



TESIS MAESTRIA INGENIERIA AMBIENTAL

“DESARROLLO DE BALDOSAS CON CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO”

**TESISTA:
ING. LUIS APARICIO**

**DICIEMBRE
2020**

**DIRECTOR
DR. ING. GERARDO BOTASSO**



“La defensa de la tierra no tiene otra finalidad que no sea la defensa de la vida.”

Discurso del Papa Francisco en el “Encuentro con los pueblos de la Amazonia”, Puerto Maldonado, Perú, el 19 de enero de 2018, durante el viaje apostólico a Chile y Perú.

Dedicado a:

A ellos.

A mis queridos compañeros caídos en la guerra de Malvinas,
Siempre jóvenes plenos de sueños en mis recuerdos.
Una vida intensa es el mejor homenaje que he podido hacerles.

A Enrique Giaccio,

Un grande que nos contagió su entusiasmo y dedicación.
Este trabajo no hubiera sido posible sin su aporte.

A Valentina Pons,

Mi incondicional compañera.

Agradecimientos.

Quiero agradecer especialmente al Director de Tesis, el Dr. Ing. Civil Gerardo Botasso, por su apoyo constante; a todo el equipo del LEMaC quien me hizo sentir uno más en mi tránsito por sus instalaciones, a Julián Rivera, a Verónica Mechura, a Lucho Brizuela, a Gaby Rosato, a Luis del Bono, a Gustavo Das Neves, a Marcelo Barreda; a mis antiguos compañeros de estudios: Quique Fensel y Oscar Rebollo, a todos los becarios en el nombre de Rocky Batistta.

A quienes aportaron su tiempo y asesoramiento, como Karina Potarsky del INTI Caucho, Valeria Smolinsky de Recsa S.A., Emanuel Bertalot de la Revista Latinoamericana del Caucho, a Daniel Rodríguez, de REGOMAX S.A. y Jorge Britos de Molicaucho S.A.

A mis hijos, Francisco, Martín y Lucio, por apoyar siempre;

.... y a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, mi casa.

Capítulo 1: Los polímeros y el caucho**1 - 36**

1. LOS POLIMEROS
 1. Definición
 2. Historia
 3. Tipos de polímeros
 4. Características
 5. Propiedades térmicas.
 6. Polímeros sintéticos.
 7. Polimerización (Proceso de obtención de los polímeros).
 8. Técnicas aplicables para el procesamiento de polímeros
 9. Ejemplo de polímeros
2. EL CAUCHO.
 - 2.1. Caucho Natural
 - 2.2. Caucho Sintético
 - 2.3. El caucho SRB
3. BIBLIOGRAFIA

Capítulo 2: Los neumáticos, la generación de NFU y el caucho reciclado**37 - 60**

1. LOS NEUMATICOS
 - 1.1. Industria de los neumáticos
 - 1.2. Pautas para el diseño de un neumático moderno
 - 1.3. Partes constituyentes de los neumáticos
 - 1.4. Producción de neumáticos en el mundo
 - 1.5. Producción de neumáticos en América Latina
 - 1.6. Producción de neumáticos en Argentina
2. GENERACION DE NUEMATICOS FUERA DE USO (NFU)
 - 2.1. El caucho reciclado
 - 2.2. Métodos de recuperación de NFU
 - 2.3. Aplicaciones
3. BIBLIOGRAFIA

Capítulo 3: Pisos, pisos de caucho**61 - 80**

1. PISOS
 - 1.1. Pisos con nuevas posibilidades
 - 1.2. Definición
 - 1.3. Componentes
 - 1.4. Clasificación
 - 1.5. Pisos nuevos
2. PISOS DE CAUCHO RECICLADO
 - 2.1. Pisos de caucho reciclado realizado "in situ"
 - 2.2. Pisos de baldosas amortiguantes
 - 2.3. Características
 - 2.4. Aplicaciones
 - 2.5. Descripción
 - 2.6. Normativa
3. BIBLIOGRAFIA

Capítulo 4: Caracterización de los materiales**81 - 96**

1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES
 - 1.1 Granza de caucho reciclado
 - 1.2 La resina aglomerante.
 - 1.3 El material compuesto.
2. BIBLIOGRAFIA

Capítulo 5: Diseño del sistema de moldeo**97 - 116**

1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE MOLDEO
2. PROCESOS DE PRENSADO
 - 1.1. Prensado en caliente
 - 1.2. Prensado en frío
 - 1.3. Agentes desmoldantes
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE PRENSADO EN FRÍO
 - 3.1. Parámetros de diseño
 - 3.2. Acopio de materia prima
 - 3.3. Dosificación de las mezclas
 - 3.4. Mezclado
 - 3.5. Preparación de los moldes
 - 3.6. Prensado
 - 3.7. Desmolde
 - 3.8. Estiba del producto
 - 3.9. Zona de embalaje
4. EJEMPLO DE PRODUCCIÓN A REALIZAR POR ACTORES DE LA ECONOMÍA SOCIAL
5. BIBLIOGRAFÍA

Capítulo 6: Diseño y caracterización de los pisos con NFU**117 - 154**

1. DISEÑO DE LAS MEZCLAS
2. ETAPAS DEL PROCESO DE DISEÑO
 - 2.1. Dosificación sobre modelo a escala
 - 2.2. Diseño de las baldosas en escala real
3. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BALDOSAS TERMINADAS.
4. ENSAYOS REALIZADOS A LAS BALDOSAS TERMINADAS
 - 4.1. Ensayo de permeabilidad
 - 4.2. Ensayo de abrasión
 - 4.3. Ensayo de compresión
 - 4.4. Ensayo de resistencia a la tracción
 - 4.5. Ensayo de envejecimiento por radiación ultravioleta
5. DETALLES DE MEZCLA SELECCIONADA
6. BIBLIOGRAFÍA

Capítulo 7: Análisis de resultados y discusiones**155 - 168**

1. ANÁLISIS DE RESULTADOS
 - 1.1. Ensayo de permeabilidad
 - 1.2. Ensayo de abrasión
 - 1.3. Ensayo de compresión
 - 1.4. Ensayo de resistencia a la tracción
 - 1.5. Ensayos de envejecimiento por radiación ultravioleta.
2. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Capítulo 8: Conclusiones y futuras líneas de trabajo**169 - 172**

- A. Proceso de elaboración a escala en la economía social.
- B. Conclusiones tecnológicas de las baldosas obtenidas y variables recomendadas para su evaluación

Anexos**173 - 178**

1. Listado de tablas
2. Listado de gráficos
3. Listado de figuras

Capítulo 1: Los polímeros y el caucho

En el **capítulo 1 "Los polímeros, el caucho"** se desarrolla un análisis de los diferentes tipos de polímeros y se realiza un detalle del avance histórico y su incidencia en las actividades humanas. Se avanza en una clasificación de los mismos y se describe la relación existente entre las diferentes cadenas poliméricas y sus propiedades químicas y físico-mecánicas.

Así mismo se muestra una descripción detallada de los cauchos naturales, su origen y descubrimiento, su proceso de extracción y la situación actual del recurso. Se aborda además, el carácter modelador de la geopolítica en la región amazónica que tuvo el auge de la extracción del caucho. Se realiza la descripción detallada de los cauchos sintéticos, se analiza en forma particular el caucho estireno butadieno goma, SBR, principal polímero constituyente de los neumáticos.

1. LOS POLIMEROS.

1.1. Definición.

Existen en la naturaleza conglomerados de átomos formando grandes moléculas, llamadas precisamente macromoléculas. Constituidas por cientos de miles de átomos que le confieren la característica de poseer pesos moleculares muy elevados. Los polímeros son un caso particular de macromolécula, tienen una unidad que se repite a lo largo de toda la misma. (McMurry J. , 2012)

Se denominan monómeros a estas pequeñas moléculas que se combinan entre sí mediante un proceso químico, llamado reacción de polimerización. La unión de todas estas pequeñas moléculas da lugar a una estructura de constitución repetitiva en el polímero y la unidad que se repite regularmente a lo largo de toda la molécula, se conoce como unidad monomérica. Existen dos grupos de polímeros: aquellos producidos artificialmente denominados sintéticos o industriales y los que produce la naturaleza denominados biopolímeros. (Hermida Elida, 2011)

El término polímero proviene del griego *poli* y *mers*, que significan muchas partes, y una definición de estas grandes moléculas sería "*sustancias de mayor masa molecular entre dos de la misma composición química resultante de un proceso de polimerización*". (Askeland Donald R, 1998)

1.2. Historia de los polímeros.

Dado que la mayoría de los químicos e ingenieros químicos están involucrados en alguna fase de la ciencia o tecnología de los polímeros, algunos han llamado a esta era como la edad de la química de los polímeros. Pero esto en realidad no es tan así, ya que siempre hemos vivido en la era de los polímeros. Los antiguos griegos clasificaban toda la materia como animal, vegetal y mineral. Los alquimistas enfatizaron en las propiedades de los minerales, pero los artesanos medievales pusieron el acento en la materia animal y vegetal. Todos en gran parte polímeros y de gran importancia en la vida tal cual la conocemos.

Los primeros humanos aprendieron como procesar, teñir y tejer las proteínas naturales. Fibras de lana y seda, y las fibras de carbohidratos de lino y algodón. Civilizaciones americanas precolombinas como los aztecas utilizaban el caucho natural proveniente de la jeba (*hevea brasiliensis*) para hacer artículos elásticos.

El término polímero, deriva más concretamente de polimérico, fue acuñado en 1832 por Berzelius, pocos años luego del experimento de Wohler quién sintetizó urea a partir de compuestos inorgánicos, marcando del fin de la teoría de la fuerza vital, que asumía que las sustancias orgánicas, que se encontraban en los seres vivos, poseían dicha fuerza y era imposible de replicar. En realidad, hubo poco progreso en la química orgánica hasta la década de 1850, cuando Kekulé desarrolló la técnica actualmente aceptada para escribir formulas estructurales. Sin embargo, esto hay que remarcarlo, los científicos de polímeros mostraron un talento importante para realizar descubrimientos empíricos antes de que la ciencia les proveyera de la herramienta necesaria. (García Perez J. M., 2014)

Aunque el caucho de la Hevea había encontrado un uso limitado por un tiempo, se convirtió en una importante materia prima luego del descubrimiento de la

vulcanización por parte de Goodyear en 1839, seguido por el masticador de caucho y la vulcanización en moldes de acero. La profundización de este tópico se desarrollará más adelante cuando abordemos el tema del caucho específicamente.

En 1846 Shoenbein sintetiza el primer polímero natural modificado, la nitrocelulosa, por esterificación de la celulosa con una mezcla sulfonítrica. En 1862, Alexander Parkes creó la "Parquesina" el cual era un producto derivado de la celulosa. Las fibras de nitrocelulosa se patentaron en 1883 y se aplicaron a los textiles, obteniendo Hilaire de Chardonnet la "seda artificial" por hilado de disoluciones concentradas de nitrocelulosa. (García Perez J. M., 2014)

En 1870 se creó el celuloide, obtenido de la dilución de la celulosa (polímero natural) en alcanfor y etanol. Durante un tiempo utilizada entre otras cosas, para elaborar películas de cine, pero fue sustituida por acetato de celulosa debido a su inflamabilidad y fragilidad. Aunque hay que reconocer que sin este material no hubiese podido ser posible el inicio de la industria cinematográfica. (Hermida Elida, 2011)

Tanto el celuloide como la seda Chardonnet, eran polímeros creados mediante la alteración de polímeros naturales.

El primer polímero verdaderamente sintético llegó en 1909, año en que el inventor norteamericano Leo Hendrik Baekelad sintetizó un polímero a partir de moléculas de fenol o ácido fénico, otro derivado del alquitrán, con formaldehído sometido a calor y presión. El resultado fue la baquelita, dura, inerte a las sustancias químicas fuertes, aislante eléctrico y resistente al calor. Fue reconocida justamente como el primer polímero sintético de la historia. (Hermida Elida, 2011)

La teoría estructural condujo al avance espectacular de la química, que aún carecía de la base matemática necesaria para el desarrollo de la disciplina como ciencia, que se comenzó a desarrollar con la estructura electrónica de los átomos propuesta por Borh en 1910, y con el concepto de enlace en 1916, a partir del modelo atómico de Rutherford en 1911. Solamente con la comprensión de la naturaleza del enlace químico se comenzó a entender porque tenían lugar determinadas reacciones así como los mecanismos de éstas. (García Perez J. M., 2014)

En 1919 Herman Staudinger desarrolló la teoría de que los polímeros eran en realidad moléculas gigantes o macromoléculas, formadas por largas cadenas de pequeñas unidades por enlaces covalentes. Luego los trabajos de síntesis de Carothers en la preparación del nailon y del caucho artificial, y sobre todo por el aporte de Paul Flory, quien sentó las bases científicas y desarrolló las bases teóricas de la ciencia de los polímeros. (Tuñón García I, 2020)

En las décadas de 1920 y 1930 aparecieron un buen número de nuevos productos, como el etanoato de celulosa (llamado originalmente acetato de celulosa), utilizado en el moldeo de resinas y fibras; el cloruro de polivinilo (PVC), empleado en tuberías y recubrimientos de vinilo, y la resina acrílica, desarrollada como pegamento para vidrios laminados.

También durante ese período se desarrolló uno de los plásticos más populares, el metacrilato de metilo polimerizado, (conocido en español como plexiglás). Este material tiene propiedades ópticas excelentes; puede utilizarse para gafas y lentes, o en alumbrado público o publicitario. Las resinas de poliestireno, comercializadas

alrededor de 1937, se caracterizan por su alta resistencia a la alteración química y mecánica a bajas temperaturas y por su muy limitada absorción de agua. Estas propiedades colocan al poliestireno como un material apto para aislamientos y accesorios utilizados a baja temperaturas, como en instalaciones de refrigeración y aeronaves destinadas a vuelos a gran altura. (Tuñón García I, 2020)

El PTFE (politetrafluoretileno), comercializado como Teflón en 1950, fue sintetizado por primera vez en 1938. Otro descubrimiento fundamental de la década de 1930 gracias a los esfuerzos por el químico de la Du Pont, Wallace Hume Carothers, fue la síntesis del nylon, una poliamida sintética, siendo el primer plástico de ingeniería de alto rendimiento. Por su parte Bayer en Alemania hacía avances significativos en el campo de los poliuretanos.

En 1955 gracias a los trabajos combinados de Karl Ziegler y Giulio Natta se obtuvo el polipropileno cristalino, bajo condiciones de baja presión utilizando como catalizador, el cloruro de titanio y trietilaluminio, surgió el concepto de estereorregularidad que les valió la concesión del premio Nóbel de ese año (García Perez J. M., 2014)

A partir de entonces el desarrollo de nuevas tecnologías, materiales y aplicaciones de los polímeros ha sido explosiva. Enumerar las aplicaciones actuales de los polímeros resulta una tarea casi imposible. En el mundo contemporáneo, los polímeros sintéticos han copado todos los ámbitos de desarrollo y la elaboración de productos manufacturados, sustituyendo materiales usados desde tiempos inmemoriales, tales como la madera, metales y materiales cerámicos. Estos nuevos materiales encuentran aplicaciones en campos tan diversos como la medicina (se emplean como prótesis, válvulas cardíacas, etc.), ingeniería (partes de vehículos y computadoras, tableros, y un largo etcétera). Se utilizan también en los deportes (pelotas, cascos, pisos, etc). El uso de estos materiales crece a diario, por lo que se hace menester conocer en profundidad las ventajas que ofrecen y más importante aún, los inconvenientes que causan debido a su acumulación cuando ya no nos resultan útiles. Este desfase supone un reto científico y una oportunidad en ámbito tecnológico e industrial en términos de reutilización, reciclado y, en este caso, la valorización de los residuos generados (García Perez J. M., 2014)

1.3. Tipos de polímeros

Existen diversas formas de clasificarlos, pero en este punto resulta necesario en razón de los que a continuación se desarrollará, esbozar una primera clasificación y esta es por su origen.

Naturales.

Existen en la naturaleza muchos polímeros, como la celulosa o el caucho natural. Los seres vivos estamos constituidos por macromoléculas biológicas o biopolímeros (proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos).

Sintéticos orgánicos.

Es el grupo más importante de polímeros y comprenden todos aquellos que se pueden sintetizar a partir de monómeros orgánicos. Son ejemplos el poliestireno o el PVC.

Semi sintéticos.

Obtenidos a partir de reacciones químicas aplicadas a polímeros naturales. Son ejemplos de éstos, la nitrocelulosa, los esteres o esteres de celulosa y el caucho natural vulcanizado. Fueron parte de la serie de descubrimientos que a tientas, los científicos del siglo diecinueve, y que derivaron en aplicaciones prácticas importantes, abriendo la puerta la revolución en los materiales del siglo siguiente.

Inorgánicos

En principio se consideran polímeros inorgánicos a todos los que presentan en su cadena átomos distintos de C, O y N. Estrictamente serían los silicatos naturales y los polisiloxanos sintéticos. (Tuñón García I, 2020)

1.4. Características

A continuación, se tratan algunas características a tener en cuenta al momento de la polimerización de los polímeros.

Grado de polimerización.

La longitud promedio de un polímero lineal se representa por su grado de polimerización (x) depende del número de unidades monoméricas que se repiten en la cadena, y es igual a la razón entre el peso molecular del polímero y el peso molecular de la unidad de repetición. (Askeland Donald R, 1998)

En el proceso de polimerización, se obtiene una mezcla de cadenas moleculares que, teniendo la misma estructura química, difieren en su tamaño o grado de polimerización. Estos polímeros son conocidos como polidispersos. En cambio, si todo el polímero tiene un tamaño molecular bien definido se llama monodisperso, pero estos sólo se consiguen en condiciones especiales (polímeros biológicos). Los polímeros sintéticos son polidispersos en mayor o menor medida en la práctica y por esta razón en que en estos últimos, se obtiene un peso molecular promedio. (Tuñón García I, 2020)

Funcionalidad.

Para polimerizar un monómero deben existir dos enlaces químicos activos. Cuando un monómero posee tales enlaces puede reaccionar con otros dos monómeros y por sucesivas uniones de otros monómeros del mismo tipo se puede formar una cadena larga de un polímero lineal. El número de enlaces activos se denomina funcionalidad. Monómeros bifuncionales dan lugar a polímeros lineales, pero si los monómeros son polifuncionales (tres o más sitios de enlace), dan lugar a polímeros ramificados; y de este modo se abre la posibilidad a distribuciones en redes tridimensionales. (Tuñón García I, 2020)

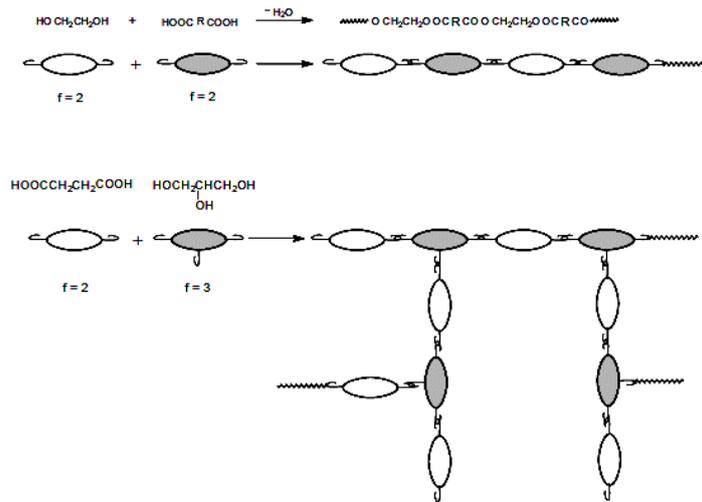


Figura 1: estructura de los polímeros según la funcionalidad de los monómeros.

Si todas las unidades estructurales son idénticas, el polímero se llama homopolímero, en cambio, si este procede de dos o más monómeros recibe el nombre de copolímero. (Hermida Elida, 2011)

Tacticidad de un polímero

La forma en que los grupos funcionales se encuentran orientados en el espacio importa, y da lugar al concepto de estéreo regularidad o tacticidad.

Esto es particularmente importante pues, en algunos procesos de polimerización como, por ejemplo el de un monómero de vinilo, el polímero resultante puede contar con numerosos centros quirales en su cadena. Pudiendo quedar todos los grupos funcionales del mismo lado del esqueleto de la cadena, en cuyo caso el polímero se denominará **isotáctico**; pero puede también quedar los grupos funcionales alternados a ambos lados del esqueleto, al polímero en esta disposición se la denomina **sindiotáctico**; y por último, los grupos funcionales pueden quedar orientados aleatoriamente, resultando un polímero **atáctico**.

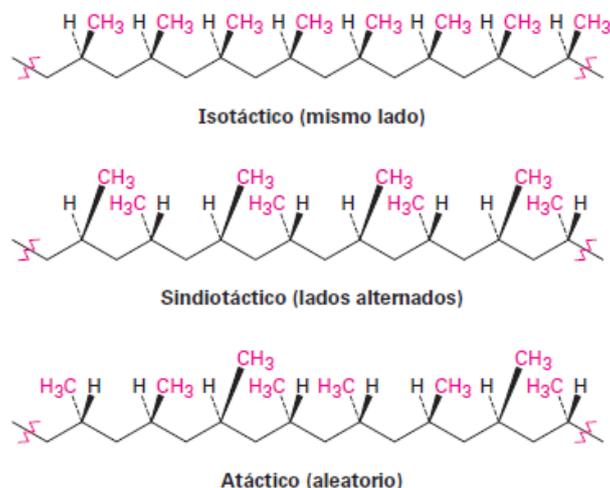


Figura 2: configuración de la tacticidad en la polimerización del propileno. (McMurry J. , 2012)

En la figura precedente se han representado las distintas configuraciones mencionadas para el caso de la polimerización del propileno, siendo el grupo funcional enlazado con los átomos de carbono de la estructura de la cadena, el metilo. (McMurry J. , 2012)

Estructura de los polímeros.

Los materiales sólidos pueden clasificarse de acuerdo a su estructura molecular en cristalinos y amorfos. En los primeros, las moléculas se encuentran ordenadas en las tres dimensiones, esto es lo que se denomina ordenamiento periódico y lo pueden tener los sólidos cristalinos constituidos por moléculas pequeñas.

En el caso de los polímeros, las cadenas son muy largas tendiendo a enmarañarse mientras que en estado fundido se mueven en un medio muy viscoso. De manera que no puede esperarse de ellos un ordenamiento tan perfecto. Es por ello que los polímeros exhiben ordenamientos parciales.

Los polímeros no son muy diferentes de otras moléculas orgánicas, ven modificado su tamaño, siendo su estructura química similar. Otro punto a observar entre estas moléculas se centra en sus propiedades físicas. Por ejemplo, su gran tamaño, hacen significar que los polímeros experimentan fuerzas de van der Waals sustancialmente mayores. Pero debido a que estas fuerzas sólo actúan en pequeñas distancias, son más fuertes en polímeros de alta densidad en el cual se busca que las cadenas estén muy unidas y en forma regular. (McMurry J. , 2012)

De esta manera tendremos distintos arreglos de moléculas en los polímeros:

Cristalinos: consisten en porciones muy ordenadas en que las fuerzas de van der Waals conservan juntas las cadenas en zigzag del polímero. El polietileno lineal es muy cristalino, los polímeros de alto grado de cristalinidad suelen ser duros y durables. Cuando se calientan las regiones cristalinas se funden a la temperatura de transición de fusión (T_m) y dan un material amorfo.

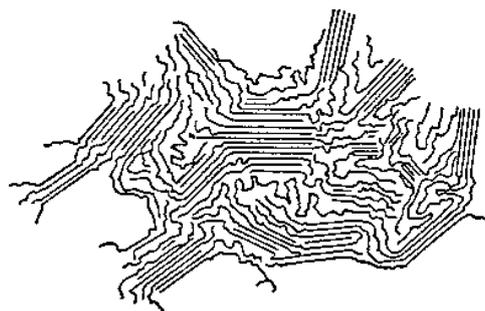


Figura 3: Polímero de estructura cristalina.

Amorfos: los polímeros amorfos, como el poli(metil metacrilato), conocido como Plexiglás, tienen un ordenamiento corto o poco largo entre las cadenas, pero pueden ser muy duros a temperatura ambiente. Cuando se calientan hasta llegar a un punto llamado temperatura de transición de vidrio (T_g), los polímeros amorfos duros se hacen blandos y flexibles. Debido a esto es que la ciencia moderna de los polímeros se aboca a encontrar los métodos para regular el grado de cristalinidad y la temperatura de transición vítrea, para poder dotarlos de propiedades útiles.

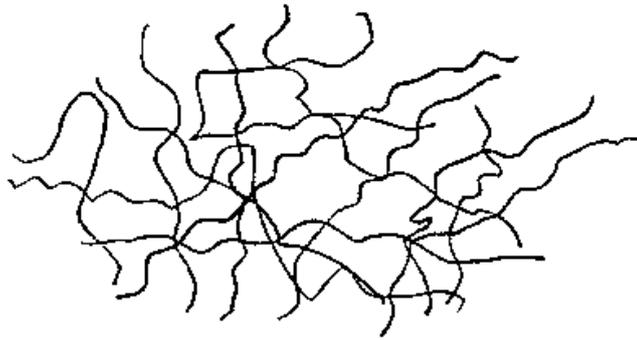


Figura 4: Polímero de estructura amorfa

1.5. Propiedades térmicas

Se han explicado los conceptos de tacticidad y cristalinidad previamente, pero para terminar de comprender los polímeros hay que definir algunos otros parámetros, como por ejemplo algunas de sus propiedades térmicas.

Temperatura de degradación (T_d):

Los enlaces covalentes entre los átomos de la macromolécula pueden destruirse a muy alta temperatura. La temperatura a partir de la cual se evidencia este fenómeno se denomina Temperatura de degradación (T_d), limita la utilidad del polímero y representa la temperatura superior a la cual el polímero puede ser conformado en forma útil.

Temperatura de fusión (T_f): Es la temperatura por debajo de la cual las cadenas se organizan para formar regiones cristalinas.

Temperatura de transición vítrea (T_g): Es de especial interés para la fabricación de los polímeros sintéticos. Es la temperatura a la cual se produce la transición de comportamiento elastomérico (o tipo goma) a comportamiento vítreo. Esta temperatura puede modificarse mediante la manipulación del grado de ramificación o entrecruzamiento de sus cadenas o mediante el agregado de plastificantes (Hermida Elida, 2011)

1.6. Polímeros sintéticos

Los polímeros sintéticos se han desarrollado desde hace relativamente poco tiempo y al avance de la tecnología moderna, en principio para sustituir algunas macromoléculas naturales como el caucho y la seda, pero en la actualidad ya se han logrado desarrollar cientos de sustancias que no tienen análogos naturales y que resultan imprescindible para el desenvolvimiento de la vida moderna.

Clasificación de los polímeros sintéticos

Existen varias maneras de clasificar a los polímeros sintéticos, además de la ya explicada, sobre el origen de los polímeros en general, a continuación se verán distintos tipos de clasificaciones.

Según la composición de los monómeros.

Homopolímeros: Formados por monómeros idénticos.

Copolímeros: Se obtienen cuando dos o más monómeros diferentes se dejan polimerizar conjuntamente. En la práctica son más importantes que los homopolímeros y se pueden dividir en:

Copolímeros estadísticos o aleatorios: La distribución de dos monómeros en la cadena es al azar, pero influenciada por las reactividades individuales de los monómeros. En la práctica no se encuentran con regularidad, copolímeros perfectamente aleatorios o perfectamente alternados. La mayor parte de los copolímeros tienen imperfecciones aleatorias. (McMurry J. , 2012)

Copolímeros alternados: con un ordenamiento regular

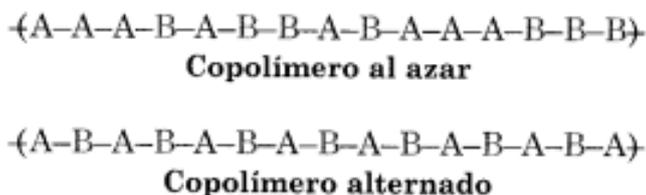


Figura 5: Copolímeros al azar y alternado.

Copolímeros en bloque: formados por bloques sucesivos de monómeros.

Copolímeros de injerto: donde sobre los puntos específicos de la cadena del polímero, se hace crecer una ramificación de otro monómero. Este procedimiento se realiza mediante la irradiación de alta energía que separa los átomos de hidrógeno de la cadena del homopolímero, por lo que genera sitios de radicales libres que pueden iniciar la polimerización del monómero agregado. (McMurry J. , 2012)

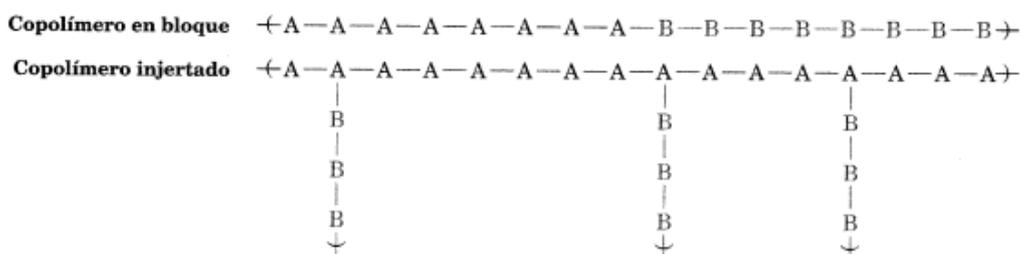


Figura 6: Copolímero en bloque e injertado.

Copolímeros entrecruzados: en los que uno de los co monoméros tiene una funcionalidad mayor que dos y da lugar a estructuras ramificadas tridimensionales.

En la tabla siguiente se enuncian algunos copolímeros comerciales comunes y sus usos.

Monómeros	Nombre comercial	Usos
Cloruro de vinilo (20%) + Cloruro de vinilideno (80%)	Sarán	Envolturas para alimentos, fibras
Estireno (25%) +1,3-butadieno (75%)	SRB (caucho de estireno-butadieno)	Neumáticos, artículos de goma.
Hexafluorosprepeno + Fluoruro de vinilideno	Viton	Juntas, sellos
Acrilonitrilo + 1,3-butadieno	Goma de nitrilo	Adhesivos, mangueras para nafta.
Isobutileno + isoprene	Goma de butilo	Tubos interiores
Acrilonitrilo+1,3 –butadieno + estireno	ABS (iniciales de los monómeros)	Tuberías con resistencia de alto impacto.

Tabla 1: Copolímeros comerciales y sus usos

Terpolímeros: formados por más de dos monómeros. (Tuñón García I, 2020)

Clasificación según la estructura de la cadena.

Cadena lineal: formados por una cadena de monómeros.

Cadena ramificada: La cadena lineal de monómeros presenta ramificaciones

Redes poliméricas: estas redes se forman en dos o tres dimensiones entrecruzándose debido al enlace entre átomos de distintas cadenas.

Polímeros en escalera: esto sucede cuando se unen dos cadenas mediante distintos enlaces.

Clasificación por su comportamiento térmico.

La siguiente clasificación se constituye en una de las más utilizadas para distinguir los diferentes tipos de polímeros:

Termoplásticos: se componen de largas cadenas monoméricas, generalmente sin ramificaciones y se comportan de una manera plástica y dúctil. Si se calientan a temperaturas elevadas por encima de su punto de fusión, estos polímeros se ablandan y se conforman por flujo viscoso. Al enfriarse solidifican, recuperando su dureza, resistencia original Por esta razón se pueden reciclar fácilmente. (Kalpakjian S. Schmid S., 2002)

Son los que se asocian inmediatamente a la palabra plástico, dadas sus especiales características pueden moldearse en forma de juguetes y una infinidad de aplicaciones. Estos polímeros tienen un escaso o nulo entrecruzamiento, las cadenas pueden deslizarse unas sobre otra en el estado fundido.

Para evitar que se vuelvan quebradizos a temperatura ambiente se les agregan plastificantes, que son pequeñas moléculas orgánicas que funcionan a modo de lubricante entre las cadenas del polímero.

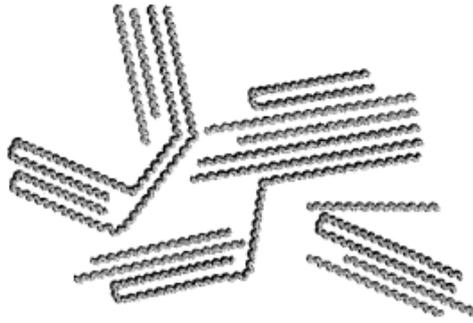


Figura 7: Cristalitos no orientados en un termoplástico.

Termoestables: están compuestos por largas cadenas de moléculas con fuertes enlaces cruzados entre las cadenas conformando redes tridimensionales. Estos polímeros son más resistentes, aunque más frágiles, que los termoplásticos. Los polímeros termoestables no tienen una temperatura de fusión fija y es difícil de reprocesarlos una vez que se formaron los enlaces cruzados (Askeland Donald R, 1998).

Elastómeros: Tienen una estructura intermedia, en la cual se permite que se formen algunos enlaces cruzados entre las cadenas. Los elastómeros tienen la capacidad de deformarse elásticamente en grandes cantidades sin cambiar de forma permanentemente. Aquí, en este grupo, se incluye al caucho. (Askeland Donald R, 1998)

Al estirarse, las cadenas enrolladas al azar se extienden y se orientan en dirección de la fuerza aplicada. Como las fuerzas de Van der Waals son débiles y escasas, no pueden mantener esta orientación y entonces, el elastómero vuelve a enrollarse cuando se libera la fuerza aplicada. (McMurry J. , 2012)

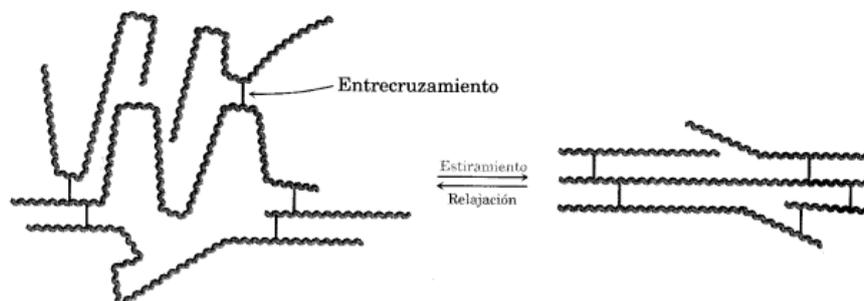


Figura 8: Formas no estiradas y estirada de un elastómero. (McMurry J. , 2012)

Clasificación por su aplicación.

Plásticos o termoestables, como el poliestireno, el polietileno o el policarbonato, que poseen, durante un intervalo de temperaturas, propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlos y adaptarlos a diferentes formas y aplicaciones.

Fibras sintéticas o semi sintéticas como el nylon. En la actualidad, entre los diversos polímeros se encuentran una gran variedad de fibras sintéticas como el acrilán o el

orlón (suéteres y alfombras) y dacrón, tela de planchado permanente que se emplea en la confección de vestimenta. Las fibras son hebras largas y finas de polímero, del espesor de un cabello humano, que se emplean para fabricar tejidos.

Elastómeros, hules o cauchos: presentan propiedades elásticas y pueden sufrir grandes deformaciones, con una recuperación de su forma original una vez que cesa la causa que lo deformó. Un claro ejemplo es la goma de caucho.

Recubrimientos: se lo denomina así a un material depositado sobre una superficie de un objeto, sustrato. Se realizan para mejorar algunas propiedades o cualidades de la superficie del sustrato, tales como el aspecto, la adhesión, las características de mojado, la resistencia a la corrosión, al desgaste o a las rayaduras, etc.

Adhesivos: es una sustancia que tiene la capacidad de mantener unidos a dos o más cuerpos por contacto superficial. La adherencia puede deberse a distintos mecanismos de naturaleza física y química, como el magnetismo o fuerzas electrostáticas, aunque desde el punto de vista tecnológico, los adhesivos son materiales naturales o sintéticos, que permiten obtener una fijación de carácter mecánico. Dentro de los adhesivos sintéticos están los derivados del petróleo como los pegamentos de poliacetato de vinilo, etilénicos, de caucho sintético, adhesivos anaeróbicos o de cianoacrilato y los pegamentos a base de resinas poliuretánicas. Estas últimas se desarrollarán más en profundidad más adelante, ya que constituyen un elemento sustancial en la preparación del material objeto de esta tesis. (Tuñón García I, 2020)

1.7. Polimerización (Proceso de obtención de los polímeros).

Los polímeros sintéticos se producen mediante un proceso denominado polimerización. En este proceso se produce la reacción de miles de monómeros que pasan a formar parte de una larga cadena macromolecular. (Hermida Elida, 2011)

Crecimiento en cadena o polímeros de adición.

Estos son producidos por la polimerización de una reacción en cadena, en la cual el iniciador se añade a un doble enlace carbono-carbono de un sustrato insaturado (un monómero vinilo) y forma un intermediario reactivo. Este intermediario reacciona con una segunda molécula del monómero y da otro intermediario, el cual reacciona con una tercera unidad del monómero, etc. (McMurry J. , 2012)

El iniciador puede ser:

- ✓ *Un radical* (polimerización del etileno), es la más común y se puede efectuar casi con cualquier monómero vinilo. Esta polimerización implica la adición de radicales libres al doble enlace del monómero y se lleva a cabo en tres etapas bien diferenciadas: iniciación, propagación y terminación.
- ✓ *Un ácido* (polimerización del isobutileno), sólo es efectiva con monómero de vinilo que contengan un grupo donador de electrones capaz de estabilizar el carbocatión intermediario de la cadena portadora.
- ✓ *Un anión* (ion anión), los monómeros de vinilo con sustituyentes atractores de electrones (GAE) se pueden polimerizar con catalizadores aniónicos, estabilizando la carga negativa. Un ejemplo particular de polimerización aniónica explica las notables propiedades de "la gotita". El superpegamento es una

solución de alfa-cianoacrilato de metilo puro. Puesto que el doble enlace carbono-carbono tiene dos grupos atrayentes de electrones, la adición aniónica es muy fácil. Bastan cantidades traza de agua o de bases en la superficie de un objeto para iniciar la polimerización del cianoacrilato y pegar las superficies. La piel es una buena fuente de iniciadores básicos necesarios y muchas personas, me incluyo, se han quedado con los dedos pegados luego de tocar el superpegamento. (McMurry J. , 2012)

Catalizadores de Ziegler Natta

Cuando se explicó el concepto de tacticidad se puso como ejemplo la polimerización del propileno; y que esta podía dar lugar a tres formas de que los grupos funcionales del metilo se ubiquen en el esqueleto de la cadena de carbonos.

Estas distintas formas estereoquímicas tiene propiedades diferentes y pueden prepararse si se usa el catalizador correcto para la polimerización. El uso de los radicales libres como iniciadores no funciona bien, lograr la forma estereoquímica deseada recién fue posible cuando se introdujeron en la industria los catalizadores de Ziegler – Natta.

Estos catalizadores se preparan en distintas formulaciones y son complejos organometálicos de metales de transición preparado por el tratamiento de un alquilaluminio con un compuesto de titanio. Un catalizador Ziegler – Natta típico es el trietilaluminio y el tetracloruro de titanio.



Figura 9: Fórmula química de un catalizador Ziegler-Natta

Descubiertos en la década del cincuenta por trabajos conjuntos de ambos científicos, en Alemania y en Italia, revolucionaron el campo de la química de los polímeros debido a dos ventajas:

Los polímeros resultantes son lineales sin prácticamente ninguna ramificación en la cadena Son estereoquímicamente controlables, pueden producirse las formas isotáctica, sindiotáctica y atáctica, dependiendo del catalizador utilizado.

Otro ejemplo de su utilización es la fabricación del polietileno de alta densidad, que es un polímero altamente cristalino con 4000 a 7000 unidades de etileno por cadena y pesos moleculares en el intervalo de 100.000 a 200.000 uma. Este producto tiene mayor fuerza y resistencia al calor que el polietileno de baja densidad, un polietileno ramificado por acción de los radicales libre utilizados como iniciadores de la cadena y ampliamente utilizado para producir botellas de plástico, entre otros usos. (McMurry J. , 2012)

Ejemplo de polimerización por adición del polietileno.

La formación del polímero más común, el polietileno (PE) a partir de moléculas de etileno, es un caso de crecimiento de cadenas o por adición. El etileno es un gas (C₂H₄), los dos átomos de carbono están unidos por un enlace covalente doble. Cada uno de esos átomos comparte dos electrones con el otro y dos átomos de hidrógeno están enlazados a cada átomo de carbono. La molécula de etileno es un monómero.

En las condiciones apropiadas de calor, presión y catalizadores, se rompe el enlace doble entre los átomos de carbono y este se reemplaza por un enlace covalente único.

Quedando así los extremos de los monómeros como radicales libres y constituirá el bloque constructivo del polímero, o mejor dicho, será la unidad de repetición.

La polimerización ocurre porque al cambiar el monómero el enlace doble no saturado a un enlace simple, los átomos de carbono siguen unidos, pero se convierten en activos, y se pueden agregar a ellos otras unidades de repetición para producir la cadena polimérica.

Un aspecto a tener en cuenta es que el etileno es bi funcional y solamente podrá formar cadenas y no redes tridimensionales.

La polimerización comienza al añadir un iniciador que formará radicales libres con un sitio reactivo, que atrae a uno de los átomos de carbono del monómero y se empieza a formar la cadena. Una segunda unidad de repetición de etileno se fijará en el nuevo sitio alargando la cadena; y así continuará extendiendo la cadena por adición. Una vez iniciada la cadena, las unidades de repetición se unirán a gran velocidad, del orden de miles de adiciones por segundo; y cuando la polimerización esté próxima a finalizar, los pocos monómeros restantes deben recorrer grandes distancias para alcanzar el sitio reactivo del extremo de alguna cadena, y en consecuencia, la velocidad de crecimiento disminuye.

