b>	0,80	0,00	93,00	7,00	2061,00	1611,70	0,7820	-2,25
<b>38</b>	0,80	0,00	87,00	13,00	2023,88	1610,60	0,7958	-0,52
<b>26</b>	0,80	87,00	0,00	13,00	1971,00	1608,00	0,8158	1,98
<b>Promedio</b>								<b>-4,95</b>

Tabla 20: Desviación entre la densidad obtenida y buscada

Otra de las consideraciones a tener en cuenta es una merma en el peso de la mezcla que se prepara para verter en el molde debido a la adherencia de la resina o la mezcla en los utensilios utilizados.

De manera que a modo de conclusión para mantener el volumen esperado es trabajar con un sistema que asegure el mantenimiento de la presión durante todo el proceso de curado. Asimismo tener un coeficiente de merma para obtener la densidad requerida al igual que la estabilidad dimensional de las baldosas. Esta última es función de la previamente mencionada, porque corrigiéndola, la merma se espera sea menor. De todas maneras, efectuadas estas correcciones, las baldosas producidas tendrían un error admisible en sus dimensiones del orden del  $\pm 3\%$ .

#### **4. ENSAYOS REALIZADOS A LAS BALDOSAS TERMINADAS.**

Este grupo de muestras configuran una matriz como ya se ha dicho y ha sido sometida a una serie de ensayos para acercarnos a sus propiedades características. A falta de ensayos normalizados se han efectuado los que estaban al alcance del equipamiento del laboratorio.

Estos ensayos en el presente capítulo serán mostrados ordenados por número de muestra conforme fueron confeccionadas. Los resultados serán analizados en el siguiente capítulo.

##### **4.1) Ensayo de permeabilidad.**

La permeabilidad es la capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Podemos concluir que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende principalmente de tres factores.

- ✓ La porosidad del material

- ✓ La densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura.
- ✓ La presión a que está sometido el fluido.

El coeficiente de permeabilidad ( $k$ ) es “una constante de proporcionalidad relacionada con la facilidad de movimiento de un flujo a través de un medio poroso” (Bouwles Joseph E, 1981).

El grado de permeabilidad e un suelo se mide por su coeficiente de permeabilidad, el cual se basa en la ley propuesta por Darcy en el siglo XIX, la cual señala:

$$V = k * i$$

Donde:

$V$  = velocidad de escurrimiento de un fluido a través del suelo.

$K$  = coeficiente de permeabilidad propio y característico.

$I$  = gradiente hidráulico, el cual representa la relación entre la diferencia de niveles ( $H$ ) y la distancia ( $L$ ) que el agua recorre

En laboratorio, la medición de este coeficiente se realiza por medio de permeámetros, los que pueden ser de nivel constante o nivel variable dependiendo del tipo de suelo analizado. La importancia de este coeficiente es vital para poder determinar por ejemplo: la capacidad de retención de aguas de presas o embalses de tierra, la capacidad de las bombas para deprimir el nivel freático en una excavación y para poder determinar la velocidad de asentamiento de una estructura al escurrir el agua, entre otros.

En nuestro caso conocer este coeficiente nos proporcionaría un parámetro esencial para el diseño de los pisos de baldosas confeccionadas con caucho reciclado con NFU. Estas baldosas, objetos del estudio, se colocarán fundamentalmente en el exterior donde estarán expuestas a los agentes climáticos permanentemente y de allí que obtener su capacidad drenante resulta imprescindible.

Las distintas combinaciones de resinas con tipos de granza y presiones de moldeo, dan un abanico de posibilidades en cuanto a sus propiedades y por ello, se analizarán todas las muestras ejecutadas para obtener su coeficiente de permeabilidad ( $k$ ) particular.

- ✓ Tipos de ensayos de permeabilidad.

Los ensayos pueden dividirse fundamentalmente entre los realizados en el laboratorio y en el campo, ambos, realizados generalmente mediante permeámetros. Estos pueden ser de dos tipos, permeámetros de carga constante y permeámetros de carga variable.

- ✓ Ensayos a carga constante.

Los ensayos a carga constante utilizados en general para los suelos granulares y se realizan con un permeámetro diseñado para tal fin en el cual lo que se mide es el tiempo en completarse un volumen de fluido en un recipiente ubicado luego de la muestra. Un recipiente elevado proporciona la carga hidráulica que permitirá al fluido

atravesar la muestra y como se explicó precedentemente, luego será colectado en un recipiente (Sánchez F.J., 2017).

- ✓ Ensayos a carga variable.

Los ensayos a carga variable utilizados principalmente en los suelos finos, para obtener valores pequeños de permeabilidad, basan su funcionamiento en la medición del tiempo necesario para que un recipiente que oficia de carga, se descargue atravesando la muestra colocada a continuación del permeámetro, entre dos puntos señalados en el recipiente.

- ✓ Ensayo de permeabilidad en baldosas de caucho reciclado con NFU.

Para el ensayo de las muestras objeto del presente estudio se utilizó la norma LT 327/00 que establece el ensayo de permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS del Laboratorio de Escuelas de Caminos de Santander, España. (Escuela de Caminos Santander, 2020)

- ✓ Procedimiento:

Se sitúa el permeámetro (de carga variable) sobre la muestra para el ensayo y se coloca la carga tórica sobre la base.

A continuación se llena de agua el tubo transparente del permeámetro hasta unos 15 cm por encima de la marca superior de medida, y se deja que se vacíe a continuación para mojar y saturar la muestra.

Seguidamente se vuelve a llenar de la misma forma el permeámetro y se anota el tiempo de evacuación en segundos que tarda el nivel del agua en descender desde la marca superior de medida hasta la inferior.

Los resultados se vuelcan en una planilla preparada al efecto y luego se realizan los cálculos de la permeabilidad K.

