

# RESIL

Material desarrollado a partir de residuos de silicona industrial y sus potenciales aplicaciones.

## TRABAJO FINAL DE GRADO

# RESIL

Material desarrollado a partir de residuos de silicona industrial y sus potenciales aplicaciones.

### Estudiantes

Ana Algorta, Valentina Carrera

### Tutor

Paula Cruz

### Asesor

Rosario Pujol

Setiembre 2024, Montevideo



**Escuela Universitaria  
Centro de Diseño**



**Facultad de Arquitectura,  
Diseño y Urbanismo**  
UDELAR



**UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY**

# AGRADECIMIENTOS

A nuestros amigos y compañeros de los más diversos ámbitos, por brindarnos su ayuda y alentarnos en todo momento.

A nuestras familias, por su confianza y sostén incondicional.

A los docentes que nos inspiraron a lo largo de estos años.

A Esther Fernández y el equipo de LabIC, por hacernos sentir como en casa y ser guías fundamentales en este proyecto.

A Rosario Pujol y el equipo de Gomsil, por abrirnos la puerta de su empresa y estar siempre a la orden.

A nuestra tutora, Paula Cruz, por su tiempo y conocimiento.

A la Universidad de la República, por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales. Estamos comprometidas de por vida a defender y luchar por la Universidad pública.

A todos los que nos ayudaron a llegar hasta acá, les estaremos eternamente agradecidas.

Ani y Vale.

# RESUMEN

Este Trabajo Final de Grado (TFG) se centra en el análisis del reciclaje de material de desecho generado durante el proceso de extrusión de silicona industrial, mediante la exploración de diversas alternativas en colaboración con la empresa Gomsil.

Como punto de partida, utilizamos una placa ligeramente flexible, creada a partir de la combinación de silicona de desecho y silicona virgen, desarrollada en el módulo Unidad de Proyecto 4 (UP4) en la Escuela Universitaria Centro de Diseño (EUCD). Además, tomamos en cuenta el Trabajo de Grado titulado “*Urbanwood: Posconsumo y diseño: Material a partir de residuos plásticos*” (Lorenzo y Queirolo, 2022), que también se enfoca en el reprocesamiento de residuos.

Durante el proceso, experimentamos con diversos porcentajes de residuo, espesores y mezclas de colores. Finalmente, optamos por las siguientes combinaciones: placas con un 50% de residuo y un espesor de 0,8 cm, y placas con un 20% de residuo, monocromáticas, con un espesor de 1,2 cm.

Realizamos pruebas físico-mecánicas en el Laboratorio del Instituto de la Construcción (LabIC) y pruebas de sometimiento del material al corte y grabado láser en el Laboratorio de Fabricación Digital Montevideo (FabLab-MVD), ambos pertenecientes a la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU). Las pruebas de maquinabilidad fueron realizadas en nuestros hogares.

El objetivo fue determinar las propiedades del material, compararlo con materiales de similares características y proponer sus potenciales aplicaciones.

Por último, planteamos un modelo de producción circular a partir del reciclaje, centrado en tres ejes principales: social, ambiental y económico.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>		
Planteamiento del problema	6		
Preguntas de investigación e hipótesis	7		
Justificación del tema y motivación	7		
Objetivos	8		
Metodología	8		
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>10</b>		
Diagnóstico de Gomsil	11		
Situación actual de los residuos en Gomsil	12		
Aborgama	12		
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	<b>14</b>		
Economía circular	14		
Sostenibilidad y sustentabilidad	15		
Ciclo de vida de los productos	15		
<b>4. MATERIAL</b>	<b>18</b>		
Silicona	18		
Proceso productivo de RESIL	19		
<b>5. EXPERIMENTACIÓN</b>	<b>22</b>		
Figura 15. Material realizado de forma manual.	22		
Propiedades físicas y mecánicas de RESIL	23		
LabIC	23		
Ensayos y sus resultados	24		
1. Determinación de la densidad	24		
2. Determinación de humedad	26		
3. Ensayo de flexión	28		
4. Determinación de las propiedades en tracción	30		
Maquinabilidad y pruebas de resistencia a temperatura y solventes químicos	32		
		Pruebas en corte y grabado láser	36
		Análisis comparativo con materiales de similares características y usos	39
		<b>6. APLICACIONES SUGERIDAS</b>	<b>42</b>
		<b>7. PRODUCCIÓN CIRCULAR</b>	<b>45</b>
		Impacto Social	45
		Impacto Ambiental	45
		Impacto Económico	45
		<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>48</b>
		<b>GLOSARIO</b>	<b>51</b>
		<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>52</b>
		<b>ANEXOS</b>	<b>54</b>

The image shows two markers lying on a light blue surface. The marker on the left is yellow, and the one on the right is pink. The word "INTRODUCCIÓN" is written in white, bold, uppercase letters across the center of the image, overlapping the markers.

# INTRODUCCIÓN

# 1. INTRODUCCIÓN

## Planteamiento del problema

Los desechos de polímeros representan una de las problemáticas ambientales más urgentes y complejas que enfrenta la sociedad. Los polímeros, componentes fundamentales en la fabricación de una amplia gama de productos industriales y de consumo, han revolucionado nuestras vidas con su versatilidad y durabilidad. Sin embargo, esta misma durabilidad es la que plantea un problema significativo cuando se trata de su disposición final cuando acaba su vida útil.

En la actualidad, la gestión inadecuada de los desechos de polímeros genera graves impactos ambientales y socioeconómicos. La acumulación de plásticos en vertederos, océanos y entornos naturales ha alcanzado niveles críticos, poniendo en riesgo la salud de los ecosistemas, la fauna y la salud humana. Además, la dependencia de los recursos fósiles para la producción de polímeros contribuye al cambio climático y agota los recursos naturales finitos del planeta.

Las últimas generaciones han tomado conciencia sobre el problema de los desechos, particularmente de los polímeros. La empresa Gomsil, no es la excepción.

Gomsil es una pequeña y mediana empresa (PYME) que se dedica a la fabricación de productos en silicona, caucho, caucho etileno-propileno-dieno (EPDM) y vitón.

Realizan productos como juntas, tubos, burletes, tapones, piezas personalizadas, entre otros. La empresa trabaja tanto en moldeo como extrusión para Uruguay y el exterior.



**Figura 1.** Venta de desechos de silicona industrial.

*Nota.* Recuperado de Indiamart [Fotografía], por SA Traders, (<https://www.indiamart.com/proddetail/silicone-rubber-scrap-20758793173.html?mTd=1>).

Dentro del módulo de UP4 de la EUCD, trabajamos en la posibilidad de generar placas ligeramente flexibles con el objetivo de reciclar material de desecho principalmente del proceso de extrusión de silicona de Gomsil.

Cumpliendo con los plazos del módulo, propusimos una única forma de aplicación en alfombras antifatiga, dejando para futuras investigaciones la realización de las pruebas químicas, físicas y mecánicas necesarias para evaluar las características del material y, de esta forma, ampliar el abanico de aplicaciones.

El pensamiento del diseño se ve particularmente involucrado en esta problemática ya que es propio del diseñador pensar y desarrollar el ciclo de vida completo tanto de materiales como de productos, teniendo en cuenta los desechos que estos procesos generan.

En este TFG proponemos continuar con la investigación de las placas generadas a partir de los desechos de extrusión de silicona industrial, realizar las pruebas necesarias y plantear sus potenciales aplicaciones.

### **Preguntas de investigación e hipótesis**

Como punto de partida, formulamos las siguientes preguntas:

- ¿Es posible generar variantes en placas de silicona a partir de residuos que permitan diferentes usos?
- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de este material?
- ¿Qué aplicaciones se le puede dar a cada variante?
- ¿En qué contexto se pueden utilizar?

### **Hipótesis inicial**

Los productos de silicona, en su proceso de fabricación, producen residuos. Estos procesos pueden optimizarse en términos de economía circular a través de la mirada del diseño: diseñando desde el ciclo de vida y utilizando los residuos que se generan para desarrollar nuevos productos.

Gomsil, PYME local que se dedica a la fabricación de productos en silicona, se encuentra interesada en llevar a cabo en el desarrollo de posibles alternativas sustentables para sus desechos industriales.

Una de las alternativas es el desarrollo de placas que surgen del moldeo de una parte de desecho de silicona y una parte de silicona virgen. Además, estas placas cumplen con determinadas características físicas y mecánicas que pueden aplicarse de diversas formas y en distintos contextos.

### **Justificación del tema y motivación**

Realizamos este TFG con el interés de contribuir en el desarrollo de una solución a esta problemática, dado el impacto ambiental, social y económico que representa. A su vez, es escasa la información disponible sobre productos derivados del reciclaje de la silicona industrial en Uruguay. Consideramos que es una temática novedosa y con proyección a futuras investigaciones académicas.

Desde la perspectiva del diseño industrial, justificamos la elección de esta temática por su relevancia para la responsabilidad del diseñador industrial en desarrollar soluciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, así como en las oportunidades de innovación y experimentación que presenta y su alineación con las tendencias actuales hacia la sostenibilidad en el diseño de productos.

Como mencionamos anteriormente, el trabajo se llevó a cabo con el apoyo de la empresa Gomsil, quienes cuentan con el expertise en fabricación de productos de silicona y con quienes trabajamos anteriormente en el marco de UP4. Esto nos permitió la vinculación con empresas locales y contextualizar el trabajo a nivel nacional.

## Objetivos

### Objetivo general

Optimizar el ciclo de vida de los productos fabricados en Gomsil en términos de Economía Circular.