Las cadenas pueden terminar mediante dos mecanismos. Primero, los extremos de las cadenas pueden unirse (combinación) genera una sola cadena larga a partir de dos más cortas Segundo, el extremo activo de una cadena puede quitar un átomo de hidrógeno de otra mediante un proceso llamado desproporciónación, esta reacción formará dos cadenas en lugar de combinarlas en una más larga. (Askeland Donald R, 1998)

Crecimiento en etapas o polímeros de condensación.

Actualmente los términos etapas y condensación, así como adición y cadena son utilizados sinónimamente.

Los polímeros de crecimiento por etapas o pasos se producen por reacciones en las que cada enlace en el polímero resultante se forma por pasos, independientemente de los otros. La mayoría de las veces este crecimiento por pasos se produce por la reacción de dos reactivos bifuncionales. (Askeland Donald R, 1998)

Las características generales de la polimerización en etapas (condensación) son las siguientes:

La polimerización se efectúa mediante reacción entre grupos funcionales, usualmente de distinta naturaleza, tales como el hidroxilo, cloruros de acilo, carboxilo, amina, etc., y por lo general con la eliminación de una molécula pequeña.

El grupo funcional resultante de la reacción de los grupos funcionales de los monómeros forma parte de la cadena principal del polímero, repitiéndose ininterrumpidamente a lo largo de ella.

En cualquier instante a lo largo de la polimerización, la mezcla de reacción consiste en una distribución continua de tamaños moleculares que comprende desde el mismo monómero hasta polímero de elevado peso molecular.

La mayor parte de los polímeros que crecen en etapas se produce mediante la reacción entre dos reactivos bifuncionales. Por ejemplo, el nailon 66 se fabrica haciendo reaccionar ácido adípico de seis carbonos con la hexametildiamina de seis carbonos. Como alternativa se puede polimerizar un reactivo con dos grupos funcionales diferentes (nailon 6).

Otros productos obtenidos a partir de la polimerización por etapas son los poliésteres, los policarbonatos y los poliuretanos. (Askeland Donald R, 1998)

Ejemplo de polímero obtenido por crecimiento en etapas

Se verá el proceso de obtención del poliéster un ejemplo de crecimiento por pasos. Los monómeros intervinientes en la reacción son el dimetiltereftalato y el etilenglicol, durante la polimerización, un átomo de hidrógeno en el extremo del etilenglicol se combina con un grupo OCH₃ del dimetiltereftalato. Lo que se genera como resultante es alcohol metílico, y los dos monómeros se combinan para producir una molécula más grande. Cada monómero es bifuncional, y puede continuar la polimerización por pasos mediante la misma reacción. Finalmente se produce una larga cadena de polímero, es decir un poliéster.

La longitud de la cadena del polímero resultante depende de la facilidad con la cual se puedan difundir los monómeros hacia los extremos e intervenir en la reacción de condensación. El proceso finaliza cuando ya no llegan más monómeros al extremo de las cadenas para continuar la reacción. (Askeland Donald R, 1998)

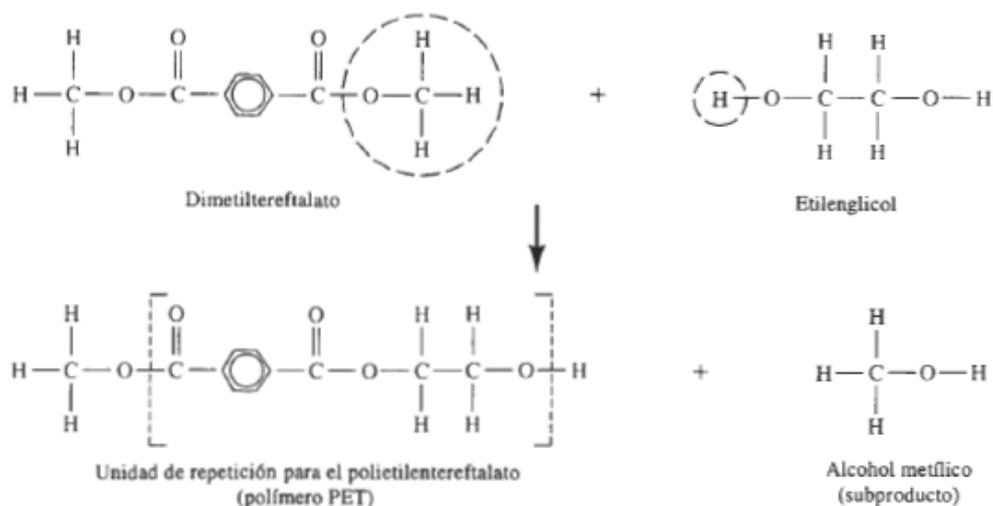


Figura 10 Formación de cadenas por el mecanismo de condensación (Askeland Donald R, 1998)

1.8. Técnicas aplicables para el procesamiento de polímeros

Las diversas técnicas para el procesamiento de polímeros dependen especialmente de la naturaleza del mismo, en particular si es termoplástico o termoestable. El polímero se calienta a temperaturas cercanas o superior a la fusión para llegar a obtener una baja viscosidad, entonces el polímero se funde o inyecta dentro de un molde, o se lo fuerza a pasar a través de una boquilla para producir la forma establecida.

Para los polímeros termoestables las técnicas para su conformado son menos, ya que una vez producida la polimerización, se establece una estructura reticular que ya no puede volver a conformarse. Similar es la situación de la vulcanización, ya que luego de esta, los elastómeros no pueden ser conformados adicionalmente.

Las técnicas a aplicar pueden ser:

Extrusión: Un mecanismo de tornillo fuerza al polímero termoplástico caliente a pasar a través de una boquilla para producir formas sólidas, películas, láminas, tubos y también bolsas plásticas. Este proceso también puede utilizarse para recubrir alambres y cables.

Moldeo por soplado: Un globo caliente de polímero, conocido como preforma, se introduce en un molde y es expandido mediante un gas a presión contra las paredes del molde. Este proceso se utiliza para la elaboración de botellas plásticas, recipientes y otras formas huecas (Hermida Elida, 2011).

Moldeo por inyección: Los polímeros termoplásticos se calientan por encima de la temperatura de fusión y entonces mediante un émbolo o tornillo sinfín, se los fuerza a llenar una matriz cerrada. Similar al proceso de moldeo por fundición a presión de los metales. Una amplia variedad de productos, como vasos, peines, engranes y tachos de basura se pueden producir de ésta manera. (Askeland Donald R, 1998)

Conformado al vacío: Las láminas termoplásticas se calientan a temperaturas mayores a la temperatura de transición vítrea y se colocan sobre un patrón o molde conectado a un sistema de vacío. Pequeñas hendiduras en el molde permiten que el vacío tire de la lámina caliente de plástico sobre el patrón.

Calandrado: En una calandra se vierte el plástico fundido entre un juego de rodillos con una pequeña abertura; al girar los rodillos generan una película delgada de polímero. Se aplica por ejemplo a las películas de PVC para envolver alimentos, a baldosas de vinilo y a cortinas para baño.

Moldeo por compresión: Es un sistema de fabricación similar a la forja por con plástico. Entre dos moldes complementarios calientes se introduce una pieza de polvo comprimido, éste tomará la forma del molde al presionar las dos partes del mismo. El calor del molde iniciará la reacción química de degradación. El moldeo por compresión se aplica cuando se trabaja con los plásticos termoestables. Se fabrican por ejemplo las tapas de inodoro, material eléctrico, tapones de botellas, etc.

Moldeo por transferencia: Se emplea un doble intercambiador para los polímeros termorrígidos. El polímero se calienta bajo presión en un intercambiador; luego de fundido, se inyecta en el molde adyacente. Este proceso combina elementos del moldeo por compresión y del moldeo por inyección. (Hermida Elida, 2011)

Hilado: se pueden producir filamentos, fibras e hilos mediante este proceso. El polímero termoplástico fundido se empuja a través de un dado, que contiene perforaciones pequeñas. El dado, conocido como hilador, puede girar y producir un hilado. En algunos casos, la fibra puede ser posteriormente estirada para alinear las cadenas a fin de que queden paralelas al eje de la fibra, para incrementar su resistencia. (Askeland Donald R, 1998)

Colado: Muchos polímeros se pueden colar en moldes dejando que solidifiquen. Los moldes pueden ser placas de vidrio o bandas de acero inoxidable para colado continuo de hojas más delgadas. Un proceso especial de colado es el moldeo centrífugo, en donde el polímero fundido se vacía en un molde que gira sobre dos ejes. La acción centrífuga empuja el polímero contra las paredes del molde, produciendo una forma delgada.

Espumas: se producen con el poliestireno, uretano, polimetacrilato y otros polímeros que finalmente contengan espacios vacíos. El polímero, en pequeñas bolitas que contienen un agente espumante, al ser calentado se descompone generando nitrógeno, dióxido de carbono, perntano o algún otro gas. Durante el proceso de preexpansión, las bolitas aumentan su diámetro alrededor de 50 veces y se hacen huecas. Luego las bolitas se inyectan dentro de un dado para fundirlas y unir las. Se generan productos muy livianos que se utilizan en aislaciones y embalajes. (Askeland Donald R, 1998)

1.9. Ejemplo de polímeros.

Resinas

La resina es una sustancia sólida o de consistencia pastosa que, en ocasiones, rezuma espontáneamente de ciertos árboles, pero lo normal es que salga como reacción a las heridas que reciben, sirviendo dicho jugo como cicatrizante de sus propias lesiones. Este jugo en contacto con el exterior, se oxida, cristaliza y se mezcla con variadas impurezas ambientales, recibiendo del nombre de miera. Entre los mejores productores de resina están las coníferas, y dentro de ellas, los pinos. Este producto es insoluble en el agua, soluble en el alcohol y en los aceites esenciales.

El hombre, desde hace más un siglo y medio, aprovechándose de este hecho fisiológico, ha venido practicando en el tronco de éstos árboles, de manera regular y racional, incisiones para conseguir que fluyese dicho líquido resinoso, encargándose después de su recogida, transformación y venta de los productos derivados. (Hernández Muñoz L., 2006)

La resinación es el proceso realizado por el hombre para la extracción de este jugo natural y que conoció mejores épocas; y al igual que lo sucedido con la extracción del látex del caucho, fue un oficio muy sacrificado y mal pago. Pero a diferencia de éste, podía hacerse en distintos lugares, dado la adaptabilidad del pino. El auge en el uso de los productos de resinas naturales se origina en la segunda mitad del siglo XIX, apagándose conforme se avanzaba en los conocimientos de la industria petroquímica.

De esta manera, con el descubrimiento de nuevos polímeros ya entrados en el siglo pasado, las resinas también se obtuvieron de manera sintética, llevando a la

división principal entre las resinas. En la actualidad se conocen las resinas naturales y las resinas sintéticas.

- ✓ Resinas naturales.

Como se explicó precedentemente las resinas naturales se obtienen mediante el proceso de resinación, a partir del sangrado de las coníferas. El producto así obtenido, cristalizado al aire se llama miera. Primitivamente la extracción de la resina se realizaba haciendo incisiones longitudinales lo más profundo y amplia posible, recogiendo luego desde un pozo al pie del árbol. En la actualidad se utiliza el método de pica de corteza, que consiste en realizar incisiones en forma transversal, previo al descortezado del pino y recogéndolo en baldes. Es un proceso que tiene en cuenta la sustentabilidad de los pinares, ya que es realizado con sumo cuidado y en forma progresiva. (Pinillos Herrero F.M., 2009)

Las resinas naturales se clasifican en:

- ✓ *resinas típicas* como el copal y la colofonia, sus componentes primarios son terpenoides y compuestos fenólicos.
- ✓ *gomo-resinas* como la mirra y la asfétida, son polisacáridos.
- ✓ *óleo-resinas* como copaiba y trementina contienen ácidos grasos y glicerol.
- ✓ *los bálsamos* como el estoraque y el bálsamo de Perú contienen fenoles y ésteres.
- ✓ *gluco-resinas* como la jalapa y el podófilo, triptenos, entre otras sustancias.

También se clasifican en:

- ✓ *resinas duras* y suaves, las primeras como el copal, son solubles en alcohol y con un relativo alto punto de fusión, aunque también hay solubles en aceites y agua.
- ✓ *resinas suaves* u *óleo-resinas* son aquellas que tienen un alto contenido de aceites. (Quiroz C., 2015)

Resinas sintéticas

Son polímeros termoestables, son siempre amorfos y no tienen una temperatura de transición vítrea. Se fabrican a partir de precursores líquidos o semisólidos que *endurecen* irreversiblemente. Las diferentes propiedades de los plásticos termoestables se deben a las cadenas transversales que forman enlaces covalentes tridimensionales térmicamente estables. Las reacciones químicas asociadas con el encadenamiento transversal se llaman curado o fraguado.

Luego de curadas, estas unidades moleculares que forman la red, la longitud y densidad de los eslabones de la estructura influirán en las propiedades mecánicas del material. A causa de esto, las resinas líquidas son las más importantes si de materiales compuestos se trata. Las resinas sintéticas poseen la mayoría de las propiedades físicas de las resinas naturales, además de tener muchas propiedades propias. Son muy utilizadas en recubrimientos industriales (pinturas), adhesivos, aglutinantes e impregnación de textiles (Gutiérrez López V.M., 2013)

Una clasificación de las resinas termoestables:

- ✓ Resinas poliésteres las que se obtienen por reacción de condensación entre uno o más poliácidos y uno o más polioles.
- ✓ *Resinas acrílicas* que se elaboran por reacción de adición de diferentes monómeros, como ésteres de los ácidos acrílico y metacílico con alcoholes.
- ✓ *Resinas fenólicas* que se utilizan principalmente para la fabricación de chapas de madera, recubrimiento de frenos, partes de maquinarias sujetas a fricción, porque soporta elevadas temperaturas. (Hermida Elida, 2011)
- ✓ *Resinas epoxídicas* son compuestos sintéticos con diferente grado de polimerización; este determina el tipo de resina (líquida, semisólida y sólida). Se utilizan vastamente en la industria de la construcción, se comercializan como composiciones de dos partes que curan a temperatura ambiente.
- ✓ *Resinas poliuretánicas*: abarca productos con funcionalidad isocianato, el curado se realiza con grupos que contienen átomos activos de hidrógeno (agua, alcoholes, ácidos, aminas, et).

Como ejemplo se ahondará en la descripción de las de urea-formaldehído.

Resinas de urea – formaldehído.

Estas resinas son un tipo de polímeros de condensación que se emplean como resinas sintéticas obtenidas a través de la reacción entre la urea (un cristal sólido que se obtiene a partir del amoníaco) y del formaldehído (gas altamente reactivo obtenido a partir del metanol), que suele estar catalizada por cloruro de amonio. Se utilizan principalmente como adhesivos para el encolado de madera contrachapada, tableros de partículas y diversos productos de madera estructurada.

Su producción se hizo masiva a partir de la década de 1929, aunque su utilización se remonta al año 1884, y su proceso industrial tradicional consiste en la producción de una reacción de la urea y formalina (disolución acuosa de formaldehído) en cuatro etapas; la primera de adición, en medio ligeramente alcalino, la segunda de condensación, en medio ácido, la tercera de adición de urea y neutralización, y la cuarta de curado. (Vallejos Calzada S., 2010)

Las resinas de formaldehído tienen características y propiedades interesantes para su aplicación a saber: alta reactividad, buenas propiedades térmicas, ausencia de color durante el curado, buena adhesión, solubilidad en agua, alta capacidad de curado y bajo costo. Sin embargo, presentan una desventaja importante y es su baja resistencia a la humedad que provoca hidrólisis de los enlaces induciendo la emisión de formaldehído.

Dada la alta reactividad de estas resinas se requieren para aglomerar elementos como la viruta de madera, tiempos cortos de presión y altas temperaturas

El formaldehído que se desprende de los productos preparados con estas resinas debe estar dentro de los parámetros normados, ya que se trata de un gas considerado de toxicidad aguda. Además, su prolongada exposición puede conllevar problemas en las vías respiratorias e incluso a ser considerado posible cancerígeno. (Albiano N., 2015).

Resinas poliuretánicas

Los poliuretanos incluyen a los polímeros que contienen un número importante de grupo uretano no necesariamente repetidos en forma regular, sin tener en cuenta la naturaleza del resto de la macromolécula. Se obtienen por reacción de poliisocianatos con moléculas que contengan grupo OH reactivos (macroglicoles), puede contener además de uretanos, grupos hidrocabonados alifáticos o aromáticos, grupo éster, éter, amida, urea, etc.

Componentes:

La ruta más utilizada en la preparación de TPUs consiste básicamente en la reacción de tres componentes:

- ✓ *Poliholes*: también llamados macroglicoles, de tipo poliéster (más usado) o poliéter, que contienen grupo hidroxilos terminales (-OH) en su estructura. Tienen tamaño relativamente grande, de peso molecular alto, los cuales deben ser bifuncional para obtener poliuretanos lineales. Las propiedades químicas de estos compuestos están determinadas por los grupos hidroxilos terminales, el tipo y funcionalidad de los macroglicoles, así como el grado de policondensación alcanzado y la densidad de entrecruzamientos, determinan su estado físico y viscosidad. Constituye entre el 50 y 80% de la masa del poliuretano, por lo que su influencia en las propiedades finales el producto es muy importante. Los poliéteres son menos reactivos con los isocianatos que los poliésteres, motivo por el cual su uso exige el empleo de catalizadores y debido a que los poliésteres tienen excelentes propiedades adhesivas y cohesivas, son los más utilizados. (Aran Asís F, 2000)
- ✓ *Isocianatos (Diisocianato)*: En la síntesis de poliuretanos termoplásticos lineales se utilizan diisocianatos, con dos grupos -NCO en la molécula, que pueden ser aromáticos o alifáticos. Dado que los isocianatos aromáticos son más reactivos y económicos, son los más utilizados. Los isocianatos alifáticos se emplean cuando se requieren productos de propiedades determinadas, como por ejemplo estabilidad mejorada frente a la luz. Los isocianatos se obtienen principalmente mediante la fosgenación de una amina primaria. Los isocianatos más usados en la síntesis de poliuretanos son el TDI, PMDI y el MDI. El MDI (Difenilmetano - 4,4'-diisocianato) es el isocianato de mayor producción en el mundo. Es una mezcla en muchas especies químicas, puro, se utiliza en elastómeros de poliuretano de altas prestaciones. La funcionalidad de los isocianatos influye en las propiedades físicas y en la reactividad. Para el caso del MDI, existen tres isómeros principales (4,4', 2,4' y 2,2'). Para la formación de un poliuretano, el isocianato debe tener una funcionalidad mínima de dos.
- ✓ *Extendedor de cadena*: Son moléculas de bajo peso molecular que se utilizan para facilitar el alargamiento de las unidades macromoleculares durante la síntesis de los poliuretanos y pueden ser glicoles, aminas o agua. Para la obtención de poliuretanos lineales se utilizan extendedores de cadena bifuncionales, debido a que funcionalidades mayores, forman poliuretanos con cadenas cruzadas y estructuras reticuladas. Por norma general, las moléculas de estos extensores de cadenas pueden ser relativamente largas o cortas, aromáticas o alifáticas, hidrofílicas o hidrofóbicas. (Belda Ferrín A., 2013)

Síntesis de los poliuretanos:

Hay dos métodos generales de preparación de los poliuretanos, el método de one shot y el método del prepolímeros.

One shot: es un proceso exento de disolventes y generalmente muy rápido, en presencia de catalizadores. La reacción de polimerización es muy exotérmica y su velocidad depende del catalizador.

Método del prepolímero: Un prepolímero es un estado intermedio en la reacción de poliadición del isocianato. Este reacciona con el macroglicol (total o parcialmente) formando un "prepolímero" que posteriormente reacciona con el extendedor de cadena de manera que este enlace las distintas cadenas de alto peso molecular.

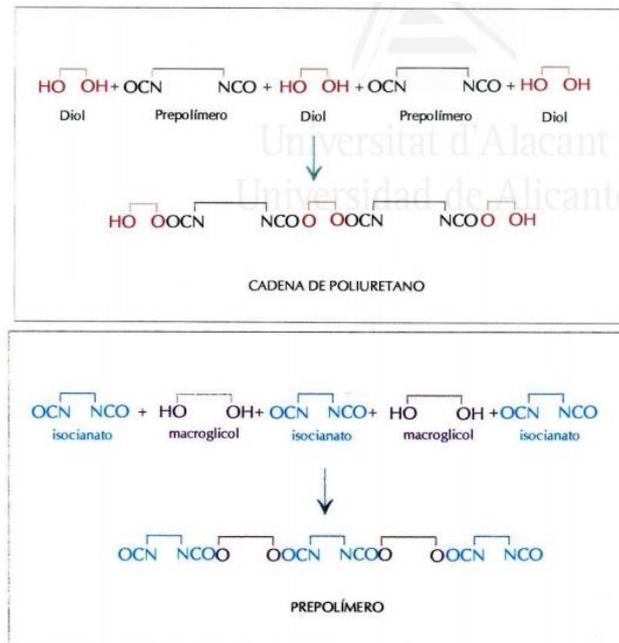


Figura 11: Formación del polímero (Aran Asís F, 2000)

Luego de esto, los grupos NCO restantes se hacen reaccionar con un agente de "capping" (agente de terminación), normalmente un alcohol monofuncional. Este sistema de fabricación del polímero tiene a formar bloques duros de un tamaño relativamente pequeño y uniforme, tendiendo a tener mejores propiedades mecánicas. La reacción de polimerización se hace a temperaturas moderadas, siendo necesario controlar la temperatura para obtener cadenas lineales. Es el método más usual de preparación de los TPUs. (Aran Asís F, 2000)

Estructura y propiedades de los poliuretanos:

Los adhesivos de poliuretano se preparan a partir de elastómeros de poliuretano termoplástico con una configuración corresponde a una estructura segmentada de copolímeros en bloque, compuesta por segmentos o dominios duros y blandos. Los

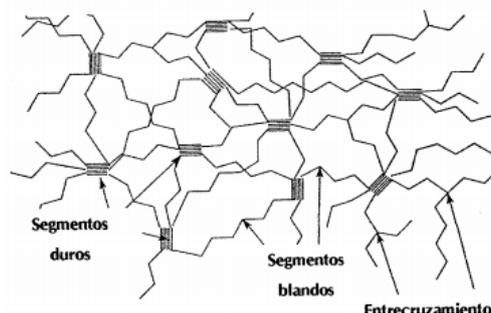


Figura 12: Estructura segmentada de un polímero.

segmentos blandos corresponden a la parte elastomérica del polímero (cadenas de poliéster den el macroglicol).

Los segmentos duros están constituidos por el isocianato y el extendedor de cadena, y presentan una estructura rígida, formada por grupos uretanos unidos a grupos aromáticos. La incompatibilidad entre los segmentos duros y los blandos puede generar una separación de fases en la estructura primaria de los poliuretanos, ver figura, y es la responsable de las propiedades tan particulares de los poliuretanos.

La estructura de un poliuretano termoplástico suele ser lineal, ya que los segmentos duros que contiene es relativamente pequeña, de manera que las propiedades más relevantes de estos poliuretanos vienen de las interacciones secundarias entre segmentos blandos (fuerzas de Van der Waals).

La movilidad de las cadenas moleculares del macroglicol son las responsables de las propiedades elásticas del poliuretano. En cambio los dominios duros producto de la reacción entre el isocianato y el extendedor de cadena determina las interacciones entre cadenas en los elastómeros del poliuretano, es decir determinan su estructura. (Aran Asís F, 2000)

2. EL CAUCHO

El caucho es un compuesto orgánico insaturado obtenido a partir del carbono y el hidrógeno. Un compuesto orgánico insaturado es uno que contiene enlaces carbonos-carbonos dobles o triples, como los que se encuentran en los alquenos o alquinos respectivamente. Precisamente, número de enlaces dobles y triples de un compuesto nos indica su grado de insaturación. (Autino J.C., 2013)

El análisis de su composición ha mostrado que el hidrocarburo del caucho es un polímero formado por la unión de gran cantidad de moléculas de isopreno en largas cadenas de cis 1,4 poliisopreno. (Autino J.C., 2013)

El caucho natural es un producto vegetal procesado que se obtiene de la savia de varias especies de árboles y plantas existentes en distintas partes del mundo, en especial en Africa ecuatorial, el sudeste asiático y de Sudamérica.

La savia de aspecto lechoso, conocida como látex, se extrae generalmente de un árbol de la especie *Hevea brasiliensis*, originaria de Sudamérica, cubre más del 99% de consumo de caucho natural mundial.

El *Hevea brasiliensis*, es una planta de la familia de las Euphorbiaceae, género *Hevea*, se la conoce comúnmente como caucho, hevea hule, jebe y siringueira según la zona donde se encuentra. De raíz larga y pivotante, desarrolla pocas raíces secundarias superficiales de gran longitud. Sus tres hojas en principio cobrizas tienden al verde oscuro cuando maduran, con flores amarillas y frutos en forma de cápsula de tres celdas con una semilla cada una. Se propaga de dos maneras diferentes: por semilla, la cual tiene el inconveniente de una baja producción; y por vía vegetativa que es la recomendada para el establecimiento de plantaciones. (el proceso consta de la preparación del almácigo, el vivero, el jardín clonal, que aportará las yemas y realizar los injertos para obtener las plantas del vivero injertadas) (Rosero H, 2006)

Para que esta planta prospere es necesario que las condiciones climáticas sean las adecuadas, el rango de temperatura óptimo va desde los 22 hasta los 30°, con un promedio ideal de 25° y un mínimo de 15°; necesita alrededor de 2.000 mm anuales de precipitaciones pluviales, aunque importa y mucho, una buena distribución de ésta; alta humedad relativa, principalmente matinal del orden del 80%; y mucho sol, necesita entre 1500 y 1800 horas al año. Obviamente debido a estos parámetros necesarios para su cultivo, es que está restringido a determinadas zonas geográficas, principalmente ecuatoriales, como por otro lado se advierte al ver cuáles son los países productores de hevea brasiliensis. (Rosero H, 2006)

Este producto también puede obtenerse del *Ficus elástica* y de otras plantas africanas que se cultivan con Costa de Marfil, Madagascar, Senegal y Sierra Leona. (World Rubber Conference, 2013)

El *trans.1,4-poliisopreno natural*, conocido como gutapercha o balata y se obtiene de árboles de Sudamérica e Indonesia, proporciona un caucho menos puro y elástico. (Echt A, 2001)

Otras fuentes de caucho natural comercial es el arbusto *Parthenium argentatum* o guayule, que crece en regiones cálidas y áridas, como el suroeste de los Estados Unidos; y la planta de *diente de león*, que crece rápidamente en comparación con el árbol del caucho y no depende de climas tropicales para su cosecha. (www.tecnocarreteras.es, 2013)

Extracción del caucho natural.

El látex se obtiene practicando en la corteza del árbol del caucho una incisión en espiral en días alternos, aunque la frecuencia y el método pueden variar. Se recoge en vasos colgados del árbol, bajo la incisión, y a continuación se transfiere a cubos que se transporta a los lugares de procesamiento.

El caucho así recolectado contiene alrededor de un 70% de agua, en la planta de procesamiento puede tamizarse para eliminar materia extraña, mezclarse, coagularse, enrollarse en láminas y luego secarse en ahumaderos para producir "hojas de ahumado acanalado" (RSS). (Echt A, 2001)

O puede, luego de la coagulación, lavarse, triturarse y granularse en condiciones controladas antes de secarse en secadores de lecho profundo para formar un caucho de "bloque", conocido como caucho técnicamente especificado (TRS).

Sea cual fuera el proceso seguido, la goma se presiona en balas y se envuelve en bolsas de polietileno para su envío. Una proporción pequeña de caucho se procesa y se vende como concentrado de látex. El agua se elimina mediante centrifugación, formación de crema o evaporación para obtener un producto que contiene alrededor del 60% de caucho.

Los tipos de cauchos naturales presentes en el mercado se diferencian en base al color y a la cantidad de impurezas, su valor de venta depende de ello, y son: el látex que se presenta en forma líquida y concentrada; las hojas de caucho ahumadas (RSSX) la X determina la procedencia y se producen sólo a partir del caucho natural; hojas secadas al aire (ADSX), también producidas a partir del látex natural; y el caucho crepe (NRCX), muy utilizado en la industria del calzado, y el caucho

técnicamente especificado (TSR), estos están disponible en un grados bien definidos, que favorece su industrialización, es comercializado en forma compacta y empackado en polietileno que reduce su degradación. (Andrade Caballero A, 2005)

En la figura 15 se muestran los distintos procesos que se realizan a partir de la sangría en el árbol de hevea, y los distintos productos finales que se obtienen.

Advirtiéndose que la recolección y tratamiento en campo, conduce a la obtención de productos de inferior calidad.

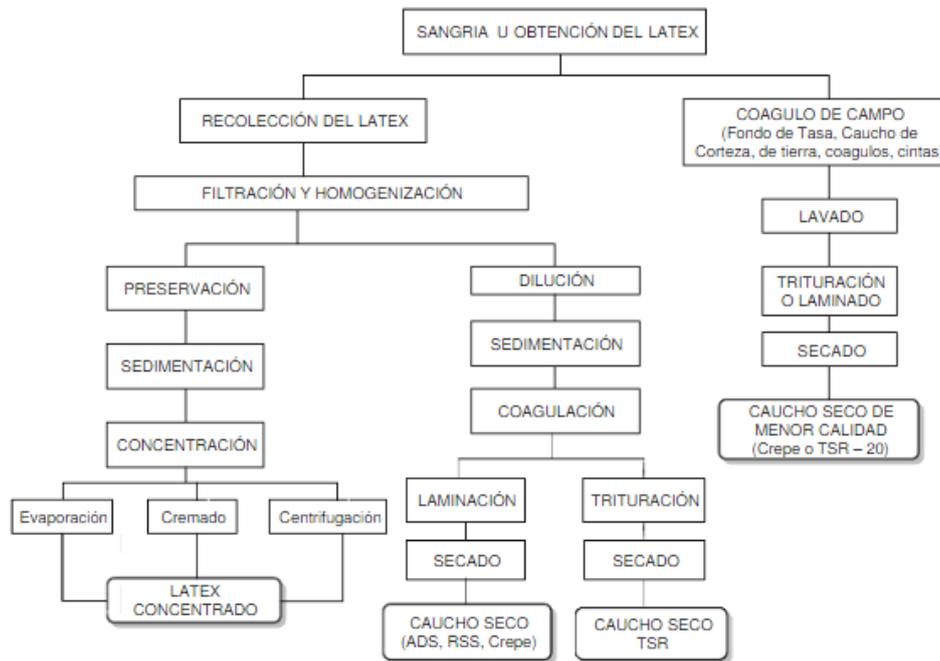


Figura 13: Diagrama de la extracción del caucho natural. (Andrade Caballero A, 2005)

Reseña histórica de su inserción a escala global.

Se cree que los pueblos mesoamericanos utilizaban el látex por sus propiedades de dureza, resistencia y elasticidad al calentarse, en especial cuando lo mezclaban con el jugo de la *Ipomoea violácea*, con lo que se conseguía que el resultado fuera menos quebradizo y más flexible. (World Rubber Conference, 2013)

A principios del siglo XVIII, el caucho natural ingresó a Europa gracias al científico francés, Charles de la Condamine, que en su viaje, encomendado por la Real Academia de Ciencias de París a medir un arco del meridiano a partir del Ecuador, se interesó en el producto y le dio su término francés “*caoutchouc*”, derivado de una palabra inca con que significa, “*árbol que llora*”.

Allí fue utilizado de diversas maneras; en realidad fueron descubriendo aplicaciones a las cuales se adaptaba el este nuevo material procedente de las colonias. Así fue utilizado como recubrimiento de las ruedas de metal de las carretas, para fabricar tejidos impermeables, para borrar las marcas de lápiz en las hojas de papel. Ya a principios del siglo siguiente, el caucho se utilizaba para tratar textiles y calzados para hacerlos resistentes al agua. (Rosero H, 2006)

El azar lo colocó en el centro de la escena mundial por el año de 1839, fue cuando al inventor estadounidense y comerciante de ferretería Charles Goodyear se le cayó accidentalmente sobre una estufa caliente, una mezcla de caucho, plomo y azufre. Verdad o mito, el material así tratado resultaba ser una substancia menos pegajosa y se adaptaba mejor a los usos prácticos. De esta manera el polímero de látex natural se modificaba formando interacciones cruzadas entre las cadenas individuales de polímeros. Este material era resistente al agua y a las interacciones químicas y no era conductor de la electricidad por lo que convenía a una multitud de usos. Para la segunda mitad de ese siglo, el proceso de vulcanización se hallaba lo suficientemente perfeccionado, tanto en Estados Unidos como Europa, como para convertir al caucho en un preciado objeto del deseo por parte de las potencias dominantes. (World Rubber Conference, 2013)

A finales del siglo XIX, la fabricación de neumáticos inflados con aire era un negocio floreciente y tanto en el sector incipiente del automóvil como en las máquinas agrícolas y conexas. Sucesivos avances como la introducción de una estructura tubular con válvula, expandieron notablemente su uso. (World Rubber Conference, 2013)

El vapor, el acero, los ferrocarriles y las fábricas requerían cada vez más toneladas de caucho. La demanda era insaciable: cables de telégrafo, artículos militares, juntas, mangueras. La lista de artículos que requerían goma era vertiginosa.

La llegada de la bicicleta en la década de 1890, seguida de cerca por la del automóvil, el mercado no hizo más que crecer. Desde 1850, la cuenca del Amazonas controlaba el comercio del caucho.

Este período conocido como la fiebre del caucho, la primera para ser precisos, moldeó la estructura económica de la región. El monopolio de un recurso tan preciado y tan requerido por la industria mundial introdujo cambios sustanciales, caracterizado por un periodo de extrema bonanza económica para los empresarios de la época. Se vivió este proceso principalmente en Brasil y Perú, pero también en Bolivia, Colombia y Ecuador. Trajo la inmensa prosperidad a la ciudad de Manaos, epicentro del fenómeno, se amasaron grandes fortunas y fugaces epopeyas, a costa de la destrucción de la hevea natural y la explotación de la población local. (Aldabe Sara, 2004)

En este escenario, un aventurero extravagante llamado Henry Wickham, allá por 1873 y a pedido de Londres, cometió un acto infame de biopiratería, definida como el robo cometido por una nación (generalmente rica) de los recursos naturales de otra (generalmente pobre), es un delito que recientemente recibió un nombre. Sin embargo existe desde hace mucho tiempo y Wickham fue el autor de quizás el mayor acto de biopiratería de la historia. (Galeano E, 1971)

Recolectó ilegalmente de la jungla, en la que se adentró profundamente, unas 70.000 semillas de los árboles de *Hevea brasiliensis*. Haciéndolas pasar por "especímenes botánicos extremadamente delicados", para de esta manera no ser controladas por la aduana, las embarcó rumbo a Inglaterra. Allí las llevó a los botánicos de Kew Gardens, quienes pagaron el equivalente actual a unos U\$S 70.000 por ellas. Del total de semillas unas 3.000 crecieron en el jardín botánico y fueron enviadas a los jardines coloniales británicos en Asia como plantas de semillero. (Aldabe Sara, 2004)

Tomaría más de tres décadas de prueba y error, antes de que se pudiera hacer lo que no se había logrado en la selva amazónica: tener una plantación de *Hevea brasiliensis*. En 1913, la goma cosechada de los árboles que crecieron de las semillas contrabandeadas desde Sudamérica inundó el mercado, y el comercio del preciado producto pasó a manos del que todavía era el Imperio Británico. (Aldabe Sara, 2004)

Para poner en contexto, hacia 1900, la región del Amazonas producía el 95% del caucho del mundo. Para 1928, su producción satisfacía apenas el 2,3% de la demanda global.

El cambio resultó permanente: la Asociación de Países Productores de Caucho Natural generaron alrededor del 90% de la producción mundial en 2017. Entre sus 12 miembros, los países con selva amazónica brillan por su ausencia: Bangladesh, Camboya, China, India, Indonesia, Malasia, Papúa Nueva Guinea, Filipinas, Singapur, Sri Lanka, Tailandia y Vietnam. Para mayor abundamiento se puede citar que Malasia, Indonesia y Tailandia producen más del setenta por ciento del caucho natural en el mundo y que América sólo contribuye con el 1% del total (Brasil y Guatemala) (Rosero H, 2006)

La oferta de caucho natural se derrumba a consecuencia de la Segunda Guerra Mundial, las empresas occidentales rápidamente y por necesidad se retoman las investigaciones para desarrollar el caucho sintético, un material derivado principalmente del petróleo que se puede adaptar a materiales con copolímeros o polímeros formados por más de un monómero. Alemania durante la "gran guerra" había comenzado a desarrollarlo, aunque a un alto costo, y tuvo que ceder sus patentes luego del tratado de Versalles, retomando su desarrollo hacia fines de los años veinte. Du Pont lo desarrolla en 1931 pero la abundancia del caucho natural hace que no se lleve a producirlo en volúmenes considerables. Sin bien luego de finalizado el conflicto bélico, se volvió a utilizar el caucho natural, ya en los sesenta las ventas de caucho sintético igualaban a las de caucho natural como materia prima para neumáticos. En la actualidad el caucho natural producido se utiliza en un 70% para la fabricación de los mismos a nivel mundial. (Aldabe Sara, 2004)

Paralelamente, durante la segunda guerra mundial, ante la ocupación japonesa al sudeste asiático durante 1942 cortó los suministros de caucho en un 90% a los aliados, es por esto que los Estados Unidos acuerda con la República del Brasil una campaña de recolección del caucho amazónico para suplir el caucho proveniente de las Indias Orientales. Consideraban improbable desde la administración Roosevelt el éxito en la guerra, sin asegurar el abastecimiento de tan preciado producto a los fines militares. Se desplazaron de esta manera unos 30.000 trabajadores, especialmente del nordeste empobrecido, de los que sólo sobrevivieron alrededor de 6.000; conocidos éstos como los "soldados del caucho". Este período se lo conoce como la segunda fiebre del caucho, aunque para el gobierno del dictador Getulio Vargas la campaña se conoció como la "batalla del caucho" (Vunovic Wilkinson X, 2009)

Extracción del caucho en Sudamérica, un genocidio invisible.

Luego de enumerar cronológicamente la historia conocida del caucho; y pretendiendo adentrarse en su impacto sobre nuestra región, vale la pena contar una historia horrorosa que nos consterna, nos abofetea, nos interpela en su invisibilidad. La extracción del caucho moldeó de una manera atroz la amazonia, fue responsable

de las más desagradables y desafortunadas actitudes aún más perversas que la de la extracción de la plata en el cerro de Potosí. Comparada con las matanzas de nativos en el Congo belga y el genocidio del pueblo judío por parte de la Alemania nazi, estos "barones del caucho" ávidos de fortuna, carentes de todo escrúpulo y con un desprecio supino por el nativo, al que etiquetaba como "infiel y salvaje" para lavar su ignominia, fueron responsables de la extinción de etnias enteras que vivían pacíficamente en el Amazonas. Brasil, Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia se vieron envueltos en tensiones que los llevaron incluso a conflictos armados y a tratados ominosos. (Steiner Sampedro C, 2014)

La voracidad capitalista de un recurso que aparecía civilizador ante el avance tecnológico, fundó ciudades para luego abandonarlas; desplazó miles de personas, la mayoría hacia un destino de esclavitud seguido de muerte; convirtió en magnates a seres deleznable que amasaron su riqueza, la que hoy aún perdura e influye, sobre los cadáveres de etnias enteras; de la misma manera que cuando tornó inaceptable ante su propia opinión pública la crueldad del sistema, posó la mirada en otras latitudes, robó el recurso y condenó aún más a la miseria y al olvido a numerosas comunidades.

La fortuna que se generó fue tal que pequeños poblados se convirtieron de la noche a la mañana en prósperas ciudades donde se nadaba en abundancia. Iquitos en Perú o Manaos en Brasil, de hicieron famosas en el mundo por su opulencia.

A modo de ilustración se transcriben dos textos que señalan los hechos, el primero el del antropólogo Wade Davis, que en su libro "El Río" describe escenas cotidianas de esa época de abundancia y el otro del norteamericano Walter Handnrburg, autor del libro "El Putumayo, el paraíso del diablo" quien relata el proceso de extracción del caucho realizado por la compañía de Julio César Aranda, un barón del caucho peruano, a expensas de los indios huitotos en la amazonia hoy colombiana.

"Los magnates del caucho prendían sus habanos con billetes de cien dólares y aplacaban la sed de sus caballos con champaña helado en cubetas de plata. Sus esposas, que desdeñaban las aguas fangosas del Amazonas, enviaban la ropa sucia a Portugal para que la lavaran allá. Los banquetes se servían en mesas de mármol de Carrara, y los huéspedes se sentaban en asientos de cedro importados desde Inglaterra. Después de cenas que costaban a veces hasta cien mil dólares, los hombres se retiraban a elegantes burdeles. Las prostitutas acudían en tropel desde Moscú y Tánger, El Cairo, Paris, Budapest, Bagdad y Nueva York. Existían tarifas fijas. Cuatrocientos dólares por vírgenes polacas de trece años. Hasta ocho mil dólares por las mujeres más codiciadas, las que se bañaban en champaña fría para que sus clientes arrodillados,..." (Davis W., 1953)

"Armados con machetes, los indios penetran en las profundidades del bosque, destruyendo espantosamente cada árbol de caucho que pueden encontrar, frecuentemente cortándolos tanto y tan profundamente, en sus frenéticos esfuerzos por extraer la última gota de leche, que un gran número de árboles morían anualmente, la leche baja por el tronco del árbol y se seca allí. Unos días después, los indios regresan y, recogiendo las cuerdas de goma, los colocan en canastas, que llevan a sus chozas sobre sus espaldas.