Calculo de la permeabilidad K, según el ensayo con permeámetro LCS.

$$K = \frac{aL}{A} \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{h_o}{h_f}$$

Dónde:

K = permeabilidad buscada [cm/s x 10<sup>3</sup>]

a = superficie recipiente vidriado [m<sup>2</sup>]

L = espesor de la muestra (variable con cada una), [m]

A = superficie en boca del recipiente [m]

ln = Logaritmo natural

h<sub>o</sub> = altura primera marca recipiente vidriado hasta el nivel de referencia [m]

h<sub>f</sub> = altura segunda marca recipiente vidriado hasta el nivel de referencia [m]



$\Delta t$ = tiempo transcurrido en descender el fluido entre  $h_o$  y  $h_f$  [s]



Figura 15: Preparación del permeámetro.



Figura 14: Ensayo de permeabilidad sobre una baldosa a escala real.

### ✓ Resultados

En la planilla siguiente se aprecian los distintos valores de la permeabilidad ( $k$ ) expresada en [cm/s] y en [m/s] para las muestras numeradas del 18 al 43, ordenadas según el número de muestra. En algunos casos para permeabilidades muy pequeñas, se nota el tiempo excesivamente largo que arroja el ensayo, haciendo insustancial la

realización de un segundo ensayo. En general, se realizaron dos ensayos y se promediaron los resultados.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm3)	Coefficiente Permeabilidad k (cm/s)
18	90,00	0,00	10,00	0,69625	0,89999
19	95,00	0,00	5,00	0,71240	1,00758
20	0,00	90,00	10,00	0,71304	0,18394
21	0,00	95,00	5,00	0,72182	0,02904
22	0,00	87,00	13,00	0,71245	0,15952
23	0,00	93,00	7,00	0,69872	0,13358
24	87,00	0,00	13,00	0,71649	0,61477
25	93,00	0,00	7,00	0,70236	1,02559
26	87,00	0,00	13,00	0,81583	0,16505
27	90,00	0,00	10,00	0,76293	0,70801
28	93,00	0,00	7,00	0,75668	0,40687
29	95,00	0,00	5,00	0,76736	0,60949
30	87,00	0,00	13,00	0,80682	0,14532
31	90,00	0,00	10,00	0,80000	0,29815
32	93,00	0,00	7,00	0,83048	0,32481
33	95,00	0,00	5,00	0,81693	0,33599
36	0,00	93,00	7,00	0,78200	0,02999
37	0,00	93,00	7,00	0,86784	0,04322
38	0,00	87,00	13,00	0,79580	0,00810
39	0,00	90,00	10,00	0,75113	0,02185
40	0,00	95,00	5,00	0,75553	0,02540
41	0,00	95,00	5,00	0,85728	0,02832
42	0,00	87,00	13,00	0,82342	0,00227
43	0,00	90,00	10,00	0,86105	0,00905

Tabla 21: Resultados el ensayo de permeabilidad.

## 4.2) Ensayo de abrasión

La abrasión es la acción de quitar o arrancar algo mediante fricción, acción que es permanente en el uso de estos pisos amortiguantes. La pérdida de material por esta vía es un parámetro que debemos mensurar ya que afectará de modo significativo el tiempo de vida útil.

En nuestro caso, y por la disponibilidad de equipos, se ha optado por someter a las baldosas de mezcla de caucho reciclado de NFU al ensayo WTAT de abrasión de lechadas asfálticas con algunas consideraciones particulares.

Este ensayo (ISSA TB 100) mide la resistencia de la muestra a la exposición de la abrasión bajo condiciones de humedad. El ensayo consiste en moldear un

espécimen circular, que en nuestro caso es una baldosa de mezcla de caucho reciclado adaptada al recipiente, que se deja secar a 60 °C durante 15 horas en donde se espera alcanzar una condición de peso constante (Laboratorio de Transporte, 2020).

Posteriormente, el espécimen se sumerge en agua durante 1 hora a una temperatura de 25 °C y se aplica abrasión con un tubo de una manguera especial que se hace pasar sobre la muestra durante 5 minutos 15 segundos +/- 2 segundos. El espécimen erosionado se lava para dejarlo sin material suelto, luego se seca a 60 °C y se pesa, la pérdida de peso se expresa en gramos totales perdidos o en gramos perdidos por unidad de área como gramos por metro cuadrado. El valor obtenido se multiplica por un factor que depende de la máquina utilizada, Hobart N 50 modificada en este caso, que surge de la norma ISSA N°100 y que es igual a  $37,5 \times 0,78 = 29,25$ .

La manguera será de caucho reforzado, con un diámetro interior de 19 mm y un diámetro exterior de 31 mm (doble trenzado, 2068,2 kPa, cobertura resistente al aceite mineral). La manguera se corta en trozos de longitud de 127 mm. Otro factor que incide en el ensayo es la confección de la probeta, por lo que para minimizar errores se prevé que siempre las realice el mismo operador.

Este ensayo originalmente nos da la evolución de la cohesión de la lechada y permite definir el tiempo de apertura al tránsito. En nuestro caso nos permite verificar si el solado construido con estas baldosas tiene un desgaste aceptable para las condiciones de uso.

Si bien la norma prevé la realización de tres ensayos y trabajar con el promedio, nuestro caso de realizaron dos ensayos y se promedió.



*Figura 16: Ensayo de abrasión sobre una baldosa a escala real.*



*Figura 17: Detalle del paso del equipo sobre la baldosa durante el ensayo.*

✓ Resultados.

En la tabla siguiente se adjuntan los resultados obtenidos de este ensayo, expresados en gramos/m<sup>2</sup>, luego de aplicar un factor de corrección sobre la pérdida de masa obtenida en cada una de las muestras.