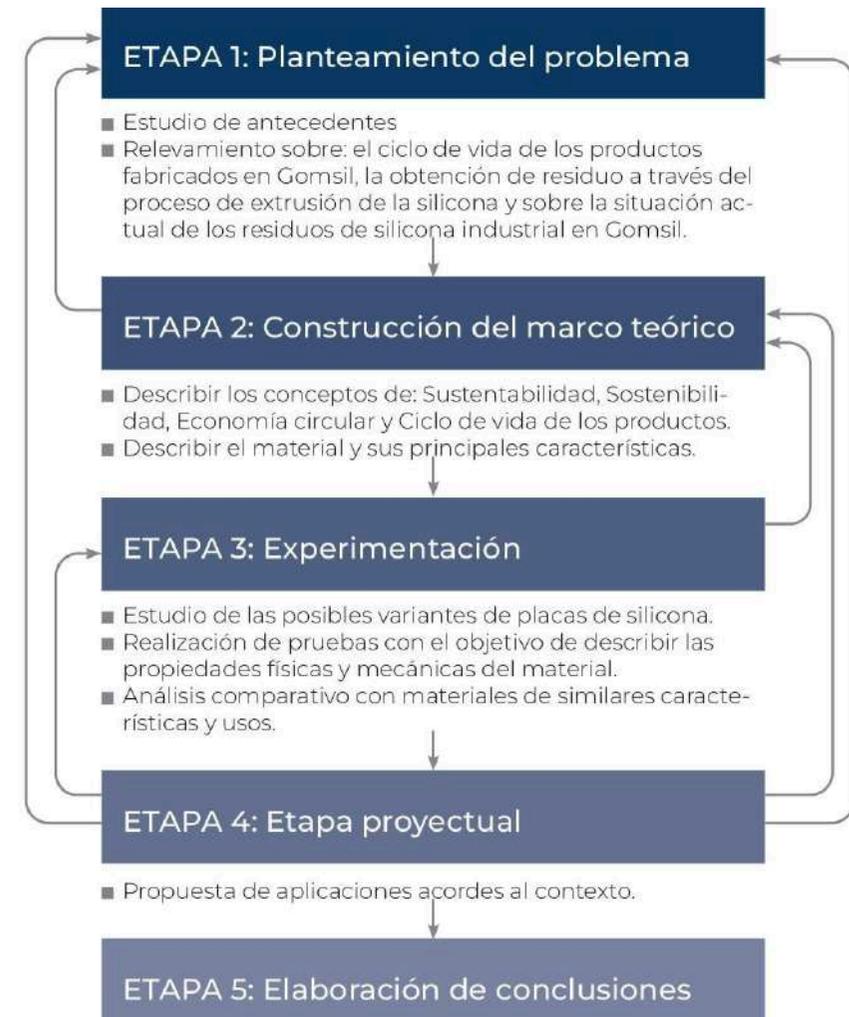
### Objetivos particulares

- Relevar y describir la situación actual de los residuos de silicona industrial en la empresa Gomsil.
- Describir el proceso de transformación para generar las placas de silicona industrial reciclada.
- Determinar las características físicas y mecánicas del material en pos de proponer alternativas de uso del producto según su función y contexto.

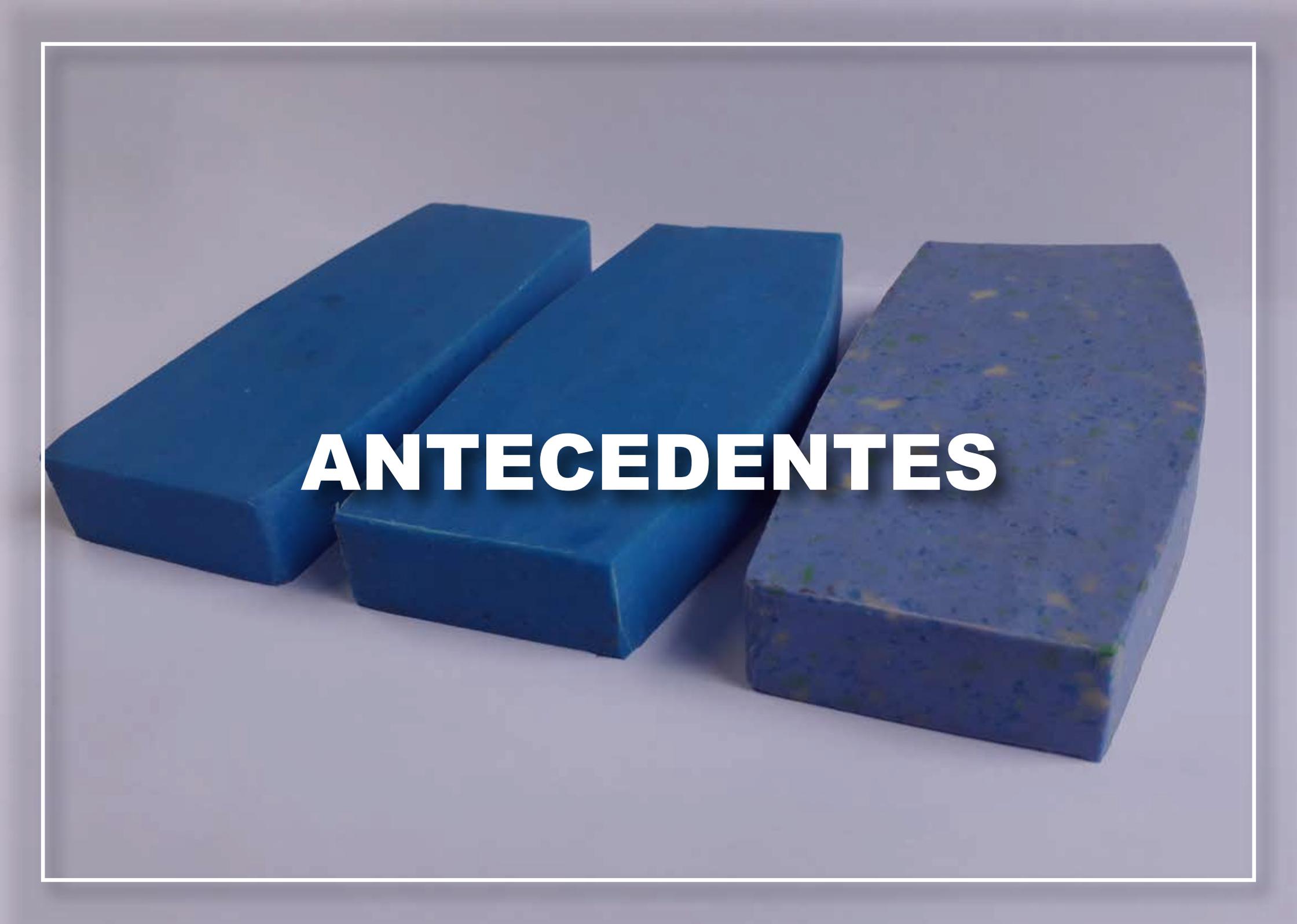
## Metodología

La investigación tiene un enfoque mixto y un alcance proyectual, comprendiendo así el problema de una forma integral a través de los métodos cualitativos y cuantitativos y los hallazgos se pueden aplicar a soluciones prácticas.

Para la metodología, proponemos utilizar el modelo de diseño desarrollado por Bürdek, utilizado en varias oportunidades a lo largo de la carrera. El TFG se desarrollará de la siguiente forma:



**Figura 2.** Modelo del proceso de diseño planteado por Bürdek.  
*Nota.* Adaptado de Diseño: historia, teoría y práctica del diseño industrial (p. 161), por Bernhard Bürdek, 2002, Editorial Gustavo Gili, SA.

The image features three rectangular blocks of material, likely wax or resin, arranged diagonally from the top-left to the bottom-right. The first block on the left is a solid, vibrant blue. The middle block is a slightly darker shade of blue. The third block on the right is a deep, dark blue with a mottled, speckled texture, containing small flecks of yellow and green. The word "ANTECEDENTES" is printed in a large, bold, white, sans-serif font across the center of the blocks. The background is a plain, light gray surface.

**ANTECEDENTES**

## 2. ANTECEDENTES

### UP4 - EUCD

Como primer antecedente para el desarrollo de este TFG, tomamos un informe de autoría propia, realizado en el marco de la UP4 - Diseño en territorio, en donde trabajamos con Gomsil.

El proyecto tuvo como objetivo contribuir con la gestión de desechos del proceso de extrusión de silicona del sector de industria general de Gomsil, a través del desarrollo de un nuevo producto que pueda comercializarse.

En dicho informe, presentamos el diagnóstico de la empresa y su contexto, el problema de diseño a atender, el marco teórico, el desarrollo de la propuesta y las conclusiones.

La propuesta final consiste en una alfombra antifatiga modular realizada con un 50% de silicona reciclada.

La realización de pruebas físicas, mecánicas y eventualmente expresivas del material fueron aspectos que quedaron planteados pendientes de realizar.

### URBANWOOD

Tomamos como antecedente el TFG “*Urbanwood, Posconsumo y Diseño: material a partir de residuos plásticos*” (Lorenzo y Queirolo, 2002), egresadas de la EUCD. Consiste en un proyecto de temática, objetivos y metodología similar.

Plantean el análisis del material resultante del reprocesamiento de residuos posconsumo de un solo uso, utilizando el Polietileno de Baja Densidad (PEBD) proveniente de las bolsas de leche.

Llevaron a cabo pruebas físicas y mecánicas de densidad, contenido de humedad y flexión en LabIC y compararon los resultados con diversas placas de materiales aglomerados del mercado con el

objetivo de conocer sus propiedades y corroborar sus áreas de aplicación.

### OTROS

Por último, pero no menos importante, tuvimos en cuenta el emprendimiento Silicosas: empresa Argentina que se dedica al diseño y fabricación de productos domésticos en silicona.

Dentro de su catálogo de productos ofrecen: macetas, posavasos y tapones de botella fabricados con 50% de material recuperado de silicona.



**Figura 3.** Tapón y posavasos Recorcholis de silicona reciclada.  
*Nota:* Recuperado de Tapón Recorcholis [Fotografía], por Silicosas, (<https://silicosas.com.ar/producto/recorcholis-2-u/>).

## Diagnóstico de Gomsil

Gomsil es una PYME que se dedica a la fabricación de productos en silicona, caucho (natural y sintético), caucho etileno-propileno-dieno (EPDM) y vitón. Realizan productos como juntas, tubos, burletes, tapones, piezas personalizadas, entre otros.