Aquí, para quitar algunas de las piezas de madera, hojas secas, trozos de corteza, arena y otras impurezas, los indios colocan la goma en una quebrada y la

baten bien con palos; de esta manera, se eliminan algunas de las muchas materias extrañas y el caucho se hace más compacto. Luego se enrolla en rollos grandes y, expuesto al aire y la luz, pronto se vuelve de un color opaco, negruzco, y está listo para el envío.

A la expiración de los diez días los esclavos empiezan con sus cargas sobre sus espaldas, acompañado por sus mujeres y niños, que les ayudan a llevar a la goma. Cuando llegan a la sección de casas, el caucho se pesa en presencia del jefe de la sección y sus subordinados armados. Los indios saben por experiencia lo que debe marcar la aguja del equilibrio, y cuando indica que han entregado la cantidad total, saltan y se ríen con placer. Cuando no lo hace, se tiran boca abajo en el suelo, (Handenburg Walter, 1912)

2.1. Caucho natural

El caucho natural, también conocido como *Cauchuc* o *Pará caucho* es un dieno natural del isopreno (2-metil-1,3-butadieno), que se obtienen a partir de la secreción lechosa o látex, de varias plantas, principalmente de la especie *Hebea brasiliensis*.

La forma en que se ubican los enlaces dobles en el compuesto isopreno en la naturaleza da lugar a dos isómeros, el caucho y la gutapercha. Que es un material más duro y frágil que el caucho, razón por la cual posee una variedad de aplicaciones menores. (McMurry J. , 2012)

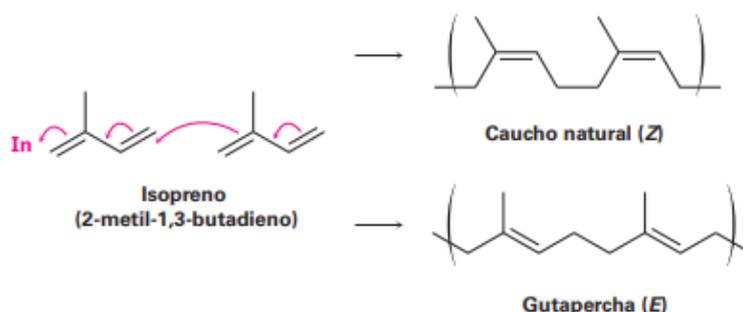


Figura 14 El isopreno y sus dos isómeros (McMurry J. , 2012)

Este látex obtenido a partir de incisiones oblicuas en el talle del hevea brasiliensis,, presenta una distribución promedio de sus componentes tal como se detalla en la tabla siguiente. Los procesos que se detallarán más adelante serán necesarios para obtener la máxima cantidad de caucho natural posible, que se encuentra dentro del látex en pequeñísimas gotas en suspensión.

Constituyentes	Porcentaje (%)
Agua	55...70
Caucho	30...40
Resinas	1,5...2
Proteínas	1,5...3
Cenizas	0,5...1
Azucar	1...2

Tabla 2: Constituyentes en porcentajes del látex (Transport Información Service Deustchen, 2020)

La extracción de éste caucho en forma sólida se lleva a cabo por coagulación mediante ácido fórmico o ascético. Para lograr que el caucho sea más maleable y se puedan añadir otros elementos, se rompen parcialmente las largas cadenas de polímeros de la sustancia natural mediante la masticación, proceso mecánico descubierto por Thomas Hancock en 1820, que rompe las cadenas de polímeros y reduce su peso molecular. (World Rubber Conference, 2013)

Posteriormente al caucho natural, luego de la etapa de masticación, se los somete a otros procesos que lo transformará. En el de mezclado se lo amasa junto con aditivos plastificantes hasta obtener una pasta homogénea. Esta mezcla luego es moldeada por compresión, por inyección o calandrado. (Transport Información Service Deustchen, 2020). Finalmente se somete al caucho natural al proceso vulcanización, del que ya se ha comentado y que consiste en someterlo a temperatura (125 – 150°C), el cual en presencia del azufre adquiere mayor resistencia y elasticidad.

El caucho natural se utiliza en muchos diferentes productos finales, pero el sector más importante y que absorbe alrededor del 70% de su producción, es el de neumáticos. Otros usos para el caucho natural como el de mangueras, cinturones, calzado, instrumentos quirúrgicos y telas cauchutadas, utilizan el resto. (World Rubber Conference, 2013)

La producción mayoritaria del mismo se da en países del sudeste asiático y de Africa, ya que el árbol del *Hebea braillensis* es productivo en un acotado rango de latitudes, y como se ha descrito, se ha alejado de nuestras tierras. Indisolublemente ligado a los ciclos económicos mundiales, a través de la producción automotriz con su alto consumo del caucho para sus neumáticos, el precio del caucho varía acompañándolos. En la actualidad, luego de haber experimentado su máximo luego de la crisis de 2008, con la caída subsiguiente y su lenta recuperación, se encuentra en valores muy bajos. Se explica en parte, por el abultado stock existente luego de la caída mencionada y por el hecho, de que países como India y China, grandes consumidores del producto, ingresaron como importantes productores de caucho a escala global para satisfacer su mercado interno.

Goma Precio Mensual - centavos de dólar americano por libra

Rango 6m 1a 5a 10a 15a 20a 25a 30a

jun. 2000 - may. 2020: 0,680 (101,49 %)

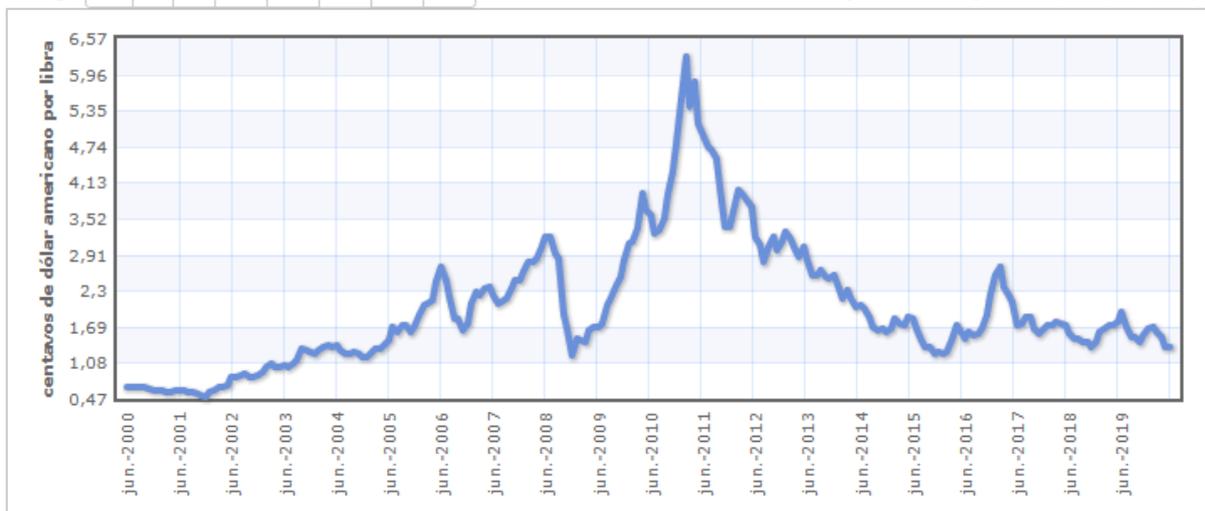


Figura 15: Evolución del precio del caucho natural (Rubber N°3 RSS3) (Index mundi, 2020)

Se prevé que la demanda de caucho natural con destino a los neumáticos se mantenga estable, en un leve crecimiento sostenido; mientras que la demanda para otros usos disminuya paulatinamente. Principalmente debido a la migración hacia cauchos especiales, de diseño, que brinden características especiales que necesite la industria; y que en algunas aplicaciones resulte más simple el reemplazo del caucho natural que en el sector de los neumáticos. (FAO Informe caucho natural, 2004).

La baja en la cotización del caucho ha llevado a una crisis incipiente en los lugares de producción, que ha frenado la expansión de sus plantaciones para reemplazarlos por otros productos agrícolas más rentables. En contraposición con esto, en nuestra región particularmente en Colombia, se ha fomentado desde el estado la conversión de plantaciones ilegales vinculadas al narcotráfico, por plantaciones de árbol de caucho. Esto es particularmente importante ya que el tiempo necesario para la producción requiere de 5 a 6 años desde la plantación del árbol, para poder extraer sustentablemente el látex. La producción se da por espacio de 25 a 30 años y luego se transforma en una madera semidura, con amplia aceptación en el mercado maderero. (Naranjo Osorio L, 2013)

Como reflexión, se cree conveniente advertir que, si bien en la actualidad el caucho sintético desplaza lentamente al caucho natural, en un escenario con un horizonte lejano y en virtud del inexorable agotamiento del recurso hidrocarburoífero, alcance un futuro promisorio. Pueda ser que al fin, este recurso alguna vez inmensamente requerido, que definió para bien o para mal el destino de muchos de nuestros pueblos, retorne como forjador de bienestar y desarrollo, aportando un poco de justicia reparadora.

2.2. Caucho sintético.

La fabricación del caucho sintético forma parte de los procesos del sector petroquímico. Existen más de 20 categorías importantes de caucho sintético, que se definen como sustancias con propiedades similares a las del caucho natural, pero que se produce artificialmente por polimerización de hidrocarburos insaturados de dos subproductos del petróleo, el estireno y el butadieno. (World Rubber Conference, 2013)

Son varios los cauchos sintéticos que se producen en la actualidad, además del SRB que es el más importante en el sector de los neumáticos, como el neopreno, buna, caucho de butilo y otros cauchos especiales.

Tipos de caucho sintético:

Neopreno. Fue uno de los primeros cauchos sintéticos logrados, salió al mercado en 1931 bajo el nombre de DuPrene, representa el 5% del mercado mundial de elastómeros. Se polimeriza el cloropeno (2-cloro-1,3 butadieno), un excelente, aunque caro, caucho sintético con buena resistencia al clima. El neopreno se utiliza entre otras cosas, en la producción de mangueras y guantes industriales. (McMurry J. , 2012)

Buna S: Se sintetizó en Alemania en 1935 y es el primero de una serie de cauchos sintéticos llamados buna, obtenidos por copolimerización. Su nombre remite a las iniciales de sus comonomeros el butadieno y natrium (sodio), empleado como catalizador. Es un elastómero de nitrilo que ofrece buena resistencia a la abrasión,

baja permeabilidad al gas y una alta resistencia dieléctrica. (World Rubber Conference, 2013)

Caucho de butilo: Se produjo por primera vez en 1949, se obtiene por copolimerización del isobutileno con butadieno o isopreno. Es plástico y puede trabajarse como el caucho natural, es difícil de vulcanizar y no es tan flexible como otros sintéticos, es resistente a la oxidación y a la acción de productos corrosivos. Debido a su baja permeabilidad a los gases, se utiliza en los tubos interiores de las llantas de automóviles.

EPDM: Otro tipo de caucho sintético es el monómero dieno propileno etileno (EPDM), es el tercer segmento más importante en el mercado mundial de caucho sintético y se utiliza principalmente en el sector de autopartes, en mangueras y en materiales aislantes eléctricos, entre otras aplicaciones (World Rubber Conference, 2013)

2.3. El caucho SRB

El caucho de estireno butadieno, caucho SBR, es un copolímero del estireno y del 1,3 butadieno, es un material que clasifica como un elastómero artificial

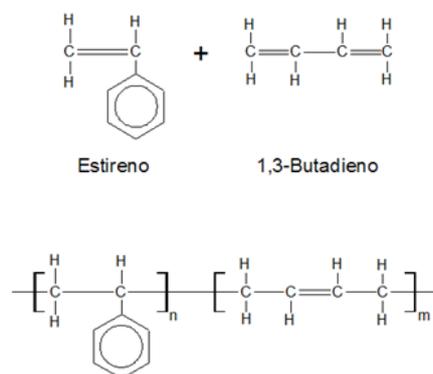


Figura 16: Caucho sintético.

El elastómero SBR es un sustituto del caucho natural. Su resistencia a la tracción después de mezclado con negro de humo y vulcanizado es inferior a la del caucho natural, pero en cambio tiene una mayor elongación. Igualmente, en resistencia superficial es superior al caucho natural y tiene mejor resistencia a los disolventes y a la intemperie. El sector del neumático es el primer sector que utiliza el SBR, ya que consume el 75% de lo fabricado en el mundo.

Tiene la ventaja de que su producción tiene una buena relación de costo-utilidad. El caucho sintético se desarrolló para ser usado en la disminución de las fuentes naturales del caucho como hemos visto previamente, especialmente para la fabricación de neumáticos sustituyendo al caucho natural que en distintos procesos históricos, escaseaba (Juárez D, 2013).

Clasificación de los cauchos SBR:

Una clasificación de los cauchos SRB basada en el proceso de obtención, de acuerdo con el código del "International Institute of Synthetic Rubber Producer" (IISRP), que ordena los copolímeros de SRB en distintas categorías:

Serie 1000: Copolímeros obtenidos por copolimerización en caliente.

Serie 1500: Copolímeros obtenidos por copolimerización en frío. Sus propiedades dependen de la temperatura de reacción, del contenido de estireno y emulsificante. Esta variación en sus parámetros afecta el peso molecular y por lo tanto las propiedades de la mezcla vulcanizada.

Serie 1700: Copolímero de la serie 1500, pero extendida con aceite.

Series 1600 y 1800: Se mezcla negro de carbón con goma SRB 1500 durante la producción mediante la incorporación de una dispersión acuosa de negro de carbón con látex de SRB previamente extendido con aceite. Se obtiene una mezcla maestra cercana al producto final luego de la coagulación y secado. (Juárez D, 2013)

Propiedades y características del caucho SBR.

En la siguiente tabla se compara al caucho natural con el SBR, se puede apreciar que se debe adicionar otros polímeros al último para igualar las prestaciones del caucho natural, en la fabricación de neumáticos.

Propiedades	Caucho natural	SRB
Rango dureza shore A	20-90	40-90
Resistencia a la rotura	Buena	Regular
Resistencia a la abrasión	Excelente	Buena
Resistencia a la compresión	Buena	Excelente
Permeabilidad a los gases	Regular	Regular

.Tabla 3: Comparación de propiedades entre el caucho natural y el SBR. (Botasso G, 2007)

Los cauchos SBR se procesan en los mismos equipos y del mismo modo que el caucho natural. La primera diferencia radica en que necesita menor masticación inicial para un adecuado procesamiento posterior. Requieren algo más de potencia y generan más calor durante el mezclado. Su viscosidad es más constante y menos sensible a la masticación mecánica, permiten establecer condiciones de trabajo normalizadas con menor riesgo de variación durante el proceso.

Por su mayor capacidad de carga de negro de humo puede mezclarse con secuencia invertida en menor tiempo y con una buena dispersión de mezclado.

Resistencia a la rotura.

Las propiedades dinámicas del caucho SRB limitan su uso para aplicaciones donde la generación de calor es importante. Esa desventaja es crítica, cuando se trata de artículos de goma de gran espesor, sometidos a esfuerzos repetitivos, por la mala eficiencia en la disipación del calor.

Degradación:

El caucho SBR aventaja al caucho natural tanto en resistencia a la reversión como a la resistencia al ozono y al envejecimiento oxidativo en general.

Resistencia a la abrasión:

Este caucho sintético tiene buena resistencia al desgaste, se comporta mejor que el caucho natural en este sentido, y de allí su uso casi universal en las bandas de

rodamiento para neumáticos de automóviles. Se incrementa su resistencia de acuerdo a la cantidad y tipo del negro de humo agregado y se mejora notablemente, si se lo combina con caucho polibutadieno.

Proceso de producción del caucho SBR

La mezcla de estos dos monómeros se polimeriza mediante dos procesos completamente distintos; el proceso de solución (S-SRB) o de emulsión (E-SRB). (World Rubber Conference, 2013)

Las proporciones respectivas del butadieno y el estireno en copolímeros son de aproximadamente el 75% y el 25% en peso para lograr el caucho SBR sintético. Básicamente existen dos procesos industriales diferentes:

Procesos de polimerización en emulsión en frío.

Procesos en los que la polimerización se lleva a cabo mediante el uso de radicales libres en emulsión de agua y a bajas temperaturas (emulsión en frío). El tipo más común de ésta polimerización es una emulsión de aceite en agua, en la que las gotitas del monómero (aceite) se emulsionan con los tensioactivos (surfactantes) en una fase continua de agua.

El método de emulsión en caliente se descartó en favor de la primera con la adopción de sistemas redox. Es la técnica más utilizada y representa alrededor del 90% de la producción mundial. Son procesos continuos, altamente automatizados y se pueden producir distintos tipos de cauchos sintéticos SBR. (todoenpolímeros, 2017) .El proceso consta de cuatro fases principales: preparación de reactivos, polimerización, recuperación de monómeros, y coagulación y secado de goma. Son licenciatarios de este proceso Firestone Tire and Rubber, Goodrich, Polymer Corporation e International Syntetic Rubber.

Procesos de polimerización en solución aniónica

Estos procesos representan el 10% de la capacidad mundial, ofrecen la ventaja de una gran flexibilidad, dado que permite la producción de SBR mediante el uso de iniciadores en base de litio. Sin embargo, las gradaciones de SBR en estos procesos son más difíciles de procesar que en los sistemas de procesos en emulsión, dificultando su utilización en neumáticos. El iniciador es butilo de litio, el solvente es un hidrocarburo como el hexano, produce un polímero más viscoso al final de la reacción. Los reactores donde se llevan a cabo las reacciones son de acero vitrificado, encamisado y equipados con un agitador de turbina. La reacción de polimerización se hace a 1,5 bares y a 50°C y se necesitan 4 horas para lograr una conversión del orden de 98% (Castro G, 2008). Son licenciatarios de estos procesos Firestone Tire and Rubber Company, Phillips Petroleum Company y Shell.

La tabla 4 muestra la comparación entre estos dos procesos de obtención de la polimerización del SRB.

Propiedades	Emulsión en frío	Solución
Resistencia a la tensión (kg/cm ²)	211	227
Elongación a la rotura (%)	380	470
Módulo (300%) (Kg/cm ²)	155	137
Resistencia al desgarro (lb/in a 20°C)	320	310

Tabla 4: Comparación entre los procesos de polimerización del SBR

3) BIBLIOGRAFIA

- Albiano N., V. L. (2015). *Toxicología laboral: criterio para el monitoreo de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas*. Buenos Aires: Superintendencia de Riesgos de Trabajo - Pag 517.
- Aldabe Sara. (2004). *Química 2: química en acción*. Buenos Aires: Ediciones Colihue s.r.l.
- Andrade Caballero A, P. A. (2005). Diseño básico de una planta procesadora de látex de caucho. *Trabajo final para Ingeniería Industrial*. Bucamaranga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Aran Asís F. (2000). *Síntesis y caracterización de poliuretanos termoplásticos que contienen resinas de colofonia y su aplicación como adhesivos*. Alicante: Universidad de Alicante - Tesis doctoral.
- Askeland Donald R. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Mexico: Internacional Thomsom Editores S.A.de C.V.
- Askeland, D. R. (2001).
- Askeland, D. R. (2001).
- Autino J.C., R. G. (2013). *Introducción a la Química Orgánica*. La Plata: Edulp.
- Belda Ferrín A. (2013). *Diseño de un reactor químico para la fabricación de resinas de poliuretanos*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Botasso G. (2007). *Inclusión de caucho reciclado en mezclas asfálticas*. La Plata: UTN frlp Tesis de magister Ingeniería Ambiental.
- Castro G. (2008). *Materiales y compuestos para la industria del neumático*. Buenos Aires: Facultad de Ingeniería - UBA.
- Davis W. (1953). *El río: exploraciones y descubrimientos en la selva amazónica*. Bogotá: Editorial Planeta Colombiana S.A.
- Echt A. (2001). Cultivo del árbol de caucho. En F. J. Beliczki L, *Industria del Caucho*. Madrid: INSST.
- FAO Informe caucho natural. (2004). *Caucho natural. Perspectivas a plazo medio de los productos básicos agrícolas*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO.
- Galeano E. (1971). *Las venas abiertas de América Latina*. Buenos Aires: Siglo veintiuno editores s.a.
- García Perez J. M. (2014). *La edad de los polímeros. Un mundo de plástico*. Burgos: Universidad de Burgos.
- Gutiérrez López V.M. (2013). *Síntesis y caracterización de resinas de curado rápido para la elaboración de componentes herpéticos de iluminación automotriz*. Nuevo León: Universidad de Nuevo León.

- Handenburg Walter. (1912). *El Putumayo, el paraíso dle diablo; viajes en la región amazónica peruana y un relato de las atrocidades cometidas contra los indios en el mismo*. EE UU: Truth Magazine.
- Hermida Elida. (2011). Polímeros. En I. d. Tecnológica, *Materiales y materias primas*. Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación.
- Hernández Muñoz L. (2006). El antiguo oficio del resinero. En P. y. Ministerio de agricultura, *Hojas Divulgadoras Num. 2116 HD* (págs. 2-6). Madrid: I.G.SALJEN S.L. .
- Index mundi. (9 de julio de 2020). *Goma precio diario*. Obtenido de Precios de mercado: <https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=goma&meses=240>
- Juárez D, B. R. (2013). Estudio y análisis de los polímeros derivados del estireno-butadieno. *3 Ciencias - Revista de Investigación*, 1-17.
- Kalpakjian S. Schmid S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson.
- McMurry, J. (2012). *Química Orgánica*. Mexico: Cengage Learning.
- McMurry, J. (s.f.). *Química Orgánica*, (Vol. 5ta. Edición).
- McMurry, J. (s.f.). *Química Orgánica, 5ta. Edición*.
- Naranjo Osorio L. (2013). Estudio sobre el mercado del caucho natural. *Escuela de Administración y Finanzas*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Pinillos Herrero F.M., P. N. (2009). *La Resina: Herramienta de conservación de nuestros pinares*. Soria: Cesefor.
- Quiroz C., M. J. (2015). *Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales*. Mexico: Maderas y Bosques 21 Pags 171-183.
- Rosero H, T. D. (2006). *Manual técnico del cultivo de caucho - Hevea Brasiliensis*. Bogotá: Biblioteca Digital - Ministerio de Agricultura de Colombia.
- Steiner Sampedro C, P. B. (2014). *El paraíso del diablo. Roger Casement y el informe Putumayo, un siglo después*. Bogotá: Ediciones Uniandes - Universidad de los Andes.
- todoenpolímeros. (30 de 06 de 2017). *Polimerización en emulsión*. Obtenido de www.todoenpolimeros.com: <https://todoenpolimeros.com/2017/06/30/polimerizacion-en-emulsion/>
- Transport Información Service Deustchen. (2020). *tis-gdv.de*. Obtenido de Natural rubber: https://www.tis-gdv.de/tis_e/ware/kautschuk/naturkautschuk/naturkautschuk.htm/
- Tuñón García I. (2020). Macromoléculas y coloides. En Tuñón García I, *Química Física*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Vallejos Calzada S. (2010). *Estudio de la reducción de emisión de formaldehído en las resinas de urea formaldehído*. Burgos: Universidad de Burgos.
- Vunovic Wilkinson X. (2009). Tapping the Amazon for victory: Brazil's "Battle for Rubber" of world war II. *Georgetown University*, (pág. 138). Washington.
- World Rubber Conference. (2013). Report World Rubber Conference. www.worldrubberconference.com. Budapest: IndustriALL Global Union.
- www.tecnocarreteras.es. (2013). Caucho de diente de leonn para fabricación de neumáticos. España: TecnoCarreteras.

Capítulo 2: Los neumáticos, la generación de NFU y el caucho reciclado

Tesis: "Desarrollo de baldosas con caucho reciclado de neumáticos fuera de uso"

Capítulo 2: Los neumáticos, la generación de NFU y el caucho reciclado

En el **capítulo 2 "Los neumáticos, la generación de NFU y el caucho reciclado"** se detalla el proceso de fabricación de neumáticos y sus componentes. *¿En qué lugar se encuentra la industria en la actualidad?*, el compromiso ambiental, el etiquetado de neumáticos y los diseños vanguardistas que ya se vislumbran por parte de las principales empresas fabricantes para el futuro a mediano plazo. Luego se describe la generación de residuos a partir del desecho de neumáticos usados que han agotado el período de su vida útil. Posteriormente se describe el caucho reciclado, en forma especial, el de neumáticos fuera de uso y los procesos a los que se los puede someter para su valorización. Particularmente la trituración mecánica para obtener la granza de caucho reciclado, materia prima de las baldosas que se estudian en la presente tesis. Se describen las posibles aplicaciones de los neumáticos tanto enteros como triturados.

1. LOS NEUMATICOS

1.1. Industria de los neumáticos.

Proceso de fabricación de los neumáticos modernos.

La mezcla de cauchos más utilizada es el copolímero estireno-butadieno (SBR) o una mezcla entre el caucho natural y el SBR. Todos los tipos de cauchos tienen diferentes propiedades, pero también algo en común, todos, los naturales y sintéticos, una vez vulcanizados, pueden ser muy duraderos, por lo que su degradación se da en una gran cantidad de tiempo.

La combinación entre los cauchos naturales y sintéticos se diseña para que los primeros proporcionen elasticidad y los sintéticos, estabilidad térmica. Así, los neumáticos producidos de esta manera, combinan durabilidad y elasticidad, logrando una mejor adaptación a las constantes exigencias del tránsito.

El proceso de vulcanización al que se someten los neumáticos es básicamente un entrelazamiento de cadenas de polímeros con moléculas de azufre a alta presión y temperatura. Durante el proceso, el material pasa de ser un termoplástico a uno elastomérico. Presentando un cambio importante en la respuesta a la carga, posibilitando deformaciones muy diferentes entre ellos. (Castro G, 2008)

En la figura 1 se puede apreciar el esquema para la fabricación de neumáticos en forma general, la mezcla de cauchos junto con el negro de humo o sílice y otros productos químicos que le aportarán diferentes características buscadas, se introduce en un mezclador (malaxador Bambury), lugar donde tendrá lugar el proceso de mezclado

Entre los productos adicionados al caucho se cuentan activadores, antioxidantes, antionizantes, ceras para facilitar la extensión de caucho, vulcanizadores, pigmentos plastificantes, arcillas de refuerzo y resinas (Frederick James S, 2001).

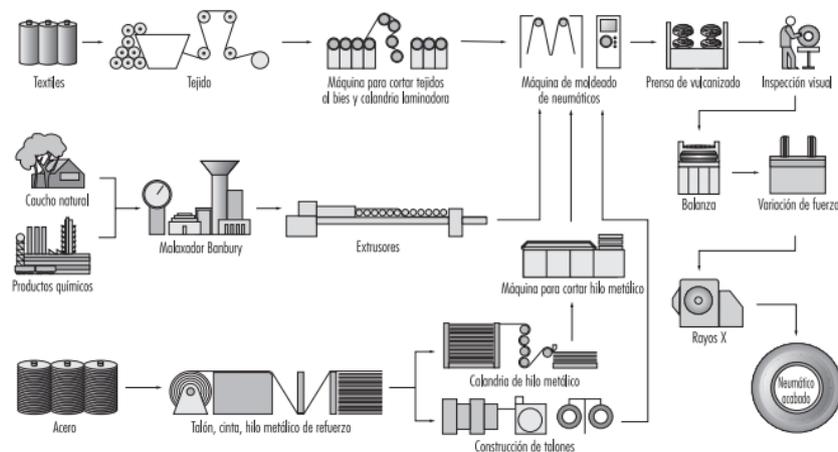


Figura 1: esquema del proceso de fabricación de neumáticos (Frederick James S, 2001).

Luego de completado el proceso de mezclado, el caucho pasa a un proceso de masticación en un laminador. Este proceso transforma las placas de caucho en largas láminas al pasar por dos cilindros que giran en direcciones opuestas y diferentes

velocidades. Posteriormente las láminas de caucho pasan por las calandrias en donde se le realizan distintos procesos, saliendo de éstas en forma de láminas tal cual entraron, en cambio el extrusor produce tubos de caucho con éstas láminas.

Finalmente se procede al montaje final del neumático en un proceso automatizado en donde se colocan en su posición final los elementos constitutivos de éste. El neumático así preparado suele denominarse "neumático verde" y es el que ingresa al proceso de vulcanización, mediante el cual pasa de ser un material esencialmente plástico para transformarse en un material elástico listo para su uso. (Frederick James S, 2001)

1.2. Pautas para el diseño de un neumático moderno.

Componentes de los neumáticos.

Los neumáticos modernos están constituidos con alrededor de 200 componentes, que juegan un factor importante en cuanto la seguridad, el funcionamiento y el cuidado del medio ambiente.

Se dividen en seis grandes grupos:

- ✓ Elastómeros (cauchos naturales y sintéticos)
- ✓ Rellenos de refuerzo (negro de humo y sílice)
- ✓ Plastificantes (resinas, aceites)
- ✓ Elementos químicos (azufre)
- ✓ Refuerzos metálicos (cables, varillas)
- ✓ Refuerzos textiles (rayón, aramida, nylon, poliéster, etc).

Elastómeros: La combinación de los distintos cauchos se realiza de modo que los naturales proporcionen elasticidad y los sintéticos, mejor estabilidad térmica. Esta combinación favorece la durabilidad y capacidad de adaptarse a las nuevas exigencias del tránsito.

Rellenos de refuerzo: La adición de cargas abarata el valor del neumático, proporcionándole cuerpo, rigidez y mejoran sustancialmente la durabilidad de los cauchos. Para tal fin, se utilizan el negro de humo, pequeñas partículas de carbón, y sílice.

Plastificantes: se agregan para facilitar la preparación y elaboración de las mezclas, y se utilizan para el control de la viscosidad. Reducen la fricción interna durante el proceso y mejoran la flexibilidad a bajas temperaturas del producto. Se utilizan para ello aceites minerales (aromáticos, nafténicos y parafínicos) y de tipo éster.

Químicos: se agrega azufre como agente vulcanizante, para entrecruzar las cadenas del polímero del caucho durante el proceso de vulcanización. También se adicionan acelerantes, compuestos órgano sulfurados, benzotiazol y derivados, óxido de zinc y ácido esteárico.

Retardantes: Nitrógeno (aminas) y antioxidantes, antiionizantes y adhesivos.

Capítulo 2: Los neumáticos, la generación de NFU y el caucho reciclado

Tesis: "Desarrollo de baldosas con caucho reciclado de neumáticos fuera de uso"

Refuerzos metálicos y textiles: componen el esqueleto del neumático, generando formas geométricas y rigidez. Usualmente incorporados al neumático en forma de hilos o fibras, además aportan resistencia, la cantidad varía según el fabricante.

En las siguientes tablas se pueden ver las magnitudes y su peso, dentro de la fabricación de un neumático promedio. La tabla 1 se refiere a los neumáticos de vehículos automóviles y la tabla 2 a un neumático promedio de camión o de autobús. (Castro G, 2008)

Componente	Cantidad
Caucho Natural (%)	14
Caucho sintético (%)	27
Negro de humo (%)	28
Acero (%)	14-15
Fibra Textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc. (%)	16-17
Peso Promedio (kg)	8,6
Volumen Promedio (m3)	0,06

Tabla 1: Componentes de un neumático típico de automóvil. (Castro G, 2008)

Componente	Cantidad
Caucho Natural (%)	27
Caucho sintético (%)	14
Negro de humo (%)	28
Acero (%)	14-15
Fibra Textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc. (%)	16-17
Peso Promedio (kg)	45,4
Volumen Promedio (m3)	0,36

Tabla 2: Componentes de un neumático típico de camión o bus (Castro G, 2008)

1.3. Partes constituyentes de los neumáticos.

Las partes más importantes en el neumático son las que se describen en la figura 2. Cada una de ellas posee una función específica en la actual composición de la estructura radial.

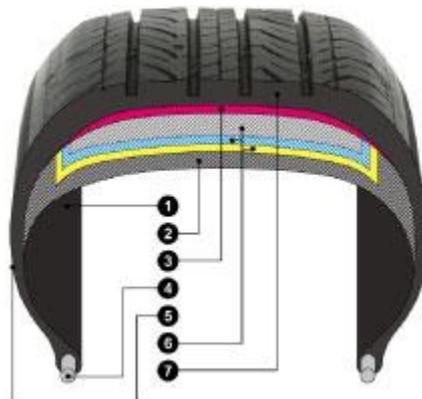


Figura 2: partes componentes de un neumático radial

1. Una capa de caucho sintético estanca al aire. Esta capa se ubica en el interior del neumático y sirve de cámara de aire.
2. La lona de carcasa que está compuesta por cables delgados de fibras textiles en arcos dispuestos en ángulos rectos y pegados al caucho. Gracias a ellos el neumático puede resistir mejor la presión.
3. Un relleno de zona baja que se encarga de transmitir los pares de motor o de frenado de la llanta hacia la zona de contacto con el suelo.
4. Los aros sirven para que el neumático se ajuste a la llanta.
5. Los flancos de goma flexible protegen el neumático de los choques que podrían dañar la carcasa, como, por ejemplo, los choques contra los cordones cunetas.
6. Las lonas de cima están armadas con cables de acero muy finos pero muy resistentes, están cruzadas oblicuamente y pegadas unas a otras. El cruce de sus hilos con los de la carcasa forma triángulos indeformables que garantizan la rigidez de la cima.
7. La banda de rodamiento es la parte que contiene el dibujo del neumático y que está en contacto con la calzada. Sus funciones son las de poder resistir esfuerzos muy importantes. La mezcla de goma que la constituye tiene que ser adherente a todo tipo de superficie, resistir el desgaste, la abrasión y tiene que calentarse poco.

Si bien se referenció al principio que la explosión de la industria del neumático se dio con la invención de la válvula de aire, el neumático (ya neumático) poseía cámara. Con los años este esquema fue reemplazado por el neumático radial, que posee un recubrimiento interno que oficia de cámara para que no escape el aire, porque de esta manera, se alarga notablemente el tiempo en que pierde el aire contenido. Obviamente este hecho redundaba en una mayor seguridad, pues un pinchazo en la actualidad, produce una pérdida lenta del aire.

Etiquetado de neumáticos.

Desde el 1° de noviembre del 2012 rige, en los países de la comunidad europea, el etiquetado de los neumáticos. El Parlamento Europeo emitió este reglamento con el objeto de medir la eficiencia de las cubiertas de acuerdo a tres aspectos: la resistencia de la rodadura al asfalto, con lo cual se mide indirectamente el consumo de combustible y la emisión de CO₂; la adherencia a superficies y asfaltos mojados, algo que incide directamente en la seguridad que ofrecen los neumáticos; y por último, el ruido o contaminación acústica del neumático. (Fundación CEA, 2014)

El etiquetado, inspirado en la tesis del cambio climático, ofrece al consumidor información fundamental a la hora de conocer el rendimiento que brindarán los neumáticos.

La resistencia a la rodadura se aprecia en la etiqueta en la figura que contiene un surtidor de combustible, varía desde la A a la G, la diferencia de consumo entre estos extremos se sitúa en el orden del 7,5%, con el consiguiente ahorro en la emisión de CO₂.

En la adherencia sobre piso mojado, igualmente, se diferencian entre la A (menor distancia de frenado) y la G (mayor distancia de frenado), entre los extremos se verifica un diferencial del orden del 30% en la distancia de frenado.

Capítulo 2: Los neumáticos, la generación de NFU y el caucho reciclado

Tesis: "Desarrollo de baldosas con caucho reciclado de neumáticos fuera de uso"

El tercer aspecto que el etiquetado de neumáticos aborda, el del ruido de los neumáticos al rodar, está presente con una bocina y tres sectores de ondas. Estas ondas de color negro indican el nivel de ruido alcanzado al rodar en carreteras y autopistas. Obviamente, las de una sola onda en negro son más silenciosas y las tres ondas negras, representan el nivel mayor de contaminación acústica.

Algunos aspectos no han sido tenidos en cuenta en el etiquetado de neumáticos por el Parlamento Europeo, por carecer de certezas en sus mediciones; tales como la durabilidad del neumático, la adherencia en piso seco y nevado. Otra incertidumbre se genera en el hecho de que el etiquetado lo coloca el fabricante, y son varias las fábricas asiáticas que proveen de neumáticos a la UE, particularmente en el mercado de cubiertas de bajo costo. (Fundacion CEA, 2014).

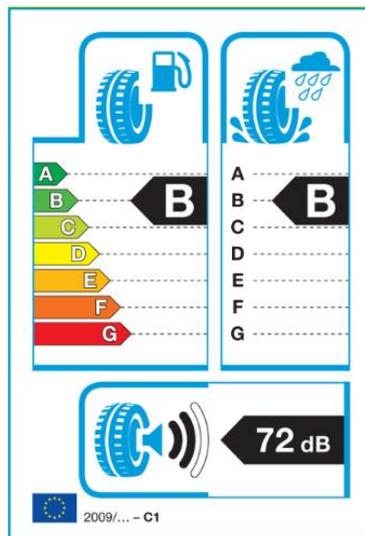


Figura 3: Etiquetado de neumáticos europeo

El futuro del neumático

Es tendencia entre las principales fabricantes orientar sus desarrollos hacia “neumáticos verdes”, más amigables con el medio ambiente y pensando que el consumidor, tiene un importante compromiso ambiental. Bridgestone por ejemplo, sostiene que los aspectos a tener en cuenta para el desarrollo del neumático del futuro son: los cambios regulatorios; la necesidad de sustentabilidad ambiental; la carrera por crear vehículos autónomos; los cambios en la demografía global y los cambios en el comportamiento de la sociedad. (Automotiva, 2019)

En el futuro las empresas fabricantes de neumáticos más importantes a escala global están pensando en nuevos materiales, materiales biodegradables, fácilmente reciclables, sin depender de la industria del petróleo. Estudios de la empresa Michelin sitúan el consumo de petróleo por neumático en el orden de los 27 litros. Ruedas sin aire, compuestas de materiales biodegradables, con la posibilidad de reimprimir su banda de rodadura por medio de impresoras 3D, se avistan en el horizonte para las décadas siguientes. Michelin Visión, Goodyear Oxigene y Air Free Tire de Bridgestone, son apenas conceptos, pero que en el caso de la empresa francesa ya está prevista su producción para mediados de la década entrante.

En el futuro, el neumático tal como lo conocemos experimentará sustanciales cambios que lo harán más amigable con el ambiente, pero por ahora, en el mientras tanto, la utilización del material reciclado de neumáticos fuera de uso es una tarea prioritaria, por los motivos que en el presente trabajo se han explicitado.



Figura 4: posibles variantes.

1.4. Producción de neumáticos en el mundo.

Después de años de enconadas guerras de precios, consolidación y la inevitable pérdida de empleos, el sector mundial del neumático registra un elevado nivel de concentración. De un valor de 80.000 millones de dólares EE.UU. en 2004, el sector se derrumbó a menos de la mitad de esa cifra cuatro años más tarde.

Los tres más grandes fabricantes de neumáticos del mundo, Bridgestone, Michelin y Goodyear, controlan colectivamente el 58% del mercado mundial del neumático desde hace más de cinco años. En 2012, los tres fabricantes, junto con sus filiales y participaciones en empresas mixtas representaban en total 76.000 millones de dólares de ventas, es decir, 40% de las ventas estimadas de neumático en el mundo.

A medida que las tres empresas han ido creciendo y ampliando su extensión geográfica a través de adquisiciones y empresas mixtas, también ha ido creciendo su cuota de mercado mundial del 55% en 1999 al 58% en la actualidad. Estas tres empresas generan por lo menos el 75% de su cifra de negocios de la fabricación de neumáticos. En el gráfico n° 1 se puede observar la participación en dólares, donde la suma de las tres empresas líderes expresa precisamente el 41,1 % de las ventas en dólares de la industria mundial de neumáticos (Kohn M., 2016).

Capítulo 2: Los neumáticos, la generación de NFU y el caucho reciclado

Tesis: "Desarrollo de baldosas con caucho reciclado de neumáticos fuera de uso"

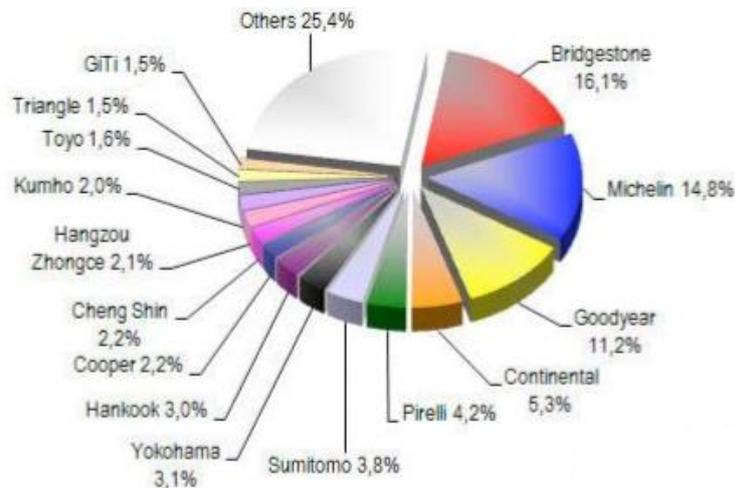


Figura 5: Gráfico de participación en el mercado mundial de fabricantes de neumáticos.