Los resultados se muestran ordenados de acuerdo a la cronología del moldeo, es decir por número de muestra.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Pérdida de masa Abrasión (gr/m <sup>2</sup> )
18	90,00	0,00	10,00	0,69625	46,80
19	95,00	0,00	5,00	0,71240	96,52
20	0,00	90,00	10,00	0,71304	134,55
21	0,00	95,00	5,00	0,72182	254,48
22	0,00	87,00	13,00	0,71245	163,80
23	0,00	93,00	7,00	0,69872	438,75
24	87,00	0,00	13,00	0,71649	99,45
25	93,00	0,00	7,00	0,70236	438,75
26	87,00	0,00	13,00	0,81583	511,88
27	90,00	0,00	10,00	0,76293	549,90
28	93,00	0,00	7,00	0,75668	146,25
29	95,00	0,00	5,00	0,76736	365,63
30	87,00	0,00	13,00	0,80682	81,90
31	90,00	0,00	10,00	0,80000	122,85
32	93,00	0,00	7,00	0,83048	99,45
33	95,00	0,00	5,00	0,81693	412,42
36	0,00	93,00	7,00	0,78200	280,80
37	0,00	93,00	7,00	0,86784	465,07
38	0,00	87,00	13,00	0,79580	76,05
39	0,00	90,00	10,00	0,75113	1073,47
40	0,00	95,00	5,00	0,75553	652,27
41	0,00	95,00	5,00	0,85728	321,75
42	0,00	87,00	13,00	0,82342	40,95
43	0,00	90,00	10,00	0,86105	52,65

Tabla 22: Resultados del ensayo de abrasión

#### 4.3) Ensayo de compresión.

Para la realización de este ensayo se utilizó el equipo para el ensayo Marshall, se colocó un aro metálico con una constante conocida y se toman lecturas en el flexímetro del equipo. De esta manera se tiene, al aplicar la constante y tomar en cuenta la superficie de aplicación de la fuerza, la tensión que otorga el dispositivo. Por otro lado en la muestra se colocaron dos flexímetros, uno a cada lado del pistón para medir la deformación en la muestra; la toma de estas lecturas constituye la centralidad

del ensayo. Se colocaron dos para poder promediar las lecturas y de esta manera, tener un grado de certeza ya que se trata de un material, la muestra, que consta con un grado de heterogeneidad importante.

En la figura se aprecian los dos flexímetros para registrar la deformación sobre la muestra producida por el cilindro de metal accionado por el equipo Marshall. El flexímetro superior registra la deformación en el aro metálico de propiedades conocidas indicando indirectamente la tensión ejercida por el dispositivo sobre la muestras.



Figura 18: Equipo de ensayo Marshall preparado para ensayo de compresión.

Los resultados medidos se volcaron en planillas con las que se confeccionaron los gráficos de cada muestra y mediante interpolaciones lineales se obtuvieron los valores de la tensión que produce el 10% de la deformación en el espesor de la muestra y la deformación instantánea medida a los 30 segundos de quitada la fuerza.

En el gráfico siguiente se muestra un ejemplo, para la muestra 19 se obtuvo este gráfico de tensión-deformación.

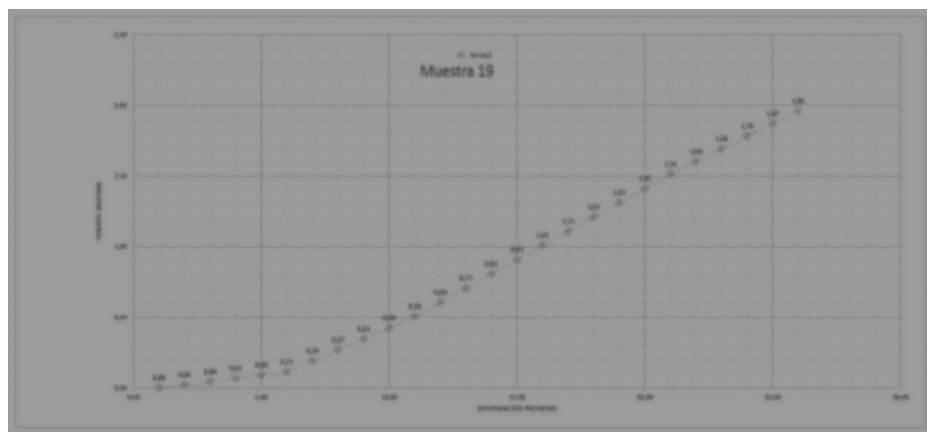


Figura 19: Curva de tensión-deformación en una muestra dada (19 en este caso)

✓ **Resultados:**

En la figura que a continuación se inserta se pueden observar los valores de la tensión que produce el 10% e deformación en el espesor de la muestra y la deformación permanente medida a los 30 segundos de retirada la carga.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm3)	Tensión de def. 10% (Kg/cm2)	Deformación Remanente (mm)
18	90,00	0,00	10,00	0,69625	2,49	0,37
19	95,00	0,00	5,00	0,71240	1,31	0,40
20	0,00	90,00	10,00	0,71304	2,41	0,22
21	0,00	95,00	5,00	0,72182	1,46	0,33
22	0,00	87,00	13,00	0,71245	1,62	0,20
23	0,00	93,00	7,00	0,69872	2,45	0,19
24	87,00	0,00	13,00	0,71649	2,24	0,39
25	93,00	0,00	7,00	0,70236	2,68	0,24
26	87,00	0,00	13,00	0,81583	2,48	0,42
27	90,00	0,00	10,00	0,76293	1,77	0,32
28	93,00	0,00	7,00	0,75668	2,41	0,23
29	95,00	0,00	5,00	0,76736	1,76	0,34
30	87,00	0,00	13,00	0,80682	2,63	0,30
31	90,00	0,00	10,00	0,80000	2,00	0,41
32	93,00	0,00	7,00	0,83048	2,87	0,25
33	95,00	0,00	5,00	0,81693	1,63	0,30
36	0,00	93,00	7,00	0,78200	2,50	0,35
37	0,00	93,00	7,00	0,86784	2,06	0,21
38	0,00	87,00	13,00	0,79580	4,75	0,44
39	0,00	90,00	10,00	0,75113	2,81	0,29
40	0,00	95,00	5,00	0,75553	2,57	0,15
41	0,00	95,00	5,00	0,85728	3,26	0,23
42	0,00	87,00	13,00	0,82342	2,91	0,18
43	0,00	90,00	10,00	0,86105	5,74	0,60

Tabla 23: Resultados del ensayo de compresión.