La empresa trabaja tanto en moldeo como extrusión para Uruguay y el exterior.

Se destaca por su servicio de asesoría y por realizar productos personalizados, por lo que algunos de sus mayores clientes son los principales laboratorios de Uruguay y empresas como Conaprole, Vintelux, James, entre otros.

A continuación, describimos brevemente el ciclo de vida actual que poseen los productos de silicona fabricados en Gomsil:



**Figura 4.** Ciclo de vida de los productos de silicona fabricados en Gomsil.

Para el desarrollo del TFG, nos centramos en la obtención del residuo a través del proceso de extrusión: la causa directa de este problema radica en que el propio proceso de extrusión genera desperdicio, ya que el pasaje del material por las máquinas (extrusora - mufla- rueda) se realiza de manera manual. Por esta razón, el primer tramo extruido

no queda totalmente vulcanizado y presenta fallas técnicas y morfológicas.

Una causa subyacente es que cuando se solicita una nueva medida que hasta el momento no está estandarizada, se logra llegar a la misma a través de pruebas y errores.

El proceso de moldeo de silicona también genera residuos pero en menor cantidad comparándolo con el de extrusión. Estos residuos son principalmente rebabas: resultado del exceso de material que es expulsado de la cavidad del molde por la presión de la prensa.



**Figura 5.** Desecho del proceso de extrusión en la planta de Gomsil.

## Situación actual de los residuos en Gomsil

El proceso de extrusión arroja el mayor volumen de residuos de la empresa, según lo expresado por Rosario Pujol (comunicación personal, noviembre de 2022) genera más de 4,5 kg semanales. Una pequeña parte de este desperdicio puede igualmente ser comercializado, pero el desperdicio restante presenta fallas físicas y no está totalmente vulcanizado, por lo que resulta imposible su comercialización.

Hoy en día, no cuentan con las herramientas necesarias para devolver este desperdicio a su producción, por lo que se desecha a través de la empresa Aborgama.

### Aborgama

Aborgama es una empresa uruguaya dedicada al tratamiento y eliminación de residuos a través de procedimientos de ingeniería ambiental. Se encargan de diseñar, construir y operar plantas de tratamiento de todo tipo de residuos: comerciales, industriales (tipo 1 y tipo 2), sanitarios, entre otros, provenientes de todo tipo de comercio o industria.

Actualmente, esta empresa se encarga de levantar los residuos generados por Gomsil en un camión, de forma quincenal, y son trasladados para desecharse de forma adecuada.

De momento, no hemos encontrado una política de gestión de residuos específica para la silicona industrial, por lo que entendemos que se desecha como un residuo común.



**Figura 6.** Desecho del proceso de moldeo.



**MARCO TEÓRICO**

### 3. MARCO TEÓRICO

Para la construcción del marco teórico, tomamos en cuenta los siguientes ejes conceptuales:

- Economía circular
- Sostenibilidad y Sustentabilidad
- Ciclo de vida de los productos

A su vez, describimos la silicona como material e identificamos sus principales propiedades.

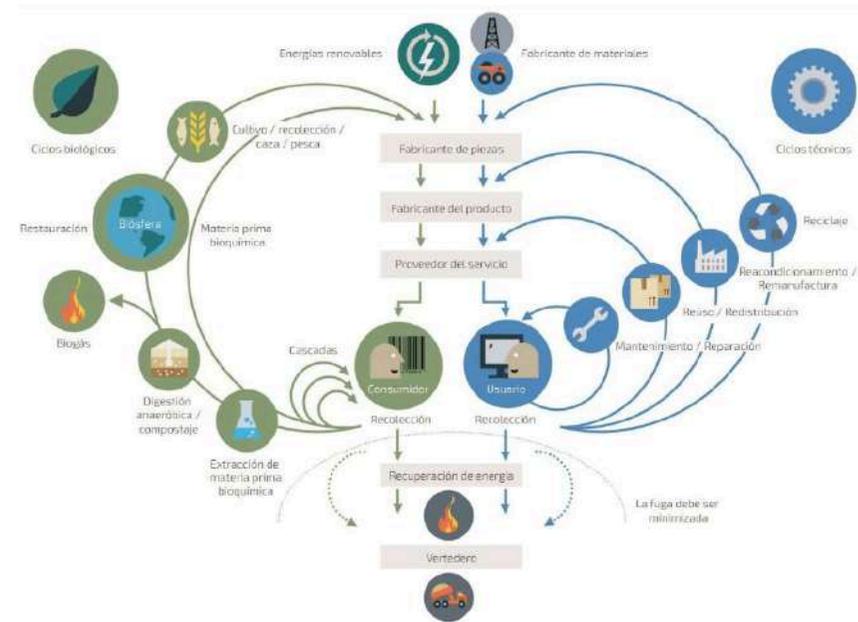
#### Economía circular

La Economía Circular se presenta como una alternativa de crecimiento sostenible al sistema económico lineal, en el que se extraen recursos para fabricar productos que eventualmente terminan como residuos y se desechan. La fundación Ellen MacArthur define la economía circular en base a tres principios impulsados por el diseño:

*Eliminar los residuos y la contaminación, circular los productos y materiales (en su valor más alto) y regenerar la naturaleza. Se respalda en una transición hacia energías y materiales renovables.* (Fundación Ellen MacArthur, s. f.).

*El diagrama del sistema de economía circular, conocido como diagrama de mariposa, ilustra el flujo continuo de materiales en una economía circular. Hay dos ciclos principales: el ciclo técnico y el ciclo biológico. En el ciclo técnico, los productos y materiales se mantienen en circulación a través de procesos como la reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje. En el ciclo biológico, los nutrientes de los*

*materiales biodegradables se devuelven a la Tierra para regenerar la naturaleza.* (Fundación Ellen MacArthur, s. f.).



**Figura 7. Diagrama de sistemas de Economía Circular.**

*Nota:* Recuperado de El diagrama de la mariposa, Fundación Ellen MacArthur, 2019,

(<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/el-diagrama-de-la-mariposa>).

En el Manual de Ecodiseño Circular desarrollado por CTplast señalan:

*La economía circular propone un cambio de paradigma en el sistema económico mediante un modelo que aboga por crear y preservar el capital natural, social y económico a través de la producción y el consumo sostenible, con énfasis en la optimización del uso de los recursos, el desarrollo de nuevos modelos de negocio y el diseño para la conservación y la recuperación del valor de los productos en ciclos cerrados de retroalimentación.* (Capricho et al., 2022).

## Sostenibilidad y sustentabilidad

Mientras que la sostenibilidad hace referencia a iniciativas a largo plazo, la sustentabilidad se relaciona con la lógica de un mantenimiento autónomo en un período específico. No obstante, al hablar de desarrollo sostenible o sustentable, ambos términos funcionan como sinónimos, describiendo un fenómeno que debe manifestarse a nivel global, regional, local e individual, abarcando aspectos ecológicos, económicos, sociales y políticos. (Figuroa, 2016).

En el artículo *El concepto moderno de sustentabilidad*, Arturo M. Calvente expresa que:

*Un proceso es sostenible cuando ha desarrollado la capacidad para producir indefinidamente a un ritmo en el cual no agota los recursos que utiliza y que necesita para funcionar y no produce más contaminantes de los que puede absorber su entorno. (Calvente, 2007).*

Mientras que Sustentabilidad, desde un enfoque más actual, la define como: *Hace referencia a la capacidad que haya desarrollado el sistema humano para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos y oportunidades para el crecimiento y desarrollo de las generaciones futuras. (Calvente, 2007).*



**Figura 8.** Sistema nervioso central de la Sustentabilidad.

*Nota:* Adaptado de *El concepto moderno de sustentabilidad*, (p. 4), por A. Calvente, 2007, Universidad Abierta Interamericana.

## Ciclo de vida de los productos

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) identifica los materiales, la energía y los residuos que un producto genera a lo largo de toda su existencia, posibilitando la anticipación y evaluación de su impacto ambiental. Este estudio abarca desde la extracción de materias primas hasta su utilización, reutilización, reciclaje o eliminación. (Eurofins, 2024).

Por otra parte, el diseño *Cradle to Cradle* (C2C o “de la cuna a la cuna”), concepto desarrollado por los arquitectos William McDonough y Michael Braungart en su libro del mismo nombre, promueve también el concepto de empresa como un “circuito cerrado” o “economía circular”. Este concepto difiere al de los ecologistas tradicionales y no aspira a reducir el consumo, sino a promover un concepto nuevo de industria en la que toda pueda reutilizarse: ya sea que el producto sea capaz de volver a la tierra como nutriente y biológico no tóxico, como que pueda volver a la industria y ser reciclado una y otra vez. Para el desarrollo de un producto, se debe tener en cuenta todo el proceso

productivo: extracción, procesamiento, utilización, reutilización y reciclaje, generando, de esta forma, un sistema cerrado.

Además de los ejes conceptuales detallados anteriormente, tomamos en cuenta los siguientes mandatos:

Papanek (1971) le atribuye a los diseñadores una gran responsabilidad social ya que su actividad implica cambios en el mundo real. Sienta su postura en favor de un diseño más sostenible, criticando la producción en masa, barata y de baja calidad.

De la idea de tomar acciones que contribuyan a minimizar la generación de residuos surge, en década de los 2000, el movimiento *Zero Waste* o Residuo Cero, basado en la regla de las cinco "R": rechazar, reutilizar, reducir, reciclar y rot (compostar).



**MATERIAL**

## 4. MATERIAL

### Silicona

El material de las placas RESIL, se trata de un monomaterial compuesto por silicona virgen y descartes de productos de silicona, tales como rebabas, sobrantes, productos fallidos, entre otros.