En el siguiente grupo de grandes fabricantes de neumáticos figura Pirelli, Continental AG que solo tienen intereses parciales en el segmento neumáticos y los productores asiáticos Sumitomo, Yokohama, Hankook, Cheng Shin/Maxxis International y Hangzhou Zhongce, un fabricante de neumáticos chino que tiene una participación estatal del 50% y una asociación con Zhongce Investment de Hong Kong. En conjunto esos grandes fabricantes de neumáticos controlan cerca del 25% de las ventas mundiales de neumáticos.

Otras 70 empresas tienen una cuota del 17%. Las mismas han encontrado nichos en la fabricación de neumáticos, especializándose en neumáticos de aviones, agrícolas y de vehículos pesados, e incluso los neumáticos de bicicletas y motocicletas.

La integración del sector del neumático es un factor importante en el ciclo de producción actual. Goodyear tiene una empresa mixta con una participación 75/25 con Sumitomo para sus actividades en América del Norte y Europa para la producción de neumáticos Dunlop, mientras que Sumitomo controla el 80% de P.T. Sumi Caucho de Indonesia. Bridgestone obtiene ingresos de su participación del 34% en BRISA en Turquía, así como de su participación del 16% en Nokian de Finlandia. (Kohn M., 2016)

El mayor fabricante de neumáticos del mundo, Bridgestone, sigue registrando el 21% de sus ventas de Asia, donde posee 11 plantas de neumáticos y tienen unos 20 establecimientos con diversos tipos de productos de caucho. Michelin tiene una participación del 10% en Hankook y otra participación del 10% en P.T. Gajah Tunggal, el 26º mayor fabricante de neumáticos, en el que GITI Tire Pte. Ltd. de Singapur tiene una participación del 49.8%. Mitsubishi Corp. aumentó recientemente su participación en Toyo Tire & Caucho Co a cerca del 6% con una inyección de liquidez de 25 millones de dólares. En general, todas las empresas importantes, ya sean mixtas o mediante acuerdos operativos con otros fabricantes obtienen excelentes resultados financieros gracias a la integración del sector.

En 2012, se registró un crecimiento general en los mercados del neumático y la mayoría de los grandes fabricantes publicaron cifras de crecimiento de los ingresos de dígito doble, pese a que las ventas unitarias no fueron espectaculares. Eso se debió al aumento de los precios al mayoreo, que hizo subir los márgenes, y al descenso de los costos de la materia prima en 2012. Los 10 mayores fabricantes de neumáticos representan 125.000 millones de dólares EE.UU., es decir dos tercios del mercado mundial. (Kohn M., 2016).

1.5. Producción de neumáticos en América Latina

Los principales fabricantes de neumáticos y de productos de caucho en general consideran que América Latina es una región en crecimiento. En Brasil, que se beneficia de inversiones del gobierno en infraestructura, tiene un creciente mercado de logística, una fuerte demanda interna y un mercado de máquinas agrícolas en fuerte expansión, se han registrado aumentos continuos en la fabricación y ventas de neumáticos.

Argentina, en razón de la madurez que ha alcanzado su industria automotriz y el nivel de desarrollo de sus plantas de fabricación de neumáticos, también ha registrado en la última década.

Entre los actores que aportarán inversiones extranjeras a la región figuran grandes holdings de Goodyear Tire & Rubber en varios países, Bridgestone en Argentina, Brasil, Venezuela, Costa Rica, Pirelli en Argentina, Brasil y Venezuela, y Michelin en Brasil y Colombia. Una empresa que se ha implantado rápidamente en Sudamérica es la estadounidense Titan International, que se ha fijado como estrategia mundial llevarse una mayor tajada del mercado de neumáticos para usos agrícolas en Sudamérica y en otras regiones. Titan, que ocupa el 27º lugar entre los mayores fabricantes de neumáticos del mundo, opera una fábrica existente en Sao Paulo y en 2011 adquirió toda la capacidad de producción de neumáticos agrícolas de Goodyear Tire & Rubber en América Latina. (Ortolani A., 1998).

Con un total de inversiones en el sector del neumático en la región de 2.000 millones de USD, América Latina se sitúa por detrás de Asia y el Pacífico como segunda región de las que se espera el mayor crecimiento en el mundo.

Pirelli ha invertido 500 millones de USD a lo largo de varios años en una planta de neumáticos de camión cerca de Merlo, Argentina, y ha invertido 190 millones de USD para ampliar en 57% su capacidad de producción de su fábrica de neumáticos para automóvil en Silao, México. Asimismo, la empresa italiana, anunció recientemente la realización de proyectos en Brasil y otros países latinoamericanos pro valor de 100 millones de USD para la fabricación de neumáticos todo terreno (OTR) y agrícolas. Goodyear ha decidido invertir 500 millones de USD para modernizar su planta en Santiago, Chile, un centro que fabrica neumáticos para automóviles de alto valor.

1.6. Producción de neumáticos en Argentina.

La producción de neumáticos en el país por parte de las empresas participantes en la industria, ronda los 20 millones de neumáticos/año en Argentina, considerando los diferentes tipos de usos (unos 14 millones pertenecen a los automóviles) para el consumo interno y para exportación.

Hoy producen neumáticos en Argentina:

Una empresa nacional:

- ✓ Fate, y dos multinacionales: Pirelli y Bridgestone – Firestone.

A continuación, se presenta un breve detalle histórico de las mismas:

Fate.

Fabrica neumáticos para automóviles, camionetas, camiones, maquinaria agrícola y maquinaria vial. En 1940 se instala en Argentina en una pequeña planta reparadora de neumáticos en el barrio de Saavedra. Con la experiencia acumulada, en 1945 se empiezan a fabricar neumáticos para camiones y automóviles. Posee una planta en Victoria, provincia de Buenos Aires y en Garín, también provincia de Buenos Aires. Es la única empresa nacional de producción de neumáticos. (Kohn M., 2016)

En el caso de Fate, controlada por la familia Madanes Quintanilla, de capitales nacionales, realizó en los años 2011 y 2012 inversiones por unos u\$s230 millones para la producción de neumáticos radiales para camiones y ómnibus. El proyecto, que incluye la sustitución de importaciones por u\$s90 millones, generó 380 puestos de trabajo.

En 1999 cierra un acuerdo con Continental y fabrica los neumáticos de esa marca en Argentina, comenzando a exportar incipientemente a Europa como resultado de ese acuerdo en el año 2000, obteniendo certificaciones y participando en eventos en ese continente. Para el año 2003 inaugura una planta de producción de neumáticos radiales de camión y en 2010 se asocia con Vipal, una empresa brasileña del sector, para avanzar en los mercados y tener mayor participación en la región. (Fate, 2020)

La empresa continúa operando en la actualidad, no exenta de los graves problemas económicos del país; y del mundo con la pandemia de Covid 19 durante el año en curso.

Pirelli.

En Argentina inició sus actividades en 1948, y desde entonces produce y vende todo tipo de neumáticos.

Sus fábricas en Argentina deciden la producción tanto al mercado de autos y camionetas como al de camiones.

La firma mejoró la balanza comercial de la empresa en 60 millones - parte de un plan de inversiones general de Pirelli de u\$s600 millones para los próximos tres años y que creará 1.500 nuevos empleos -. Lo que además permitirá abastecer los modelos de camionetas que se producen en el país: Amarok (Volkswagen), New Ranger (Ford) y New Hilux (Toyota). Las inversiones en el sector de neumáticos responden a la expansión del sector, traccionada por el crecimiento récord de la industria automotriz. (Kohn M., 2016)

El plan de inversiones de Pirelli se completa con la construcción de una nueva planta en Zárate para la producción de neumáticos radiales para camiones, que

Capítulo 2: Los neumáticos, la generación de NFU y el caucho reciclado

Tesis: "Desarrollo de baldosas con caucho reciclado de neumáticos fuera de uso"

demanda u\$s500 millones y crea 1.200 puestos de trabajo. Se convierte así en una planta con capacidad de producción de 4.000 neumáticos por día, que exportará dos tercios de su producción lo que implicará un incremento en las ventas al mundo de u\$s275 millones y se sustituirán importaciones por u\$s125 millones.

Pirelli es la quinta empresa en el mundo en el sector de neumáticos y provee al 10% del mercado internacional. Es una de las tres productoras de neumáticos del país (junto a Fate y Bridgestone Firestone), con una participación del 31% del mercado local. (Kohn M., 2016)

Durante 2011 la compañía facturó más de 1.600 millones de pesos, exportó por 82 millones de dólares, e incrementó un 20% su producción. En el año 2018 la firma anunció un plan de inversiones en América Latina de más de 300 millones de dólares hasta el 2020; de ellos, el 30% tendrá como destino la Argentina. (Lendoiro F., 2018)

La producción de neumáticos se ha visto afectada por la actual pandemia, pero continúa con sus actividades.

Bridgestone.

En 1915, The Firestone Tire & Rubber Co., de Estados Unidos, instalaba en Argentina una sucursal para venta de cubiertas, cámaras y accesorios.

En los años siguientes las ventas registraron un fuerte crecimiento. Tanto que en 1929, la empresa decidió montar una fábrica local que le permitiera cubrir la mayor demanda de productos Firestone.

Bajo las directivas de la Casa Central de Akron, Estados Unidos, se resolvió crear "Firestone de la Argentina Sociedad Anónima Comercial e Industrial", cuyo negocio básico sería la fabricación de cubiertas y cámaras para automotores.

Al mismo tiempo, se decidió comprar los terrenos necesarios para instalar la fábrica en Llavallol, provincia de Buenos Aires.

El 2 de febrero de 1931 quedó legalmente constituida la sociedad, y el 22 de abril del mismo año, el Teniente General José F. Uriburu, decretó la autorización para que la empresa funcionara como sociedad anónima. Una semana después, la fábrica comenzó a producir lanzando al mercado los primeros neumáticos Firestone construidas en el país por personal argentino. Con una superficie de 7 mil metros cuadrados y una capacidad de producción de 600 neumáticos diarios, el 17 de junio la fábrica fue inaugurada oficialmente. Inicialmente se fabricaron neumáticos y cámaras para auto y camión. (Kohn M., 2016)

Seis años después, y apoyando el uso cada vez más generalizado del tractor en el campo, Firestone inició la producción de neumáticos agrícolas.

Los años 50 fueron muy fructíferos para Firestone, ya que en 1951 comenzó la fabricación de neumáticos sin cámara, en 1953 produjo el neumático más grande que hasta el momento se había fabricado en el país, el 21.00-24 Pantanera tipo, y apenas dos años después el mercado recibió el neumático número 5.000.000.

En 1979 la planta fabricó el neumático número 25.000.000.

Capítulo 2: Los neumáticos, la generación de NFU y el caucho reciclado

Tesis: "Desarrollo de baldosas con caucho reciclado de neumáticos fuera de uso"

En 1980 se produjo el primer neumático radial de acero para automóviles, fabricado en el país y en 1983 la primera radial de acero para camionetas.

En 1988 se registró un cambio verdaderamente trascendente a nivel internacional, que contribuyó a mejorar más aún la situación en Argentina: Bridgestone adquiere la totalidad del paquete accionario de Firestone.

A partir de 1990, comienza una etapa de grandes reconocimientos para la empresa. Bridgestone Firestone Argentina es premiada por la calidad de sus productos y servicios por las terminales Autolatina y por Cladea (ex Renault).

En 1992 se realizó la primera exportación de neumáticos pasajero radial a Estados Unidos. También fue reconocida como primer exportador del sector de los años '91, '92, '94, '95.

Hasta el 99 otras empresas dejaban el país y Bridgestone Firestone Argentina invertía en él. Otra empresa japonesa que apostaba en la Argentina en ese año era Toyota, inaugurando su planta de producción en Zárate, provincia de Buenos Aires con la pick up Hilux. Bridgestone Firestone Argentina era calificado, tras un proceso iniciado años atrás, como único proveedor de neumáticos para tal vehículo.

Las operaciones con los Equipos Originales crecían, otras terminales automotrices invertían en la Argentina y también reconocían el trabajo de Bridgestone Firestone Argentina. En 1998 la certificación Q1 de Ford, en 1999 Proveedor del año de GM y Toyota. Igualmente, Fiat, Mercedes Benz, Renault, VW y Scania brindaban su reconocimiento en forma similar.

La planta podía aumentar su producción no solo con inversión en tecnología sino con expansión edilicia.

Más de noventa años después de la instalación de una oficina comercial en el país, y luego de 80 millones de neumáticos fabricados localmente, Bridgestone Firestone Argentina cuenta con equipos que le permiten producir neumáticos de última generación para los más de 300 puntos de venta identificados del mercado local y para el mercado de exportación.

Así, el grupo japonés norteamericano Bridgestone-Firestone, que produce actualmente en la Argentina 12.000 unidades diarias, tiene vigente un plan de inversiones por un total de u\$s100 millones en cinco años para incrementar ese volumen. El centro industrial de la planta de Lavallol abastece a Fiat, Peugeot, Renault, General Motors, Toyota y Volkswagen. (Kohn M., 2016)

Empresas que produjeron en Argentina

Un par de empresas internacionales, Michelin y Goodyear, fabricaron en el país y luego, a causa de crisis políticas o económicas, dejaron de producir neumáticos en Argentina.

Michelin 1913-1955.

En 1913, Michelin comienza su actividad como importador en la Argentina. Ya en 1930 comienza la construcción de su fábrica en la localidad de Bella Vista, la que

comienza a producir neumáticos 4 años más tarde y hasta el año 1955. Hoy en día produce en Rio de Janeiro, Brasil

En la Argentina posee cuatro plantas de recapado: en Morteros (provincia de Córdoba), Tandil (provincia de Buenos Aires), Granadero Baigorria (provincia de Santa Fe) y la recientemente inaugurada en Oberá. Provincia de Misiones

Hoy en día su presencia es administrativa y la comercialización de productos se lleva a cabo hace 90 años a partir de una agencia afianzada en el país. La agencia de Michelin en Argentina se encuentra emplazada en Villa Devoto, CABA, desde donde se realizan todas las tareas que permiten satisfacer a nivel nacional los requerimientos de los usuarios. No produce en Argentina. (Kohn M., 2016)

Goodyear 1931-1999.

Inaugurada en 1931, no sólo fue la primera fábrica de neumáticos de la Argentina. También marcó el debut industrial de Goodyear en América latina. Sin embargo, en noviembre de 1999, la estadounidense decidió apagar sus hornos y sumarse al éxodo de autopartistas que buscaron en la devaluación brasileña el amparo financiero para su subsistencia en el Mercosur. Eliminó 1000 puestos de trabajo. Sigue siendo más competitivo importar desde las plantas radicadas en Latinoamérica y Estados Unidos.

A la fecha la cantidad de neumáticos que se importan sigue siendo mayor a la cifra de exportación de la industria radicada en el país. Se señala que el 75 % de las exportaciones tienen como destino Brasil, para rodados en vehículos nuevos.

La Cámara de Industria del Neumático, CIN, (www.cin.org.ar), asegura que los años de mayor caída de la producción local, coinciden con 2 años en los cuales se dieron grandes crisis, en el 2001 una crisis a nivel local y en 2008 una a nivel global, lo cual generó cierta incertidumbre acerca de lo que pasaría en el mercado de neumáticos (entre otros bienes) y llevó a disminuir la producción.

Las últimas estadísticas publicadas por dicha cámara son del año 2008. (Cámara de la industria del neumático, 2017)

El mercado de neumáticos está íntimamente ligado al mercado automotor, la caída en las ventas de los mismos afecta de manera significativa las expectativas de producción de los neumáticos. Los vaivenes económicos, principalmente debido a la profunda crisis económica que azota al país luego de un ciclo de apertura y endeudamiento, la incertidumbre por la resolución de la crisis provocada por la pandemia de Covid 19, el cariz que tomarán los acontecimientos constituyendo la nueva normalidad mundial, afectarán indudablemente el sector.

2. GENERACION DE NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU).

Uno de los residuos que más caracterizan a las sociedades desarrolladas modernas, tan dependientes del automóvil, son los neumáticos fuera de uso, NFU.

Se ha señalado que la producción mundial de neumáticos se encuentra en el orden de los 1.300 millones de unidades, las cuales son instaladas en parte en los vehículos nuevos y parte destinado a la reposición una vez agotada la vida útil marcada por los testigos en los canales de los dibujos de los mismos.

Aunque se trata de un residuo no peligroso, presenta una alta capacidad calorífica y no es degradable. Estas y otras características, constituyen factores que aconsejan la adopción de una norma que los regule teniendo en cuenta esas particularidades.

Es cierto que en principio los neumáticos usados no generan ningún peligro inmediato, pero su eliminación de manera inapropiada o su producción en grandes cantidades, pueden contaminar gravemente el medioambiente u ocasionar problemas a la hora de eliminarlos. No en vano, los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras, siendo resistentes al ozono, la luz y las bacterias, lo que los torna prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. Su almacenamiento en vertederos no permite recuperar ni energía ni materia.

Los neumáticos enteros son flexibles y por su forma y tamaño limitan la rehabilitación del vertedero al ser difícilmente compactables, además son refugio ideal de insectos y roedores, acumulan gases y lixiviados, frecuentes en los vertederos.

Cuando los neumáticos se desechan por recambio se los denomina, Neumáticos Fuera de Uso. NFU.

Según las últimas estimaciones recopiladas en la presente Tesis se puede decir que la generación de NFU regionalmente es la siguiente:

- ✓ En Estados Unidos se generan unos 300 millones de unidades de NFU por año según © Rubber Manufacturers Association.
- ✓ En Europa unos 3 millones de Tn/año de NFU. Según datos de SIGNUS (2), sistema integrado de gestión y TNU, tratamiento de neumáticos usados, programas españoles de gestión de NFU. Mientras que en España unas 300.000 Tn/año son desechadas.
- ✓ En Brasil, según el programa RECICLANIP (3) 270.000 Tn/año de pneus (NFU) son declaradas. (Botasso G, 2018)
- ✓ En Argentina se generan unas 135.000 Tn/año según datos de la cámara de la industria del neumático. (Cámara de la industria del neumático, 2017).

Es por este motivo que deben contemplarse sistemas de gestión ambientalmente racionales de residuos mediante la articulación del sector público con el privado con el fin de promover emprendimientos industriales y de servicios para la valorización de desechos de caucho.

En diferentes países del mundo se pueden encontrar variados sistemas de manejo de los neumáticos usados. Entre ellos se pueden citar los siguientes:

- ✓ Sistema basado en el libre mercado
- ✓ Sistema basado en la recaudación de impuestos
- ✓ Sistema basado en la responsabilidad del productor

2.1.El caucho reciclado

El caucho se puede reciclar y utilizar para una amplia gama de aplicaciones que se detallarán más adelante. El material presentado como trozos de SRB fabricado a partir de la trituración de neumáticos fuera de uso, proviene del desecho de vehículos que componen el parque automotor. Pero por supuesto, este material no es puro, experimentando un cambio en su respuesta frente a estados de sollicitación, con

deformaciones menos flexibles. Otros componentes que se agregan en la fabricación de los neumáticos tales como el azufre, negro de humo, compuestos minerales, para aumentar la resistencia a la abrasión y para dotar de mejores performances como neumáticos de automotores, quedan también presentes entre el material granulado resultante de procesos de trituración y que se deben tener en cuenta a la hora de caracterizarlo.

En la actualidad se disponen de diversos métodos para la recuperación de neumáticos y la destrucción de sus componentes peligrosos. Entre las tecnologías disponibles se pueden citar las siguientes:

2.2. Métodos de recuperación de NFU

Con aplicación de calor:

El tratamiento térmico o termoquímico consiste en tomar el NFU entero o triturado y elevar la temperatura para generar materia prima y/o calor según el proceso.

Termólisis:

Es un sistema en el cual se somete a los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en ausencia de oxígeno. Las altas temperaturas y la anoxia tienen el efecto de destruir los enlaces químicos, apareciendo así nuevas cadenas de hidrocarburos. Se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden ser reingresados a los procesos industriales, ya sea para la producción de neumáticos u otras actividades. (Esteve J, 2012)

Pirólisis:

Aún poco extendido, el proceso de pirolisis es la descomposición química de la materia orgánica y de todo tipo de materiales excepto metales y vidrios causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno.

Particularmente la pirolisis de NFU da lugar a una fracción sólida carbonosa de alto poder calorífico y una fracción gaseosa compuesta por volátiles con diferentes puntos de condensación. Luego de enfriada esta fracción gaseosa, se obtiene una mezcla de gases livianos también de alto poder calorífico y una fracción líquida adicional que, también tiene un alto poder calorífico. Las proporciones dependen de las condiciones del proceso (presión, temperatura, tiempos, características y tipo del reactor) (Martinez J., 2015)

Incineración:

Es la combustión completa de la materia orgánica hasta su conversión en cenizas, llevada a cabo en hornos mediante oxidación química en presencia de un exceso de oxígeno. Este es un proceso costoso y además presenta el inconveniente de la diferente velocidad de combustión de los diferentes componentes y la necesidad de tratamiento de los residuos. Este proceso genera calor que puede ser usado como energía al tratarse de un proceso exotérmico. Presenta el inconveniente de ser altamente contaminante al desechar monóxido de carbono, hollín, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, óxidos de zinc, benceno, fenoles, tolueno,

hidrocarburos aromáticos policíclicos. Algunos de estos contaminantes son solubles en agua por lo que pasan a la cadena trófica y de allí a los seres humanos. (Esteve J, 2012)

Mediante métodos de trituración.

Entre estas tecnologías de molienda o trituración más conocidas, encontramos la trituración a temperatura ambiente o a baja temperatura (criogénica). Si hablamos del proceso a temperatura ambiente, hablamos de uno que en todas sus etapas el material de caucho no ha sido enfriado para hacerlo más frágil.

Trituración criogénica:

Este proceso se basa en la reducción por fragilidad al llevar el material, al menos en una etapa del proceso a temperaturas por debajo de los -120°C utilizando nitrógeno líquido. Se obtiene un polvo más fino, pero el proceso es inviable económicamente en las aplicaciones actuales debido a la complejidad de las instalaciones necesarias para lograr la completa separación del caucho de los otros materiales componentes de los neumáticos fuera de uso. (Potarski K, 2018)

Trituración Mecánica:

Proceso puramente mecánico realizado mediante sistemas de cuchillas que se realiza a temperatura ambiente durante todo su recorrido. Los productos resultantes son de alta calidad, limpios, sin impurezas, lo que facilita la utilización de éstos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración por medios mecánicos suele ser casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y valorización de los residuos de neumáticos fuera de uso.



Figura 6: Cuchilla de trituración mecánica (Potarski K, 2018)

El reciclado a temperatura ambiente y el reciclado criogénico se pueden combinar de manera en que el gránulo de caucho producido a temperatura ambiente se vuelva a procesar para convertirse en polvo fino menor a $0,20\text{ mm}$ utilizando una tecnología criogénica específica que asegura mayor pureza y permite que el polvo sea utilizado en aplicaciones complejas, como compuestos de caucho para neumáticos nuevos. (Potarski K, 2018).

2.3. Aplicaciones.

Materia prima para energía:

Su utilización como combustible se basa en el gran poder calorífico del neumático, superior al del carbón. Los NFU se están utilizando como combustible en Plantas Industriales y en Plantas de generación de vapor y energía eléctrica.

Si bien está presente como combustible en plantas de elaboración de ladrillos, de papel y en acerías; su uso mayoritario está enfocado en su utilización en la fabricación de cemento. Verificándose por esta vía ahorros del orden del 20% el combustible utilizado. (CEDEX, 2013)

Si bien para su aprovechamiento energético el neumático puede presentarse de tres formas: en polvo, troceados y enteros, verdaderamente conveniente es utilizarlos troceados, ya que las dos restantes opciones elevan significativamente el costo del combustible o de las instalaciones. El tamaño óptimo oscila entre los 50x50 y 300x300 mm.

Esta valorización energética que se produce al utilizar los NFU como combustible en industrias tan importantes como la cementera, enfrenta un par de dificultades para poder generalizarse. En primer lugar hay que señalar que el costo del proceso de los NFU (trozado previo, transporte, etc.) compite con los costos de utilización de combustibles tradicionales; y en segundo lugar, y no menos importante, el riesgo que se asume en cuanto a la fiabilidad en el suministro de neumáticos desechados. Todos factores a tener en cuenta a la hora de reconvertir los hornos rotatorios al nuevo combustible. (Vignart J. M., 2010)

Obras de tierra y terraplenes.

Se han utilizado neumáticos troceados y granulados como material de relleno en el interior de terraplenes en diversos países. Esta aplicación tiene como ventajas principales la de ser masiva y por ende, la utilización de grandes cantidades de residuos, un peso reducido, la mejora en la permeabilidad y la resistencia a la penetración de las heladas, además de una durabilidad elevada.

Las piezas de NFU se pueden colocar solas o mezcladas con material térreo para lograr un material compuesto más denso, menos deformable y mejor compactado.

Existen otras aplicaciones tales como relleno de muros de contención aprovechando sus condiciones de material permeable y de alta absorción de empujes debido a su carácter altamente deformable; asimismo se puede utilizar, convenientemente adecuados tanto troceados como enteros, para relleno de gaviones. (Cano H, 2011)



Figura 7 Uso de neumáticos fuera de uso en terraplenes.

Caminos.

Las aplicaciones más utilizadas de los NFU en caminos son en forma de granulado para la fabricación de asfalto-caucho, o directamente como áridos o filler para las mezclas bituminosas como una modalidad más de asfalto modificado. También se utilizan como elementos de seguridad vial y pantallas antirruído.

Método por vía húmeda:

Proceso en el cual se mezcla el caucho granulado (tamaño de partículas entre 0-0,850 mm) con el asfalto, a una temperatura entre 150 y 200°C durante un tiempo de 1 a 2 horas hasta conseguir la unión físico química de los componentes. A este proceso se le suele adicionar diversos diluyentes, aceites aromáticos y polímeros para conseguir que el asfalto caucho obtenga una elevada viscosidad, recuperación elástica y adhesividad. Dependiendo de su aplicación, la proporción de caucho en la mezcla varía entre el 5 y el 26% del peso del asfalto. (CEDEX, 2013)

Método por vía seca:

Es la incorporación directa del caucho reciclado a la planta de mezclado como parte del árido, suele incorporar polvo de NFU en proporciones comprendidas entre el 3 y el 5% sobre el peso de la mezcla. Los granos de caucho se consideran como un árido más, o como sustituto de una pequeña parte del agregado fino.

Mediante este proceso, el caucho pasa de ser un árido elástico a ser un modificador del ligante en la mezcla asfáltica. A este proceso de interacción se le llama digestión del caucho. (Galeas S, 2015)

Su principal aplicación es en zonas de formación de hielo, ya que permiten el despegue y rotura de la capa de hielo por la acción del tráfico.

Como ventajas técnicas de los diversos ligantes obtenidos por ambas vías, se puede resaltar las siguientes:

- ✓ Menor susceptibilidad a la temperatura que las mezclas convencionales.
- ✓ Elevada resistencia al agrietamiento.
- ✓ Mayor resistencia al envejecimiento.

- ✓ Reducción del nivel sonoro por rodadura.
- ✓ Mejora la adherencia de los vehículos con el asfalto.
- ✓ Prolongación de la vida útil de servicio.

Edificación y obra pública:

En la actualidad se encuentra en fase experimental el empleo de caucho reciclado de NFU como árido de hormigón. Estos han demostrado que su incorporación produce mayor resiliencia, durabilidad y elasticidad del hormigón, por lo que su uso podría ser beneficioso en construcciones sometidas a impactos o vibraciones.

Obviamente se produce una merma en su resistencia a la compresión y en la resistencia a la tracción en valores relevantes, pero si lo que sustituye es una fracción de los áridos del orden del 20% del total, se obtendrían resistencia a la compresión en valores aceptables. Es posible aumentar la resistencia del hormigón mejorando la adhesión entre el caucho bañando las partículas con pasta de cemento. (CEDEX, 2020)

Este hormigón tendría menor densidad, lo que lo hace apropiado para aplicaciones en edificios en las que la reducción del peso sea importante tales como relleno de interiores, aislante acústico y vibracional para paredes, suelos y techos de viviendas.

Una de las aplicaciones que se pueden resaltar a nivel arquitectónico son los edificios sustentables

Es una tendencia mundial la construcción de edificios autosustentables elaborados con materiales reciclados y participación comunitaria. El arquitecto Michael Reynolds y su empresa Earthship Biotecture desde hace más de cuatro décadas se dedica a la construcción de viviendas sustentables en todo el mundo. Este proceso incluye la utilización de neumáticos fuera de uso para la ejecución de los muros portantes de las construcciones. (Reynolds M, 2012)



Figura 8: Uso en construcciones autosustentables.

Otra aplicación en estructuras es su aplicación sobre bases aislantes en edificios para prevenir el fallo de las mismas debido a movimientos sísmicos. Si bien existen resultados alentadores aún falta mucha investigación para que sea incorporada a la práctica.

Atenuadores de oleaje

Mediante elementos de flotabilidad, los neumáticos fuera de uso, se pueden aplicar como excelentes atenuadores de oleaje, con la misión de reducir y disipar el efecto de las olas en las zonas protegidas, principalmente puertos deportivos, consiguiendo que las embarcaciones puedan atracar con una considerable reducción de la fuerza del mar. (CEDEX, 2013)



Figura 9: Uso como atenuador de oleajes.

Protección y seguridad

Los NFU enteros permiten crear barreras de seguridad en circuitos de automovilismo y pistas de prueba. Existen desarrollos de guarda raíl de caucho reciclado de NFU que absorben y neutralizan la energía generada en los impactos, protegiendo la vida de las víctimas de accidentes. (T.N.U España, 2020)

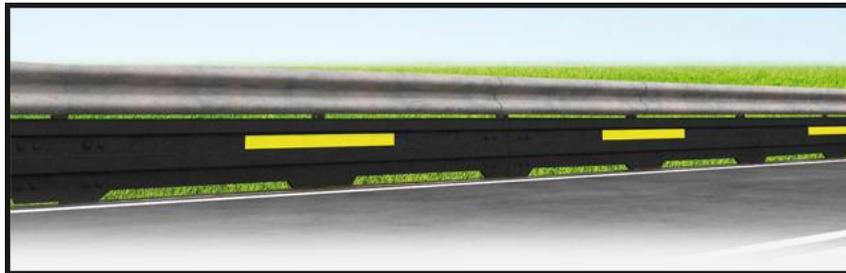


Figura 10: Uso como guarda rail

Césped artificial.

Los pisos de césped artificial contruidos con materiales sintéticos y con la incorporación de gránulos de caucho reciclado de NFU (1-2.5 mm) como relleno entre las fibras sintéticas. Su uso es frecuente en canchas de futbol reducido, canchas reglamentarias, hockey sobre césped, parques e incluso campos de golf en lugares donde es complicado el riego. En la actualidad las nuevas tecnologías han producido lo que se conoce como césped de tercera generación y que han extendido su utilización notablemente. Nuevas fibras, nuevas alfombras, nueva disposición de los gránulos de relleno, capas elásticas han aumentado la protección de los jugadores contra lesiones e incluso contra golpes en la cabeza. (Forbex, 2020)

Pavimentos continuos y baldosas de seguridad.

El material NFU granulado con tamaños entre 2 y 10 mm, cumple perfectamente para crear superficies de pistas de atletismo y ecuestres, campos de juego, parques infantiles y piscinas, entre otros. Presenta como ventajas que se pueden colocar sobre cualquier clase de terrenos, supone un ahorro en el costo de mantenimiento, tiene elevada resistencia climática y presenta un acabado limpio y visual ya que se puede mezclar con pinturas. Es en este punto de las aplicaciones del reciclado de caucho de NFU que se enfoca el presente trabajo, las baldosas amortiguantes, las que se estudiarán en los próximos capítulos.

El caucho ha sido un elemento dinamizador de la economía durante más de un siglo y medio, que como en la mayor parte de las riquezas naturales, la economía local sólo ha sido extractiva y la industrialización se ha llevado a cabo en los países centrales. Ha sido la forja de la estructura socioeconómica de la región amazónica y ha sido, su extracción, objeto de arduas disputas limítrofes y del sometimiento a condiciones de explotación, incluso de esclavitud, de numerosas etnias completas que vivían en armonía con el ambiente. El ascenso y descenso de la época de bonanza dejó marcas indelebles que aún perduran.

Factores geopolíticos, como la expansión de las colonias en el sudeste asiático y Africa y las dos guerras mundiales, contribuyeron a modelar el mercado del caucho en el mundo.

Con su escasés durante la segunda guerra, se inició la era del caucho sintético, aunque sin las mismas propiedades, estaba bajo el control de las potencias mundiales.

En la actualidad, el mercado del caucho se divide en dos; el del caucho natural y el del caucho sintético. El mercado del caucho natural lo dominan los países del sudeste asiático y el del caucho sintético los países desarrollados, quienes a su vez, son los mayores consumidores.

El bajo precio en la actualidad, debido principalmente al precio del petróleo que aunque en recuperación, aún está lejos de los precios del 2008 previos a la crisis; y al stock acumulado por los países productores. En el futuro el precio del petróleo subirá indefectiblemente al compás del agotamiento del recurso, mientras las principales fabricantes de neumáticos ya prueban nuevos materiales, y diseños más amigables con el medio ambiente; queda mucho caucho por transformarse en neumáticos; y por ende, mucho caucho para la industria del reciclado.

Neumáticos verdes, diseños amigables con el ambiente, economía circular, materiales biodegradables, neumáticos inteligentes, nuevas especies vegetales proveedoras de látex; son frases a las que nos tendremos que acostumbrar. Pero, como siempre, la realidad supera a la ficción y nuestro carácter de habitantes de la periferia del mundo, hace que quede mucho trabajo por hacer.

Perfeccionar aplicaciones y masificarlas, en pos de la utilización del caucho reciclado de neumáticos fuera de uso, es la tarea en la que nos deben encontrar los años venideros, no solo para el aprovechamiento de un residuo devenido en recurso, sino para contribuir a mejorar el medio ambiente.

3. BIBLIOGRAFIA

- Automotiva. (2019). *La visión de Bridgestone sobre el futuro de los neumáticos*. Retrieved from automotiva: (<https://automotiva.com.ar/actualidad/la-vision-de-bridgestone-sobre-el-futuro-de-los-neumaticos>)
- Cámara de la industria del neumático. (2017). *Estadísticas*. Retrieved from [www.cin.org.ar](http://cin.org.ar): <http://cin.org.ar/estadisticas.html>
- Cano H, E. J. (2011). *Terraplén experimental construido con neumáticos troceados*. Madrid: Laboratorio de geotécnia CEDEX.
- Castro G. (2008). *Materiales y compuestos para la industria del caucho*. Buenos Aires: Facultad de Ingeniería - UBA.
- CEDEX. (2020). *Edificación y obra pública*. Retrieved from www.cedexmateriales.es: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/32/neumaticos-fuera-de-uso/valorizacion/aplicaciones/313/edificacion-y-obra-publica.html>
- CEDEX, (. d. (2013). *Neumáticos fuera de uso, Ficha Técnica*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente - Gobierno de España.
- Esteve J. (2012, junio 26). *Reciclaje de neumáticos: procesos y usos*. Retrieved from www.reciclaeverde.wordpress.com: <https://reciclaeverde.wordpress.com/2012/06/26/reciclaje-de-neumaticos-procesos-y-usos/>
- Fate. (2020). *Historia*. Retrieved from fate.org.ar: <https://www.fate.com.ar/paginas/3/empresa>
- Forbex. (2020). *Césped sintético*. Retrieved from www.forbex.com: <https://forbex.com/empresa>
- Frederick James S. (2001). *Fabricación de Neumáticos*. In F. J. Beliczky Louis S, *Industria del Caucho* (pp. 80.4-80.7). Madrid: INSST.
- Fundacion CEA. (2014). *Informe etiquetado neumáticos*. Retrieved from cea-online.es: <https://www.cea-online.es/prensa/doc/2014/informe-etiquetado-neumatico.pdf>
- Galeas S, G. V. (2015). *Obtención de asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores, Campaña O*. *Revista Politécnica*, Vol 36, Nro 3.
- International rubber study group. (2012). *Natural rubber (NR) production, consumption, trade (exports and imports) and stocks*. In *Rubber statistical bulletin 16*. London: International rubber study group .
- Kohn M. (2016). *Análisis de productivas de Neumáticos*. Buenos Aires: PIUBAD - UBA.

- Lendoiro F. (2018, mayo 15). *Pirelli U\$S 90 millones de dólares en Argentina hasta 2020*. Retrieved from El Cronista: <https://www.cronista.com/negocios/Pirelli-us-90-millones-en-Argentina-hasta-2020-20180515-0054.html>
- Martinez J., B. M. (2015). Valorización de NFU por pirólisis: rendimiento y propiedades de los productos usando un racatiro de tipo Auger. *X Congreso Nacional y V Internacional de Ciencia y Tecnología del Carbón y Combustibles Alternativos*. (pp. 390-391). Medellín: researchgate.net.
- Michelin. (2020). *neumáticos*. Retrieved from michelin.com: <https://www.michelin.com/activites/pneus/pneu-c-est-quoi/>
- Ortolani A., S. P. (1998). *Agrometeorological model for seasonal rubber tree yield*. Indian Journal of Natural Rubber Research v 11, p.8-14.
- Potarski K, B. E. (2018). Tecnologías de trituración de neumáticos. . In *Revista de la Sociedad Latinoamericana del Caucho* (pp. 22-23). Buenos Aires: SLT Caucho Nro. - 23 febrero - 2018.
- Reynolds M. (2012). *Estudio sobre el uso de neumáticos como ladrillos*. Retrieved from Navetierra MDQ: http://www.navetierramdq.com.ar/?page_id=42
- T.N.U España. (2020). *Guardarrail de neumáticos reciclados*. Retrieved from tnu.es: www.tnu.es/w/127/guardarrail-de-neumaticos-reciclados.
- Vignart J. M. (2010). *Problemática del neumático fuera de uso*. Buenos Aires: ITBA - Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

Capítulo 2: Los neumáticos, la generación de NFU y el caucho reciclado

Tesis: "Desarrollo de baldosas con caucho reciclado de neumáticos fuera de uso"

El **capítulo 3 "Pisos, pisos de caucho"** trata sobre los pisos, los distintos tipos de pisos en lo que el arte de la construcción los divide. Se hace especial énfasis en los pisos de caucho natural y reciclados, se hace una descripción de los principales pisos de caucho reciclado existentes en el mercado. Se aborda también el marco legal vigente y la carencia de normativa específica

1. PISOS

Los pisos, también denominados solados, constituyen una parte esencial de las viviendas de la humanidad desde tiempos inmemoriales. Proveer de aislación respecto del terreno natural, así como seguridad, confort y resistencia, son atributos que los definen en la construcción para algo tan noble e importante como el hábitat humano.

Podría decirse que los primeros pisos fueron la piedra de las cavernas que cobijaron los asentamientos humanos en el la época prehistórica, más cerca en el tiempo la madera y los pisos de piezas de piedras proveían la aislación tan necesaria. Asentados ya en aldeas, dejando atrás el pasado nómade, el hombre de principios de la historia habitaba viviendas unifamiliares y testimonio de aquellos días quedan en la actualidad, los pisos resisten estoicos el paso del tiempo. En ciudades como Ostia, puerto marítimo de la Roma Imperial, desenterradas para el legado de la humanidad, se pueden observar amén de sus increíbles paredes de ladrillos, pisos extraordinarios confeccionados con un arte que denota su importancia. Los vestigios de las construcciones romanas, griegas, fenicias, andaluces, entre otras civilizaciones occidentales, nos acercan sus pisos y azulejos para nuestro deleite y como recordatorio de lo que ellos eran capaces de hacer. Evidentemente los pisos ocupan un lugar preponderante en la historia de la arquitectura y el arte de la construcción, que ha explotado desde hace ya unas décadas con el advenimiento de nuevos materiales que la tecnología nos fue brindando.

1.1. Pisos con nuevas posibilidades

Nuevos usos para cubrir nuevas necesidades han hecho su aparición en el mercado de pisos desde hace no mucho tiempo, o tal vez ante la aparición de nuevos materiales han surgido necesidades que ahora pueden ser contempladas. La versatilidad de su aplicación, la escasa especialización de la mano de obra requerida, el costo accesible y el ahorro considerable en tiempo de ejecución, han contribuido notoriamente para el desarrollo de estos nuevos usos.

Con el objeto de introducirse en este tema resulta necesario una definición más general y una clasificación apropiada, sin perder de vista que pueden tener múltiples ordenamientos, sea en función de los materiales que los constituyen, sea en los procesos de fabricación o del uso a que serán destinados.

Pero apeándonos a un ordenamiento clásico podríamos comenzar por diferenciarlos por el tipo y calidad de los materiales que los constituyen, de manera de abarcar la gama más amplia de tipos de pisos y de esta manera contemplarlos a todos.

1.2. Definición; Error! Marcador no definido..

El piso o solado es el conjunto piso-contrapiso y según la definición IRAM es "el revestimiento del suelo natural, o superior de un entrepiso, o azotea". Cuando se lo construye para recibir el tránsito de vehículos recibe el nombre de pavimento: (Chandías M., 2007)

El piso es un trabajo de terminación que tiene como principal función formar una superficie de desgaste, apta para la circulación. La resistencia a la abrasión e impactos

es la propiedad que define la bondad de un piso. Debe cumplir además las siguientes condiciones: horizontalidad, lisura, higiene, homogeneidad y aspecto estético. En ocasiones puede que deba tener condiciones acordes con su destino (antiácido, antideslizante duro, atérmico, asonoro, antichisposo, etc.).