#### 4.3) Ensayo de resistencia a la tracción.

Para medir la tracción de un elastómero, se utiliza un dinamómetro, se toma la muestra de forma y dimensiones apropiadas, se sujeta cada extremo y luego se procede a estirla a velocidad constante hasta su rotura. La tensión necesaria para romper la muestra representa la resistencia a la tracción del material, a medida que se produce el estiramiento se va midiendo la fuerza que se está ejerciendo. Cuando conocemos la fuerza y el área, obtenemos la tensión de tracción que está experimentando la muestra.



### ✓ Preparación del ensayo.

Para la realización del ensayo se utilizó el equipo que habitualmente se utiliza para la la determinación de la resistencia a tracción.

En la figura que a continuación se inserta se puede ver la preparación de la muestra a ensayar en el momento que es recortada de la baldosa original

En la imagen siguiente se aprecia como se han confeccionado las mordazas para la sujeción de la muestra al momento del ensayo.



Figura 20: Corte de la muestra para ensayar en el equipo de tracción.



Figura 22: Preparación de las mordazas de sujeción.



Figura 21: Muestra durante el ensayo de tracción.

En la figura 22 se puede observar el ensayo un ensayo en curso de una muestra de las baldosas a escala real, asimismo se aprecia el sistema de sujeción que hubo que preparar para realizarlo. La figura 21 muestra resultados de los ensayos realizados, obtenidos desde el soporte tecnológico del mismo.

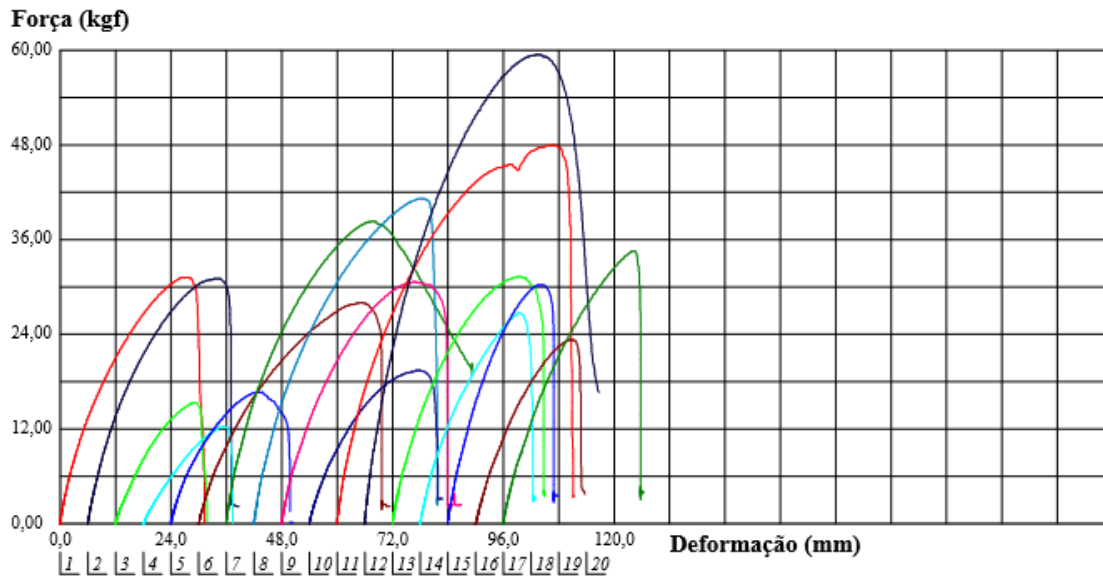


Figura 23: Curvas del ensayo de tracción para varias muestras.

## Resultados.

En la tabla siguiente se indican los resultados del ensayo de rotura a tracción de las muestras expresados en kg/cm2.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm3)	Tensión rotura por Tracción (Kg/cm2)
18	90,00	0,00	10,00	0,69625	1,07
19	95,00	0,00	5,00	0,71240	1,38
20	0,00	90,00	10,00	0,71304	1,05
21	0,00	95,00	5,00	0,72182	1,18
22	0,00	87,00	13,00	0,71245	1,27
23	0,00	93,00	7,00	0,69872	0,85
24	87,00	0,00	13,00	0,71649	1,13
25	93,00	0,00	7,00	0,70236	1,83
26	87,00	0,00	13,00	0,81583	2,62
27	90,00	0,00	10,00	0,76293	2,69
28	93,00	0,00	7,00	0,75668	4,50
29	95,00	0,00	5,00	0,76736	2,07
30	87,00	0,00	13,00	0,80682	1,31
31	90,00	0,00	10,00	0,80000	3,49
32	93,00	0,00	7,00	0,83048	2,98
33	95,00	0,00	5,00	0,81693	2,02
36	0,00	93,00	7,00	0,78200	1,76
37	0,00	93,00	7,00	0,86784	2,18
38	0,00	87,00	13,00	0,79580	2,54
39	0,00	90,00	10,00	0,75113	1,69
40	0,00	95,00	5,00	0,75553	2,28

<b>41</b>	0,00	95,00	5,00	0,85728	2,26
<b>42</b>	0,00	87,00	13,00	0,82342	5,53
<b>43</b>	0,00	90,00	10,00	0,86105	4,70

Tabla 24: Resultados del ensayo de rotura a tracción.