En cuanto a la silicona propiamente, en la página web de Gomsil se define como:

*Los cauchos de silicona forman un importante grupo de la familia de los polímeros con base en silicio. La goma silicónica es un derivado orgánico de polímeros inorgánicos, como el polímero de dimethylsilanediol. Estos se distinguen por tener una cadena formada por átomos alternados de silicio y oxígeno. (Gomsil, s.f.).*

Las principales propiedades del material que allí destacan son:

- Son utilizados dentro de un amplio rango de temperaturas, desde -100 a 250 °C.
- Mantienen una gran flexibilidad hasta -55°C.
- Mantienen constancia en sus propiedades como aislamiento eléctrico, su repelencia al agua y sus características anti-adhesivas.
- Son resistentes a la combustión.
- Son biocompatibles, lo que garantiza un uso seguro cuando entra en contacto con el cuerpo humano.
- Son excelentes en su resistencia a la intemperie y el envejecimiento.
- Tienen buena resistencia a: alcoholes, ácidos diluidos y álcalis, sales, aceites, grasas, ceras y ozono.

- La silicona es principalmente atacada por: hidrocarburos halogenados, solventes aromáticos, fenol, ácidos concentrados, materiales altamente adhesivos fríos o calientes y vapor.
- Tienen pobre resistencia a la tracción y al desgarre.



**Figura 9.** Manguera de silicona azul.

*Nota:* Recuperado de Manguera de silicona azul [Fotografía], Amazon, (<https://www.amazon.com/-/es/manguera-silicona-di%C3%A1metro-interior-autom%C3%B3viles/dp/B0C89KV5Y1>).

## Proceso productivo de RESIL

A continuación, resumimos brevemente los pasos del proceso productivo necesario para la fabricación del material RESIL, el cual pudimos observar durante las visitas de relevamiento a la planta de Gomsil y que fue explicado por Rosario Pujol:



Figura 10. Adaptación del proceso productivo para la fabricación de RESIL.

1. **ACOPIO:** Se reservan aquellos productos que hayan resultado fallidos o que no cumplen con las normas de calidad final necesarias para ser comercializados, así como los sobrantes y rebabas de piezas finalizadas.

2. **CLASIFICACIÓN:** Este segundo paso es opcional y depende del resultado final que se esté buscando. Pueden clasificarse los residuos por color y almacenarse en recipientes separados. Los colores más frecuentes son: blanco, azul/celeste, terracota, entre otros.

3. **MOLIDO:** Se coloca el porcentaje de residuos determinado en el molino para generar un granulado del material.



Figura 11. Material resultante del proceso de molido.

4. **MEZCLA CON MATERIAL VIRGEN:** Una vez alcanzada la granulometría necesaria, se procede a mezclarla con el material virgen dentro del molino, con el objetivo de integrarlo homogéneamente. En este paso también se añade la cantidad

necesaria de catalizador y, según el resultado buscado, el colorante.



*Figura 12. Silicona virgen previo a incorporarse en el molino para mezclarse con los gránulos de silicona reciclada y molida.*

5. **MOLDEO:** Una vez obtenida una pasta homogénea, se procede a colocar el material en el molde para luego prensarlo. Con la prensa industrial, se le ejerce fuerza al molde y el material adquiere la forma buscada.
  
6. **HORNEADO:** Se hornea la pieza para cocer y curar el material. Cabe mencionar que teniendo en cuenta el proceso realizado, el estado de moldeo es permanente, es decir, que

una vez estabilizada la pieza, no se puede volver a fundir como un material termoplástico.

### **Material resultante**



*Figura 13. Material resultante del proceso productivo RESIL.*

A close-up photograph of a pile of crushed, colorful particles. The particles are primarily red, blue, and white, and appear to be small, irregular fragments of a material. They are scattered on a light-colored, possibly white, surface. The lighting is soft, creating subtle shadows and highlights on the particles. The overall composition is centered, with the pile of particles forming the main subject.

**EXPERIMENTACIÓN**

## 5. EXPERIMENTACIÓN

De las comunicaciones con Rosario Pujol, asesora de este trabajo y gerenta operativa de Gomsil, surgió que las variantes de las placas RESIL responden a:

- Los moldes que Gomsil tenga en stock. La placa más grande que puede realizarse actualmente, es de 35 x 35 x 1,2 cm.
- Se pueden realizar nuevas variantes en cuanto a formas, tamaños, espesores, siempre y cuando se desarrolle el molde necesario.

Para este TFG, decidimos realizar las variantes de 0,8 y 1,2 cm de espesor, y dos porcentajes de residuo distintos: 20 y 50%, respectivamente.



**Figura 14.** Placas RESIL. 50% y 20% de residuo respectivamente.

Por otra parte, y de forma manual, realizamos una placa con espesor de 2 cm y 20% de residuo para experimentar el comportamiento del material.

Mezclando el material de forma manual y sin contar con una prensa industrial, el resultado fue de un material segmentado, ya que la silicona reciclada no logró adherirse completamente a la silicona virgen. Sus terminaciones fueron un tanto rugosas y desprolijas.



**Figura 15.** Material realizado de forma manual.

## Propiedades físicas y mecánicas de RESIL

En línea con el tercer objetivo específico establecido para este TFG, que consiste en describir las propiedades físicas y mecánicas del material resultante, llevamos a cabo las siguientes pruebas:

1. Ensayos en el laboratorio LabIC: resistencia del material a la tracción, flexión, su contenido de humedad y determinación de su densidad.
2. Pruebas de maquinabilidad de forma artesanal: corte con trincheta, caladora, taladrado, clavado, atornillado, entre otros.
3. Pruebas de temperatura y resistencia a solventes químicos: frío, calor, fuego directo, sumergido en solventes químicos.
4. Prueba en el Laboratorio de Fabricación Digital de FADU corte y grabado láser.

Como indicamos anteriormente, los resultados obtenidos de las pruebas mencionadas fueron comparados con materiales existentes en el mercado, con el propósito de identificar y proponer posibles alternativas de aplicación.

### LabIC

Dado que los procedimientos de ensayos técnicos están vinculados a cada material y producto, nos contactamos con el Laboratorio del Instituto de la Construcción, perteneciente al Instituto de Tecnologías, que tiene como objetivos generales el contribuir al desarrollo tecnológico de la facultad, la universidad y la sociedad, a través de la experimentación. Se especializa en realizar ensayos vinculados a tareas académicas, tanto de investigación como de enseñanza, y a solicitud de comités externos. Cuenta con el equipamiento necesario y profesionales expertos para la realización de diversos ensayos regidos por las normas UNIT-ISO.

Teniendo en cuenta que el material testeado presenta características similares, tomamos como referencia el TFG “*Urbanwood, Posconsumo y Diseño: material a partir de residuos plásticos*” (Lorenzo y Queirolo, 2002) en donde llevaron a cabo los ensayos de densidad, contenido de humedad y flexión. A su vez, dadas las características del material, entendimos pertinente la realización de pruebas de tracción al material.

Para el acceso a las distintas normas, fue necesario concurrir de forma presencial a UNIT - Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, en donde accedimos a tomar las notas que nos permitieron realizar las pruebas de manera objetiva.

A continuación, listamos las normas que utilizamos:

1. ISO 9427:2003 - Determinación de la densidad.
2. ISO 16979:2003 (Diciembre 2009) Determinación de humedad.
3. ISO 1137:2007 - Método de ensayo para la determinación de los módulos de elasticidad y rotura en ensayo de flexión estática en maderas.
4. UNE-EN ISO 527-1 - Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción.

(Para todas las normas - Ver Anexo A2 - Notas de ensayos)

Para la realización de estos ensayos, fue necesaria la realización de diversas probetas, siguiendo lo establecido en cada una de las normas.

## Ensayos y sus resultados

### 1. Determinación de la densidad

La norma ISO 9427:2003 establece un método para determinar la densidad de los tableros derivados de la madera. Se determina la densidad de cada probeta por la relación entre su masa y volumen, midiendo ambos parámetros al mismo contenido de humedad.

Teniendo en cuenta que las probetas necesarias deben de pesar como mínimo 20 gr realizamos 4 probetas de 5 x 5 x 0,8 cm, con un peso promedio de 24,4 gr.

Debimos dejar las probetas en la sala controlada del laboratorio con una humedad del 63% y a una temperatura de 20 °C por 24 horas, controlando que la masa sea constante.

*“Se considera que la masa es constante cuando los resultados de 2 pesadas sucesivas, realizadas en un intervalo de 24 h no difieren más de 0,1% de la masa inicial de la probeta”.* (ISO 9427:2003).

#### Resultado

Esta primera prueba determinó que el material tiene una densidad promedio de 1,15g/cm<sup>3</sup> y mantiene un peso constante sin importar su humedad ni temperatura.

Podemos concluir entonces que es un material de comportamiento estable, que no absorbe humedad por lo que conserva su integridad estructural y sus propiedades físicas.

A continuación, se presentan los resultados ordenados en la Tabla 1 - *Determinación de la densidad*, y las fotografías del proceso de aplicación de los pasos determinados en la presente norma:



Figura 16. Probetas realizadas para el ensayo de densidad.

Figura 17. Proceso para prueba Determinación de la densidad.



1- Probetas de 5x5x0,8 cm con 50% de residuo.

2 - Termohigrómetro del laboratorio.

3 - Balanza digital de precisión.

4 - Calibre de precisión.

Determinación de la densidad						
Probeta	m (g)	b1 (mm)	b2 (mm)	t (mm)	p (g/mm <sup>3</sup> )	p (g/cm <sup>3</sup> )
1	23,7	49,2	50,8	8,1	1.170,67	1,17
2	24,7	51,1	50,0	8,4	1.150,87	1,15
3	24,9	51	51,2	8,4	1.135,22	1,14
4	24,2	51,7	49,8	8,2	1.146,26	1,15
<b>Promedio</b>					<b>1.150,75</b>	<b>1,15</b>

Tabla 1

## 2. Determinación de humedad

La norma ISO 16979:2003 establece un método para determinar el contenido de humedad de los tableros derivados de la madera. Se determina por pesada la pérdida de masa de la probeta, entre su estado en el momento del muestreo y después de secar.