1.3. Componentes.

De acuerdo a lo expresado previamente, el piso o solado es un conjunto de incluye al contrapiso, aunque en forma más generales es un compuesto que de al menos dos capas de diferente material, llegando en ocasiones a conformas hasta cuatro o cinco capas. Las capas esenciales y siempre presente son el piso propiamente dicho, el contrapiso y las distintas carpetas (de nivelación, hidrófugas, aislantes, térmicas y acústicas, etc.). (Rodríguez M, 2018)

El contrapiso es la capa resistente sobre la que se asiente el solado final y su función varía en relación a su posicionamiento en obra, pudiendo ser contrapiso sobre terreno natural, de relleno o de entrepiso y contrapiso de azotea o de pendiente. Variando en cada caso los espesores del mismo, aunque se utilizan generalmente los mismos materiales: cascotes de ladrillos, cal hidráulica y cemento.

Las carpetas complementas al contrapiso y hacen al buen funcionamiento del solado, proveen nivelación, aislamiento hidrófugo, en ocasiones de asiento para determinados tipos de solados. En entrepisos y cubiertas, cumplen funciones de aislación térmica y acústica.

El presente trabajo se centra en los pisos o solados, la capa externa del conjunto solado, así que lo precedentemente descrito es sólo para una somera aproximación al tema.

1.4. Clasificación.

Los pisos pueden clasificarse de diversas maneras, como se explicó precedentemente y con arreglo a algunos de los siguientes criterios (Chandias M., 2007):

- ✓ Tipo y calidad e los materiales;
- ✓ Métodos de ejecución;
- ✓ Trabajos de terminación.

A título informativo, una posible lista de tipos de pisos se detalla a continuación y los diferencia en cuatro principales grupos: pisos de madera, pisos de piedras naturales, pisos monolíticos y pisos pre moldeados.

Pisos de madera

Estos pisos fueron ampliamente usados en el pasado, se han revitalizado en los últimos tiempos con la utilización de maderas existentes en el mercado actual. La industria maderera en general y por ende la de los pisos de madera en particular, ha evolucionado hacia el uso de maderas de plantaciones para la explotación en emprendimientos forestales.

Los pisos de madera poseen varias características particulares que los hacen muy ventajosos a la hora de elegir un piso para vivienda, son muy confortables al tacto, son buenos aislantes térmicos, con los cuidados adecuados son muy duraderos, tienen un acabado muy estético que los hace combinables con cualquier ambientación y no acumulan polvos ni ácaros que puedan afectar a personas sensibles a las alergias. Así también tienen algunas desventajas que hay que tener en cuenta a la hora de evaluar su colocación en obra, como por ejemplo que requieren un mantenimiento periódico, son sensibles a los rayones y golpes, pueden presentar diferencias de tonalidades, son especialmente vulnerables a la intemperie y por lo tanto requieren tratamientos y cuidados específicos.

Para la confección de estos pisos se usan tablas como pieza principal. Si las mismas son largas tenemos el entablonado o enlistado, si en cambio son cortas tenemos el parquet, y un poco mayores el entablonado tarugado. En todos los casos se pueden disponer las tablas formando dibujos.

En los pisos entablonados o tarugados en donde las tablas son más largas se pueden colocar básicamente de dos maneras: en forma ordenada o a "la inglesa" en donde se utilizan tablas exactamente iguales y se hacen coincidir los inicios y fin de cada tabla y desordenado o a "la americana", sistema en el cual se utilizan tablas de largos disimiles y que permiten aprovechar más la madera.

En los pisos de parquets su colocación tiene varias posibilidades, se las suele colocar en forma de espina de pescado o bastón roto, en forma de damero, sin fin con o sin taco, con guardas con o sin filetes. Cada tipo de colocación admite variantes que provienen de la cantidad de años en que se viene colocando este tipo de piso y en las distintas culturas en que se lo ha hecho.

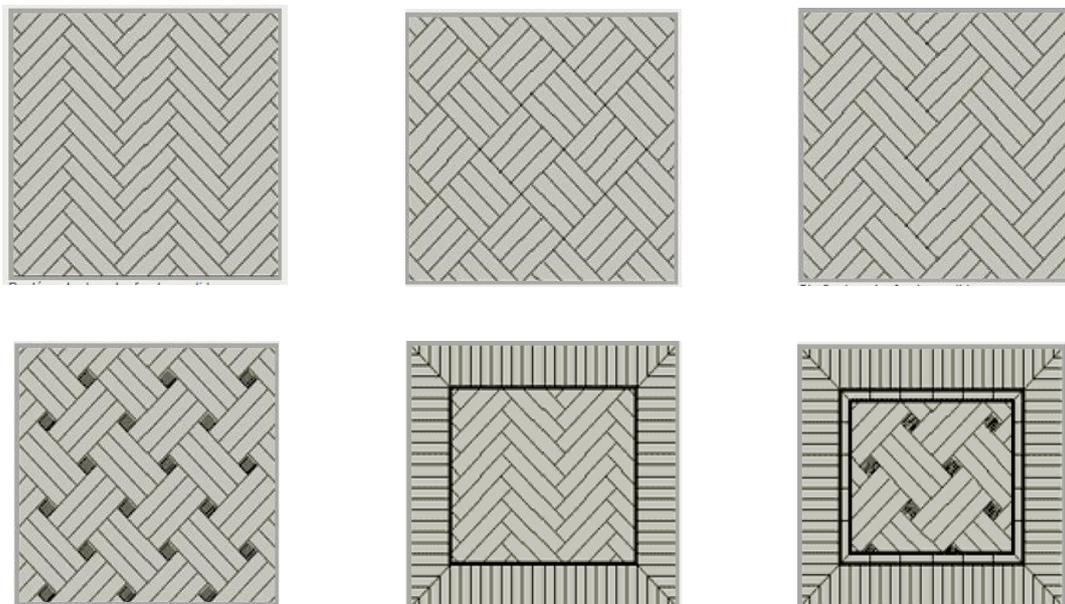


Figura 1: Distintas formas de colocación de parquets.

Maderas como el viraró y lapacho son aptas para entablonados, el roble de Eslabonia, guatambú y eucaliptus, para parquets; como sucedáneo de estos se usa

el caldén, incienso, viraró, etc., de origen nacional. Para los entablonados tarugados se utiliza el lapacho, virapitá, pinotea, etc.

Prácticamente en la actualidad se colocan sobre carpeta, aunque también sobre bastidores de madera. Ya casi en desuso se coloca sobre tirantería de madera apoyada sobre muros de mampostería. Fue el piso más difundido de fines del siglo XIX, y durante todo el primer tercio del siglo XX.

Pisos de piedras naturales:

Los más usados son lajas y pórfido para terminaciones rústicas y ornamento de jardín. Para terminaciones más acabadas y lujosas se utiliza el granito y el mármol, pulidos y lustrados.

Los pisos de piedra proveen una amplia variedad de posibilidades para su utilización, distintos colores y superficies abarcan prácticamente todas las necesidades arquitectónicas. Se los encuentra en tonos negros, azules, púrpuras, verdes, rojos, texturas lisas, afiladas y arrugadas. También hay opciones para los acabados ya que pueden ser estriados, salpicados, veteados o cristalinos. Las distintas características de las piedras para pisos requieren una acabada información para su correcta colocación, teniendo en cuenta aspectos referidos a su porosidad, resistencia al desgaste y textura.

El granito es un tipo de piedra impermeable y altamente resistente. Es una roca ígnea plutónica, es decir que se ha enfriado lentamente, a gran profundidad y en grandes masas del magma. Se denomina plutones a los afloramientos de este tipo de rocas que son visibles producto de la erosión del material que los cubrían previamente. Están compuestos básicamente de mica, feldespato y cuarzo, las distintas proporciones determinan distintas tonalidades y características del granito. Cabe señalar que el nombre proviene del aspecto que predomina en su composición, estos gránulos son producto del proceso de formación del cual derivan.

Los pisos elaborados a partir de la roca de granito se caracterizan por ser extremadamente duros y por soportar el desgaste por el uso y el alto tránsito humano por décadas. Su impermeabilidad es única y se puede limpiar con líquidos sin inconvenientes.



Figura 2: Algunos tipos de pisos graníticos modernos (arquitecturdecasas.com.ar)

El mármol es una piedra resistente, impermeable y de fácil limpieza. Por su particular diseño de vetas y su costo elevado, se lo relaciona con la elegancia y sofisticación. Existen numerosos tipos de mármoles, comúnmente con la denominación de sus canteras originales, como por ejemplo el mármol de Carrara,

Boticcino, Travertino, Verde Alpe, Verde Oriental, Blanco Thassos, Negro Marquina, Negro Portoro, Rosso Verona, Rojo Alicante, Blanco Perlino, Marrón Emperador, Etc.



Figura 3: Algunos tipos de mármoles comerciales.

El pórfido es una piedra con un color púrpura característico del cual deriva su nombre, es una roca ígnea de apreciable dureza y resistencia. Se lo utiliza desde la antigüedad en civilizaciones tan pretéritas como la asirio-babilónica, egipcia y romana. Su colocación, tal como se ha mencionado, es esencialmente en el exterior.

Para lograr el correcto sellado de estos pisos de piedra, para que sean resistentes a las manchas y exposiciones, se recurre a la aplicación de productos a base de siliconas que no modifiquen el color ni la textura de la piedra y que, a su vez, la proteja de las manchas.

Con el mismo fin se puede sumar como tratamiento como termo vitrificación que le da un acabado mate o brillante similar al que se le suele realizar a la madera. Este proceso, de uso, restaura y endurece la superficie de mármoles y granitos. Combina el pulido a base de diamantes y con la adición de productos químicos, renovando los pisos y liberándolos de inmediato al tránsito.

El acabado más popular para estos pisos de piedra como los mármoles o granitos es el cristalizado. Consiste en la aplicación de un líquido cristalizador y la acción de una máquina rotativa y lana de acero. Por efectos de la fricción y la temperatura el líquido cristaliza y da la apariencia buscada.

En los casos de los pisos de mármol, además del cristalizado, existen otros tratamientos como el acabado apomazado, que es en cierto punto similar al pulido, pero sin llegar a conseguir ese nivel de brillo, permite apreciar con mayor detalle la textura de la piedra.

El labrado o abujardado se logra golpeando la pieza de mármol y se consigue una superficie irregular.

El mármol envejecido que se consigue aplicando químicos sobre la piedra, logrando una superficie irregular y satinada. La ventaja es que el resultado final será muy estable en cuanto al color.

Pisos monolíticos (fundidos en obra):

Pueden ser de varios tipos como material granítico reconstituido, concretos de cemento, pisos asfálticos, de hormigón estampado o rodillado.

Uno de estos pisos ampliamente aplicado es el de microcemento, tiene la ventaja de poder ser aplicado sobre un solado existente y se provee en una amplia gama de colores. El espesor de la capa de aplicación varía entre los 1 y 3 mm, siendo sus características principales su fácil aplicación y el acabado totalmente impermeable, que lo hace particularmente apto para zonas húmedas. En las figuras siguientes se muestran dos aplicaciones de este material, una en una vivienda y la segunda, en un local comercial.



Figura 4: Piso de microcemento

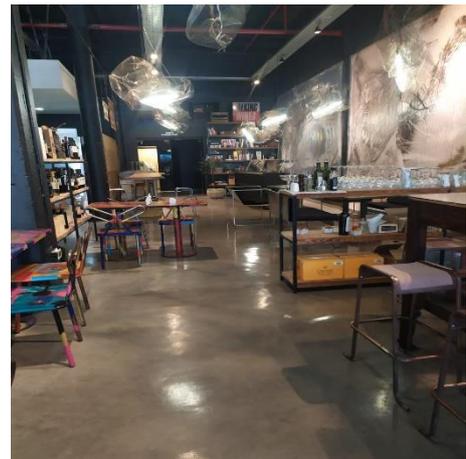


Figura 5: Pisos de microcemento en local comercial

Pisos premoldeados

Son baldosas, baldosones y mosaicos fabricados con material granítico reconstituido, cemento comprimido y hormigón, cerámicos comunes, esmaltados, porcelanatos, ladrillos comunes y todos los productos que provee la industria como los de goma, linóleo, alfombras, baldosas vinílicas, etc.

Dentro de estos últimos ubicamos a los solados flexibles, aptos para usos tanto en interior como exterior, están cubriendo como se ha mencionado precedentemente, una amplia gama de necesidades. Su característica de absorber impactos los hace especialmente indicados para los casos en que se deben disminuir los efectos de posibles caídas.

1.5. Nuevos pisos.

Son tendencia en los últimos tiempos en el ámbito de la arquitectura y la decoración, nuevos pisos y materiales que aportan características que comienzan a ser imprescindibles. Estos se destacan por su durabilidad, limpieza, bajo mantenimiento, el reciclado posterior, la adecuación al uso, el precio y por supuesto, la facilidad de colocación tanto para obra nueva o para reformas.

Pisos de linóleo

No tiene nada de nuevo este material, pero ha mejorado mucho sus prestaciones y diseños en el último tiempo. Está compuesto por una mezcla de aceite de linaza y otros materiales como piedra molida, que son componentes naturales y biodegradables. Se limpia fácilmente, es impermeable y hay que prestar especial atención a su expansión con la humedad. El espesor varía entre 2 y 4 milímetros.

Pisos vinílicos

Están constituidos por material sintético de PVC, su característica es que son antideslizantes y resistentes a la humedad así como al desgaste. Su limpieza y mantenimiento son sencillos. Imitan a la perfección la madera o piedra, con texturas tan realistas que hacen difícil distinguirlos del material original. Se colocan sobre carpeta nivelada utilizando un adhesivo sin ganar prácticamente grosor.

Pisos vinílicos con fibra de vidrio reforzado

Algunos de los nuevos pisos son revestimientos vinílicos de alta calidad que dan un aspecto textil y a la vez proporcionan durabilidad y fácil limpieza. Están constituidos con vinilo tejido con fibra de vidrio reforzado. Son resistentes al agua aunque no se recomienda su uso en ambientes húmedos.

Pisos de baldosas vinílicas

Estas baldosas permiten realizar diseños diversos como los pisos cerámicos, son piezas vinílicas, resistentes a la humedad, que se colocan rápidamente de manera muy sencilla y casi sin la realización de obras. Son muy flexibles, se adaptan a cualquier tipo de soporte y vienen preparadas para ser instaladas directamente. Reducen el nivel de ruidos, es un material higiénico y resistente a los golpes.

Pisos de resina epoxi

Adecuados para renovar el piso de viviendas sin quitar el existente y con un costo muy por debajo de otras opciones. Es autonivelante formado por un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador. Durable, impermeable y resistente a la abrasión, se puede colocar en ambientes húmedos como cocinas y baños. La variedad de acabados en cuanto a texturas mates o brillantes es amplia y permite realizar diseños originales con dibujos.

Pisos textiles

Estos pisos de última tecnología textil están formados por tejidos que incorpora por ejemplo efecto tridimensional, son 100% impermeables e incluso lavables. Tiene tratamientos bactericidas, funguicidas y e ignifugado.

Pisos de caucho natural

Es un material largamente utilizado en pisos pero que ha sido continuamente mejorado con el tiempo. Tiene como característica principal su resistencia y durabilidad, su impermeabilidad resistencia al agua, fácil mantenimiento y limpieza. Es antideslizante y flexible, fácilmente reciclable e ignífugo. Se puede colocar en baldosas o rollos, cuenta con una amplia gama de texturas, calidades y colores.

Pisos de césped artificial

Los pisos de césped artificial son también solados de esta nueva generación, construidos con materiales sintéticos y con la incorporación de gránulos de caucho reciclado con neumáticos fuera de uso como relleno entre las fibras sintéticas. En la actualidad las nuevas tecnologías han producido lo que se conoce como el césped artificial de tercera generación y que han extendido su utilización notablemente. Nuevas fibras, nuevas alfombras, nueva disposición de los gránulos de relleno, capas elásticas, han aumentado la protección de los jugadores contra lesiones e incluso contra golpes en la cabeza.

Su utilización prácticamente sin mantenimiento, sin riego, tanto en interior como en exterior, para una variada gama de deportes, ha hecho que su colocación se haya hecho masiva. Es una alternativa viable ya que se lo puede instalar en lugares donde las condiciones climáticas severas, afecta el desarrollo del césped natural.

Resulta un aporte además al cuidado del medio ambiente, pues no requiere riego y eso resulta en un ahorro sustancial de agua para el funcionamiento de estos centros deportivos; y como en su composición intervienen materias primas provenientes del reciclaje de neumáticos fuera de uso, aporta a la disminución de desechos.

2. PISOS DE CAUCHO RECICLADO

Debido a esta características enunciadas en el párrafo anterior es que estos pisos sean aptos para ser utilizados en el espacio público como solado para zonas de juegos para niños en reemplazo de los tradicionales areneros; también como cubierta de senderos para aerobistas y caminantes; o para cubrir cualquier superficie que requiera además durabilidad y control de las condiciones climáticas.

Esta característica de absorber impactos abre un abanico de posibilidades de ser utilizados en gimnasios, escuelas, jardines de infantes, residencia de ancianos, entre una multiplicidad de usos posibles. Existe normativa vigente tanto en el país como en el exterior sobre las características que deben cumplir estos pisos de baldosas flexibles de seguridad amortiguadores de caídas.

Surgieron como de las posibles aplicaciones del material resultante de la trituración del caucho, ante el problema ambiental que la disposición de los neumáticos fuera ocasiona.

El carácter flexible que los productos poseen los particularmente aptos para una amplia gama de locaciones como se verá más adelante.

La posibilidad de aprovechar esta característica ha motivado numerosos estudios tanto en Europa como en Estados Unidos, referidos a las condiciones de seguridad de los parques infantiles. Se observó que una de las principales causas de lesiones y en ocasiones de muertes en niños pequeños, eran a consecuencias de los traumas debido a caídas en el equipamiento de los juegos.

La norma de la Unión Europea UN 1177 que determina la altura crítica a partir de la cual se pierden las condiciones de seguridad en los parques de juegos, es la que es aceptada y aplicada en nuestro país.

Los pisos confeccionados a base de caucho reciclado podríamos dividirlos en dos grandes grupos:

- a) Confeccionados "in situ"
- b) Baldosas amortiguantes (pueden ser con prensado en caliente o prensado en frío)

2.1. Pisos de caucho reciclado realizado "in situ"

Estos pisos se confeccionan al puesto, previo diseño y nivelación del terreno, se colocan respetando formas y colores establecidos, generalmente se utilizan como sustitución de la arena en los espacios destinados a juegos de niños, generalmente de carácter público.

Su confección se realiza con máquinas hormigoneras, las cuales son cargadas con el caucho reciclado en granulometrías definidas y eventualmente coloreadas o con adición de colorantes; mezcladas con adhesivos poliuretánicos en una proporción cercana al 10% del peso del caucho. Luego de mezclado, es vertido y nivelado siguiendo los patrones del diseño; el fragüe opera luego de aproximadamente 24 horas.

Estos pisos son particularmente apropiados para espacios de juegos, en los cuales exista una verdadera posibilidad de accidentes.



Figura 6: Piso de caucho reciclado in situ

Eventualmente se pueden colocar en dos capas, la primera de mayor espesor a partir de los 20 mm, consisten en granza de caucho reciclado más gruesa, es la que le provee de la capacidad de amortiguar los impactos. La capa superior de menores espesores, del orden de 10 a 15 mm., se suele realizar utilizando gránulos de caucho EPDM y SRB pigmentados previamente, lo que resulta en una superficie durable y con diseños y colores a elección del cliente (Rubtec, 2020); también puede utilizarse para la capa de terminación granza de caucho reciclado coloreada en obra.

2.2. Pisos de baldosas amortiguantes

Usualmente estas baldosas flexibles son construidas en un sistema de doble densidad, con una capa gruesa que asegura la suficiente amortiguación, y otra más fina, más compacta que protege al piso de la abrasión y el desgaste.

Aunque también se fabrican en una sola densidad, con espesores acordes al uso al que estarán sometidas.

Además de los usos descritos previamente en el apartado de los pisos de caucho reciclado, también se las puede encontrar en la protección contra caídas y resbalones de grandes animales, particularmente en el cuidado de caballos de carrera. En las instalaciones de los centros de cuidado y de carreras, pisos y paredes, camiones de traslado, lugares de espera, caminos internos, es tendencia en la actualidad, aplicar este tipo de solado para protegerlos.

2.3. Características

Tal como se vio previamente, estos pisos poseen diferentes aplicaciones y características y sus principales propiedades se describen a continuación:

- ✓ Durabilidad: Fueron concebidos para durar, su elevada resistencia a la abrasión permite soportar severas condiciones de uso.
- ✓ Absorción del sonido: Las propiedades acústicas del caucho posibilitan la atenuación de todo tipo de ruidos molestos, creándose un ambiente confortable.
- ✓ Aislación eléctrica: Su característica especial de actuar como aislante eléctrico, posibilita el cumplimiento de normas de seguridad indispensables.
- ✓ Aislación térmica: Son excelentes aislantes térmicos, incluso se puede mejorar esa característica con la adición de colores claros.
- ✓ Antideslizante: Posee bajo coeficiente de deslizamiento, lo que los hace particularmente seguros en lugares como escaleras, rampas y pasillos.
- ✓ Resistencia a las quemaduras: Particularmente a los cigarrillos, que es una de los principales factores de quemaduras a los que estarán expuestos. En ocasiones pueden resultar levemente manchados, pero que pueden ser fácilmente limpiados con los sistemas convencionales.
- ✓ Mantenimiento: Son ideales para lugares de alto tránsito, no requieren de cuidados especiales.
- ✓ Confort: Los pisos de caucho al ser elásticos y flexibles son altamente confortables, esta capacidad de proveer amortiguación los hacen particularmente aptos para ser colocados en ámbitos donde se trabaja de pie y para lugares de alta circulación.

Según la ficha técnica de los pisos de caucho a las que se pudo acceder, los rangos de las principales propiedades de los mismos son los que se muestran en la tabla 3.1. (CARDONA GOMEZ L, 2011)

Se puede apreciar que el caucho proporciona a los pisos en cuestión características de dureza, densidad, resistencia al desgaste, resistencia al marcado, resistencia eléctrica, aislamiento acústico y térmico.

PROPIEDADES	NEGRO	OTROS COLORES
Dureza	80 +-5	80 +-5
Densidad (g/cm ³)	1,57 +- 0,1	1,57 +- 0,1
Carga de ruptura (psi) mínimo	1200	1200
Rasgado(psi) mínimo	200	200
Resistencia al desgaste (5%) mínimo	60	60
Deformación de compresión (%) mínimo	40	40
Resistencia al marcado	Excelente	Excelente
Resistencia eléctrica (ohm/cm)	10 (13)	10 (13)
Aislamiento acústico (db) mínimo	25	25
Aislamiento térmico (m ² /kb)	0,016	0,016

Tabla 1 Principales propiedades de los pisos de caucho

2.4. Aplicaciones

El uso de estos pisos se viene extendiendo, en sus distintas variantes y aplicaciones, a un ritmo importante a nivel mundial y su ciclo de vida está en las etapas iniciales en nuestro país.

Los principales factores que favorecen su empleo en actividades humanas son:

- ✓ Una eficiente disminución en los traumas que en las personas provocan los impactos que se producen al desarrollar actividades de recreación, sobre todo en los niños. Lentamente se va tomando conciencia de la problemática de los accidentes acaecidos en los parques infantiles, como ha ocurrido en la Unión Europea, que a la luz de la problemática que representaba la tasa de accidentes y muertes por lesiones en niños, tomó cartas en el asunto y produjo normativa al respecto que se verá más adelante.
- ✓ La disminución en los accidentes intrahospitalarios, con ese fin, preocupa en los centros de salud el tratamiento de pisos en pasillos y habitaciones, apuntándose hacia la colocación de pisos antideslizantes y amortiguantes de impactos.
- ✓ Como reductor de fatiga, su utilización deviene eficaz en instalaciones industriales y comerciales, en lugares donde el personal debe permanecer largo tiempo de pie.
- ✓ Su capacidad de ser aislante acústico de relevancia, lo hace apto para ser utilizados en espacios cerrados donde se efectúan actividades deportivas y sumado a lo ya expresado sobre la capacidad amortiguante ante impactos, en dichas instalaciones, se lo coloca además para protección de mamposterías y para evitar micro traumatismos en las personas.



Figura 7: Utilización en áreas de esparcimiento infantiles (productosfenix.com.ar)



Figura 8: Utilización en instalaciones deportivas y gimnasios (www.squat.com.ar)

Los principales motivos que favorecen su empleo en actividades con animales son:

- ✓ Aumenta la seguridad en los traslados de los mismos, colocándose en los pisos de los pasillos y las unidades de traslado.
- ✓ Disminuye los costos de mantenimiento de los boxes (se utiliza en reemplazo de la cama de paja).
- ✓ En los centros de atención veterinaria e incluso en los centros de inseminación artificial, se los coloca para mejorar la seguridad y las condiciones de higiene generales.
- ✓ Permite un manejo seguro del animal en tambos y en cualquier tipo de instalación de manejo de animales.



Figura 9: Utilización como piso en boxes de caballos (www.productosfenix.com.ar)



Figura 10: Utilización en instalaciones para animales (www.productosfenix.com.ar)



Figura 11: Utilización para el transporte de animales (www.productosfenix.com.ar)

2.5. Descripción

En general, las baldosas de caucho reciclado contienen aproximadamente entre el 85 y el 90% de su componente en peso al caucho reciclado y el porcentaje restante a un aglomerante, que habitualmente es una resina polimérica para aglomerar la granza de caucho reciclado.

Estas baldosas se presentan generalmente cuadradas y en una reducida gama de tamaños y espesores, pero podría decirse que varían entre 400 a 500 mm de lado, con espesores variables que van desde los 20 hasta los 50 mm.

Dimensión Tolerancia +/- 0,5% (mm)	Espesor Tolerancia +/- 0,3% (mm.)	H.I.C. Altura de caída crítica (m)
500x500	20	1
500x500	30	1,40
500x500	40	1,70
500x500	50	2,00
1000x1000	20	1,20
1000x1000	30	1,50
1000x1000	40	1,70
1000x1000	50	2,00

Tabla 2: Dimensiones de baldosas de caucho reciclado y altura de caída crítica.

En la Tabla 2 se muestran las dimensiones comerciales de baldosas de caucho reciclado por parte de una empresa del rubro, en ella se consigna que para dos tipos de baldosas cuadradas, se fabrican cuatro espesores distintos. Además, para cada caso en particular se muestra el ensayo de altura de caída crítica según norma IRAM 3616 y la EN 1177 (norma europea que define el ensayo de caída libre para pisos amortiguantes a ser colocados en lugares de juego de niños). (www.pisosantitraumas.com.ar)

Algunas empresas, las confeccionan de doble cara, una visible que se elabora con gránulos más finos y eventualmente de colores y otra, la que va en contacto con el piso, elaborada con granza de mayor granulometría, aporta la mayor parte de la característica amortiguante y propicia el drenaje.



Figura 12: Baldosa bicapa con terminación de color (De Biase, 2017)



Figura 13: Baldosas de una sola capa (www.greendrindsca.org, 2017)

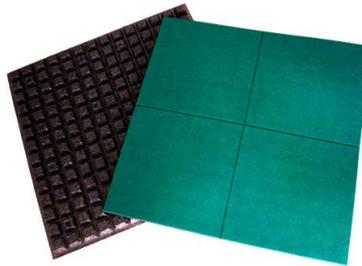


Figura 14: Baldosas de seguridad (www.pisosantitraumas.com.ar)

Las empresas suelen ofrecer junto con las baldosas, un adhesivo para pegarlas a superficies preexistentes. Se colocan sobre el terreno natural, pero eventualmente sobre contrapisos con carpetas, o sobre pisos existentes a los que se pretende transformar en pisos amortiguantes.

Una de las razones para colocarlas adheridas a una superficie es para evitar los actos de vandalismo a las que pueden estar expuestas, cierto es también, que el pegado mejora notablemente acabado final.

Este adhesivo, generalmente poliuretánico mono componente, del tipo de contacto, se ofrece en envases de 4 y 20 kg respectivamente. Polimeriza con la humedad ambiental residual formando una unión y sellado de gran fuerza y durabilidad.

Las características más relevantes de este producto son (De Biase, 2017):

Propiedades	Valor
Tipo	Monocomponente
Resistencia Hidrocarburos	Muy buena
Adherencia inicial	Muy buena
Durabilidad	Elevada
Termoplasticidad	No
Viscosidad a 25° (Cps)	1000-4000
Peso específico (gr/cm ²)	1,05 1,20
Rendimiento (kg/m ²)	0,8
Curado (transito moderado) (hs)	24
Curado (transito libre) (días)	5

Tabla 3 Características de los adhesivos poliuretánicos

Los pisos elaborados con baldosas de caucho reciclado son relativamente nuevos en el país, por lo tanto es prematuro aun para observar su comportamiento en el tiempo. Los efectos que en ellos ocasiona la exposición ante los agentes climáticos, su comportamiento drenante, su resistencia a la intemperie y al tránsito, el sistema de pegado, la decoloración o no sufrida ante el ataque de los rayos UV, resultan de interés observar.

2.6. Normativa.

La normativa IRAM aporta numerosas normas relacionadas con ensayos para pisos en general, para pisos de madera, cerámicos, etc., y también una serie de normas para pisos de caucho que se especificarán a continuación. Más no existe norma de aplicación sobre los pisos elaborados a partir de caucho reciclado y un aglomerante polimérico; de manera que las empresas que los producen, remiten a normativa referida a un lugar de colocación en particular, los patios de juegos de los niños.

Ensayos para pisos de caucho.

Como se dijo, la normativa IRAM contempla a los pisos elaborados íntegramente con caucho, por lo tanto dicha normativa no resulta de aplicación para los pisos objeto de este estudio. No obstante se realizará una descripción somera de la misma para enmarcar el tema.

- ✓ IRAM 113 070: Método de determinación de la resistencia a la quemadura de cigarrillos: establece el procedimiento a seguir para determinar la resistencia de los pisos de caucho a la quemadura por cigarrillos.
- ✓ IRAM 117 071: Método de terminación de la resistencia a la abrasión: Establece el método de determinación de la resistencia a la abrasión de los pisos de caucho mediante un abrasímetro tipo Taber.
- ✓ IRAM 113 072: Ensayo de Indentación: Establece el procedimiento a seguir para determinar la Indentación inicial y residual de los pisos de caucho mediante un indentador cilíndrico.
- ✓ IRAM 113 073: Método de determinación de la estabilidad dimensional: Consiste en colocar en estufa probetas del piso en estudio, dejarlos durante un período de tiempo prefijado y determinar luego la variación de su ancho y su largo.
- ✓ IRAM 113 074: Método de determinación de la absorción de agua: Se determina sumergiendo probetas en agua y por diferencia de pesadas se obtiene la absorción de agua.
- ✓ IRAM 113 079: Determinación del coeficiente de fricción estático: Establece el método para determinar el coeficiente de fricción estático en pisos de caucho mediante el desplazamiento de un patín sobre un plano inclinado.

Ensayos para pisos amortiguantes.

Los pisos amortiguantes poseen normativa específica que analiza su capacidad de absorber impactos, esto es especialmente relevante cuando se colocan cubriendo las superficies de las áreas de juegos infantiles. En nuestro país aborda el tema la NORMA 3616, sobre seguridad en patios de juegos en cuanto a los solados, En el

ámbito legislativo, la Ley 455 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, que trata sobre el equipamiento de los juegos infantiles, remite a la norma europea EN 1177 sobre superficies absorbedoras de impactos, o la que IRAM considere aplicable oportunamente. De manera que por ser citada en la legislación vigente y por las empresas que elaboran y/o comercializan estos pisos, se describe someramente a continuación la mencionada norma.

La UNE -EN 1177 Norma española que oficializa la EN 1177/2008: tiene por objeto especificar un método para determinar la amortiguación del impacto de las superficies de las áreas de juego para los niños.

Define una altura de caída crítica para los revestimientos, que representa el límite superior de eficacia para reducir las lesiones en la cabeza cuando se utiliza un equipamiento de área de juego conforme a la norma EN 1176 sobre la seguridad en las áreas de juegos al aire libre. Los métodos de ensayo que se describen en esta norma son de aplicación tanto para los ensayos efectuados en laboratorios como los realizados in situ.

Se aplican a una variedad de materiales disponibles que permiten amortiguar el impacto, baldosas de caucho, colchonetas, planchas, revestimientos sintéticos continuos, bien prefabricados o hechos al puesto, materiales sin cohesión tales como gravilla, arena, virutas de madera, corteza, etc., y por supuesto, los pisos objetos de este estudio, las baldosas de caucho reciclados con NFU.

Ensayos para baldosas de caucho reciclado.

Tal como se desprende de los artículos precedentes, existe normativa para los pisos, para los pisos de caucho y para los pisos amortiguantes; pero se carece de normas específicas para las baldosas de caucho reciclado aglomerado con polímeros. Se aborda sólo un costado, el de uno de sus usos específicos, importante por cierto, fundamental más bien, pero se cree necesario avanzar sobre la confección de normativa particular. La variabilidad en cuanto a sus características necesita ser abordada, su comportamiento en el tiempo considerando que en general, estarán expuestas a los agentes climáticos permanentemente o a duras exigencias de trabajo. Para establecer sus características, se asimilaron ensayos destinados a otros materiales como se explicará en el capítulo pertinente, pero esperemos que en una etapa posterior hacer un aporte en esa dirección.

3. BIBLIOGRAFIA

CARDONA GOMEZ L, S. M. (2011). Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos. *Especialización PML* (págs. 26,27). Medellín: Universidad de Medellín.

Chandias M., R. J. (2007). *Cómputos y Presupuestos*. Buenos Aires: Alsina.

- De Biase, D. E. (2017). Ampliación en la línea de producción de productos elaborados con caucho reciclado. *Proyecto Final Ingeniería Industrial* (págs. 4,5). Buenos Aires: I.T.B.A.
- Rodriguez M. (2018). Solados, Resumen Construcciones 1. *Construcciones 1 Arq. Cáceres*. Universidad Nacional del Nordeste.
- Rubtec. (2020). *Pavimento de caucho in situ*. Santiago Chile: Rubtop.
- www.greendrindscba.org. (2017). *Pisos de caucho reciclado, un emprendimiento cordobés*. Córdoba: Tritium .
- www.microfloor.com.ar. (s.f.). *Pisos*. Buenos Aires: Microfloor.
- www.pisosantitraumas.com.ar. (s.f.). *Normativas, pisos de seguridad*. pisos antitraumas.
- www.productosfenix.com.ar. (s.f.). *Pisos, Grandes Animales*. Esteban Echeverría: Productos Fenix.
- www.squat.com.ar. (s.f.). *Gimnasios*. Esteban Echeverría: Productos Fenix.

Capítulo 4: Caracterización de los materiales

En el **capítulo 4: "Caracterización de los materiales"** 1) Caucho NFU, 2) Resinas MDI se muestran los resultados de los ensayos realizados al caucho reciclado para caracterizarlo. Ensayos de densidad y de granulometría, caracterizan a estos materiales a escala. Se describe además el ensayo de microscopio de barrido de electrones. Composición del caucho de NFU por TGA. Diferentes pesos moleculares, contenidos de telas sintéticas y contenido de material ferroso. Distribución granular de las dos fracciones utilizables. Composición de la resina poliuretánica. Comparación con datos del fabricante.

1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Las baldosas a diseñar con caucho reciclado se componen de una mezcla de granza de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso y un aglomerante, la cual mediante la aplicación de presión y respetando tiempos de fragüe necesarios brinda el producto terminado.

1.1. Granza de caucho reciclado

Luego del proceso de trituración, se obtiene granza de caucho reciclado en distintas granulometrías, desde tamaños grandes aptos para ser utilizados como combustible, hasta el polvo de caucho que se agrega a las mezclas asfálticas.

Granulometría:

Para la elaboración de las muestras analizadas en este estudio se utilizan dos granulometrías de granza de caucho reciclado de NFU procedentes de la empresa Molicaucho SH, ubicada en La Tablada, partido de La Matanza, denominadas por la misma como: M1 y M2 (gruesa y fina) respectivamente. La idea de utilizar dos granulometrías guarda relación con la granulometría fina, rellenar los huecos de la granulometría gruesa, y poder lograr mejor distribución granular. En el laboratorio ambas partidas fueron ensayadas para determinar su granulometría, utilizando el método para áridos finos según la norma IRAM N° 1520, haciendo pasar las partículas por una serie de tamices, que se muestran en las siguientes tablas:

Tamiz N°	M1 Pasa tamiz %	M2 Pasa tamiz %
1/4	100,00	100,00
4	95,39	100,00
8	60,76	99,60
16	3,98	38,21
30	1,95	5,96
100	1,06	0,93
200	0,00	0,00

Serie de tamices ASTM	1/4	4	8	16	30	100	200
Abertura (mm)	6,35	4,75	2,36	1,18	0,6	0,150	0,075

Tabla 1: Determinación de las granulometrías de las dos muestras ensayadas

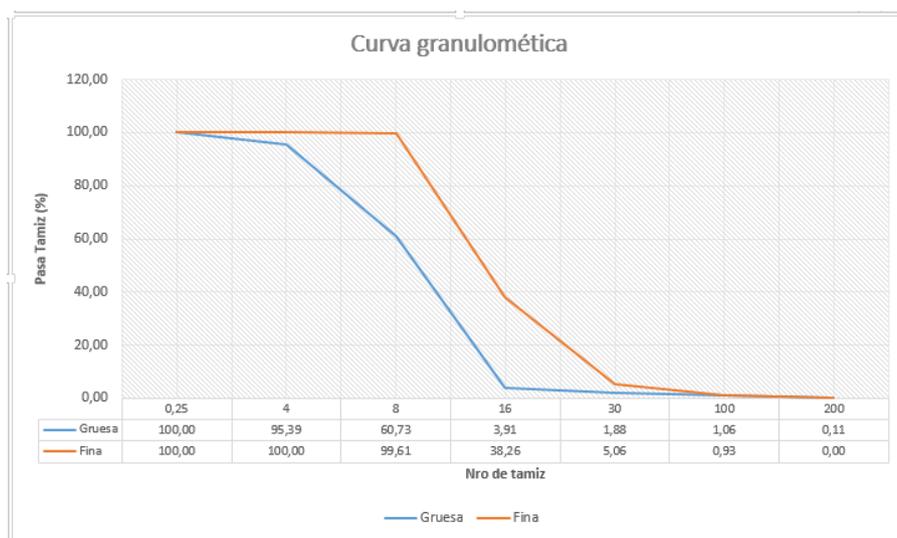


Gráfico 1 Curva granulométrica obtenida.

Determinación de la densidad a granel.

Este parámetro se obtuvo a partir de un ensayo según la Norma IRAM 1548 para agregados, tomando en consideración las características del material a ensayar, se utilizó el método C para determinar éste parámetro.

Se realizaron cuatro mediciones según el procedimiento descrito en la norma y descartando el más alejado de la media se procedió a calcular su promedio. Con este valor se estableció, utilizando las fórmulas contenidas en la norma, la densidad a granel de cada una de las dos muestras.

Ensayo s/IRAM 1548	M1	M2
Densidad suelta (grs/cm ³)	0,3739	0,3907

Tabla 2: Ensayos para obtener la densidad suelta

Luego se procede a determinar las densidades y contenidos de agua de las dos muestras seleccionadas. En la Tabla N° 11 se muestran los resultados obtenidos.

Ensayo	M1	M2
Densidad Relativa (g/cm ³)	1.175	1.182
Densidad aparente (gr/cm ³)	0.538	0.542
Contenido de agua (%)	0.56	0.45

Tabla 3: Ensayos físicos de las muestras de NFU.

Composición del caucho utilizado.

También se evalúa el contenido de textiles separando visualmente lo que se observe en cada tamiz al momento de hacer las granulometrías. En la tabla 3 se

pueden observar los valores obtenidos. Mientras que en la foto N° 1 se puede visualizar la muestra

Ensayo	M1	M2	Limites
Residuos ferrosos (%)	0,008	0,012	0,010
Residuos textiles (%)	0,230	0,270	0,500

Tabla 4: Valores obtenidos en la separación de fibras y metales.

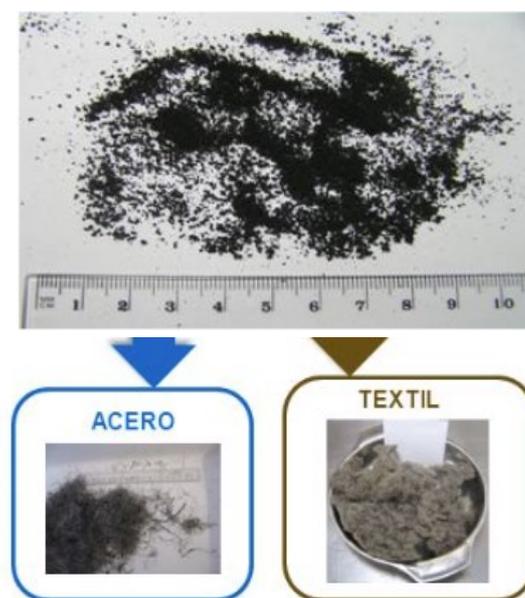


Figura 1: Fotografía de la muestra.