**4.4) Ensayo de envejecimiento por radiación ultravioleta.**

Si bien puede considerarse que el caucho su efecto se minimiza ya que gran parte de la radiación ultravioleta es absorbida por el negro de humo, presente en el caucho reciclado de NFU, creo necesario hacer una verificación ya que el material compuesto también incluye polímeros en las resinas utilizadas como aglomerante.

## ✓ Marco teórico.

Las radiaciones que llegan a nuestra atmósfera son principalmente las emitidas por el sol, omitiremos por despreciables a los efectos de este estudio las provenientes del resto del universo, por lo tanto éstas son emitidas en un espectro electromagnético que se divide en zonas según la longitud de onda de la radiación. El 99% de la energía de la radiación solar (correspondiente a la de un cuerpo negro a 5.760 K) pertenece al intervalo de longitud de onda comprendido entre los 100 y 4.000 nm., que incluye las regiones del Ultravioleta (100 a 400 nm), Visible (400 a 800 nm) e infrarrojo (800 a 30.000 nm). La máxima intensidad se alcanza a los 475 nm, por tanto perteneciente al visible. Se calcula que aproximadamente la mitad de la radiación corresponde a esa zona y el 50% restante se divide entre el UV y el infrarrojo (Orozco Barrenetxea C, 2008).

Se suelen diferenciar tres bandas de la radiación UV: UV-A, UV-B y UV-C.

UV-A: Banda de los 320 a los 400 nm. Es la más cercana al espectro visible y no es absorbida por el ozono.

UV-B: Banda de los 280 a los 320 nm. Es absorbida casi totalmente por el ozono, aunque algunos rayos de este tipo llegan a la superficie terrestre. Es un tipo de radiación dañina debido a su alta energía, especialmente para el ADN.

UV-C: Banda de radiaciones menores a 280 nm, extremadamente energética y peligrosa, pero es absorbido completamente por el ozono y el oxígeno de la atmósfera.

Podría concluirse que a la superficie terrestre llega toda la UV-A y que esta representa el 5% de la irradiancia solar recibida y de este total, el 1% corresponde a la UV-B.

## ✓ Ensayo

Es importante recordar que tanto el daño biológico como los procesos químicos o físicos intervinientes en la degradación de materiales tiene una vinculación estrecha con la longitud de onda incidente, y por supuesto también con la dosis. (Cadena C, 2020)

$$\text{Dosis} = \int_0^t \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda) F(\lambda) dt d\lambda$$

$F(\lambda)$  es la irradiancia espectral

$B(\lambda)$  es la acción espectral o sensibilidad monocromática para un efecto en particular.

Las principales metas que se pretenden alcanzar mediante este proyecto son:

- ✓ Determinar cuáles son los tipos de alteraciones, físicas y/o químicas que tienen lugar en el material compuesto de caucho reciclado con NFU.
- ✓ Establecer una correlación o dependencia de estas modificaciones con la intensidad de la radiación UV a la que se expone el material en función del tiempo de exposición.
- ✓ Predecir el comportamiento futuro de materiales, desde el punto de vista de su degradación (Cadena C, 2020).

Dada la imposibilidad de contar en tiempo y forma con una cámara de envejecimiento acelerado mediante radiación UV (Equilam, 2020), se diseñó y construyó una cámara simple para tal fin. La misma se realizó en acero inoxidable con un cabezal que alberga los tubos de radiación UV, seis en total, la geometría de la misma se diseñó para lograr la mayor irradiancia sobre el plano de las muestras.

Para el diseño de la cámara de irradiación se partió del cálculo de la irradiancia que es la razón entre la potencia y la superficie iluminada. Teniendo en cuenta que se trata de tubos cilíndricos y que además estos mismos emiten en un sector de su desarrollo (el resto está restringido) se calcula la irradiancia a un metro de distancia (que es el dato que proporciona el fabricante). Con estos datos y con la geometría de la ubicación de los mismos en el cabezal de la cámara, mediante cálculos sencillos se puede establecer el valor de la irradiancia que proporciona la cámara a determinada altura y posición de la muestra, fijando el plano de ubicación de las mismas, se puede establecer la variación de la misma.



Figura 24: Vista de la cámara donde se aprecian los tubos UV.

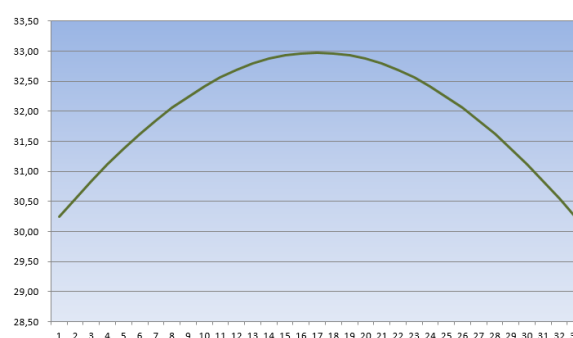


Figura 25: Irradiancia en Wh/m2 dentro de la cámara en función de la posición perpendicular a los tubos.

Se construyó una cámara de acero inoxidable de 485 x 325 mm y una altura de 200 mm, provista de seis tubos actínicos Philips BL TKL 400w/10 R.

Según los cálculos realizados tomando en cuenta la posición de los tubos en la cámara y de la muestra se concluye que la irradiancia de la cámara en función del

desplazamiento de la muestra sobre el eje perpendicular a los tubos es de acuerdo al gráfico de la figura.