Se realizaron 4 probetas de 5 x 5 x 0,8 cm con un 50% de residuo. Primero, las pesamos en el laboratorio con ambiente controlado y luego, las colocamos en el horno a 60 °C durante 24 horas. Luego de enfriarse en un desecador durante 3 horas, las pesamos nuevamente. La masa se considera constante cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas, realizadas con 24 horas de intervalo, no supera el 0,1%. Para lograr esto, volvimos a colocar las probetas en el horno por 24 horas adicionales.

### Resultado

Esta segunda prueba determinó que la diferencia de porcentajes de humedad entre la primera pesada en ambiente controlado, y la segunda pesada pos secado, es despreciable, por lo que concluimos que es un material que no absorbe una cantidad de humedad significativa. Al tener el contenido de humedad bajo (0,41%), indica una buena estabilidad del material, lo que garantiza propiedades físicas y mecánicas consistentes.

A continuación, se presentan los resultados ordenados en la Tabla 2 - *Determinación de humedad*, y las fotografías del proceso de aplicación de los pasos determinados en la presente norma:



Figura 18. Probetas en el desecador de LabIC.

Figura 19. Proceso para prueba Determinación de humedad.



1- Probetas de 5x5x0,8 cm con 50% de residuo.

2 - Balanza digital de precisión.

3 - Horno a 60°C.

4 - Desecador.

Determinación de humedad			
Probeta	m0 (g)	m1 (g)	H %
1	23,7	23,6	0,42%
2	24,7	24,6	0,41%
3	24,9	24,8	0,40%
4	24,2	24,1	0,41%
		<b>Promedio</b>	<b>0,41%</b>

Tabla 2

### 3. Ensayo de flexión

La norma ISO 1137:2003 establece el método de ensayo para determinar los módulos de elasticidad (MOE) y módulo de rotura (MOR), en pequeñas probetas libres de defectos, al 12% de contenido de humedad. El ensayo de flexión estática mide la resistencia de una viga a una carga puntual aplicada en el centro de luz o distancia entre apoyos. El material está sometido a la flexión estática cuando sobre ella se ejerce una carga en forma continua hasta la rotura.

Se realizaron 3 probetas de 25 x 5 x 0,8 cm con 50% de residuo y 3 probetas de 25 x 5 x 1,2 cm con 20% de residuo.

Según la norma, se debe utilizar una velocidad de cabezal de 2,5 mm/min. En este caso, se optó por una velocidad de 2 mm/min, ya que el software utilizado en el laboratorio no permite ingresar valores con decimales.

#### Resultado

El ensayo fue realizado en dos oportunidades en ambas probetas, y, debido a la limitación en la distancia de flexión, el material no se rompió. Por lo tanto, consideramos el índice de MOR como la carga máxima alcanzada sin rotura.

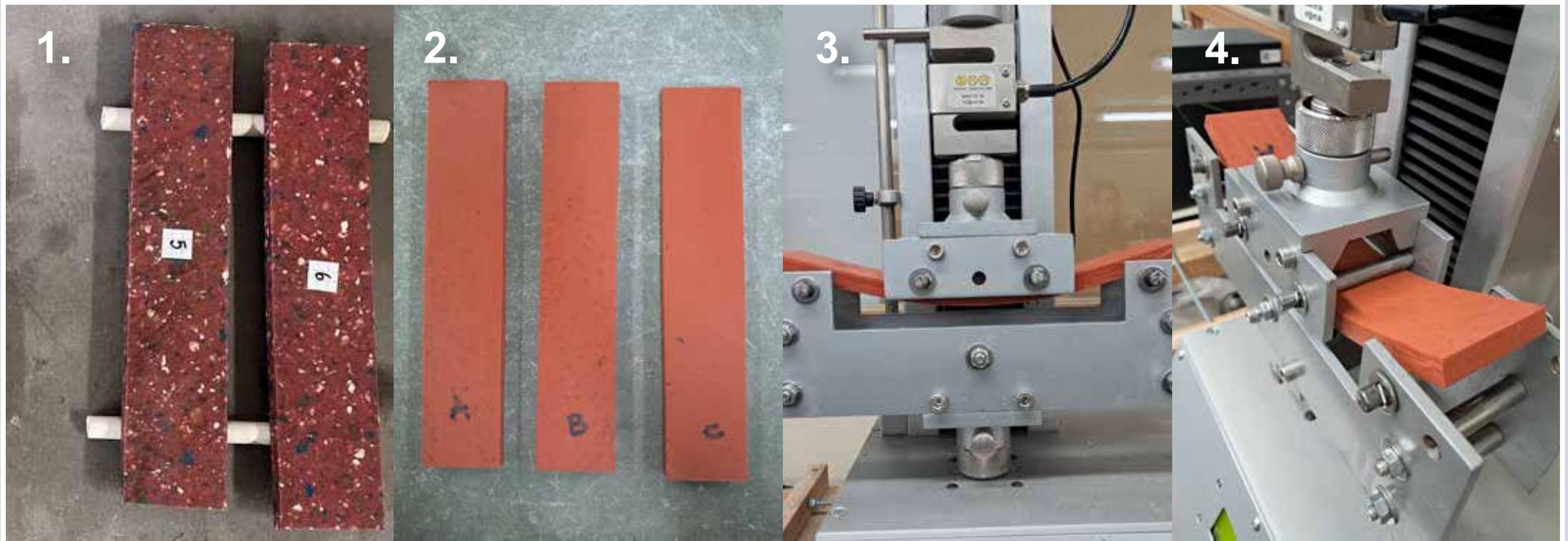
Concluimos entonces que RESIL es un material altamente elástico y flexible, incluso en piezas de tamaño pequeño.

A continuación, se presentan los resultados ordenados en la Tabla 3 - *Carga máxima/MOE*, y las fotografías del proceso de aplicación de los pasos determinados en la presente norma:



Figura 20. Ensayo de flexión estática en LabIC.

Figura 21. Proceso para prueba Ensayo de flexión.



1- Probetas de 25x5x0,8 cm con 50% de residuo.

2 - Probetas de 25x5x1,2 cm con 20% de residuo.

3 y 4 - Bastidor de ensayo equipado con una célula de carga.

Carga máxima/MOE									
		(mm)							
	PM (N)	L	b	h	P1 (N)	P2 (N)	Carga máxima (N/mm <sup>2</sup> )	MOE	
Probeta 5	2,5	200,0	51,3	8,6	0,25	1	0,20	8,84	
Probeta 6	2,5	200,0	51,3	8,5	0,25	1	0,20	8,66	
Probeta A	2,5	200,0	50,0	10	0,25	1	0,15	8,67	
Probeta B	2,5	200,0	49,9	10	0,25	1	0,15	8,67	
Probeta C	2,5	200,0	49,9	10	0,25	1	0,15	8,67	
							Promedio	0,17	8,70

Tabla 3

#### 4. Determinación de las propiedades en tracción

La norma UNE-EN ISO 527-1 especifica los principios generales para la determinación de las propiedades en tracción de plásticos y compuestos plásticos en condiciones definidas.

La probeta se somete a tracción a lo largo de su eje longitudinal principal, a una velocidad constante, hasta que rompe o hasta que el esfuerzo (carga) o la deformación (alargamiento) alcance un valor predeterminado. Durante este procedimiento se mide la carga que soporta la probeta y el alargamiento que experimenta.

En la etapa inicial, realizamos 4 probetas en forma de halterio de 17 x 2 x 0,8 cm. Dado que no logramos romper el material, decidimos realizar muestras más pequeñas también en forma de halterio inscripto en un volumen de 7,6 x 1,3 x 0,4 cm. También, aumentamos la velocidad por fuera de la norma, alcanzando los 15mm/min de deformación.

##### Resultado

Finalmente, las muestras más pequeñas con un 50% de residuo, rompieron soportando una carga máxima promedio de 81 N y un estiramiento o deformación de 17 cm. Esto equivale a una carga máxima de 3,48 MPa. Por otra parte, las muestras con un 20% de residuo, rompieron soportando una carga máxima promedio de 89 N y una deformación de 22 cm. Esto equivale a 3,09 MPa.

Nuevamente, concluimos entonces que el material es altamente elástico y soporta grandes cargas en cuanto a tracción. Vale destacar que al terminar el ensayo, el material vuelve a su posición original presentando apenas una leve deformación.

A continuación, se presentan los resultados ordenados en la Tabla 4 - *Ensayo tracción*, y las fotografías del proceso de aplicación de los pasos determinados en la presente norma:

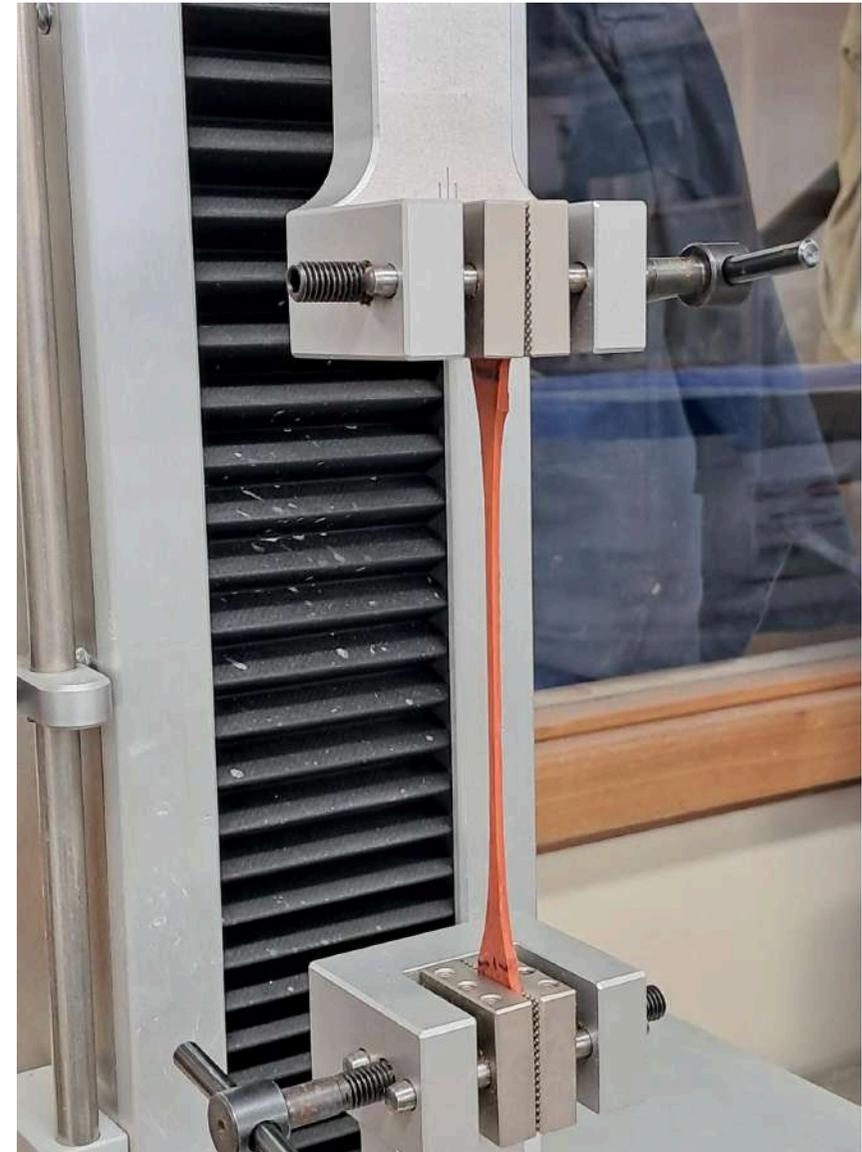
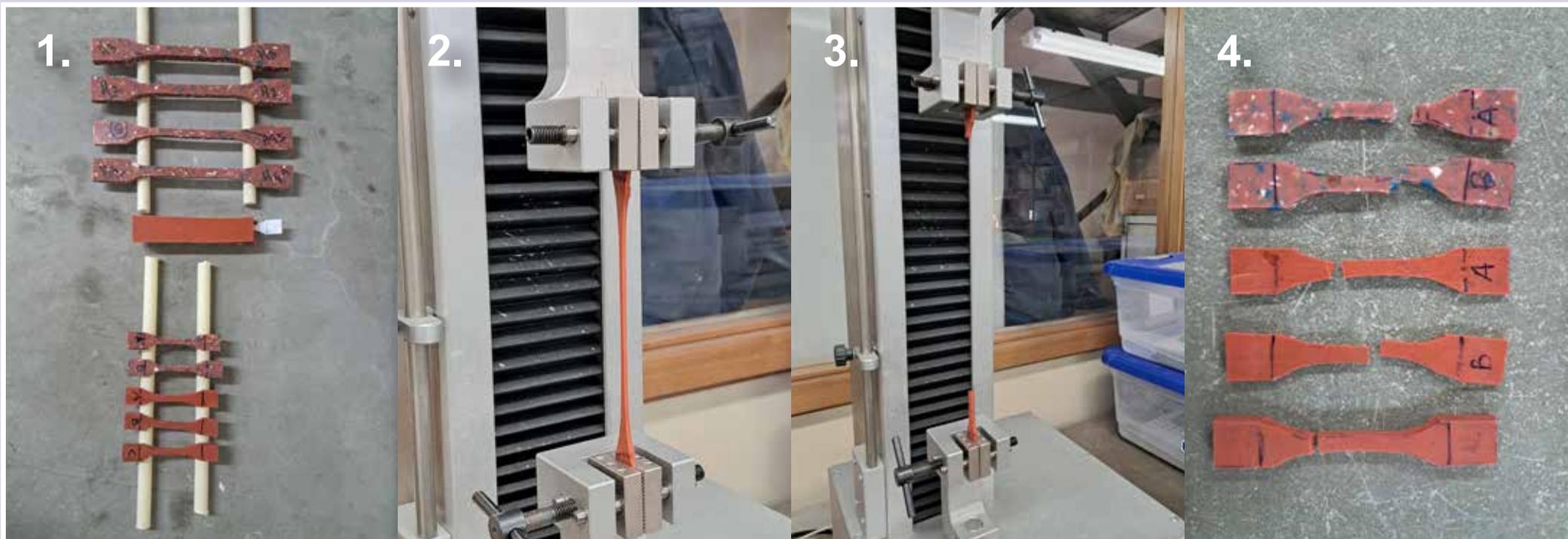


Figura 22. Ensayo de tracción en LabIC.

Figura 23. Proceso para prueba Determinación de las propiedades en tracción.



1- Preparación de probetas de forma halterio.

2 - Bastidor de ensayo de tracción en prueba.

3 - Momento rotura de probeta.

4 - Probetas post ensayo.

Ensayo tracción										
			Ancho (cm)	Espesor (cm)						
	Largo (cm)	Ancho total (cm)	Promedio	Promedio	Fuerza máxima (N)	Estiramiento material (cm)	A (Área transversal)	ε (Deformación)	σ (Medición de tensión o Estrés)	E - Módulo de elasticidad en tracción (MPa)
H1	17	2	0,85	0,86	<b>No rompieron</b>					
H2	17	2	0,84	0,84						
H3	17	2	0,82	0,85						
H4	17	2	0,80	0,85						
A 50%	7,6	1,3	0,45	0,43	75,38	15,80	0,20	1,08	3,84	3,56
B 50%	7,6	1,3	0,43	0,41	87,50	18,53	0,18	1,44	4,89	3,40
A 20%	7,6	1,3	0,28	0,45	68,38	21,22	0,13	1,79	5,45	3,04
B 20%	7,6	1,3	0,26	0,48	79,75	23,94	0,12	2,15	6,47	3,01
C 20%	7,6	1,3	0,49	0,44	117,51	20,43	0,22	1,69	5,45	3,23
				Promedio 50%	81,44	17,17				3,48
				Promedio 20%	88,55	21,87				3,09

Tabla 4

## Maquinabilidad y pruebas de resistencia a temperatura y solventes químicos

A continuación, se detallan e ilustran las pruebas realizadas en nuestros hogares:

Por un lado, las pruebas de maquinabilidad realizadas evaluando el comportamiento del material ante: corte con caladora, trincheta, sierra de mano, taladro, atornillado y clavado. La realización de estas pruebas nos permitieron determinar el comportamiento del material y su vinculación con otros materiales, como la madera, y sus formas de unión.

Por otra parte, teniendo en cuenta las cualidades conocidas de la silicona en cuanto a resistencia a las altas y bajas temperaturas, se comprobó a través de agua hirviendo y agua helada, que la silicona RESIL mantiene estas características. También, sometimos al material al fuego directo, comprobando su comportamiento frente al calor.

Finalmente, realizamos pruebas sumergiendo y dejando en reposo probetas del material en solventes químicos comúnmente encontrados en la industria, como el thinner y aguarrás, con el fin de determinar su compatibilidad y durabilidad y así optimizar su uso en entornos donde pueda estar expuesto a estos agentes.

A continuación, presentamos las fotografías de las distintas pruebas realizadas:



Figura 24. Prueba de taladrado del material.

Figura 25. Pruebas maquinabilidad.



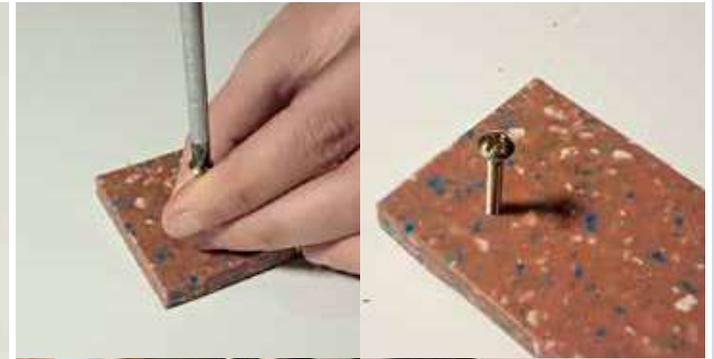
### Corte con caladora

El corte con caladora fue simple de realizar, ya que la máquina fluyó a lo largo del material. Sin embargo, no resultó del todo limpio ya que se desprendió material durante el proceso.



### Corte con trincheta

El corte con trincheta resultó simple de realizar en espesores chicos. Al aumentar el espesor resultó tedioso el corte de forma manual y el canto resultó mordido.



### Corte con sierra manual

Utilizar la sierra de mano para cortar tanto el canto como la cara, resultó tedioso y con un resultado con marcas notables.



### Perforación con taladro

Fue posible taladrar utilizando tanto mecha para madera como para pared, sin mayores inconvenientes, logrando una perforación limpia y precisa.

### Clavado / Atornillado

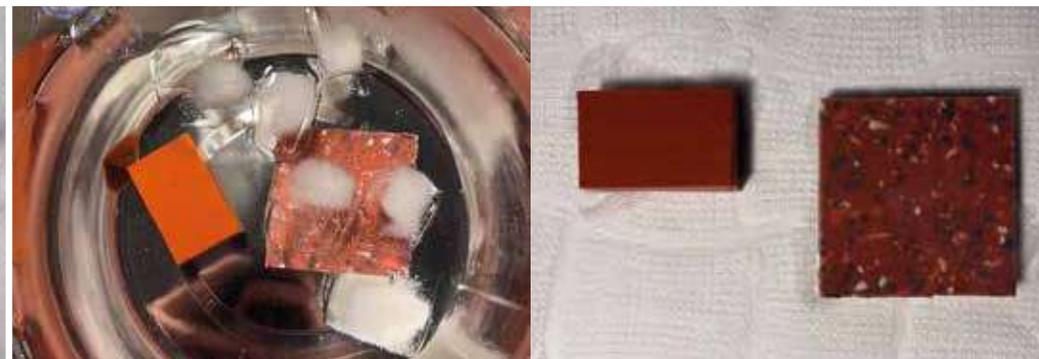
Pudimos atornillar y clavar el material sin inconvenientes a una placa de madera. El resultado nos llamó poderosamente la atención ya que la unión resultó firme y estable. Vale destacar que una vez retirados los insumos, el orificio en el material es prácticamente imperceptible.