La muestra de caucho seleccionada fue analizada bajo la técnica de cinética de degradación. La misma puede ser estudiada mediante la técnica de termogravimetría TGA. Mide la pérdida de peso de una muestra en función del tiempo y la temperatura

El equipo termogravimétrico automatizado, modelo TGA 701 de marca Perkin, determina automáticamente, por gravimetría registrada, la pérdida de peso en función de la temperatura en una atmósfera de gases controlada. Las técnicas utilizadas por este equipo cumplen con las normas ASTM -ASTM D 3174-02, 2002; ASTM D 5142-02a, 2003 y ASTM D7582, 2012 (ASTM International, 2002, 2003 y 2012) y se encuentran aprobadas por la AOAC International y la AACC International. (14). El equipo analizador termogravimétrico automatizado posee controles operacionales que mejoran la exactitud de la temperatura de trabajo (hasta 1000°C) y dispone de un montaje neumático autoajustado del carrusel porta crisoles, que mejora la confiabilidad eliminando la oscilación y 3 aumentando la exactitud de la posición del carrusel, en función de la cantidad de crisoles o muestras a analizar.

Expresado en formato de tabla se puede hacer la síntesis de los valores obtenidos, comparando su posicionamiento con los entornos referenciales citados. En la Tabla 5 se pueden ver los resultados

Componente	Valor %	Combinación %	Exigible
Plastificantes	11		8-22
NR	9	NR total 15	21-42
BR	9		
Mezcla de NR Y SBR	13	Hidrocarburo caucho 39	40-55
BR	24		
Residuo sólido	35	Negro de carbono, cenizas y azufre	26-38

Tabla 5: Composición de la muestra M1

NR: caucho natural SR: Caucho sintético BR: Caucho poli-butadieno

1.2. La resina aglomerante:

Un aglomerante es un adhesivo que puede mantener unidos a dos o más cuerpos mediante contacto superficial. Es sinónimo de cola o pegamento, en adelante nos referiremos a estas colas como resinas. Aunque su adherencia se pueda lograr mediante distintos mecanismos de naturaleza física o química, desde el punto de vista tecnológico, los adhesivos son productos, naturales o sintéticos, que permiten obtener una fijación de carácter mecánico. (Tuñón García I, 2020)

Las características que diferencian a un adhesivo del resto de los materiales son las siguientes:

- ✓ *Tack o pegajosidad* (propiedades de mojado permanente o temporal): propiedad del material que le permite formar enlaces de fuerza significativa luego de ponerse en contacto con la superficie de otro material, generalmente mediante la aplicación de una débil presión. Se relaciona con la adhesión instantánea y difiere de la adhesión final, ya que para que se produzca la adhesión óptima es necesario un mayor tiempo. La propiedad de tack es función de las propiedades reológicas del adhesivo, así como de las características superficiales del mismo y del material a unir.
- ✓ *Fuerza adhesiva*: es la fuerza del enlace producido por el contacto de un adhesivo con una superficie. Depende de la temperatura, la presión aplicada y el tiempo de contacto.
- ✓ *Fuerza cohesiva*: es la resistencia mecánica y reológica interna del propio adhesivo, y por lo tanto su valor es relativamente independiente de la superficie a unir (Aran Asís F, 2000).

Se utilizan preferentemente en este tipo de materiales compuestos las resinas poliuretánicas de uno dos componentes, aromáticas o alifáticas. Otros tipos de resinas no fueron consideradas en virtud de lo relevado mediante consultas en el sector. De esta manera se ha optado por una resina fabricada en el país por la empresa Recsa (Reactores Argentinos S.A.), ubicada en el distrito de Tigre, que es del tipo monocomponente. Se buscó considerar productos disponibles en la industria local. Por otro lado del relevamiento realizado se pudo considerar que productos provenientes de países asiáticos, demostraron menor desempeño frente a las condiciones de intemperismo.

Estas resinas son *prepolímeros hecho a partir de polioles de alto peso molecular e isocianatos realizados mediante un método de poliadición*. Como se explicó anteriormente la relación entre los isocianatos y los polioles definen a este tipo de resinas, así los polioles son los encargados de brindarle las características elastoméricas y los segmentos duros de los isocianatos la rigidez.

Sobre estos últimos, los más utilizados son los MDI (difenilmetano isocianato) quien es un miembro de la familia de los isocianatos asociado con la química del poliuretanos. En el proceso de la obtención del MDI, la anilina es condensada con formaldehído para producir metilén dianilina (MDA), la cual reacciona con fosgeno para formar MDI. El MDI en sus varias formas es ampliamente usado en la industria, está disponible en sus tres amplios tipos de componentes:

- ✓ *MDI Polimérico (PMDI)*: Es una mezcla de MDI y otros isómeros de MDI (2,4, s, 2) y un alto peso molecular de oligómeros.
- ✓ *MDI Monomérico (MMDI)*: es un destilado de la mezcla polimérica del MDI, constituido por 97% de 4,4'-MDI con pequeñas cantidades de 2,4'-MDI y trazas del isómero 2,2'.
- ✓ *MDI Modificado*: químicamente diseñados a la medida para cumplir los requisitos de aplicaciones y procesos específicos. (BASF, 2020)

En la tabla 6 se presentan los tres tipos de MDI (monomérico, modificado y polimérico) con sus principales características y propiedades.

MDI	MDI Monomérico	MDI2 Modificado	MDI3 Polimérico
Promedio de Funcionalidad	2	Varía	2.1 a 3,0
Apariencia	De blanco a amarillento , sólido o líquido	Varía	líquido color café
Olor	Ninguno	ligeramente aromático	ligeramente aromático
Contenido de NCO (wt%)	33,5	Varía	30-32

Viscosidad (mPas, cps)	4 a 40°C	Varía	Varía
Punto de Congelación	38°C	Varía	Varía
Punto de ebullición	Se descompone a 200°C	Se descompone a 260/340°C	Se descompone a 260/340°C
Flash Point (DIN)	200°C	arriba de 200°C	arriba de 200°C
Densidad (g/cm ³)	1,20 a 40°C	1,21 - 1,22 a 25°C	1,23 a 25°C
Calor Específico (kJ/kg°K)	1,39 a 40°C		
Presión de vapor (mbar a 25°C)	Aproximadamente 10,00E-05	Aproximadamente 10,00E-05	Aproximadamente 10,00E-05

Tabla 6: Características de los MDI (BASF, 2020).

Además otro factor de significación resulta ser el porcentaje de Isocianatos (grupo NCO). En la tabla 7 se presenta la formulación química de los MDI donde se puede apreciar la variación en el porcentaje de NCO para cada uno.

Especie	Fórmula	Peso Molecul ar	Cont.-NCO (% en peso)
MDI monomérico	C ₁₅ H ₁₀ N ₂ O ₂	250,26	33,50%
Prepolímeros MDI's modificados	Varios	varios	Varios
MDI Polimérico	Varios	Aprox. 340	Aprox. 31%
Números de referencia			
Chemical Abstracts:	2,4'-MDI: 5873-54-1		
	4,4'-MDI: 101-68-8		
	2,2'-MDI: 2536-05-2		
	polymeric MDI: 9016-87-9		
	mon-isomer specific: 26447-40-5		
Naciones Unidas	4,4-MDI containing compositions: 2489		
Número – EEC	PMDI: 615:005-01-6		
	MMDI: 615-005-00-9		

Tabla 7: Porcentaje de los -NCO (BASF, 2020).

Si bien se utilizan para la elaboración de diferentes productos, todos pueden formar parte de adhesivos y particularmente, los MDI monoméricos y los PMDI, se utilizan preferentemente en la formación de los aglutinantes.

Resinas utilizadas características

Para la ejecución de las baldosas de caucho reciclado de NFU se ha utilizado un aglutinante de base MDI diseñado para el reciclaje por aglomeración de distintas moliendas de materiales como: corcho, espumas de poliuretano, caucho, goma EVA, cuero, etc. Si bien la empresa Recsa S.A. fabrica dos resinas que podrían utilizarse, el hecho de la que AG 50 sea particularmente recomendado para los trabajos in situ, hizo que para este trabajo nos inclinásemos por la utilización de la AG 30 que además se la indica como apropiada para lograr piezas más amortiguantes. Esta resina permite obtener piezas compactas de distintas características según la carga aglutinada siendo las principales propiedades las siguientes:

Propiedades físicas.

Características	AG 30	AG 50
Sólidos no volátiles (%)	100	100
Viscosidad a 25 °C (Cps)	2000-6000	2000-7000
Densidad a 25°C (gr/cm ²)	1,05 – 1,20	1,00 – 1,20
% NCO	5-8	8-10
Relación de Uso (1)	100:10	100:10

Tabla 8: Propiedades físicas de las resinas AG30 y AG 50 de Recsa S.A.

(1) La Cantidad puede variar de acuerdo a la carga y a las propiedades deseadas, se recomienda ensayar en cada caso.

Este aglutinante recomienda utilizarse mezclando la molienda en la proporción deseada, homogeneizar hasta conseguir una buena dispersión del producto, para lograr obtener un alto grado de interrelación entre la carga y el aglutinante. La mezcla se puede procesar por:

- ✓ *Moldeo por extrusión*: temperatura idea entre 100 y 120 °C
- ✓ *Moldeo en prensa*: preferentemente calefaccionados entre 80 y 140 °C
- ✓ *Moldeo manual*.

Para nuestro caso hemos decidido que sean por moldeo en prensa sin calefaccionar, para hacer más sencillo el sistema constructivo a ser utilizado por los agentes de la economía social. La determinación del tiempo de fragüe se ha determinado mediante ensayos respectivos. En principio, y para la eficiente utilización de los moldes, se probará con un tiempo de 24 horas.

Comparación con otras resinas.

En la tabla siguiente se señalan algunas de las propiedades físicas de otras resinas que se pueden encontrar en otros países a modo de comparación. Cabe destacar que las mismas son en general del tipo monocomponente de poliuretanos aromáticos.

Se advierte que en el caso de las resinas tengan protección ante la radiación ultravioleta, éstas se fabrican en base de poliuretanos alifáticos como en el caso de las resinas Techmo o Sibils.

Tabla 9: Propiedades físicas de resinas presentes en otros mercados.

Características	Techmo 319 (1)	Rayston 4000 (2)	R 381Sibil (3)
Sólidos no volátiles (%)	100	100	99,6
Viscosidad a 25 °C (Cps)	4.300	4200	4.400
Densidad a 25°C (gr/cm ²)	1,061	1,11	1,10
% NCO	9,65	s/inf.	s/inf.
Relación de Uso (1)	100:10/12	100:2/10	100:8/11

(1) (Techmo, 2020)

(2) (Krypton Chemical SL, 2020)

(3) (SIBILS S.A., 2020)

Cotejando sus respectivas hojas técnicas se observar ver los tiempos sugeridos de curado a temperatura, de trabajabilidad y de curado a temperatura ambiente. No muy distintos a la resina que efectivamente se ha utilizado para realizar las baldosas de caucho reciclado de NFU objetos de este estudio.

En todos los casos los fabricantes recomiendan proteger a la resina de la humedad y dan un intervalo de temperatura de almacenamiento entre los 15 y 25°C, un periodo relativamente corto de almacenamiento, del orden de los seis meses al año y consultar la ficha seguridad del mismo.

Como se verá en los siguientes capítulos, se seguirán diferentes criterios para la selección de la dosificación de estos dos materiales que se han citado

- ✓ Triturado de neumáticos fuera de uso NFU
- ✓ Resina poliuretánica

1.3. El material compuesto.

Con el objeto de poder mostrar, tanto el análisis de los elementos químicos presentes en una muestra determinada de las desarrolladas durante el presente trabajo, como de la unión entre los componentes de la mezcla, se ha sometido a una baldosa en particular a la acción de técnicas de microscopía.

En el presente capítulo se desarrollará un marco teórico de las técnicas de microscopía y especialmente se expondrá la composición química de la muestra. En cuanto a las imágenes obtenidas las mismas serán abordadas en el capítulo 6.

La muestra seleccionada contiene granza M1 con una relación de dosificación 90/10 en porcentaje del total de la mezcla con resina poliuretánicas AG 30 de Recsabond.

- ✓ Marco teórico.

La microscopía es la técnica principal empleada en la investigación, educación o industria para examinar la estructura de los materiales. El equipo empleado para esta técnica es el microscopio y dependiendo la aplicación existen diferentes tipos. Si la imagen obtenida por el aparato es a través del manejo de la luz se trata de un microscopio óptico, si esta es adquirida mediante una fuente de electrones se denomina microscopio electrónico, si la imagen se forma a través de una fuente laser

es un microscopio confocal y por último si la imagen se obtiene por medio de una sonda de contacto mecánico se habla de un microscopio de sonda.

Por otra parte, si la imagen se construye punto a punto se tiene un barrido por lo que existen microscopios de barrido como el confocal de barrido o el microscopio electrónico de barrido.

El microscopio de transmisión electrónica (TEM) alcanza resoluciones sub nanométricas, por lo tanto posible de efectuar estudios a nivel molecular. El microscopio de fuerza atómica (AFM) es empleado para el estudio detallado de la topografía de la muestra.

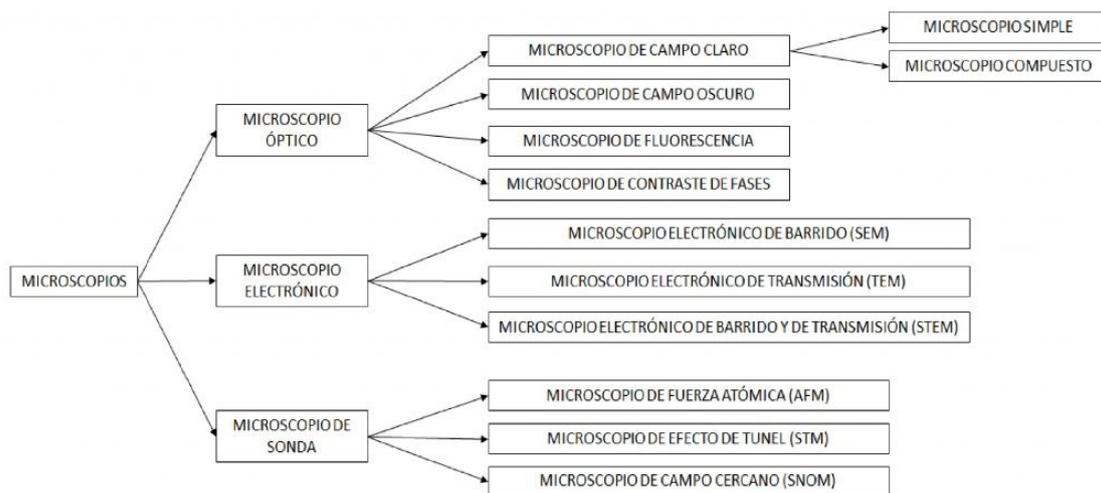


Figura 2: Principales tipos de microscopios.

Como ya fue descrito precedentemente el microscopio electrónico de barrido (SEM) es usado principalmente para el estudio a nivel nanométrico. El principio de funcionamiento se basa en la aceleración de electrones en un campo eléctrico, para aprovechar de esta manera su comportamiento ondulatorio, lo cual se lleva a cabo en la columna del microscopio donde se aceleran mediante una diferencia de potencial. Los electrones emitidos y acelerados se enfocan mediante las lentes condensadora y objetiva para reducir la imagen del filamento, de manera que incida en la muestra un haz de electrones lo más pequeño posible. Con las bobinas deflectoras se barre este haz de electrones sobre la muestra, punto por punto y línea por línea.

Además puede realizar análisis elementales mediante la combinación de diferentes tipos de detectores como el de rayos x (EDS). Previamente hay que preparar la muestra mediante un baño de oro para que se transforme en conductora y Esta configuración es adecuada para entender la topografía, composición y distribución elemental de los materiales analizados.

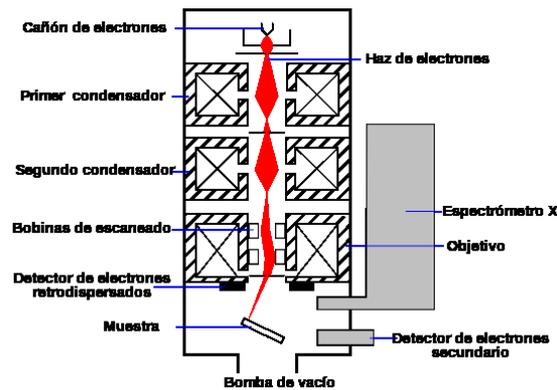


Figura 3: Esquema de funcionamiento de un microscopio de barrido de electrones.

El FEI Quanta 200 (SEM) del Laboratorio de investigaciones de metalurgia física (LIMF) de la facultad de ingeniería, departamento electrotecnia, de la Universidad Nacional de La Plata utilizado para analizar las muestras del material compuesto caucho-resina poliuretánica objeto de este estudio, responde a estas características.

Es un SEM de fuente de tungsteno, que puede operar en alto vacío regular y bajo vacío y está equipado con detectores de Electrones Secundarios (SE), Análisis de Rayos X por Dispersión de Energía (EDS), una cámara e TV interna (CCD) y una gama de detectores especiales para usar el SEM en modo LV o ESEM. Cuenta con resolución de 3.0 nm a 30 kV, con resolución de 10 nm a 3 kV y una aceleración de tensión entre 200 V y 30 kV. Brindando no solamente imágenes a escala nanométrica sino también la composición elemental de las partículas seleccionadas mediante cromatografía.

En la figura se muestran dos partes de la misma baldosa, a la izquierda tal como fue tomada y a la derecha, la misma baldosa tratada con un baño de oro para ser observada en el microscopio de barrido de electrones.



Figura 4: Fotografía de muestras preparadas para analizar.

La razón del tratamiento se basa en que para entrar en los rangos de diferencia de potencial en la emisión de electrones, al ser ésta una muestra aislante, debe proporcionársele un baño metálico conductor (oro en este caso) para adecuarla al potencial de uso.

Análisis de los elementos químicos presentes en la muestras

El estudio de microscopía sobre las muestras ensayadas permite realizar el análisis de los elementos químicos presentes en la muestra, direccionando y enfocando el equipo en una zona determinada. De tal manera que se realizaron dos mediciones posando el equipo sobre dos gránulos de caucho reciclado y en una sobre la capa de resina.

El objeto del estudio es además de conocer la composición elemental del mínimo sector que se está enfocando es verificar la variabilidad entre las composiciones de las dos posiciones de caucho y de la composición de la resina.

Esto se ha buscado así, ya que el origen de los gránulos de caucho reciclado puede ser de los más diversos teniendo en cuenta el mecanismo de molienda al que fueron sometidos. Cubiertas de distintos tipos, de distintas marcas, para distintos usos, de distintas procedencias han sido trituradas para formar la molienda que conforma la materia prima del material compuesto que ha sido estudiado.

Análisis espectral de dos granos de caucho

Primera medición:

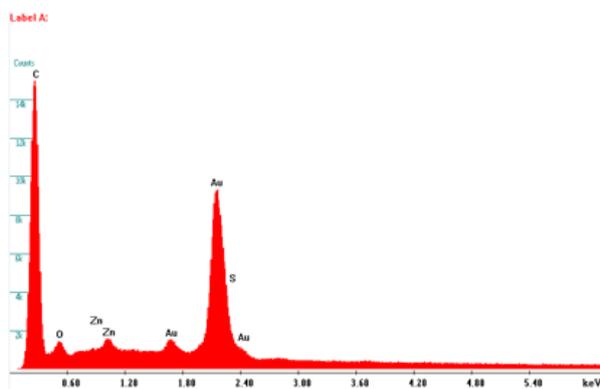


Gráfico 2: Primera medición espectral

Espectro caucho.spc
Label :
Acquisition Time : 09:34:22 Date:20-Dec-2017
kv : 14.99 Tilt: 0.00 Take-off:47.57 AmpT : 3.20
Detector Type: SDD Apollo 40 Resolution:141.54 Lsec 80

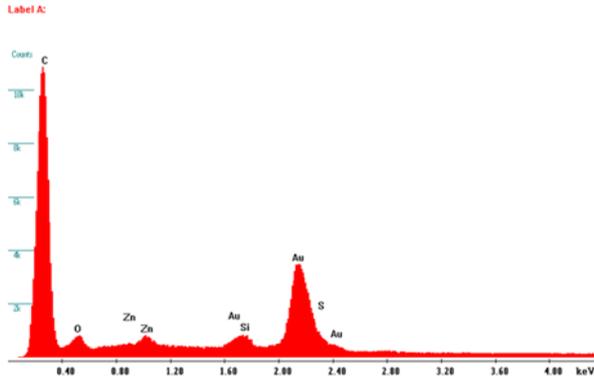
EDAX ZAF Quantification (Standardless)
Element Normalized
SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	77.43	89.68	0.3474	1.0234	0.4384	1.0001
O K	6.68	5.81	0.0161	1.0042	0.2400	1.0002
S K	5.11	2.22	0.0467	0.9409	0.9707	1.0000
ZnK	10.78	2.29	0.0858	0.7911	1.0054	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
C K	1237.64	29.35	0.33	42.17
O K	80.24	52.13	1.89	1.54
S K	168.73	86.15	1.22	1.96
ZnK	23.36	26.56	4.19	0.88

Tabla 10: Valores de la primera medición.

Segunda medición:



Espectro caucho.spc
 Label :
 Acquisition Time : 09:44:47 Date:20-Dec-2017
 kV : 14.99 Tilt: 0.00 Take-off:46.89 AmpT : 3.20
 Detector Type: SDD Apollo 40 Resolution:141.54 Lsec 34

EDAX ZAF Quantification (Standardless)
 Element Normalized
 SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	83.08	90.44	0.4383	1.0107	0.5219	1.0001
O K	7.68	6.28	0.0176	0.9918	0.2317	1.0001
ZnL	3.02	0.60	0.0206	0.8179	0.8360	1.0005
SiK	2.41	1.12	0.0213	0.9357	0.9435	1.0023
S K	3.82	1.56	0.0350	0.9282	0.9877	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
C K	1894.20	27.88	0.40	67.93
O K	106.88	49.66	2.29	2.15
ZnL	72.56	114.62	4.08	0.63
SiK	113.20	108.37	2.74	1.04
S K	154.18	80.68	1.97	1.91

Gráfico 3: Segunda medición espectral.

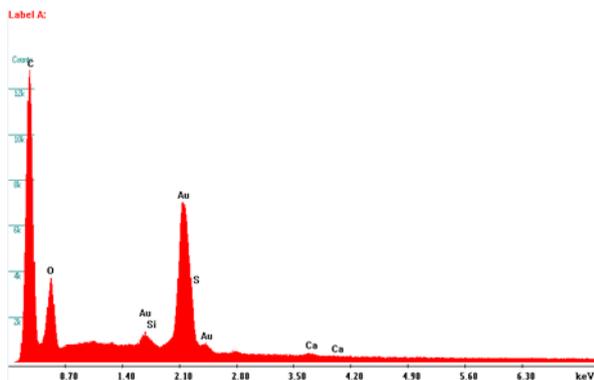
Tabla 11: Valores de la segunda medición.

En la comparación de los dos análisis espectrales cuantificados, descontando que no se puede medir el hidrógeno, y que el oro AU está presente y en gran cantidad debido al recubrimiento de la muestra para poder visualizarla, vemos que la composición es relativamente similar aunque no igual. Se observan variaciones en los porcentajes de los elementos químicos y es de esperar ya que provienen de una molienda realizada con neumáticos de distintos tipos y procedencias tal como fue descrito precedentemente.

No se advierte diferencias sustanciales tal vez, que en el segundo caso se encontró silicio (Si) que en el primer caso no fue advertido.

La presencia del Zn y del S en el análisis denota el proceso de vulcanización realizado al caucho.

Análisis espectral de la resina poliuretánica Recsabond AG 30



Espectro resina.spc
 Label :
 Acquisition Time : 09:37:14 Date:20-Dec-2017
 kV : 14.99 Tilt: 0.00 Take-off:47.57 AmpT : 3.20
 Detector Type: SDD Apollo 40 Resolution:141.54 Lsec 70

EDAX ZAF Quantification (Standardless)
 Element Normalized
 SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	67.35	75.09	0.3753	1.0092	0.5521	1.0002
O K	26.90	22.52	0.0734	0.9903	0.2754	1.0000
SiK	1.27	0.61	0.0111	0.9340	0.9375	1.0023
S K	3.44	1.44	0.0316	0.9266	0.9902	1.0008
CaK	1.05	0.35	0.0096	0.9085	1.0103	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
C K	1106.76	25.18	0.37	43.95
O K	302.53	43.86	0.78	6.90
SiK	40.23	102.16	4.62	0.39
S K	94.51	71.53	1.94	1.32
CaK	17.91	45.81	6.94	0.39

Gráfico 4: medición espectral de la resina.

Tabla 12: Valores de la resina.

Se advierte una disminución en el contenido del carbono, 67,35% y un aumento considerable de oxígeno 26,90%, respecto a las mediciones sobre el caucho. Luego en la composición, se advierte la presencia de sílice y azufre como en las mediciones mencionadas; y a diferencia de éstas, se nota una pequeña cantidad de calcio. Por lo descrito anteriormente este tipo de análisis no detecta la presencia del hidrogeno y la presencia del oro es debido al recubrimiento.

Pero en comparación con los polímeros del caucho, vemos una menor concentración de carbono en esta resina poliuretánica. En estas mediciones no se ha detectado el nitrógeno presente en el grupo isocianato debido probablemente a su bajo contenido en el total de la resina y la tabla muestra los principales cinco componentes.

2. BIBLIOGRAFÍA.

- Albiano N., V. L. (2015). *Toxicología laboral: criterio para el monitoreo de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas*. Buenos Aires: Superintendencia de Riesgos de Trabajo - Pag 517.
- Aran Asís F. (2000). *Síntesis y caracterización de poliuretanos termoplásticos que contienen resinas de colofonia y su aplicación como adhesivos*. Alicante: Universidad de Alicante - Tesis doctoral.
- Basf. (5 de agosto de 2020). *Manual del MDI poliuretano*. Obtenido de docsgoogle.com:
<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXxzb2xvcG9saW1lcm9zfGd4OjMwNmMwYmQwZDNIOGFIMDU>
- Belda Ferrín A. (2013). *Diseño de un reactor químico para la fabricación de resinas de poliuretanos*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Gutiérrez López V.M. (2013). *Síntesis y caracterización de resinas de curado rápido para la elaboración de componentes herméticos de iluminación automotriz*. Nuevo León: Universidad de Nuevo León.
- Hermida Elida. (2011). Polímeros. En I. d. Tecnológica, *Materiales y materias primas*. Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación.
- Hernández Muñoz L. (2006). El antiguo oficio del resinero. En P. y. Ministerio de agricultura, *Hojas Divulgadoras Num. 2116 HD* (págs. 2-6). Madrid: I.G.SALJEN S.L. .
- Krypton Chemical SL. (5 de agosto de 2020). *FT Ligante Caucho 4000 - Rayston*. Obtenido de Pisos especializados - Aislantes y techos.:
<http://www.aislantesytechos.com/wp-content/uploads/2015/08/PDF/PISOS-ESPECIALIZADOS/33.Ligante-Caucho-4000.pdf>
- Pinillos Herrero F.M., P. N. (2009). *La Resina: Herramienta de conservación de nuestros pinares*. Soria: Cesefor.
- Quiroz C., M. J. (2015). *Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales*. Mexico: Maderas y Bosques 21 Pags 171-183.

SIBILS S.A. (05 de agosto de 2020). *Resinas de poliuretano/productos/aglomerantes*. Obtenido de sibils.es:
<http://www.sibils.es/es/resinas-de-poliuretano-juntas-espumadas/productos/aglomerantes.aspx>

Techmo. (4 de agosto de 2020). *Ligante de caucho*. Obtenido de Techmo.es:
https://www.techmo.es/pdf/ft/FT_TECHMO%20LIGANTE%20CAUCHO%20319.pdf

Tuñón García I. (2020). Macromoléculas y coloides. En Tuñón García I, *Química Física*. Valencia: Universidad de Valencia.

Vallejos Calzada S. (2010). *Estudio de la reducción de emisión de formaldehído en las resinas de urea formaldehído*. Burgos: Universidad de Burgos.

Capítulo 5: Diseño del sistema de moldeo

En el capítulo 5 "*Diseño de sistema de moldeo*" se describen los sistemas para moldear las baldosas de caucho reciclado de neumáticos de NFU. Se describe el proceso desde la preparación de los materiales para lograr la dosificación deseada, el mezclado eficiente de los mismos, la preparación de los moldes para su posterior prensado y finalmente el desmolde y estiba. Se detallan las características de los equipos necesarios y se propone un esquema para la elaboración de un sistema de moldeo con prensado en frío adaptado a las necesidades de los actores de la economía social. Se analizan además los distintos agentes desmoldantes.

1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE MOLDEO

Para elaborar las baldosas de pisos con caucho reciclado, objeto de la tesis, se necesita definir el sistema de moldeo. Como se ha señalado una de las condicionantes consideradas es la de generar un sistema de producción sencillo y de bajo costo, para que pueda sumarse como alternativa de producción en sectores sociales de baja tecnificación, tales como cooperativas de trabajo, o de recicladores.

Un factor importante a seleccionar es el sistema de prensado, ya que de acuerdo al sistema que se elija los costos de la inversión inicial varían sustancialmente.

Se pueden señalar dentro del prensado, dos sistemas de curado de la resina que actúa como material aglomerante:

- ✓ Curado en caliente
- ✓ Curado en frío

El curado o fragüe en caliente se realiza en menor tiempo, optimizando el proceso y liberando más rápidamente los moldes utilizados en cada caso.

La razón de la existencia de diferentes procesos radica en la forma en que se produce el curado o fragüe de la mezcla, más precisamente en la forma en que lo hace el prepolímero que hace de aglomerante. Con el aporte de calor en el primer caso y con la humedad contenida en el ambiente en el segundo caso. El fragüe se realiza en menor tiempo cuando se prensa en caliente que cuando se lo realiza en frío, lográndose el fragüe en pocos minutos en el primer caso y del orden de las 24 horas en el efectuado en segundo término.

Esto es determinante en el proceso de fabricación obligando a contar para el curado en caliente con una prensa calefaccionada.

En el estudio en cuestión, debido a las características que supone trabajar con los actores de la economía social, es decir encontrarse ante la precariedad obvia de los recursos, naturalmente la decisión ante el tipo de proceso a seleccionar confluye hacia el prensado en frío.

Lograr acondicionar un espacio para la elaboración de éstas baldosas depende de varios factores, la elección del sistema de prensado es uno fundamental ya que define espacios destinados para la estiba de los moldes trabajados para su posterior fragüe, además del espacio que sería común para cualquiera de los procesos como la estiba del producto terminado. Otros factores importantes son:

- ✓ La escala del proyecto,
- ✓ La ubicación y
- ✓ La disponibilidad del espacio.

En general el proceso básico para la elaboración de estas baldosas con caucho reciclado de NFU consta de:

Acopio de la materia prima: se necesitarán espacios destinados para el acopio de las distintos tipos de granza de caucho reciclado de NFU y de las resinas utilizadas como aglomerantes, espacios dotados con las características necesarias para su correcto almacenamiento, con las correspondientes medidas de seguridad.

Dosificación de las mezclas: En esta etapa del proceso se procede a realizar los trabajos de pesaje de las materias primas en base a las cantidades necesarias para procesarlas y al tipo de dosificación requerida. Básicamente consta de un espacio para realizar las pesadas de la granza de caucho reciclado y de la resina para luego abastecer el sistema de mezclado.

Mezclado de las materias primas: Aquí se vuelcan en un recipiente acondicionado para tal efecto las materias primas por separado y mediante agitación mecánica se logra la integración de los componentes. El tiempo de mezclado es una de las variables a manejar por el operador, otra es la dosificación en los moldes y la limpieza de los equipos.

Preparación de los moldes: En este paso se preparan los moldes para recibir la mezcla. Comienza con la colocación del agente desmoldante de manera de facilitar las tareas posteriores de desmolde y comprenden la preparación de los mismos, ya sean unitarios para ser prensados en caliente o grupales si el prensado se realiza en frío.

Llenado de los moldes: sea cual fuere el tipo de moldes que se efectúen, el llenado de los mismos se efectúa por volumen. Es decir, se completan al ras los moldes que luego se llevarán al proceso de prensado.

Prensado: En esta etapa se realiza el prensado de los moldes de manera de enrasarlos, es decir, se prensa hasta que los moldes lo permiten y es por ello que se habla de una dosificación en volumen en los moldes. Si el prensado es en caliente, se prensarán individualmente en una prensa calefaccionado con capacidad de procesar varios de estos moldes; en cambio si el prensado es en frío, se colocarán grupos de moldes a prensar de igual manera por volumen, sólo que en este caso deben permanecer en presión luego de retirados de la prensa hasta que se produzca en el tiempo su fraguado.

Desmolde: En este proceso se procede al desmolde, sean estos individuales ya que fueron colocados en prensa calefaccionada, hecho que ocurre a los pocos minutos de haberlos prensado o a las horas, si el proceso fue efectuado con prensa en frío. En cualquier caso, se procede al desmolde separando el producto terminado para luego ser estibado y a la preparación de los moldes para su posterior reutilización.

Estiba del producto: Las baldosas obtenidas por el proceso precedentemente descrito se deben estibar de manera de facilitar su posterior retiro hacia su destino final, teniendo en cuenta los espacios necesarios para ejecutar las maniobras que se deban realizar para las operaciones de carga. En el caso de prensado en frío se debe tener en cuenta que hay que contar con un espacio para la estiba de los moldes con material en proceso de fragüe.

Embalado: Podría ocurrir que se requiera que el producto se deba entregar embalado, por ejemplo, que sea necesario cubrir con film de polietileno y colocado en pallets, de ser así, se debe tener en cuenta el espacio para realizar tales operaciones y aquí podría darse el caso que este proceso sea previo a la estiba.

2. PROCESOS DE PRENSADO

Es menester ampliar en cierto grado de detalle este punto, ya que como se ha explicado resulta de relevancia en la calidad de la baldosa, en la inversión necesaria para el emprendimiento, y en el nivel de prestación general de la baldosa realizada con caucho reciclado de NFU.

2.1. Prensado en caliente

Es el método más utilizado comercialmente ya que permite el fragüe de las baldosas más rápidamente. Las prensas asociadas a este proceso cuentan con calefacción de manera de aportar calor a la reacción que opera dentro del molde conteniendo mezcla de granza de caucho reciclado y resinas poliuretánicas a modo de material aglomerante favoreciendo notablemente su fragüe.

Estas prensas son por supuesto costosas, no solamente por poseer el sistema de calefacción sino también por la magnitud ya que permiten el prensado de varios moldes conteniendo mezcla al mismo tiempo.

En la figura 1 se puede observar una máquina de prensado con calefacción para 5 moldes que alcanzando temperaturas de entre 150 y 160°C logra fabricar cada 12 minutos un total de 5 baldosas.



Figura 1: prensa calefaccionada

El sistema de calentamiento es eléctrico, el consumo de sistema completo (calefacción y sistema motriz) es de aproximadamente 5000 watts y el costo de la prensa al mes de marzo de 2020 en argentina de una prensa de origen chino es del orden de 15.000 dólares.

2.2. Prensado en frío.

Este sistema se basa en que el fragüe se realiza completamente a temperatura ambiente, sin aporte de calor, solamente con la presencia de la humedad ambiente y la presión que se le imprime en el proceso de prensado.

El fragüe de la resina uniendo las partículas de caucho reciclado de NFU se realiza en el tiempo y es una condición indispensable, dotar de una presión uniforme y constante al sistema de moldes durante este lapso de tiempo. Es decir, es muy importante mantener en presión a los moldes mientras se desarrolla el fragüe. El tiempo ensayado para lograr estos resultados se ubica en el orden de las 24 horas, un día completo, a temperatura ambiente.

Ayuda al correcto fragüe de la mezcla de la granza de caucho reciclado con la resina poliuretánica el contar con una temperatura previa del molde. A veces es posible lograrlo, en experiencias realizadas en el LEMaC, Centro de Investigaciones viales, donde se ha realizado la presente tesis, se pudo apreciar una sustancial mejora en el tiempo de fraguado de baldosas elaboradas. En este caso particular, se asume que tal proceso no es siempre posible y que se circunscribe al fraguado a temperatura ambiente y la variable que podemos manejar es el tiempo. Una alternativa es dejar los moldes en una zona con sol, para que levanten temperatura inicial.

Para lograr un producto acorde a los requerimientos preestablecidos se debe trabajar con un tiempo cercano a las 24 horas tal como se mencionó previamente. Para ello se hace necesario contar con un sistema de moldes que posean un soporte que permita mantenerlos a presión constante, sin relajación de la misma, durante el período que dura el fragüe, habiéndolos retirados del sistema de aplicación de la carga.

Por ello se necesita contar con un sistema que de alguna manera, provea estas condiciones de presión a un paquete de moldes que estarán inmovilizados durante el tiempo que necesite el fraguado.

Como consecuencia inmediata surge que una de las condiciones que debe contar este sistema de prensado en frío es poseer una cantidad considerable de moldes para trabajar. De hecho, éste es el nudo del problema, diseñar un sistema de moldes que permanecerán inmovilizados al menos durante 24 horas antes de poder estar en condiciones de reutilizarlos, es el reto del presente trabajo.

2.3. Agentes desmoldantes

Separar la mezcla de las baldosas de caucho reciclado luego de producido el fragüe sin que se produzcan roturas debido a fuertes pegados locales es un tema que se ha tenido muy en cuenta. En un primer intento se pensó en utilizar cera sólida comercial.

Las ceras son ésteres de los ácidos grasos con alcoholes de peso molecular elevado, es decir, son moléculas que se obtienen por esterificación, reacción química entre un ácido carboxílico y un alcohol, que en el caso de las ceras se produce entre un ácido graso y un alcohol monovalente lineal de cadena larga.

Las ceras están consideradas como sustancias altamente insolubles en medios acuosos y a temperatura ambiente se presentan sólidas y duras.

Por su punto de fusión elevado, que hace que sean sólidas a temperatura ambiente, y por su insolubilidad en agua las ceras cumplen funciones de protección, aislamiento y lubricación. (Quimnet S.A., 2020).

Existen diversos tipos de ceras las cuales se pueden clasificar básicamente en tres tipos

- ✓ Naturales (Plantas, vegetales, insectos, minerales, animales, etc.)
- ✓ Minerales (se obtienen del petróleo al mezclar aceite para su ablandamiento y pulido, ejemplos: parafina, microcristalina, de Barnsdahl, etc.)

- ✓ Ceras sintéticas (producto de hidrocarburos complejos, ozoquerita, cerasina, ceras de polietileno, etc.)

La parafina semilíquida como desmoldante

En taller luego de algunas pruebas se optó por utilizar parafina en estado semi líquido. La parafina formada a partir de una combinación de hidrocarburos, no tiene olor y debido a su menor densidad (0,80 g/cm³) no puede mezclarse con el agua, aunque si puede disolverse en éter, etanol caliente, benceno y cloroformo. Parafina es el nombre común de un grupo de hidrocarburos alcanos de fórmula general C_nH_{2n+2}, donde n es el número de átomos de carbono.

El desmolde tiene una importancia capital en el proceso industrial ya que afecta tanto a la calidad de los productos terminados como así también a la producción. Un agente desmoldante eficiente debe no solo contribuir al acabado de la pieza terminada sino a la celeridad en el proceso de fabricación. Restos de granza de caucho en el molde deben ser evitados para proporcionar baldosas comercialmente utilizables, disminuyendo la tasa de error en la fabricación.

Así mismo tiempos cortos para el desmolde proporcionan un mayor rendimiento del proceso industrial. Se han probado tres tipos de agentes desmoldantes, todos con buenos rendimientos para separar la pieza del molde:

- ✓ Cera sólida: lento el proceso de untado del molde.
- ✓ Parafina: proceso de untado a pincel, razonable
- ✓ Alcohol polivinílico: proceso de untado bueno, quedan residuos que deben eliminarse.



Figura 2: moldes con parafina

El proceso consiste en untar los moldes previamente a su relleno con parafina en estado líquido mediante pincel común, se pudo verificar que el desmolde se simplifica notablemente al utilizar este producto, dando lugar a la extracción de manera sumamente sencilla de la baldosa terminada del molde utilizado. Sin que queden residuos del fragüe de la baldosa de caucho reciclado con NFU ni de las resinas utilizadas.



Figura 3: Alcohol polivinílico como desmoldante

De la misma forma, se hizo una prueba utilizando alcohol polivinílico [(C₂H₄O)_n, polímero sintético soluble en agua] como desmoldante y se pudo apreciar un pequeño incremento en la facilidad del desmolde con respecto a la parafina, pero hubo que limpiar la muestra con abundante agua para solubilizar los residuos.

Por esta razón, la de agregar un paso más, la solubilización de los residuos es que se optó por continuar utilizando la parafina líquida como agente de liberación del molde de éstos polímeros.

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE PRENSADO EN FRIO

3.1. Parámetros de diseño.

Se ha considerado como parámetros de diseño, a aquellos que permitan estabilidad del sistema del prensado al aplicar la carga y que los resultados obtenidos, baldosa terminada, sea el óptimo. En otros puntos del presente trabajo se analizan las diversas condiciones que deben cumplir estas piezas de pisos amortiguantes y las distintas variables a considerar para fabricarlas en relación con el uso que se les va a practicar.

Estos parámetros definen el tipo de granulometría de la granza de caucho reciclado y las dosificaciones necesarias para lograr los parámetros de diseño de las baldosas, así también como las presiones a ejercer para obtener las densidades requeridas.

Una consideración indispensable es conocer la magnitud de la producción requerida y en todo caso, la deseable. En base a estos datos se deben prever la cantidad de materias primas a almacenar y esto define a priori, el espacio destinado a tal efecto.