Se esperaba contar con un radiómetro para poder medir la irradiancia dentro de la cámara pero no se pudo acceder al mismo, por lo tanto se sometió a dos baldosas previamente ensayadas a la radiación UV durante 1.840 horas y luego se les realizó el ensayo de permeabilidad y de abrasión nuevamente.

Por otro lado para establecer la dosis que debe recibir la muestra se debe calcular la irradiancia solar que incide sobre una superficie plana en la latitud específica a estudiar. Utilizando un programa de la NASA se establece que para la ciudad de La Plata los siguientes valores:

Localidad: La Plata;

Ubicación: 34,5° latitud sur, 58° longitud oeste;

Posición del plano de referencia: horizontal;

Promedio anual de Irradiación solar: 4,63 Wh/m<sup>2</sup>d/día;

Temperatura promedio del aire. 17,6°C;

Humedad relativa promedio: 64%;

Presión atmosférica promedio: 101 kPa.

Recordando que de la radiación total diaria recibida, el 5% corresponde a la emisión de ultravioleta UV A (315 a 380 nm) y que el 0,15% del total emitido corresponde a la emisión en UV B (280 a 315 nm).

Calculamos el total de irradiación a que estará expuesta la muestra dentro de la cámara para simular condiciones de uso del material compuesto, el que por ejemplo podríamos simular un período de cinco años de uso a la intemperie.

$$H_t = T \text{ (años)} \times \text{Días/año} \times H_p \text{ (Wh/m}^2\text{/día)}$$

$H_t$  (irradiancia total recibida en el exterior por la muestra en un período dado de tiempo)

$H_p$  (irradiancia promedio anual recibida en la ciudad de La Plata en un plano horizontal exterior)

Finalmente se procede a estimar la radiación UV A y UV B, a que estaría sometida una muestra en el exterior de un lugar fijado, La Plata en este caso, para someter a la misma a una irradiación similar dentro de la cámara.

Así tendríamos muestras envejecidas artificialmente para ser ensayadas y para la comparación de resultados.

De acuerdo a esto la dosis recibida durante por ejemplo 5 años es de  $H=8.449,75 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$  De este total recibido correspondería a la UV A= 422,50 Wh/m<sup>2</sup> y UV B 126,75 Wh/m<sup>2</sup>.



Con estos valores y tomando que la irradiancia dentro de la cámara es de 30 Wh/m<sup>2</sup>, el tiempo a que se sometió la muestra corresponde a mucha más exposición de la supuesta.

Comparación de los resultados de los ensayos de permeabilidad y abrasión de las muestras 20 y 21.

Muestra	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (grs/cm <sup>3</sup> )	Ensayo Permeab.		
				Original	Luego UV	%
20	90,00	10,00	0,7130	0,1840	0,5835	217,150
21	95,00	5,00	0,7218	0,0290	0,4521	1456,718

Tabla 25: Comparación de resultados del ensayo de permeabilidad luego del envejecimiento UV.

Muestra	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (grs/cm <sup>3</sup> )	Ensayo Abrasión		
				Original	Luego UV	%
20	90	10	0,7130	134,550	29,830	-77,830
21	95	5	0,7218	254,480	45,040	-82,301

Tabla 26: Comparación de resultados del ensayo de abrasión luego del envejecimiento UV.

## 5. DETALLES DE LA MEZCLA SELECCIONADA.

Como se detalló en el capítulo 4, se sometió a una muestra de una baldosa a escala real a la acción del microscopio y se pudieron observar detalles de la unión entre la resina poliuretánica y las partículas de granza de caucho reciclado de NFU.

La muestra observada se obtuvo de una baldosa calificada como óptima, con una granza del tipo M1, y con un porcentaje en peso del total de resina del 10%. La idea fue observar, aparte de las determinaciones efectuadas en el mencionado capítulo, como la resina cubre los gránulos de caucho, tomando imágenes con diferentes ampliaciones.

En la figura 26 que cuenta con un aumento de 100x, se puede observar la magnitud de los granos de caucho y como una manta cubriendo partes del mismo a la resina.



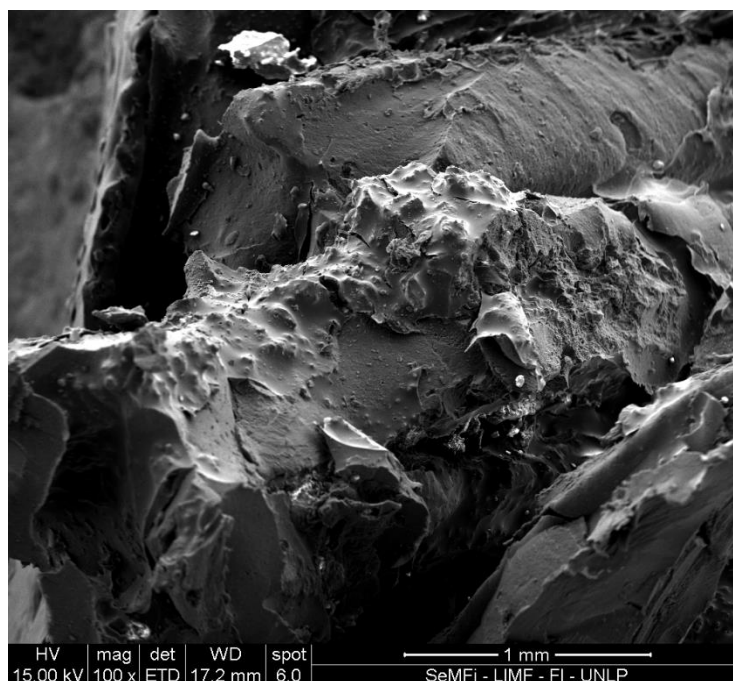


Figura 26: Muestra ampliada 100 veces.