Figura 26. Pruebas de temperatura y solventes.



### Agua hirviendo

Sumergimos las muestras en agua hirviendo durante 30 minutos ininterrumpidos. Las muestras no sufrieron alteraciones ni modificaciones.



### Agua helada

Sumergimos las muestras en agua helada durante 30 minutos ininterrumpidos. Las muestras no sufrieron alteraciones ni modificaciones.



### Fuego directo

Cuando expusimos la probeta a fuego directo, se quema, quedando el material rígido y blanco. Además de desprenderse el material, se desprende un olor fuerte, a quemado.



### Solventes químicos

Sumergimos las muestras en aguarrás y thinner y mantuvimos los frascos cerrados por 48hs. En ambas pruebas, el material no se vió alterado ni sufrió modificaciones.

## Conclusiones maquinabilidad y pruebas de resistencia a temperatura y solventes químicos

Mediante las pruebas de maquinabilidad detalladas anteriormente, destacamos que el material funciona muy bien al ser unido con otro material, por ejemplo, con una madera, dado que presenta formas de fijación prolijas y estables (atornillado, clavado, taladrado), generando marcas en la placa de RESIL prácticamente imperceptibles.

En cuanto a las diferentes opciones de corte que probamos, incluso para cortes y piezas de pequeño tamaño, realizarlo manualmente demanda una considerable cantidad de tiempo. Por esto es que consideramos ideal emplear maquinaria específica, como una caladora de mano, y para planchas o cortes de mayor tamaño, sería recomendable el uso de una sierra sinfín.

Por otra parte, al igual que la silicona no reciclada, RESIL es altamente resistente al contacto con el agua en temperaturas extremas, no así soportando el fuego de forma directa ya que sufre alteraciones de forma inmediata, dañando el material de forma irreversible.

Por último, las pruebas de inmersión del material en solventes químicos no presentaron variación alguna, por lo que entendemos que es un material apto para entrar en contacto con este tipo de solventes agresivos. Dado que la silicona repele los líquidos, notamos que ni el thinner ni el aguarrás penetran o empapan el material, por lo que es fácilmente limpiable.

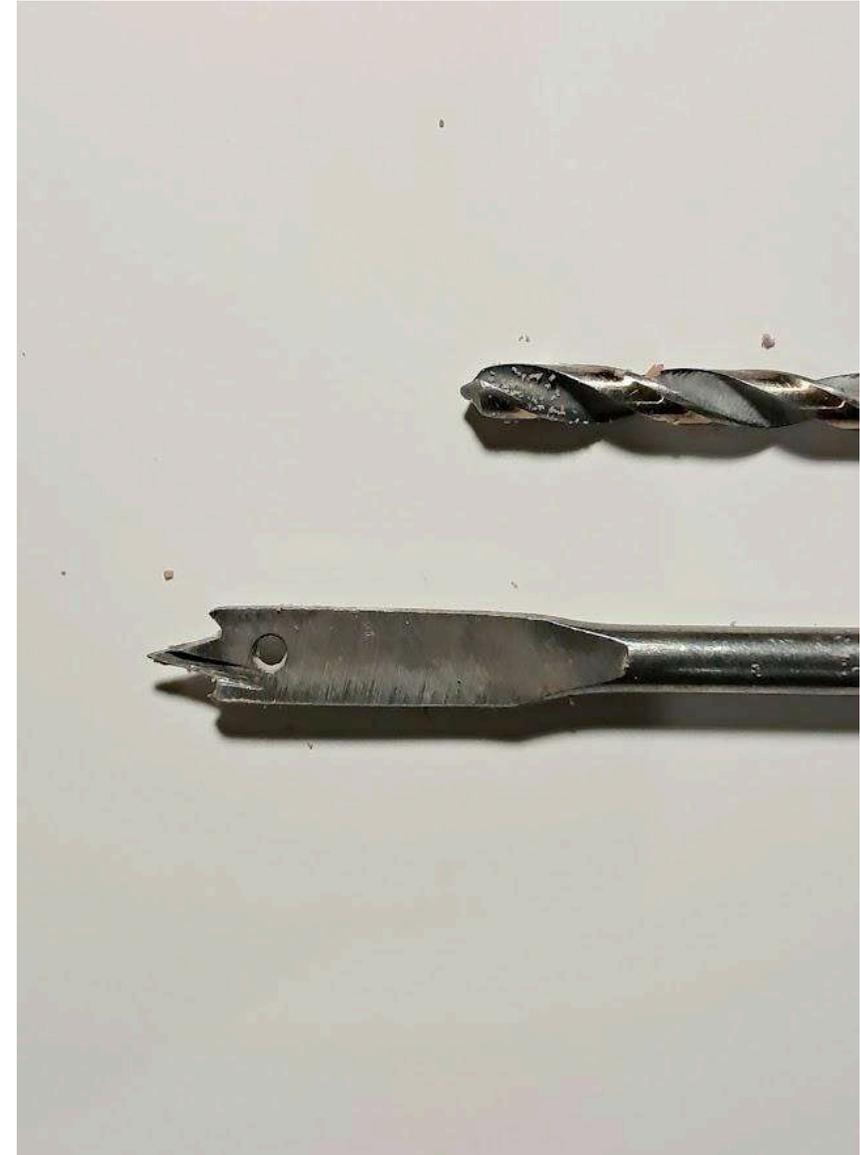


Figura 27. Mechas utilizadas para la prueba del taladro.

## Pruebas en corte y grabado láser

Realizamos las pruebas de corte láser en el Laboratorio de Fabricación Digital Montevideo (labFab MVD) de la Facultad de Arquitectura. Allí se llevan a cabo actividades en el marco de las funciones universitarias: investigación, extensión y docencia, proporcionando apoyo académico a los estudiantes que lo requieran.

Decidimos utilizar la cortadora láser debido a su precisión en el corte y la capacidad de grabar el material. Durante las pruebas, ajustamos diferentes configuraciones de potencia y velocidad para evaluar el comportamiento del material.

A continuación, se presentan los valores utilizados y la cantidad de veces que se repitió el proceso de pasada del rayo ordenados en la Tabla 5 - *Pruebas de grabado y corte láser*, las fotografías del resultado y las observaciones:

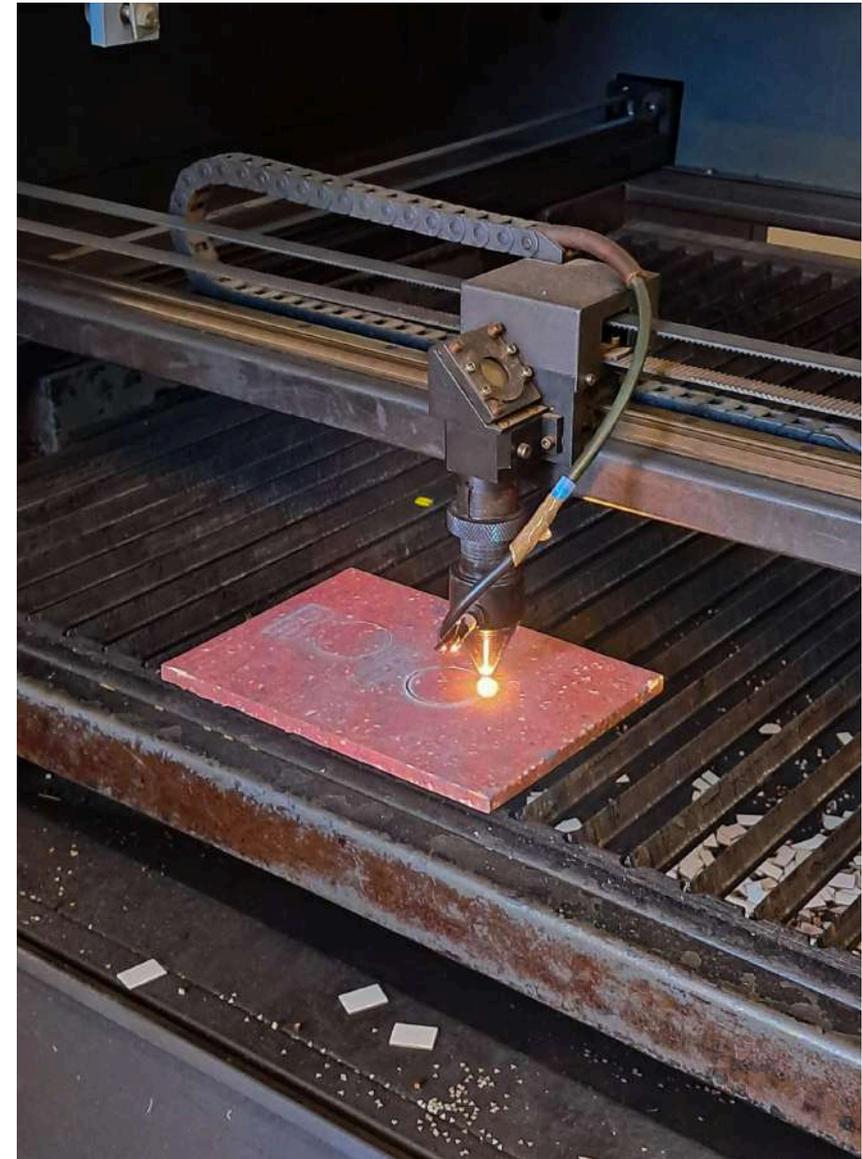


Figura 28. Prueba de corte láser en LabFab MVD.

Tabla 5

Pruebas de grabado y corte láser						
Prueba	Grabado		Corte		N° de pasadas del rayo	Observaciones
	Potencia %	Velocidad (mm/min)	Potencia %	Velocidad (mm/min)		
1	12	3500	55	1500	1	El grabado fue sutil y presentó un color blanco como resultado. No se cortó.
2	12	3000	55	2000	1	Ídem prueba N°1.
3	12	2500	55	800	1	Ídem prueba N°1.
4	12	2500	55	800	2	Al realizar dos pasadas del rayo, el grabado se asemejó más a un corte y no fue tan visible como en las pruebas anteriores. No se cortó.
5	55	3000	55	400	4	Al aumentar las pasadas del rayo, el grabado tomó la apariencia de un corte, lo cual resultó interesante ya que fue de color negro. No se cortó y desprendió cenizas, lo que generó una mancha negra alrededor del corte.
6	55	2000	55	300	8	El grabado quedó con cenizas que mancharon el material. Se logró un corte profundo, pero no realizamos más pasadas ya que empezó a largar chispas.