La asignación de los espacios para el emprendimiento es fundamental, de manera de poder asignar a cada etapa del proceso el espacio necesario para poder desarrollarla correctamente.

3.2. Acopio de la materia prima.

Los espacios destinados a este efecto deben ser calculados en base a la producción estimada para un lapso de tiempo tal que contemple además, la posibilidad de acopios futuros. Es decir, depende fundamentalmente del tiempo que nosotros estimemos que tardaremos en consumir las existencias, teniendo en cuenta los tiempos para reemplazarlas. Definir los volúmenes de producción para a ser una cuestión prioritaria en este punto, compatibilizando con los espacios disponibles para efectuar acopios de la materia prima. La figura 4 muestra las materias primas, resina AG30 y granza de caucho en los envases en que fueron utilizados en el laboratorio.



Figura 4: Resina en envase de 20 kg y granza en bolsas de 25 kg.

Sin embargo, en función de los volúmenes de producción la resina poliuretánica vendrá en tambores por lo que habrá que utilizar elementos para su traslado y/o dosificación como se muestran en las figuras 5 y 6.



Figura 5: Carro para traslado de resina y dosificación. (Ecoway, 2020)



Figura 6: Carro para mover tambores. (Farli S.A., 2020)

Los requerimientos para acopiar granza de caucho reciclado básicamente consisten en contar con un lugar bajo techo a fin de resguardar de la intemperie a las partidas de granza de distintas granulometrías.

La granza de caucho reciclado debe poder almacenarse en espacios sin que se mezclen, siendo esto una condición importante ya que el diseño de las baldosas amortiguantes prevé la utilización de determinadas granulometrías de la misma.

Otra de las características de estos espacios es que dispongan de fácil acceso tanto para su ingreso a la zona de acopio, como para su retiro en el momento de entrar en producción el emprendimiento. Es importante destacar, tal como se insinuó en el párrafo precedente, que las distintas partidas de baldosas amortiguantes a preparar pueden requerir el uso de una o más granulometrías distintas; las cuales deben ser

retiradas y dosificadas en forma separada, cuidando de una posible mezcla o contaminación de partículas ajenas a las partidas de dichas granzas de caucho reciclado.

En bolsones cerrados o en espacios cerrados sería lo más adecuado para impedir la mezcla de las distintas granulometrías y dependiendo de la manera en que la granza sea incorporada a los siguientes procesos, determina el lugar de su almacenamiento.

En el caso de las resinas está claro que deben almacenarse en lugares secos y oscuros y a temperatura medianamente controlada. La exposición prolongada a las altas temperaturas afecta al producto final. Espacios cubiertos y ventilados son adecuados claramente, teniendo en cuenta que el agua y la exposición a la luz solar son agentes de los que hay que aislar a los recipientes de estas resinas.

Hay que tener en cuenta que el agua, la humedad residual, los alcoholes, aminas o materiales similares que contengan hidrógeno activo pueden reaccionar con Recsabond AG 30 causando efectos inadecuados en sus propiedades físicas. (RECSA, 2000)

De ocurrir lo antedicho, la reacción se tornará paulatinamente más viscosa incluso hasta llegar al endurecimiento total del producto. Es por ello que se aconseja el cerrado correcto del envase y que una vez abiertos los mismos, se deben extremar los cuidados de su almacenamiento.

Como consideración final para el almacenamiento de las resinas poliuretánicas es el de verificar la fecha de vencimiento de los envases. Con los cuidados detallados precedentemente puede estimarse el tiempo de conservación de las mismas por varios meses, del orden de los 10 meses al año en el caso de las resinas utilizadas en este trabajo.

3.3. Dosificación de las mezclas.

La dosificación de las mezclas guarda estrecha relación con los parámetros finales de diseño, o propiedades finales de las baldosas a fabricar.

Por un lado se deberá conocer de la densidad requerida, pues como los moldes se completan a volumen, se debe conocer el peso de los componentes por separado; y por otro lado, el porcentaje en peso de la resina poliuretánica en relación al de granza de caucho. De manera que se debe conocer con precisión el peso de granza de caucho y de resina, para completar cada molde individual y ya que los mismos se colocan en un sistema que los contiene para ser llevados a la prensa, se puede de esta manera conocer el peso total para cada sistema de moldes, tanto de caucho como de resina.



Figura 7: mezclado manual en laboratorio.



Figura 8: Interior del mezclador manual

Como además cada mezclado se realizará teniendo en cuenta la posibilidad de llenar varios grupos de moldes por proceso de mezclado; y teniendo en cuenta el tiempo de gelificación de la resina o pot life, se decidirá, la cantidad de material a mezclar, conociendo además los tiempos de cada etapa del proceso

Determinado el volumen a mezclar, se procede al pesaje de las materias primas para ser incorporadas a la mezcladora. Para la preparación de la granza de caucho se utilizará un recipiente amplio, el que será tarado y luego pesado en una balanza de pie e incorporado al mezclador. La resina en cambio, puede que en función de la cantidad necesaria y de la precisión requerida, sea pesada en una balanza de banco con una mayor precisión. Luego de pesados los materiales se llevan a la zona de mezclado.

La balanza de la figura 5 se utiliza para el pesaje de resinas y la figura 5 muestra una balanza de pie apta para el pesaje de las granzas de caucho reciclado.



Figura 9: Balanza de precisión cap..6 kg. (Radwag, 2020)



Figura 10: Balanza de pie, cap. 150 kg. (Systel, 2020)

3.4. Mezclado

Esta operación se realiza en un mezclador, quien mediante agitación mecánica logra la correcta impregnación de la resina poliuretánica en las partículas de granza

de caucho reciclado. El tiempo de mezclado se determina por el uso, pero a los efectos prácticos y en base a la experiencia recogida, se estima en unos diez minutos. Esta operación es crucial, de ella depende la homogeneidad en las características de las baldosas.

El volumen del mezclador se determina en función de la cantidad de mezcla necesaria para completar los moldes a prensar; y teniendo en cuenta el tiempo con el que se cuenta para trabajar definido por las características de la resina o pot life. Se debe tener en cuenta además la densidad aparente de la granza de caucho reciclado, del orden de los 0,39 grs/cm³, que obliga a utilizar un volumen importante al comienzo del mezclado.

Las características requeridas en estos mezcladores son que puedan ser fácilmente cargados con la materia prima por la parte superior y accesible al operador; además que el sistema de paletas elegido logre una buena mezcla y que no permita que se adhiera material en las paredes; que sea de fácil limpieza con la posibilidad del desmonte de las paletas para favorecer este proceso; y que permita el vuelco del material ya mezclado en una batea desde donde se extraerá el material para completar los moldes o, que cuente con un cono en su parte inferior y con un dosificador, para directamente completar el recipiente a volcar en cada molde en particular.

Existen en el mercado mezcladores, generalmente importados, también puede ser diseñado para tal fin y por último, adaptar uno existente, adecuando a su volumen el resto del proceso. Por ejemplo para el caso en que se propone de que los actores de la economía social, realicen este proceso, se propone utilizar una mezcladora de hormigón común, de 120 litros, para realizar las tareas de mezclado, tal como se utiliza cuando se coloca el material de caucho reciclado in situ.



Figura 11: Mezclador importado de paletas (Qishengyuan, 2020)



Figura 12: Hormigonera 130 lts (Massa, 2020)

Consideraciones a tener en cuenta: el tiempo de carga del material, el tiempo de mezclado, el vuelco en el recipiente desde donde se va a tomar para llenar los moldes y el tiempo de limpieza.

La utilización de hormigoneras para este mezclado es posible, presentan dificultades a la hora de la limpieza, pero como solución es aceptada. Obviamente se puede diseñar un equipo para esta etapa, debería ser un recipiente en base a los batch que se prepararán cada vez y con un agitador a paletas. Para estos materiales viscosos son aptos las paletas tipo ancla o rejilla, que pase cerca de las paredes del recipiente. El conjunto motor – reductor puede ser colocado en la parte superior o inferior, con la condición de que permita el retiro para limpieza del elemento agitador. La carga debería ser superior y la descarga por el costado o inferior para una mejor

posición de trabajo, la descarga debe contemplar la posibilidad de completar a volumen o al peso los recipientes desde donde se vaciarán en los moldes individuales

En el caso de utilizar hormigoneras debe preverse una batea donde se vierta el material mezclado, para desde allí proceder a tomar lo necesario para completar los moldes.

3.5 Preparación de los moldes.

Los moldes para las baldosas dependen fundamentalmente del tipo de prensado a los que van a ser sometidos. En el caso del prensado en caliente, los moldes metálicos, generalmente están diseñados con la prensa, una variante a este sistema podría ser el de calefaccionar mediante resistencias eléctricas los moldes, y prensarlos en una prensa común.

En el caso de prensado en frío, en los cuales el curado o polimerización de la mezcla se realiza a temperatura y humedad ambiente, los moldes pueden ser de materiales diversos, pero con un sistema que permita su prensado grupal.

Para este caso, en el que serían los actores de la economía social los que realicen las tareas de producción, contar con una prensa en caliente es muy costosa, por lo tanto se ha elegido este sistema de prensado en frío, los moldes serán marcos metálicos de perfil ángulo de 2 x 1/4" en dimensiones tales que satisfagan las condiciones de diseños (300x300, 400x400 o 500x500 mm.). Estos marcos metálicos soldados, escuadrados y nivelados, serán colocados sobre una tapa de madera de tablero fenólicos de espesor 0,18 mm o más, sobre su cara buena, que coincida con su superficie mayor y que incluya el ala. Luego de acuerdo al espesor requerido en la baldosa a producir, se coloca una tapa también de tablero fenólico con su cara buena hacia abajo, que cubra la mezcla del material y que sea interior al marco.

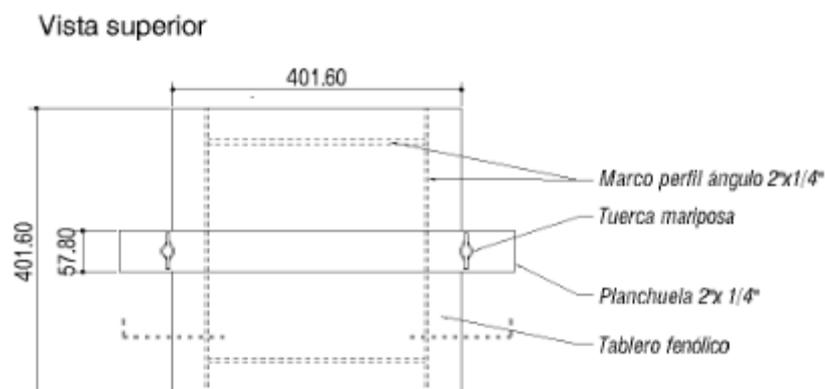


Figura 13: Vista superior del paquete de moldes.

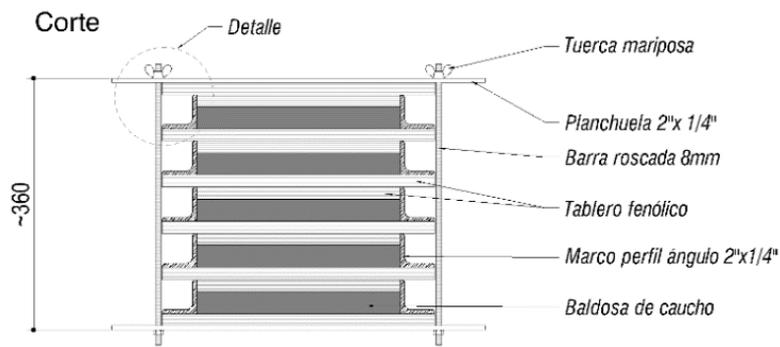


Figura 14: Corte del sistema de moldes.

Se colocarán de esta manera sucesivamente tapa exterior, marco metálico, mezcla de caucho reciclado y resina, tapa de espesor variable en función del espesor requerido. Se debe tener en cuenta que para poder fijar el paquete de moldes, es necesario contar con una planchuela exterior de por ejemplo 2 x 1/4" colocada en primer término, sobre la base de la prensa, de una longitud que sobrepase los moldes y con agujeros en los extremos en concordancia con la longitud máxima de los moldes. Y otra igual al final del paquete de moldes, sobre la que se ejercerá la fuerza de prensado. Las figuras 6,7 y 8 muestran la disposición de los moldes.

El sistema de moldes propuesto para el caso que se analizará como ejemplo de producción se ha diseñado como un paquete que agrupa cinco moldes individuales para ser prensados en conjunto. Es una forma de pensar un sistema de moldes posibles para realizar por lo actores de la economía social, otra posibilidad es realizar moldes dobles para prensar de a dos baldosas por capa cada vez. En este caso particular se trata de moldes para fabricar baldosas de 30x30 cm, el espesor es variable, y para ello deberá elegirse la tapa adecuada que aporte el espesor suficiente para el espesor final de la baldosa prensada.

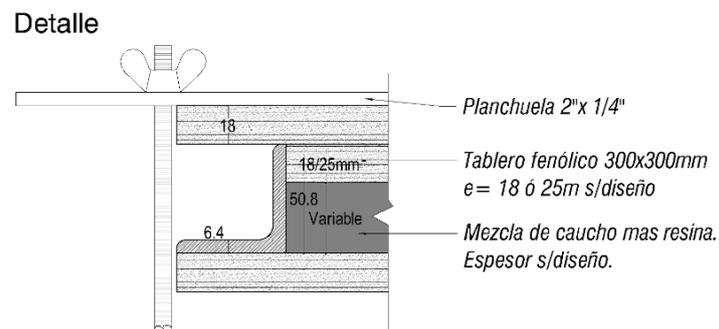


Figura 15: Vista del paquete de moldes

Los moldes deben ser tratados con un agente desmoldante de manera de facilitar la tarea de desmolde. Puede existir el caso de que por razones de diseño una cara de la baldosa deba tener líneas para drenaje en su parte inferior, para esa eventualidad se puede colocar la tapa superior e interior al marco metálico los elementos que confieran esa particularidad.

3.6. Prensado.

Prensas en frío existen en el mercado de distintos tamaños y características de prensado, que pueden hacer el proceso de prensado del paquete de moldes con la mezcla de caucho triturado.

Son dos los parámetros esenciales a considerar en la selección de la prensa:

- ✓ Que la prensa otorgue la presión necesaria para lograr la compactación de la mezcla dentro de los moldes y
- ✓ Que el recorrido que tiene que tener el vástago de la prensa.

Los moldes se llenan por volumen, una vez pesados o cubitados en recipientes, se vuelcan sobre los moldes previamente impregnados con el agente desmoldante, enrasando convenientemente. Una vez completado este paso se coloca la tapa superior e interior al marco para luego colocar la tapa inferior del próximo molde por encima, luego el marco y así sucesivamente. Como paso final, se procede a colocar uniendo las planchuelas inferior y la superior a los moldes, barras roscadas y sujetas mediante tuercas hexagonales abajo, se procede al prensado. Cuando se ha alcanzado el enrazamiento de todo el paquete debido al prensado se procede a fijar las barras roscadas mediante mariposas. El paquete así en tensión y asegurado mediante las planchuelas, queda en tensión y ya puede ser retirado de la prensa para ser colocado en el lugar donde permanecerá hasta fraguar.

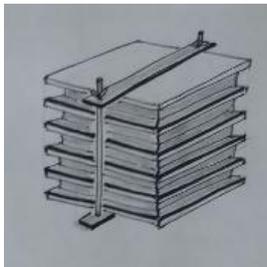


Figura 16: Paquete de moldes listo para prensar



Figura 17: Prensa.

El recorrido del vástago de la prensa se adopta en 150 mm y como la altura del paquete de moldes en tensión es de 360mm, la base de la prensa debe colocarse en torno a los 510 mm de distancia del gato hidráulico.

Para la ejecución de las tareas de prensado, se ve como lo más sencillo y de menor costo, construir un marco rígido de perfiles doble TN14 (14 cm de altura).

Dentro de ese marco de referencia se propone que la fuerza se realice con el accionamiento de un cricue botella de 3 tn.

Para ello se recomienda tener en cuenta además las siguientes particularidades:

- ✓ La altura del pórtico: en función del largo del perfil y de la altura de trabajo,
- ✓ Considerar que el crique será accionado mediante una palanca frontal;
- ✓ El ancho de la prensa estará dado por el tamaño de las baldosas y
- ✓ Una base adecuada para colocar el paquete de moldes.

3.7. Desmolde.

Estas tareas se tornan esenciales en este tipo de proceso, debido a que es el cuello de botella de la producción, la cantidad de moldes para el proceso en frío determina la capacidad de producción. Así que luego del curado, estimado en 24 horas, se debe proceder al desmolde y a las tareas de acondicionamiento para su reutilización inmediata.

Como se decide incorporar un agente desmoldante al momento del llenado es de esperar que no existan complicaciones mayores en este punto. En primer lugar se procede a desajustar las mariposas de las barras roscadas que mantienen el paquete de moldes den tensión, retiradas las planchuelas, se separan las tapas inferior y superior de fenólico que sólo estaban apoyadas y se pasa a despegar las tapas inferiores del marco mostrando la cara vista de la baldosa. Luego se desmonta la tapa superior ejerciendo una leve presión sobre la baldosa, para finalmente separarla del marco.

Todas las piezas deben ser repasadas para evitar que queden partículas adheridas y nuevamente impregnadas con desmoldante, llevadas a la etapa de preparación de los moldes para un nuevo ciclo.

Las baldosas ya liberadas de los moldes se revisan de posibles rebabas que de existir se remueven y son trasladadas a la zona de estiva donde se acopiarán al tiempo que continuarán, eventualmente, el proceso de polimerización.

3.8 Estiba del producto.

La estiba de las baldosas terminadas se realizará en un ambiente en lo posible a resguardo de las inclemencias del tiempo para posibilitar, como se ha dicho de existir, la culminación del proceso de curado.

En este lugar de depósito se debe prever la el espacio para los moldes en proceso de fragüe, así como para las baldosas terminadas a la espera del embalaje final. Se debe tener el cuidado de contar con los accesos libres para trasladar los paquetes luego del prensado hacia el lugar del fragüe, así como para dejar un espacio para poder estibarlas una vez terminadas. De la misma manera debe ser accesible el lugar destinado a la salida del producto final con destino a su colocación.

3.9 Zona de embalaje.

Esta zona opcional en el caso de contar con la posibilidad de contar un autoelevador o una zorra, para transportar y manejar los pallets utilizados para embalarlas. Estos pallets construidos en madera serán completados con baldosas terminadas y posteriormente recubiertas con un film de protección al igual que numerosos materiales de construcción hoy en la actualidad.

Pero de no contar con un autoelevador y/o camiones dotados de hidrogrúa para la descarga de material, se debe prever que las baldosas necesitarán ser embaladas en cajas o en film de polietileno en unidades prefijadas para un transporte posible realizado con carga manual



Figura 18: Carro para manejo de productos (Vila, 2020)



Figura 19: Zorra manual

4. EJEMPLO DE PRODUCCIÓN.

Ejemplo para la fabricación de las baldosas de caucho reciclado de NFU mediante un equipo de prensado en frío, realizado por actores de la economía social. El contexto económico que se viene atravesando el país y más aún en este momento de pandemia, ha dejado y dejará excluidos del mercado laboral formal. Organizarse en cooperativas ha sido una salida para re insertarse en el mismo; la carencia de medios y de capacitación suele ser una constante presente en estos emprendimientos. Creemos que con el debido acompañamiento del sector público, se podría articular un emprendimiento que aun contando con medios limitados, satisfaga una necesidad como la de contar con pisos amortiguantes en el espacio público, que al mismo tiempo ocupe a actores de la economía social y contando con una transferencia tecnológica adecuada, redunde en el beneficio para el medio ambiente.

Por supuesto que las expectativas iniciales de este ejemplo son modestas, pero con la posibilidad de contar con mejores equipos y medios, pueda en el tiempo ir ampliando su producción.

Se cuenta con el espacio necesario para realizar todas las secuencias de la producción, inicialmente las tareas de mezclado se realizarán utilizando una hormigonera común, se ha previsto un sistema de moldes que prensa cinco baldosas por vez y la prensa será realizada en obra utilizando perfiles normales doble T, U, y la fuerza será aportada por la acción de un crique botella.

Se ha tomado en cuenta que el fragüe se realizará durante 24 horas, una posibilidad a explorar es la utilización de catalizadores que aceleren la polimerización de la resina. A tal efecto la empresa proveedora de la resina fabrica uno que reduciría este tiempo, y por lo tanto reduciendo la cantidad de moldes necesarios.

Condiciones requeridas:

- Se necesitan producir baldosas de 30x30x3 (cm²)
- Con una densidad de 0,76 grs/cm³
- Se estima una producción de 18 m² por día

a) Volúmenes

Volumen unitario de la baldosa= 2.700 cm³

Cantidad de baldosas por m²= 10.000 cm²/ (30x30) cm²/u.= 11,11 u.

Total de baldosas por día= 18 m² x 11,11 u/m²= 200 u.

Volumen total= 200 u x 2.700 cm²/u= 540.000 cm³.

Volumen total adoptado= 0,54 m³/día

b) Materias primas diarias.

Total de la mezcla = 0,54 m³/día x 0,76 tn/m³ = 0,415 tn

Granza de caucho 93%= 0,382 tn = 382,00 kg.

Resina (7%)= 0,029 tn.= 29,00 kg.

c) Mezclado (hormigonera 130 lts)

Ciclo = 54.000 cm³ = 0,0054 m³

20 baldosas

4 prensadas

Mezcla= 2.700 cm³/u x 0,76 gr/cm³ = 2.052,00 gr/u x 20 u.= 41.040 gr.

Mezcla por ciclo= 41,04 kg.

Caucho= 38,17 kg.

Resina= 2,87 kg.

d) Tiempos estimados

Dosificación, pesaje y llenado de mezclador 20´

Tiempo de mezclado= 10´

Tiempo para limpieza= 10´

Total del ciclo de mezclado 40´

Turno de 8 horas, 12 ciclos

Adoptamos 10 ciclos.

e) Producción

Producción = 10 ciclos x 20 u/ciclo = 200 u / 11,11 u/m² = 18 m²

Total producción 18 m².

Caucho necesario = 382,00 kg.

Resina necesaria = 29,00 kg.

f) Moldes

Se necesitan 40 juegos de moldes para las 200 baldosas.

g) Confección de los moldes

Marcos de hierro ángulo= 200 unidades (se necesitan 50 barras de 6 m)

Tablero fenólico e= 18 mm= 200 unidades (se necesitan 7 tableros de 1,22 x 2,44)

Tablero fenólico e= 25 mm = 240 unidades (se necesitan 14 tableros de 1,22 x 2,44)

Planchuela de hierro = 80 unidades (se necesitan 8 barras de 6 m.)

Barras roscadas 3/8"= 80 unidades (se necesitan 40 barras de 1 metro)

Precio:

50 barras hierro ángulo 2 x 1/4"= 50 b x 3,546 \$/b= \$ 177.300,00

7 tableros e= 18 mm.= 7 t x 1.733 \$/t=	\$ 12.131,00
14 tableros e= 25 mm.= 14 t x 2.904 \$/t=	\$ 40.656,00
8 barras planchuela 2 x ¼= 8 b x 1.975 \$/b=	\$ 15.800,00
40 barras roscadas 3/8= 40 b x 142\$/b=	\$ 5.680,00
Tuercas, mariposas 3/8= 160 unidades x 20 \$/u=	\$ 3.200,00
Total Materiales=	\$ 254.767,00
Mano de obra (80%)=	\$ 203.813,60
Total moldes=	\$ 458.580,00

Si se usa un catalizador que pueda generar un fragüe de manera de poder ser utilizados los moldes dos veces en la jornada laboral o en turnos distintos del mismo día, la cantidad podría reducirse a la mitad obviamente.

Para la ejecución de la prensa pórtico en perfiles doble T del 14, con la provisión y colocación del gato hidráulico tipo botella, materiales y mano de obra se ha previsto una inversión de \$ 58.500 (pesos cincuenta y ocho mil quinientos) a la fecha del presupuesto (abril 2020).

Resultando una inversión total la suma de pesos \$ 517.080,00 (quinientos diecisiete mil ochenta pesos, calculados abril de 2020).

5. BIBLIOGRAFÍA.

Ecoway. (2020, julio). *Mecalux logismarket*. Retrieved from logismarket.com.ar: <https://www.logismarket.com.ar/ecoway/carro-cuna-tambores/1393759265-p.html>

Farli S.A. (2020, julio). *Farli S.A. Quilmes*. Retrieved from Allbiz.

Massa. (2020, julio). *Hormigoneras de volteo*. Retrieved from massa.com.ar: http://www.massa.com.ar/tienda.asp?id_rubro=18&id_subrubro=25

Qishengyuan. (2020, julio). *Quindao Qishengyuan machinery manufacture*. Retrieved from alibaba.com: https://www.alibaba.com/product-detail/Waste-Tire-Rubber-Floor-Tile-Production_728523244.html

Radwag. (2020, julio). *Balanzas de precision PS.R2*. Retrieved from Celtec Argentina: http://celtecartentina.com.ar/web/images/upload/Folleto%20PS-R1-Data-Sheet-ES_1517975759.pdf

RECSA. (2000). *Ficha Técnica Recsabond AG 30*. General Pacheco: RECSA Reactores Especiales Controlados S.A.

Systel. (2020, julio). *Distribuidora BYEG*. Retrieved from byeg.com.ar: <https://byeg.com.ar/equipamientos/1479-balanza-electronica-tipo-bascula-modelo-komba-150-kg-systel-C33274.html>

Vila. (2020, Julio 24). *Carros de reparto*. Retrieved from Vila Famyp s.l.:
<http://www.carrosreparto.com/carretillas-manuales.html#:~:text=Compra%20online>

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 el 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/cm², 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/cm² 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/cm² 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/cm² 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/cm² 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/cm² 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/cm² 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/cm² 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 (Recca 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/cm³.

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 ³)	M1 (%)	Resina (%)	Peso Inicial (grs.)	Tiempo (hs)	Vol. (cm ³)	Peso final (grs.)	Densidad. Obtenida (gr/cm ³)
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 ³)	M2 (%)	Resina (%)	Peso Inicial (gr)	Tiempo (hs)	Vol. (cm ³)	Peso final (gr)	Densidad. Obtenida (gr/cm ³)
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 ³)	M1 (%)	Resina (%)	Peso (gr)	Tiempo (hs)	Vol. (cm ³)	Peso Final (gr)	Densidad. Obtenida (gr/cm ³)
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 los 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/cm ³)	M2 (%)	Resina (%)	Peso (gr)	Tiempo (hs)	Vol. (cm ³)	Peso Final (gr)	Densidad obtenida (gr/cm ³)
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/cm ³)	Resina (%)	Peso (gr)	Tiempo (hs)	Vol (cm ³)	Peso Final (gr)	Densidad obtenida (gr/cm ³)	
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/cm ³)	M2 (%)	Resina (%)	Peso (gr)	Tiempo (hs)	Vol. (cm ³)	Peso Final (gr)	Densidad obtenida (gr/cm ³)
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/cm ³)	M1 (%)	Resina (%)	Peso Inicial (grs.)	Tiempo (hs)	Vol. (cm ³)	Peso final (grs.)	Densidad. Obtenida (gr/cm ³)
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. ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS 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/m³ aunque se utiliza también muy a menudo y por conveniencia (gr/cm³).

La densidad en el moldeo de la mezcla es un parámetro de diseño de las 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 ³)	M1 (%)	M2 (%)	Resina (%)	Vol. (cm ³)	Peso (grs)	Densidad Obtenida (gr/cm ³)	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

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

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 +- 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 10³]

a = superficie recipiente vidriado [m²]

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

A = superficie en boca del recipiente [m]

ln = Logaritmo natural

h_o = altura primera marca recipiente vidriado hasta el nivel de referencia [m]

h_f = altura segunda marca recipiente vidriado hasta el nivel de referencia [m]

Δt = tiempo transcurrido en descender el fluido entre h_0 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 $37,5 \cdot 0,78 = 29,25$.

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/m², 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 ³)	Pérdida de masa Abrasión (gr/m ²)
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.

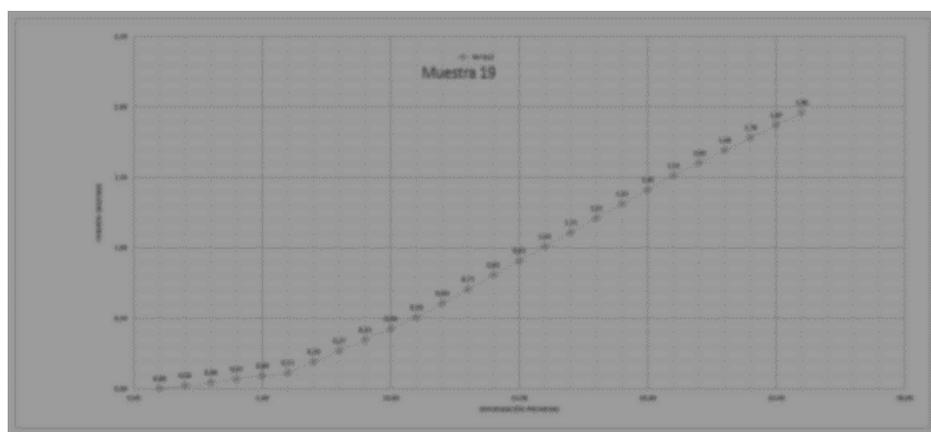


Figura 19: Curva de tensión-deformación en una muestra dada (19 en este caso)

✓ **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 estirarla 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/cm ³)	Tensión rotura por Tracción (Kg/cm ²)
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

41	0,00	95,00	5,00	0,85728	2,26
42	0,00	87,00	13,00	0,82342	5,53
43	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 infrarroja (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)

$$\text{Dosis} = \iint_0^t \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda)F(\lambda)dt d\lambda$$

$F(\lambda)$ 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.

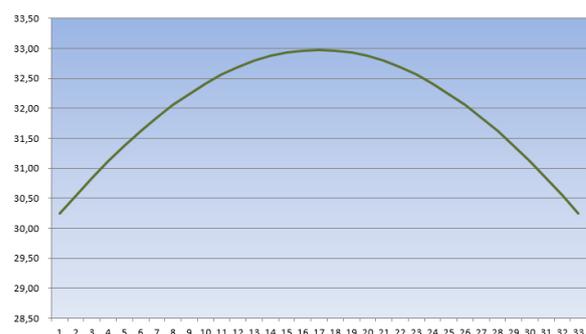


Figura 25: Irradiancia en Wh/m2 dentro de la cámara en función de la posición perpendicular a los tubos.

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/m²d/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/m² y UV B 126,75 Wh/m².

Con estos valores y tomando que la irradiancia dentro de la cámara es de 30 Wh/m², 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 ³)	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 ³)	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.

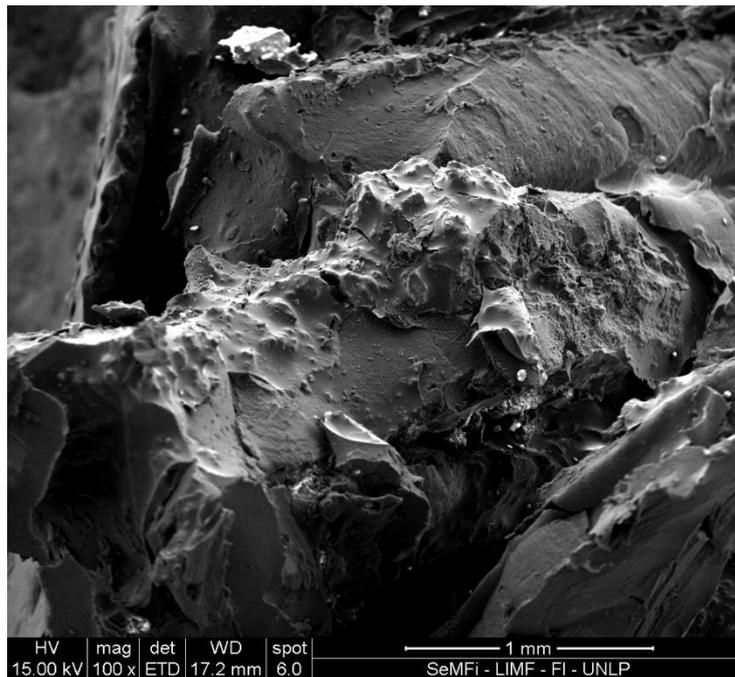


Figura 26: Muestra ampliada 100 veces.

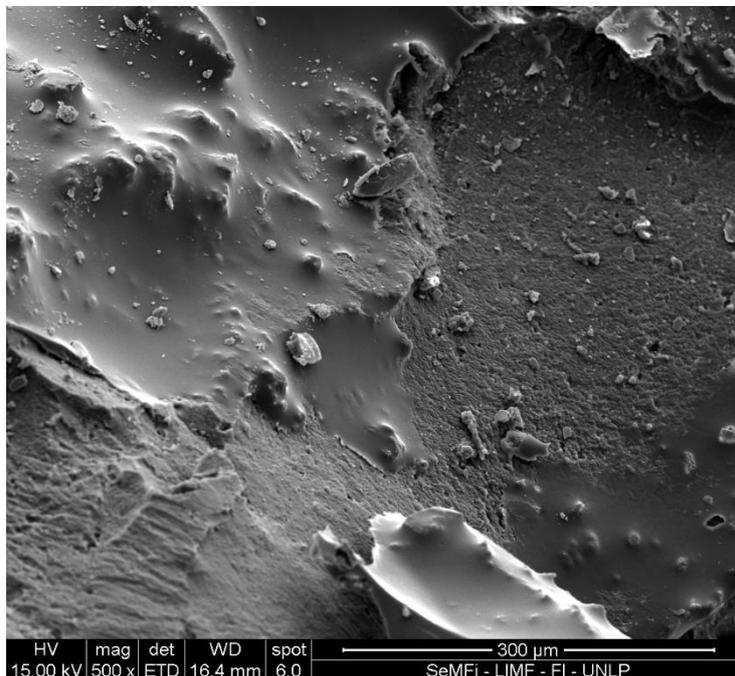


Figura 27: Muestra ampliada 500 veces.

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

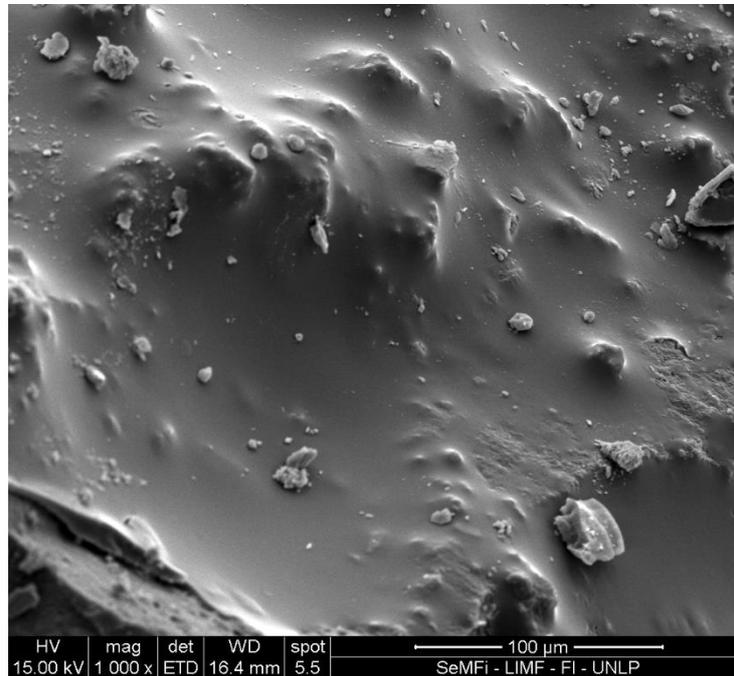


Figura 28: Muestra ampliada 1.000 veces.

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.

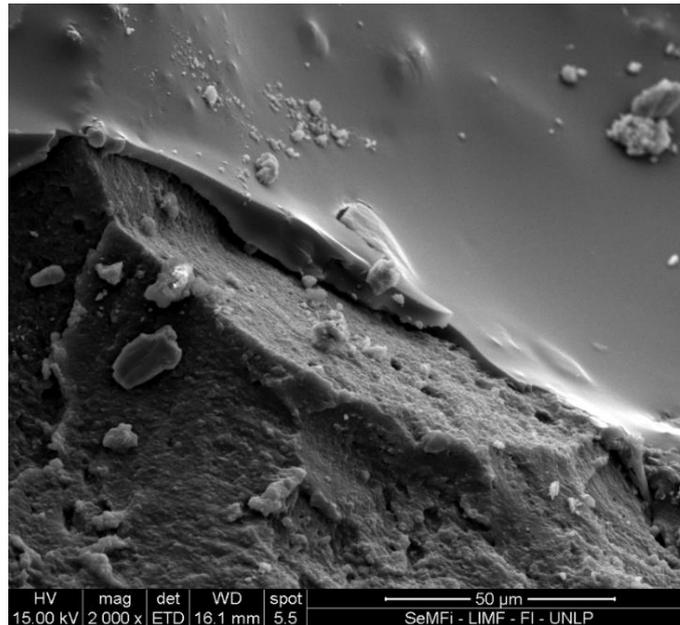


Figura 29: Muestra ampliada 2.000 veces.

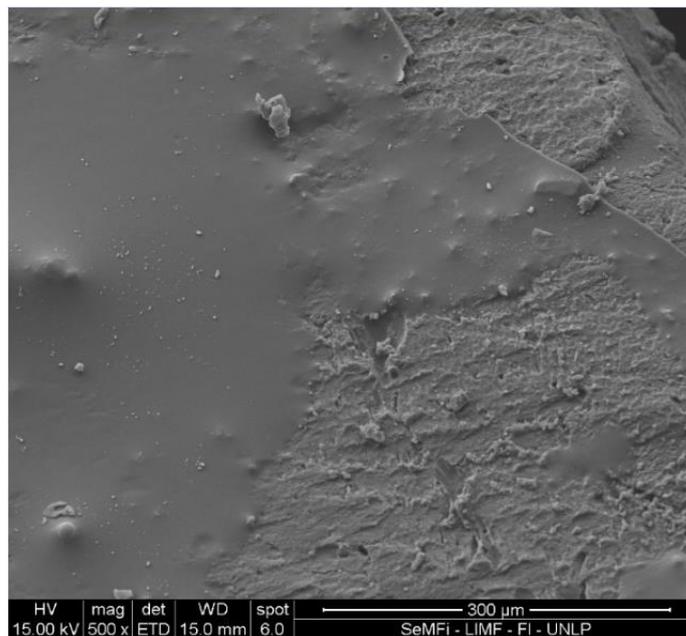


Figura 30: Detalle de la resina sobre el caucho ampliado 2.000 veces.

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.

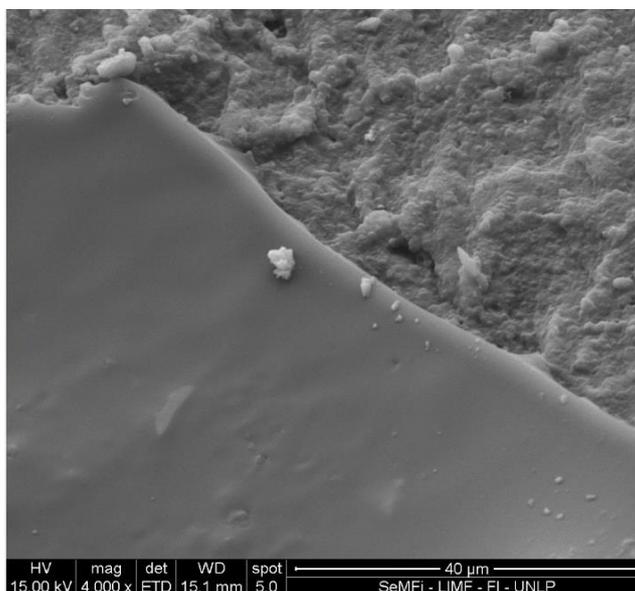


Figura 31: Muestra ampliada 4.000 veces.

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
- Equilam. (2020). *Equilam*. Obtenido de www.equilam.com.br:
<https://equilam.com.br/camara-envelhecimento-ensaio-de-uv-serie-equiv/>
- 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
- 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.

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

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.

Capítulo 7: Análisis de resultados y discusiones.

En el **capítulo 7 "Análisis de resultados y discusiones"** En base a las distintas combinaciones de variables, granulometrías, dosificaciones y densidades obtenidas, se *obtienen* las bases para el diseño de las baldosas de caucho reciclado. Con estos resultados se pueden diseñar para los diferentes usos a los que se verán sometidas, su carácter amortiguante, su permeabilidad, su resistencia al desgaste y a la rotura, serán parámetros de diseño a considerar, lo mismo que a la radiación ultravioleta a la que estarán expuestas en su colocación exterior.

1. ANALISIS DE RESULTADOS.

La serie de muestras confeccionadas variando el porcentaje en peso de resina en relación al peso de granza de caucho reciclado, en distintas densidades buscadas, utilizando dos tipos distintos de granulometrías, fue sometida a una serie de ensayos ya descritos en el capítulo anterior. En el presente analizaremos cada uno en base a los resultados obtenidos, para de esta manera establecer parámetros de diseño de las baldosas.

El objeto del estudio es poder, en base a las características necesarias para satisfacer las condiciones de uso, encontrar cuál de estas muestras se adapta mejor a estas solicitaciones. O defina el entorno de los parámetros para diseñar una baldosa en particular.

En el capítulo 6 se ha establecido el criterio para ensayar el grupo denominado como B, correspondiente a baldosas ejecutadas a escala real, que está constituido por una matriz de 24 baldosas distintas.