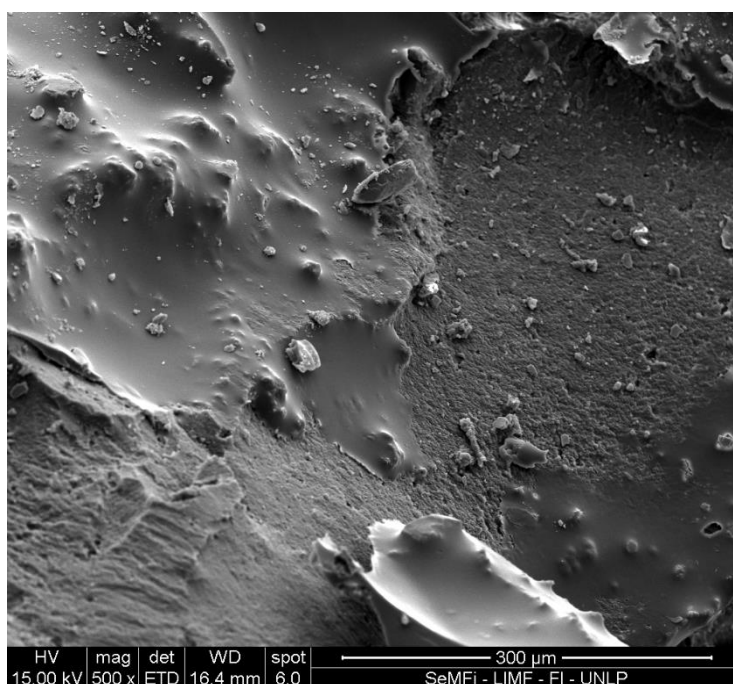


Figura 27: Muestra ampliada 500 veces.

En esta figura 27 el estudio se direcciona a la parte central de la figura, llegando a una porción importante de la resina cubriendo a los granos de caucho

Se observa en esta imagen aumentada 500 veces como la resina cubre imperfecciones o granos sueltos de caucho y además, algunos granos pequeños quedaron por encima de la misma. Claramente se nota la adherencia que se logra entre los materiales y una porción de la misma se ampliará en la siguiente figura

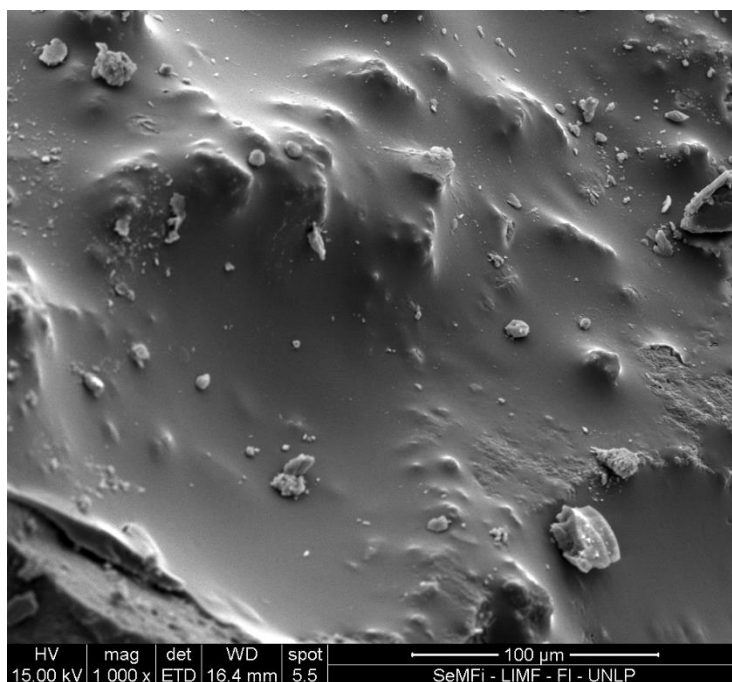


Figura 28: Muestra ampliada 1.000 veces.

En la figura 28, ampliada 1000 veces mediante barrido electrónico, podemos apreciar más en detalle la resina cubriendo y adhiriéndose a los granos de caucho, como así también una cantidad importante de pequeños gránulos por encima de ésta. Se puede ver en la parte central hacia la derecha como se ha logrado la adherencia de la resina con el caucho.

También se advierte en el extremo inferior izquierdo un corte, una separación entre los materiales que se ampliará en la siguiente toma.

En la figura 29 se puede ver más claramente la adherencia entre los materiales fundiéndose casi en uno solo. En el extremo inferior izquierdo, ya más grande, gracias a la ampliación de 2.000 veces se aprecia la separación entre los materiales, notándose como en el borde recto del final de la capa de resina aparece un pequeño corte.

Aparece también ya más ampliado una importante cantidad de gránulos (partículas de polvo) de caucho que están adheridos a la resina y por encima del grano principal de caucho.

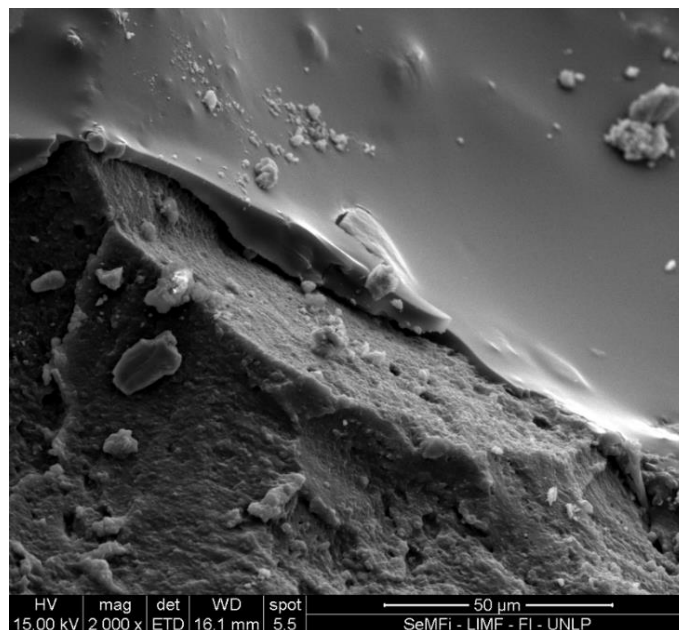


Figura 29: Muestra ampliada 2.000 veces.