Estas baldosas ubicadas en el rango de las que pueden ser elaboradas por los actores de la economía social, destinatarios últimos de este estudio, resultan aptas para su utilización tanto en el espacio interior como en el exterior.

La simplicidad en su elaboración, la accesibilidad de los materiales para construir el equipamiento, van en el mismo sentido, el de ser posibles de aplicar por los sectores que carecen de formación técnica y que tienen dificultoso el acceso a empleos formales.

Siendo además un esfuerzo más en pos de la utilización de un residuo que de otra manera se acumula generando los problemas ambientales ya descritos previamente.

A continuación se adjuntan tablas conteniendo los resultados de los ensayos realizados, ordenados de acuerdo al resultado buscado, de los siguientes ensayos:

- ✓ Permeabilidad
- ✓ Abrasión
- ✓ Compresión y deformación permanente.
- ✓ Tracción
- ✓ Envejecimiento acelerado.

Luego se extraerán conclusiones de cada uno de ellos, para luego mediante una ponderación de sus desempeños frente a estos ensayos, arribar a la baldosa óptima para los supuestos establecidos.

1.1 Ensayo de permeabilidad.

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

Tabla 1: Resultados del ensayo de permeabilidad realizado con permeámetro LCS de carga variable.

✓ Conclusiones.

De la observación de los resultados que arrojó el ensayo para cada muestra, se puede concluir que las de granulometría gruesa con menos resina y con poca densidad, son más permeables y por el otro lado, las muestras realizadas con granza fina y con más cantidad de resina en la mezcla y mayor densidad, su permeabilidad es prácticamente nula. Notándose en los extremos las muestras nominadas con el número 19, que contiene granza gruesa, 5% de resina y 0,7124 g/cm³ de densidad valores muy altos, del orden del cm/s. Mientras que en el otro extremo, la muestra 42, constituida con granza fina, con un 13% de resina y con una densidad de 0,8234 g/cm³ se notan valores extremadamente bajos, del orden de 0,0023 cm/s, prácticamente impermeable.

1.2 Ensayo de abrasión.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm3)	Pérdida de masa abrasión (gr/m2)
39	0,00	90,00	10,00	0,75113	1073,47
40	0,00	95,00	5,00	0,75553	652,27
27	90,00	0,00	10,00	0,76293	549,90
26	87,00	0,00	13,00	0,81583	511,88
37	0,00	93,00	7,00	0,86784	465,07
25	93,00	0,00	7,00	0,70236	438,75
23	0,00	93,00	7,00	0,69872	438,75
33	95,00	0,00	5,00	0,81693	412,42
29	95,00	0,00	5,00	0,76736	365,63
41	0,00	95,00	5,00	0,85728	321,75
36	0,00	93,00	7,00	0,78200	280,80
21	0,00	95,00	5,00	0,72182	254,48
22	0,00	87,00	13,00	0,71245	163,80
28	93,00	0,00	7,00	0,75668	146,25
20	0,00	90,00	10,00	0,71304	134,55
31	90,00	0,00	10,00	0,80000	122,85
24	87,00	0,00	13,00	0,71649	99,45
32	93,00	0,00	7,00	0,83048	99,45
19	95,00	0,00	5,00	0,71240	96,52
30	87,00	0,00	13,00	0,80682	81,90
38	0,00	87,00	13,00	0,79580	76,05
43	0,00	90,00	10,00	0,86105	52,65
18	90,00	0,00	10,00	0,69625	46,80
42	0,00	87,00	13,00	0,82342	40,95

Tabla 2: Resultados del ensayo de abrasión.

✓ Conclusiones.

La figura anterior muestra los valores de pérdida de masa ordenadas de mayor a menor para todas las muestras ensayadas. Se desprende que los mayores valores de pérdida de masa se dan en las baldosas confeccionadas con la granza más fina. Consideraciones sobre la cantidad de resina o la densidad no son concluyentes aunque debería esperarse una mayor pérdida a menor dosificación de resina y a una menor densidad

1.3 Ensayo de compresión.

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

Tabla 3: Valores de la tensión de compresión que produce un 10% de deformación.

✓ Conclusiones.

Estudiando las composiciones de las distintas muestras ensayadas vamos a analizar ahora las que contengan un 5% de resina, es decir vamos a establecer como varía la tensión que provoca la deformación del 10 % en el espesor de la baldosa.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm3)	Tensión de def. 10% (Kg/cm2)	Deformación remanente (mm)
41	0,00	95,00	5,00	0,85728	3,26	0,23
40	0,00	95,00	5,00	0,75553	2,57	0,15
29	95,00	0,00	5,00	0,76736	1,76	0,34
33	95,00	0,00	5,00	0,81693	1,63	0,30
21	0,00	95,00	5,00	0,72182	1,46	0,33
19	95,00	0,00	5,00	0,71240	1,31	0,40

Tabla 4: Valores de la tensión que produce el 10% de deformación (5% de resina)

Se aprecia en la tabla precedente que si bien la tensión necesaria es función de la densidad, lo es también y especialmente, del tipo de molienda del caucho NFU. Moliendas más finas a similares densidades dan valores de tensión sensiblemente mayores. Concluimos que al menos para las muestras ensayadas que contenían el 5% de resina en sus mezclas, la tensión es directamente proporcional a la densidad y al tipo de molienda, siendo como ya se ha dicho, la más fina la que determina los valores más altos. En cuanto a la deformación remanente, vemos que es inversamente proporcional a la densidad, dando valores mayores para molienda más gruesas a similares densidades.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm3)	Tensión de def. 10% (Kg/cm2)	Deformación Remanente (mm)
32	93,00	0,00	7,00	0,83048	2,87	0,25
25	93,00	0,00	7,00	0,70236	2,68	0,24
36	0,00	93,00	7,00	0,78200	2,50	0,35
23	0,00	93,00	7,00	0,69872	2,45	0,19
28	93,00	0,00	7,00	0,75668	2,41	0,23
37	0,00	93,00	7,00	0,86784	2,06	0,21

Tabla 5: Valores de la tensión que produce el 10% de deformación (7% de resina).

En la tabla 5, ordenados los resultados por valor de la tensión necesaria para producir la deformación del 10% en el espesor de la muestra, apreciamos que el mismo aumenta con la densidad y salvo el último valor que es un extremo, no presenta variaciones significativas. Lo mismo podría decirse de la deformación remanente medida a los 30 segundos de quitada la carga.

En la tabla 6, que muestra los valores para un contenido de resina del 10% en peso en relación con el peso del caucho NFU, vemos una mayor disparidad en la tensión y en la deformación permanente. En la muestra 43, con una elevada densidad alcanza los valores máximos de tensión y de deformación remanente.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm3)	Tensión de def. 10% (Kg/cm2)	Deformación Remanente (mm)
43	0,00	90,00	10,00	0,86105	5,74	0,60
39	0,00	90,00	10,00	0,75113	2,81	0,29
18	90,00	0,00	10,00	0,69625	2,49	0,37
20	0,00	90,00	10,00	0,71304	2,41	0,22
31	90,00	0,00	10,00	0,80000	2,00	0,41
27	90,00	0,00	10,00	0,76293	1,77	0,32

Tabla 6: Valores de la tensión que produce el 10% de deformación (10% de resina).

Para un contenido de resina del 13% los valores son más estables en relación a los cambios de densidad, siendo las baldosas realizadas con M2 los que dieron mayor resistencia a la compresión.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm ³)	Tensión de def. 10% (Kg/cm ²)	Deformación Remanente (mm)
38	0,00	87,00	13,00	0,79580	4,75	0,44
42	0,00	87,00	13,00	0,82342	2,91	0,18
30	87,00	0,00	13,00	0,80682	2,63	0,30
26	87,00	0,00	13,00	0,81583	2,48	0,42
24	87,00	0,00	13,00	0,71649	2,24	0,39
22	0,00	87,00	13,00	0,71245	1,62	0,20

Tabla 7: Valores de la tensión que produce el 10% de deformación (7% de resina)

✓ Conclusiones:

El valor de la tensión que produce la deformación en la muestra del 10% aumenta con la densidad principalmente, a valores similares de densidad prima la cantidad de resina en la mezcla notándose valores más elevados para mayores contenidos de la misma. En dosificaciones bajas en resina, del orden del 5% se aprecia mayor influencia de la granulometría del caucho utilizado, dando mayores valores para granulometrías más finas.

En el caso de la deformación permanente podemos afirmar que es función en principio de la tensión aplicada y del tipo de granulometría utilizada; valores altos de deformación se aprecian para valores altos de tensión y en general, granulometrías más gruesas dan valores altos de deformación permanente.

1.4 Ensayo de resistencia a la tracción.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm ³)	Tensión rotura por Tracción (Kg/cm ²)
42	0,00	87,00	13,00	0,82342	5,53
43	0,00	90,00	10,00	0,86105	4,70
28	93,00	0,00	7,00	0,75668	4,50
31	90,00	0,00	10,00	0,80000	3,49
32	93,00	0,00	7,00	0,83048	2,98
27	90,00	0,00	10,00	0,76293	2,69
26	87,00	0,00	13,00	0,81583	2,62
38	0,00	87,00	13,00	0,79580	2,54

40	0,00	95,00	5,00	0,75553	2,28
41	0,00	95,00	5,00	0,85728	2,26
37	0,00	93,00	7,00	0,86784	2,18
29	95,00	0,00	5,00	0,76736	2,07
33	95,00	0,00	5,00	0,81693	2,02
25	93,00	0,00	7,00	0,70236	1,83
36	0,00	93,00	7,00	0,78200	1,76
39	0,00	90,00	10,00	0,75113	1,69
19	95,00	0,00	5,00	0,71240	1,38
30	87,00	0,00	13,00	0,80682	1,31
22	0,00	87,00	13,00	0,71245	1,27
21	0,00	95,00	5,00	0,72182	1,18
24	87,00	0,00	13,00	0,71649	1,13
18	90,00	0,00	10,00	0,69625	1,07
20	0,00	90,00	10,00	0,71304	1,05
23	0,00	93,00	7,00	0,69872	0,85

Tabla 8: Tensión de rotura a la tracción.

✓ Conclusiones.

De aquí se desprende que lo más significativo es la densidad, pues los valores más altos de la resistencia a la rotura se obtienen de las baldosas más densas, aunque con algunas excepciones, y dentro de estos valores las que tienen mayor cantidad de resina. De igual modo valores altos de resina figuran entre las menos resistentes pero con las densidades más bajas. La granulometría no juega un factor preponderante en estos valores.

Podemos concluir que la resistencia a la rotura por tracción es más alta en baldosas con densidades más altas, y entre estas, las que tienen mayor cantidad de resina.

1.5 Ensayos de envejecimiento por radiación ultravioleta.

Es conocido el hecho de que los artículos de caucho sufren, a lo largo de períodos extensos de tiempo, una serie de cambios en sus propiedades que conducen a un deterioro parcial o total del artículo. Obviamente descartando los casos de acción mecánica directa como la abrasión o el desgaste. Este deterioro se conoce como envejecimiento del caucho y se manifiesta por cambios en el color, craqueo de la superficie y/o cambios en las propiedades mecánicas que puedan determinar que el artículo no resulte apto para el uso en que fue diseñado.

Entre los tipos de envejecimiento podemos citar:

- ✓ Calor: con la temperatura aumenta la velocidad de las reacciones químicas responsables del envejecimiento. En ocasiones la fuente de calor es externa o

interna, en nuestro caso claramente influye la temperatura externa de exposición a la intemperie de las baldosas.

- ✓ Oxígeno: factor importante ya que se encuentra en la atmósfera de exposición de los productos de caucho reciclado.
- ✓ Ozono: El ozono es muy activo químicamente y está ávido de reaccionar con cauchos que tienen dobles ligaduras en su cadena molecular. Aunque escaso en la atmósfera, es necesario proteger a los artículos de caucho expuestos por períodos prolongados.
- ✓ Luz: la radiación UV favorece el inicio de reacciones de oxidación.
- ✓ Agentes químicos: presentan dos tipos de situaciones:
 - a) que el químico esté incorporado al compuesto y,
 - b) que el compuesto esté en el medio en el cual está el artículo.

Estos aspectos a tener en cuenta en cuanto al envejecimiento del caucho ya han sido considerados en el proceso de la materia prima original, confección de los neumáticos que se están reciclando al quedar fuera de uso. Por lo que no resulta importante considerarlos para ensayos de las baldosas objeto de esta tesis.

✓ Ensayo de envejecimiento por radiación ultravioleta.

Muestra	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (grs/cm3)	Ensayo Permeab.		
				Original	Luego UV	%
20	90	10	0,7130	0,1840	0,5835	217,15
21	95	5	0,7218	0,0290	0,4521	1456,72

Tabla 9: Resultados antes y después del ensayo de envejecimiento por radiación UV (Permeabilidad)

Muestra	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (grs/cm3)	Ensayo Abrasión		
				Original	Luego UV	%
21	95	5	0,7218	254,480	45,04	-82,30
20	90	10	0,7130	134,550	29,83	-77,83

Tabla 10: Resultados antes y después del ensayo de envejecimiento por radiación UV (Abrasión).

✓ Conclusiones.

Las dos muestras envejecidas en la cámara de radiación ultravioleta presentaron cambios luego de ser ensayadas nuevamente. Al ser sometidas al ensayo de

permeabilidad se pudo observar un aumento considerable del coeficiente k de permeabilidad principalmente en la muestra 21, que tiene la mitad de la resina de la 20. En cuanto al ensayo de abrasión presento menores valores en ambas muestras luego de ensayados nuevamente.

Es necesario hacer un par de consideraciones, primero hay que destacar que entre ambos ensayos, original y luego del envejecimiento, pasó un tiempo prolongado; y más importante aún, lo que se ensayaron fueron las mismas piezas. El orden de los ensayos fue permeabilidad, compresión, abrasión y rotura, para el ensayo de abrasión hubo que recortar una esquina de la baldosa, de igual manera para el ensayo de tracción se cortó una parte importante de la misma que no fue sometida al desgaste por abrasión para extraer la muestra a ensayar. Por lo que las baldosas envejecidas eran más chicas que las originales y ya habían sido ensayadas de una cara por abrasión.

Por lo que se infiere que el resultado del ensayo de permeabilidad está influido por estos factores, para corroborarlo habría que hacer dos baldosas exactamente iguales y someterla nuevamente a estos ensayos. Pero al mismo tiempo, se podría concluir también que el envejecimiento no solo se produjo por efectos de la exposición a la radiación UV, sino también al uso que le pudiera haber producido pérdida de masa por abrasión y el paso del tiempo per sé.

De todas maneras se podría decir que debido a los ensayos de envejecimiento las muestras sometidas a los mismos experimentan un aumento importante de su capacidad drenante, y teniendo en cuenta de que las mismas se han pensado para colocar en el exterior, es una característica deseada.

No se puede extraer nada concluyente de este ensayo, tal vez la identificación de los parámetros a tener en cuenta para repetirlos. Pero, para realizarlo en condiciones óptimas es necesario contar con un radiómetro para verificar la irradiación dentro de la cámara que ofrezca certeza para estimar rangos de tiempo de exposición en la cámara.

2. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Con los resultados de los cuatro ensayos realizados y los cinco parámetros determinados por ellos, se ha realizado una matriz con las 24 muestras. La misma pondera los resultados de los parámetros obtenidos en función de ser ventajosos o requeridos como características de las baldosas y se han ordenado marcando su posición en la tabla.

Estas están pensadas para ser colocadas como baldosas utilizadas en senderos y en plazas de juego, y es necesario advertir que para ser utilizadas como solados de plazas con juegos infantiles de altura, es menester someterlas a ensayos de caída y ver si las muestras verifican las normas, que aunque internacionales, se aplican en ausencia de normativa vernácula.

Muestra	Coefficiente Permeabilidad	Pérdida de masa abrasión	Tensión de def. 10%	Deformación Remanente	Tensión rotura por Tracción	Ponderación Final
28	7	11	10	8	3	39
42	24	1	21	2	1	49
19	2	6	1	24	17	50
22	13	12	3	4	19	51
32	9	7	20	12	5	53
27	4	22	6	16	6	54
31	10	9	7	25	4	55
33	8	17	4	15	13	57
29	6	16	5	18	12	57
37	16	20	8	6	11	61
20	11	10	11	7	23	62
25	1	18	18	11	14	62
18	3	2	14	22	22	63
24	5	8	9	23	21	66
30	14	5	17	14	18	68
40	20	23	16	1	9	69
21	18	13	2	17	20	70
23	15	19	12	3	24	73
41	19	15	22	9	10	75
26	12	21	13	26	7	79
43	22	3	24	28	2	79
36	17	14	15	20	15	81
38	23	4	23	27	8	85
39	21	24	19	13	16	93

Tabla 11: Ponderación de las características de las baldosas (1).

Entonces los parámetros buscados serían una buena permeabilidad, baja abrasión, menor tensión de compresión, menor deformación permanente y buena resistencia a la rotura por tracción.

Con la suma de las posiciones de las muestras en la última columna denominada de Ponderación final de la tabla 11, se han ordenado de menor a mayor para obtener un orden de mérito, siendo la que tiene el menor número de ponderación la muestra 28, seguido por la 42 y la 19

La muestra seleccionada como la que cumple más apropiadamente con los parámetros consignados como deseables en una baldosa amortiguante para su colocación en exteriores, es la número 28 y posee las siguientes dosificaciones y características.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm3)
28	93,00	0,00	7,00	0,75668

Tabla 12: Características de moldeo de la baldosa óptima (1) (muestra 28).

Muestra	Coefficiente de Permeabilidad k (cm/s)	Pérdida de masa abrasión (gr/m2)	Tensión de def. 10% (Kg/cm2)	Deformación remanente (mm)	Tensión rotura por tracción (Kg/cm2)
28	0,40687	146,25	2,41	0,23	4,50

Tabla 13: Resultados de los ensayos para la baldosa óptima (1) (muestra 28).

Como conclusión final se tiene que la baldosa identificada como muestra Nro. 28 es la que reúne los mejores resultados en función de las propiedades requeridas como deseables, pero de ninguna manera esto es concluyente para la totalidad de los casos, ya que podrían requerirse otras características debido a su posible uso. Por ejemplo si la instalación es interior, tal vez la capacidad drenante alta no sea determinante, o se podría dar otra interpretación a la deformación por compresión partiendo de la base de que trata de baldosas amortiguantes que pueden usarse en ambientes de trabajo.

Los criterios tomados en pos de ponderar ventajas de los parámetros ensayados fueron los siguientes: Buena permeabilidad, baja pérdida por abrasión, una buena resistencia a la compresión con una baja deformación permanente y una buena resistencia a la rotura por tracción

Muestra	Coefficiente de Permeabilidad	Pérdida de masa abrasión	Tensión de def. 10%	Deformación Remanente	Tensión rotura por tracción	Ponderación Final
42	24	1	4	2	1	32
43	22	3	1	28	2	56
28	7	11	15	8	3	44
31	10	9	18	25	4	66
32	9	7	5	12	5	38
27	4	22	19	16	6	67
26	12	21	12	26	7	78
38	23	4	2	27	8	64
40	20	23	9	1	9	62
41	19	15	3	9	10	56
37	16	20	17	6	11	70
29	6	16	20	18	12	72
33	8	17	21	15	13	74

25	1	18	7	11	14	51
36	17	14	10	20	15	76
39	21	24	6	13	16	80
19	2	6	24	24	17	73
30	14	5	8	14	18	59
22	13	12	22	4	19	70
21	18	13	23	17	20	91
24	5	8	16	23	21	73
18	3	2	11	22	22	60
20	11	10	14	7	23	65
23	15	19	13	3	24	74

Tabla 14: Segundo criterio de selección de las baldosas para obtener la óptima.

Muestra	M1 (%)	M2 (%)	Resina AG 30 (%)	Densidad (gr/cm ³)
42	0,00	87,00	13,00	0,82342

Tabla 15: Características de moldeo de la baldosa óptima (2) (muestra 42)

Muestra	Coefficiente de Permeabilidad k (cm/s)	Pérdida de masa abrasión (gr/m ²)	Tensión de def. 10% (Kg/cm ²)	Deformación remanente (mm)	Tensión rotura por tracción (Kg/cm ²)
42	0,00227	40,95	2,91	0,18	5,53

Tabla 16: Resultados de los ensayos realizados a la baldosa óptima (2) (muestra 42)

Así se podría seguir definiendo propiedades buscadas en relación al uso a que serán sometidas las baldosas y establecer mediante este mecanismo, cual es la baldosa más indicada o el rango de las mismas.

De acuerdo a estos dos criterios de selección podría establecerse que la muestra 28 es la que podríamos definir como óptima, aunque la diferencia con la muestra 42 es mínima.

Por todo lo expuesto está matriz confeccionada con los resultados de los ensayos a los que fueron sometidas las distintas baldosas, provee los parámetros para el diseño de las mismas en función de su uso. Cabe mencionar que las baldosas pueden requerirse en distintos espesores y con bajorrelieves inferiores para favorecer el escurrimiento del agua, que no es el caso de las muestras ensayadas que fueron confeccionadas en un espesor buscado único y con ambas caras iguales.

Capítulo 8: Conclusiones, líneas futuras de trabajo.

Capítulo 8 "Conclusiones, líneas futuras de trabajo", se procede a la elaboración de las conclusiones a que se arriba luego de evaluar los resultados de los ensayos realizados. Se encuadran dos en dos apartados: a) Proceso de elaboración a escala en la economía social. b) Conclusiones tecnológicas de las baldosas obtenidas y variables recomendadas para su evaluación. Se dejan reflejadas posibles líneas futuras de trabajo.

Parte A. Proceso de elaboración a escala en la economía social

- ✓ Las tensiones de compactación se han analizado bajo dos miradas esenciales por un lado la densidad lograda, y por otro que el valor obtenido se pueda alcanzar en un pòrtico, con 5 moldes de 30 x 30 x 5 cm, modelo aplicado a lo largo de la tesis, ejerciendo la fuerza con un gato hidráulico comúnmente encontrado en la economía del tipo social.
- ✓ La fuerza de compactación fue entregada por un "gato hidráulico" de 3.000 Kg. y 150 mm de recorrido. Se considera un dispositivo de común acceso que junto con una placa rígida que se constituye en tapa y base de los sucesivos moldes, distribuye la energía uniformemente en las piezas
- ✓ El sistema de moldeo simultáneo, se ha fijado en 5 baldosas, sujetadas con dispositivo diseñado con sujeción a rosca, tanto para estado fresco, como para garantizar la no expansión durante las 24 horas de curado que el sistema requiere. En el capítulo 5 se suman los croquis para la elaboración de los moldes y el sistema de sujeción para el periodo de curado fuera del pòrtico de aplicación de la carga. Se brinda a su vez la carga máxima a aplicar y el tiempo de permanencia de dicha carga, el montaje del sistema de sujeción para curado, y el retiro del pòrtico.
- ✓ También como conclusión se aportan los diagramas del pòrtico cerrado para aplicar la carga. Dicho pòrtico puede ser construido en perfiles "U" de 14 cm.
- ✓ Para la fabricación del pòrtico, el gato hidráulico especificado, el sistema de sujeción para la etapa de curado dentro de los moldes (de a 5 por vez), considerando sistemas de moldes, donde cada sistema posee 5 unidades, a la fecha del mes de abril de 2020 representa, luego de realizarse el análisis de costo en el capítulo 5, un valor de quinientos diecisiete mil ochenta pesos (\$ 517.080). Esta inversión inicial para el moldeo y curado, permite una producción diaria de 18 m² de baldosas (unas 200 unidades), utilizando para ello cuarenta sistema de moldes en las condiciones ya descritas. Realizando el curado a temperatura ambiente en 24 horas.
- ✓ El sistema de mezclado y preparación de las mezclas de caucho triturado y resina, el moldeo, el curado y el desmoldado, han sido explicados en procedimiento sintéticos y gráficos, para que puedan ser comprendidos por actores de la economía social, junto a un curso gratuito en las instalaciones del LEMaC, Centro de Investigaciones viales, donde se ha desarrollado la tesis. Esta actividad se ha comenzado a realizar con cooperativas de la región. Para el acceso al mismo se comienza con la firma de convenios entre las organizaciones y la UTN FRLP.
- ✓ Se deja en claro que existen técnicas de producción y curado, que hacen muchísimo más eficiente el sistema de producción, las mismas fueron descriptas en el capítulo 5. Dentro de los objetivos de la tesis se fijó desarrollar el sistema que se sintetiza en la discusión del capítulo 5, para la economía social, con una baja inversión inicial como la que se ha señalado

Parte B. Conclusiones tecnológicas de las baldosas obtenidas y variables recomendadas para su evaluación.

- ✓ Dentro de las conclusiones que se consideran más relevantes en la presente tesis, resulta ser la selección de los tipos de ensayos elegidos y la propiedad asociada que cada uno de ellos evalúa.

Ensayo	Propiedades
Medición de espesor y densidad	Geométricas
Tensión que provoca la deformación del 10 % y deformación permanente	Comodidad de tránsito Poder amortiguante Durabilidad
Permeabilidad	Capacidad de drenaje en el área aplicada
Abrasión	Desgaste por acción del tránsito
Rotura a la tracción	Resistencia mecánica a esfuerzos
Exposición a UV	Cambios en las propiedades luego se ser envejecidas

Tabla 1: tipos de ensayo realizados y propiedad asociada.

La selección de estos ensayos es parte de la producción de la tesis, ya que no se dispone de esa sistemática en marcos normativos locales.

En cada uno de ellos se especifica la norma de origen, y las modificaciones propuestas, como así también la secuencia de ensayo y sus condiciones.

- ✓ Se concluye que las variables centrales que modifican el desempeño de las baldosas de caucho de NFU y resinas poliuretánicas son las siguientes: Granulometría del NFU.
- ✓ Dosis y tipo de resina.
- ✓ Esfuerzo de compactación aplicado y curado en frío.
- ✓ Exposición a UV.

En el capítulo 7 se pueden observar las tensiones generadas entre las propiedades evaluadas:

- ✓ En lo referente a su permeabilidad se puede concluir que las de granulometría gruesa con menos resina y con poca densidad, son más permeables; y por el otro lado, las muestras realizadas con granza fina, con más cantidad de resina en la mezcla y mayor densidad, su permeabilidad es prácticamente nula.
- ✓ El valor de la tensión que produce la deformación en la muestra del 10% aumenta con la densidad principalmente, a valores similares de densidad prima la cantidad de resina en la mezcla. En el caso de la deformación permanente, se aprecian valores altos de deformación para valores altos de tensión y en general, granulometrías más gruesas dan valores altos de deformación permanente. Este parámetro se constituye en una medición de la capacidad amortiguante de la baldosa.

- ✓ En cuanto a las muestras sometidas al ensayo de tracción, se obtuvieron mayores resistencias a mayor densidad de las muestras y al porcentaje de resina en la mezcla.
- ✓ En el caso de la abrasión, se desprende que los mayores valores de pérdida de masa se dan en baldosas confeccionadas con la granza más fina. Consideraciones sobre la cantidad de resina o la densidad, no son concluyentes, aunque debería esperarse una mayor pérdida a menor dosificación de resina y a una menor densidad.
- ✓ Si bien se sometieron a ensayos de envejecimiento acelerado a algunas muestras, no se apreciaron a simple vista, modificaciones en cuanto a su coloración y propiedades. En los ciclos especificados de envejecimiento y con la cámara UV descrita las variaciones de los diferentes modelos fueron muy altas en relación a los descriptos en la bibliografía consultada. Aumentos muy significativos en el coeficiente de permeabilidad y disminuciones en la pérdida de masa por abrasión del orden del 80 %. No se puede extraer nada concluyente de este ensayo, tal vez la identificación de los parámetros a tener en cuenta para repetirlos. Pero, para realizarlo en condiciones óptimas es necesario contar con un equipamiento adecuado, el acceso a una cámara que cuente con la posibilidad de manejar la irradiación y la humedad; o en todo caso un radiómetro para verifica los valores reales dentro de la cámara.
- ✓ Se concluye que, para las granulometrías estudiadas, el tipo de resina elegida y el proceso de moldeo y curado seleccionado los mejores resultados, que se tensionan entre sí, son los siguientes:
 - ✓ Moldeo N° 28

Granza M1 (gruesa): 93% en peso del total de la mezcla.
Resina poliuretánica: 7% en peso del total de la mezcla.
Densidad: 0,75668 gr/cm³.
Permeabilidad: 0,40687 cm/s.
Pérdida de masa por abrasión: 146,25 gr/m².
Tensión de compresión que produce el 10% de deformación: 2,41 kg/cm².
Deformación remanente: 0,23 mm.
Tensión de rotura de tracción: 4,50 kg/cm².
- ✓ Los resultados expresados aquí son válidos para los materiales y condiciones de moldeo y curado especificados.
- ✓ Existen en el mercado resinas de menor calidad a la utilizada, y variaciones en el tipo de caucho. Se cree que este puede ser un camino a explorar, considerando a su vez otras condiciones de curado.

1. Listado de tablas

Capítulo 1:

<i>Tabla 1: Copolímeros comerciales y sus usos</i>	10
<i>Tabla 2: Constituyentes en porcentajes del látex</i>	28
<i>Tabla 3: Comparación de propiedades entre el caucho natural y el SBR. (Botasso G, 2007)</i>	32
<i>Tabla 4: Comparación entre los procesos de polimerización del SBR</i>	34

Capítulo 2:

<i>Tabla 1: Componentes de un neumático típico de automóvil. (Castro G, 2008)</i>	40
<i>Tabla 2: Componentes de un neumático típico de camión o bus (Castro G, 2008)</i>	40

Capítulo 3:

<i>Tabla 1 Principales propiedades de los pisos de caucho</i>	72
<i>Tabla 2: Dimensiones de baldosas de caucho reciclado y altura de caída crítica</i>	75
<i>Tabla 3 Características de los adhesivos poliuretánicos</i>	76

Capítulo 4

<i>Tabla 1: Determinación de las granulometrías de las dos muestras ensayadas</i>	82
<i>Tabla 2: Ensayos para obtener la densidad suelta</i>	83
<i>Tabla 3: Ensayos físicos de las muestras de NFU.</i>	83
<i>Tabla 4: Valores obtenidos en la separación de fibras y metales.</i>	84
<i>Tabla 5: Composición de la muestra M1</i>	85
<i>Tabla 6: Características de los MDI (BASF, 2020)</i>	87
<i>Tabla 7: Porcentaje de los -NCO (BASF, 2020).</i>	87
<i>Tabla 8: Propiedades físicas de las resinas AG30 y AG 50 de Recsa S.A</i>	88
<i>Tabla 9: Propiedades físicas de resinas presentes en otros mercados.</i>	88
<i>Tabla 10: Valores de la primera medición.</i>	92
<i>Tabla 11: Valores de la segunda medición.</i>	93
<i>Tabla 12: Valores de la resina</i>	93

Capítulo 5

Sin tablas

Capítulo 6:

<i>Tabla 1: Grupo A1</i>	122
<i>Tabla 2: Grupo A2</i>	122
<i>Tabla 3: Grupo A3</i>	122
<i>Tabla 4: Grupo A4</i>	123
<i>Tabla 5: Grupo A5</i>	123
<i>Tabla 6: Grupo A6</i>	123
<i>Tabla 7: Grupo A7</i>	124
<i>Tabla 8: Grupo A8</i>	124
<i>Tabla 9: Grupo B1</i>	128
<i>Tabla 10: Grupo B2</i>	128
<i>Tabla 11: Grupo B3</i>	128
<i>Tabla 12: Grupo B4</i>	129
<i>Tabla 13: Grupo B5</i>	129
<i>Tabla 14: Grupo B6</i>	130
<i>Tabla 15: Grupo B7</i>	130
<i>Tabla 16: Grupo B8</i>	130
<i>Tabla 17: Grupo C1</i>	131
<i>Tabla 18: Grupo C2</i>	131
<i>Tabla 19: grupo C3</i>	132
<i>Tabla 20: Desviación entre la densidad obtenida y buscada</i>	134

<i>Tabla 21: Resultados el ensayo de permeabilidad.</i>	138
<i>Tabla 22: Resultados del ensayo de abrasión.</i>	140
<i>Tabla 23: Resultados del ensayo de compresión.</i>	142
<i>Tabla 24: Resultados del ensayo de rotura a tracción.</i>	145
<i>Tabla 25: Comparación de resultados del ensayo de permeabilidad luego del envejecimiento UV...</i>	148
<i>Tabla 26: Comparación de resultados del ensayo de abrasión luego del envejecimiento UV..</i>	148

Capítulo 7:

<i>Tabla 1: Resultados del ensayo de permeabilidad realizado con permeámetro LCS de carga vble.</i>	157
<i>Tabla 2: Resultados del ensayo de abrasión.</i>	158
<i>Tabla 3: Valores de la tensión de compresión que produce un 10% de deformación.</i>	159
<i>Tabla 4: Valores de la tensión que produce el 10% de deformación (5% de resina)</i>	159
<i>Tabla 5: Valores de la tensión que produce el 10% de deformación (7% de resina).</i>	160
<i>Tabla 6: Valores de la tensión que produce el 10% de deformación (10% de resina).</i>	160
<i>Tabla 7: Valores de la tensión que produce el 10% de deformación (7% de resina)</i>	161
<i>Tabla 8: Tensión de rotura a la tracción.</i>	162
<i>Tabla 9: Resultados antes y después del ensayo de envejecimiento por radiación UV (Permeab.)</i>	163
<i>Tabla 10: Resultados antes y después del ensayo de envejecimiento por radiación UV (Abrasión).</i>	163
<i>Tabla 11: Ponderación de las características de las baldosas (1).</i>	165
<i>Tabla 12: Características de moldeo de la baldosa óptima (1) (muestra 28).</i>	166
<i>Tabla 13: Resultados de los ensayos para la baldosa óptima (1) (muestra 28).</i>	166
<i>Tabla 14: Segundo criterio de selección de las baldosas para obtener la óptima.</i>	167
<i>Tabla 15: Características de moldeo de la baldosa óptima (2) (muestra 42)</i>	167
<i>Tabla 16: Resultados de los ensayos para la baldosa óptima (2) (muestra 42)</i>	167

Capítulo 8:

<i>Tabla 1: Tipos de ensayo realizados y propiedad asociada</i>	171
---	-----

2. Listado de gráficos

Capítulo 1:

Sin gráficos

Capítulo 2:

Sin gráficos

Capítulo 3:

Sin gráficos

Capítulo 4:

Gráfico 1 Curva granulométrica obtenida..... 83

Gráfico 2: Primera medición espectral 92

Gráfico 3: Segunda medición espectral. 93

Gráfico 4: medición espectral de la resina. 93

Capítulo 5:

Sin gráficos

Capítulo 6:

Sin gráficos

Capítulo 7:

Sin graficos

Capítulo 8:

Sin gráficos

3. Listado de figuras

Capítulo 1:

Figura 1: estructura de los polímeros según la funcionalidad de los monómeros.....	6
Figura 2: configuración de la tacticidad en la polimerización del propileno. (McMurry J. , 2012).....	6
Figura 3: Polímero de estructura cristalina.....	7
Figura 4: Polímero de estructura amorfa.....	8
Figura 5: Copolímeros al azar y alternado.....	9
Figura 6: Copolímero en bloque e injertado.....	9
Figura 7: Cristalitos no orientados en un termoplástico.....	11
Figura 8: Formas no estiradas y estirada de un elastómero. (McMurry J. , 2012).....	11
Figura 9: Fórmula química de un catalizador Ziegler-Natta.....	13
Figura 10 Formación de cadenas por el mecanismo de condensación.....	15
Figura 11: Formación del polímero (Aran Asís F, 2000).....	21
Figura 12: Estructura segmentada de un polímero.....	21
Figura 13: Diagrama de la extracción del caucho natural. (Andrade Caballero A, 2005).....	24
Figura 14 El isopreno y sus dos isómeros (McMurry J. , 2012).....	28
Figura 15: Evolución del precio del caucho natural (Rubber N°3 RSS3)I (Index mundi, 2020).....	29
Figura 16: Caucho sintético.....	31

Capítulo 2:

Figura 1: esquema del proceso de fabricación de neumáticos (Frederick James S, 2001).....	38
Figura 2: partes componentes de un neumático radial.....	40
Figura 3: Etiquetado de neumáticos europeo.....	42
Figura 4: posibles variantes.....	43
Figura 5: Grafico de participación en el mercado mundial de fabricantes de neumáticos.....	44
Figura 6: Cuchilla de trituración mecánica (Potarski K, 2018).....	52
Figura 7 Uso de neumáticos fuera de uso en terraplenes.....	54
Figura 8: Uso en construcciones autosustentables.....	55
Figura 9: Uso como atenuador de oleajes.....	56
Figura 10: Uso como guarda rail.....	56

Capítulo 3:

Figura 1: Distintas formas de colocación de parquets.....	64
Figura 2: Algunos tipos de pisos graníticos modernos (arquitecturdecasas.com.ar).....	65
Figura 3: Algunos tipos de mármoles comerciales.....	66
Figura 4: Piso de microcemento.....	67
Figura 5: Pisos de microcemento en local comercial.....	67
Figura 6: Piso de caucho reciclado in situ.....	70
Figura 7: Utilización en áreas de esparcimiento infantiles (productosfenix.com.ar).....	73
Figura 8: Utilización en instalaciones deportivas y gimnasios (www.squat.com.ar).....	73
Figura 9: Utilización como piso en boxes de caballos (www.productosfenix.com.ar).....	74
Figura 10: Utilización en instalaciones para animales (www.productosfenix.com.ar).....	74
Figura 11: Utilización para el transporte de animales (www.productosfenix.com.ar).....	74
Figura 12: Baldosa bicapa con terminación de color (De Biase, 2017).....	75
Figura 13: Baldosas de una sola capa (www.greendrindscba.org, 2017).....	76
Figura 14: Baldosas de seguridad (www.pisosantitraumas.com.ar).....	76

Capítulo 4:

Figura 1: Fotografía de la muestra.....	84
Figura 2: Principales tipos de microscopios.....	90
Figura 3: Esquema de funcionamiento de un microscopio de barrido de electrones.....	91
Figura 4: Fotografía de muestras preparadas para analizar.....	91

Capítulo 5:

Figura 1: prensa calefaccionada.....	100
Figura 2: moldes con parafina.....	102
Figura 3: Alcohol polivinílico como desmoldante.....	103
Figura 4: Resina en envase de 20 kg y granza en bolsas de 25 kg.....	104
Figura 6: Carro para traslado de resina y dosificación. (Ecoway, 2020).....	104
Figura 5: Carro para mover tambores. (Farli S.A., 2020).....	104
Figura 7: mezclado manual en laboratorio.....	106
Figura 8: Interior del mezclador manual.....	106
Figura 10: Balanza de precisión cap..6 kg. (Radwag, 2020).....	106
Figura 11: Balanza de pie, cap. 150 kg. (Systel, 2020).....	106
Figura 13: Mezclador importado de paletas (Qishengyuan, 2020).....	107
Figura 12: Hormigonera 130 lts (Massa, 2020).....	107
Figura 14: Vista superior del paquete de moldes.....	108
Figura 15: Corte del sistema de moldes.....	109
Figura 16: Vista del paquete de moldes.....	109
Figura 18: Paquete de moldes listo para prensar.....	110
Figura 17: Prensa.....	110
Figura 19: Carro para manejo de productos (Vila, 2020).....	112
Figura 20: Zorra manual.....	112

Capítulo 6:

Figura 1: Vista superior de una probeta.....	119
Figura 2: Sistema de moldes utilizado, armado y sus componentes por separado.....	120
Figura 3: Probeta antes de ser desmoldada.....	120
Figura 4: Prensa Marshall durante el proceso de compresión de la muestra.....	121
Figura 5: Probeta con problemas de fragüe.....	122
Figura 6: Mezclado de los componentes.....	126
Figura 7: Llenado con mezcla de los moldes.....	126
Figura 8: Paquete de moldes preparados en la base de la prensa.....	126
Figura 9: Colocación del sistema para mantener la presión.....	126
Figura 10: Desmolde luego del fragüe.....	127
Figura 11: Baldosa terminada.....	127
Figura 12: Preparación para la medición de los espesores.....	132
Figura 13: Medición de los espesores de una baldosa.....	132
Figura 14: Ensayo de permeabilidad sobre una baldosa a escala real.....	137
Figura 15: Preparación del permeámetro.....	137
Figura 16: Ensayo de abrasión sobre una baldosa a escala real.....	139
Figura 17: Detalle del paso del equipo sobre la baldosa durante el ensayo.....	139
Figura 19: Equipo de ensayo Marshall preparado para ensayo de compresión.....	141
Figura 20: Curva de tensión-deformación en una muestra dada (19 en este caso).....	141
Figura 21: Corte de la muestra para ensayar en el equipo de tracción.....	143
Figura 22: Muestra durante el ensayo de tracción.....	143
Figura 23: Preparación de las mordazas de sujeción.....	143
Figura 24: Curvas del ensayo de tracción para varias muestras.....	144
Figura 26: Vista de la cámara donde se aprecian los tubos UV.....	146
Figura 25: Irradiancia en Wh/m ² dentro de la cámara en función de la posición perpendicular a los tubos.....	146
Figura 27: Muestra ampliada 100 veces.....	149
Figura 28: Muestra ampliada 500 veces.....	149
Figura 29: Muestra ampliada 1.000 veces.....	150
Figura 30: Muestra ampliada 2.000 veces.....	151
Figura 31: Detalle de la resina sobre el caucho ampliado 2.000 veces.....	151
Figura 32: Muestra ampliada 4.000 veces.....	152

Capítulo 7:

Sin figuras

Capítulo 8:
Sin figuras.