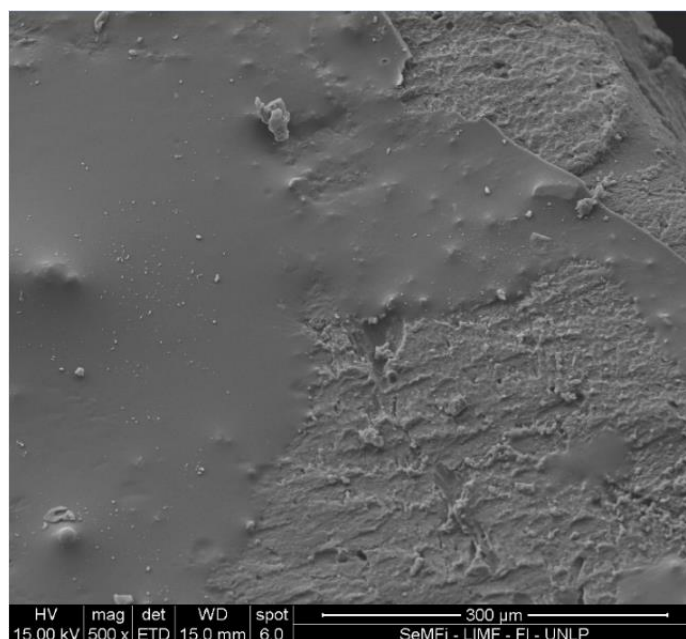


Figura 30: Detalle de la resina sobre el caucho ampliado 2.000 veces.

La figura 30 muestra la resina cubriendo el grano de caucho reciclado, se nota como cubre algunas de las protuberancias del mismo, advirtiéndose además algunos gránulos sueltos sobre la capa de resina, aparentemente polvo de caucho.

En esta figura 31, ampliada 4.000 veces se puede ver claramente la separación entre los materiales, el material granular posado sobre la resina que cubre cual manta el grano de caucho reciclado.

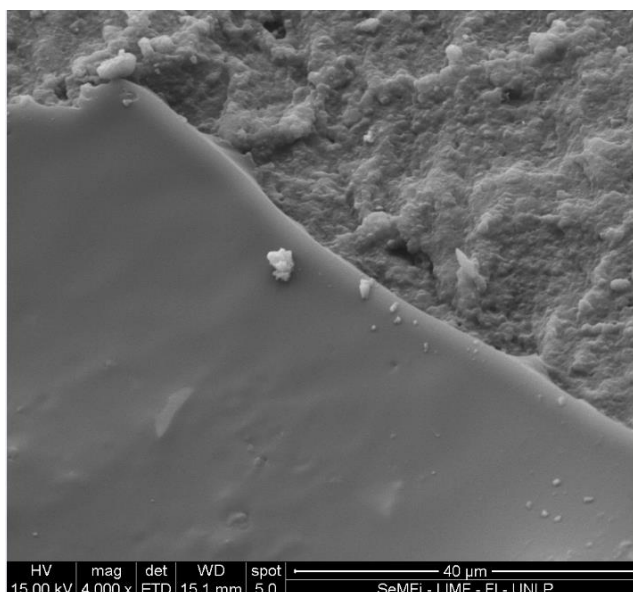


Figura 31: Muestra ampliada 4.000 veces.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

- Bouwles Joseph E. (1981). *Manual de laboratorio en Ingeniería Civil*. Mexico: Mc Graw - Hill.
- Cadena C, T. F. (julio de 2020). *Diseño de una cámara de ensayos de radiación ultravioleta*. Obtenido de sedici.unlp.edu.ar:  
[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/79380/Documento\\_completo.PDF-PDFA.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/79380/Documento_completo.PDF-PDFA.pdf?sequence=1)
- Equilam. (2020). *Equilam*. Obtenido de [www.equilam.com.br](http://www.equilam.com.br):  
<https://equilam.com.br/camara-envelhecimento-ensaio-de-uv-serie-equv/>
- Escuela de Caminos Santander. (2020). *Carreteros.org*. Obtenido de Laboratorio de Escuelas de Caminos Santander España:  
[http://www.carreteros.org/normativa/otros/nlt/pdfs/rosas/2000/327\\_00.pdf](http://www.carreteros.org/normativa/otros/nlt/pdfs/rosas/2000/327_00.pdf)
- Laboratorio de Transporte. (2020). *Itafec com*. Obtenido de Normativa Itafec España:  
<http://normativa.itafec.com/ensayos/ES.12.02.134.LT.pdf>
- Orozco Barrenetxea C. (2008). *Contaminación Ambiental - Una visión desde la Química*. Madrid: Paraninfo-CENGAGE Learning.

Recsa Reactores Controlados S.A. (2018). *Ficha técnica catalizador AG 1030*. Buenos Aires: Recsa.

RECSA Reactores Especiales Controlados S.A. (2018). *Ficha Técnica Recsabond AG 30*. Buenos Aires.

Sánchez F.J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Universidad de Salamanca (España): Createstace Independent Pub.