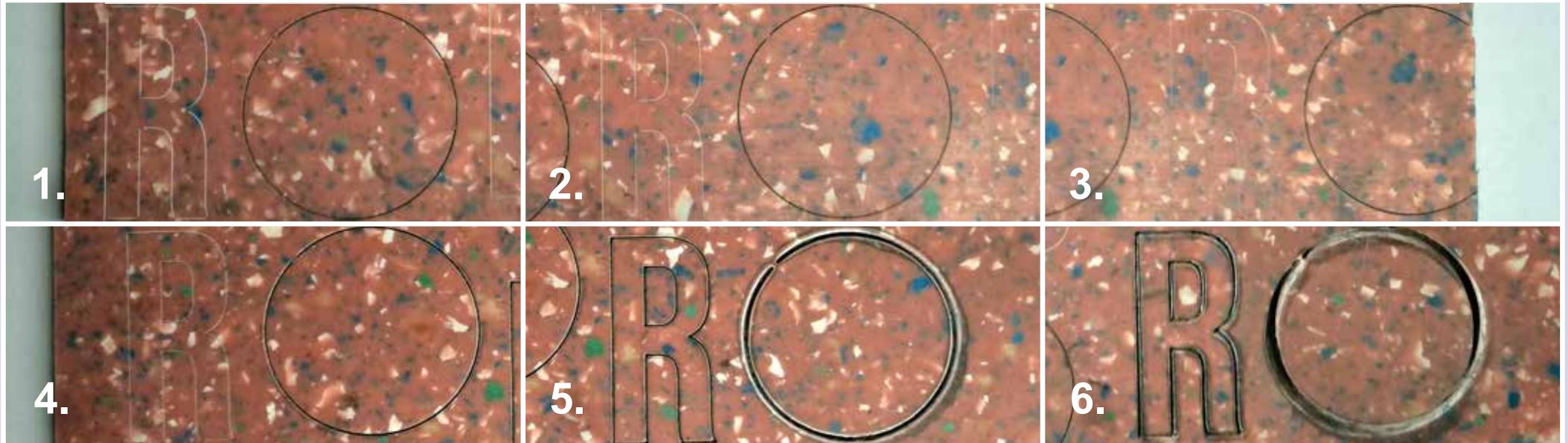


Figura 29. Pruebas de grabado y corte láser.

## Conclusiones del corte y grabado láser

No logramos atravesar y cortar la placa de 0,8 cm de espesor; sin embargo, determinamos que una placa de 0,4 cm podría ser cortada sin inconvenientes.

Observamos que a medida que se reduce la velocidad para el corte, se logra un corte más profundo y las características del grabado se vuelven más prominentes (por ejemplo, cenizas que manchan el material).

Para el grabado, la velocidad puede variar sin afectar significativamente la calidad visual del resultado. Además, al aumentar el número de pasadas del rayo, el grabado adquiere una apariencia más cercana a un corte. Entendemos que tanto el corte como el grabado pueden influir en el resultado visual deseado, por lo que se utilizarán diferentes configuraciones de velocidad y cantidad de pasadas según el efecto buscado.

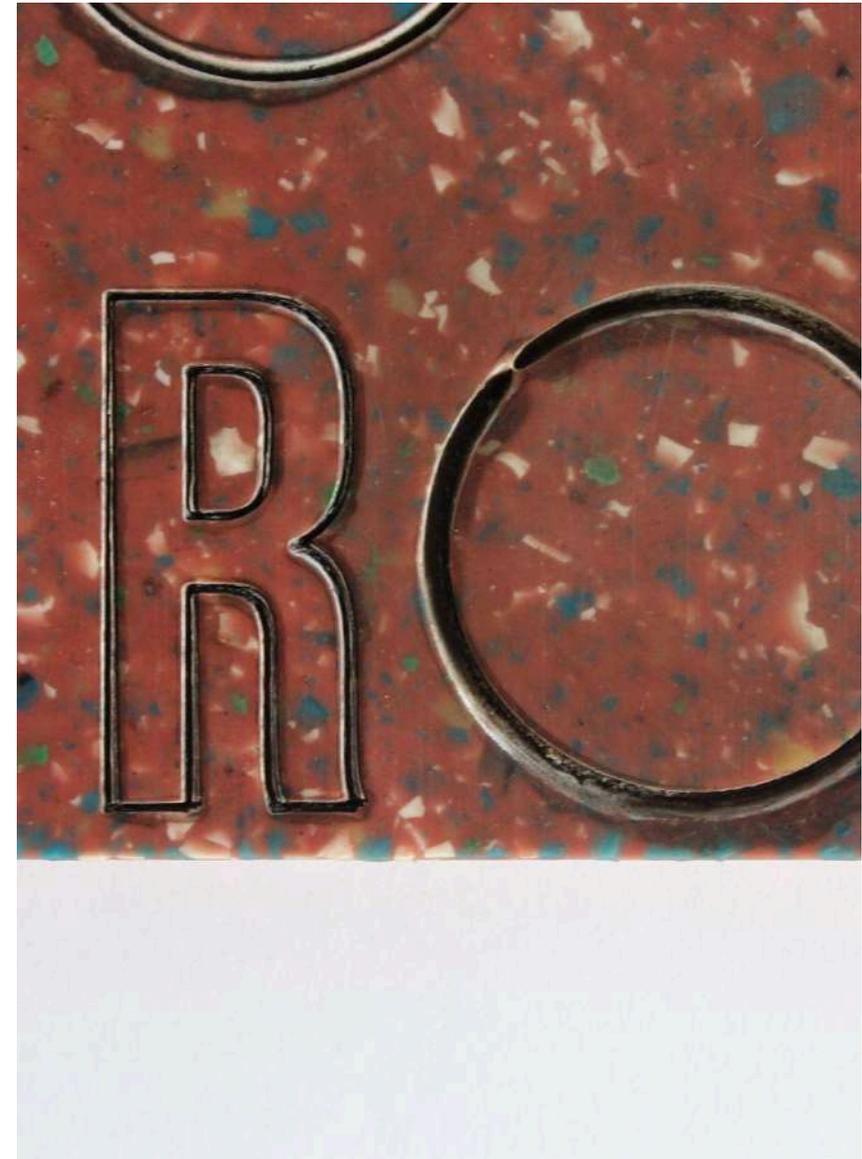


Figura 30. Resultado del corte láser.

## Análisis comparativo con materiales de similares características y usos

A partir de los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio, elaboramos la Tabla 6 - *Comparación de materiales*. Esta tabla incluye el material RESIL, así como otros materiales con similares características. Los datos fueron extraídos de las fichas técnicas disponibles en los sitios web de diversos fabricantes y distribuidores:

Tabla 6

*Comparación de materiales*

Material es	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de humedad (%)	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	Tracción (MPa)
RESIL	1,15	0,41	0,17 (carga máxima alcanzada)	8,70	3,09 - 3,48
Silicona virgen	1.1 - 1.3	menos del 1	6 - 12	0.4 - 1.2	7 - 12
Caucho sintético	0.9 - 1.5	menos del 1	3 - 50	0.1 - 0.4	7 - 20
Vitón	1.8 - 1.9	menos del 1	10 - 20	0.1 - 0.4	10 - 20
Caucho Etileno-Propileno (EPM-EPDM)	0.85 - 1.25	menos del 1	8 - 15	0.1 - 0.5	7 - 20



**Figura 31.** Referencias de materiales de similares características a RESIL.

La densidad del material RESIL se encuentra en una posición intermedia en comparación con los rangos relevados de otros materiales. Es mayor la densidad que la del caucho sintético y el caucho EPM-EPDM, pero menor que la del vitón. Esto sugiere que RESIL puede ofrecer un equilibrio entre peso y resistencia, adaptándose a diversas aplicaciones según las necesidades específicas del producto final.

El contenido de humedad es bajo en todos los ejemplos, lo que minimiza el riesgo de deterioro o pérdida de propiedades mecánicas debido a la absorción de agua, asegurando una buena estabilidad en diversas condiciones ambientales.

Entendemos que el MOR del RESIL es significativamente menor en comparación con los otros materiales. Sin embargo, es importante señalar que este valor no es representativo, ya que en la prueba no logramos la rotura del material. Por lo tanto, el MOR del RESIL podría ser mayor en condiciones de prueba que permitan la rotura del material.

El MOE del RESIL es más alto en comparación con los otros materiales, lo que sugiere una mayor rigidez y resistencia a la deformación bajo carga. No obstante, este valor al igual que el del MOR, no es completamente representativo, ya que el ensayo no se realizó en su totalidad por las limitaciones de la maquinaria.

En cuanto a la resistencia a la tracción del material RESIL, es inferior en comparación con los otros materiales. El caucho sintético, el vitón y el caucho EPM-EPDM, presentan una resistencia a la tracción considerablemente mayor, lo que los hace más adecuados para aplicaciones que demandan alta resistencia a esfuerzos de tracción.

## **Conclusión**

RESIL es un material con características similares a los materiales comparados, presenta buena durabilidad y resistencia. Sin embargo, para aplicaciones que requieran alta resistencia a la tracción o donde se prevén cargas extremas, puede ser necesario considerar otros materiales con mejores propiedades mecánicas.

El resultado estético también es un factor importante en la elección del material. En este contexto, el material RESIL, que incorpora residuos de varios colores, puede resultar atractivo para un público interesado en productos sustentables. Su apariencia multicolor no solo resalta la característica de ser un material reciclado, sino que también puede

aportar un valor añadido en términos de diseño y diferenciación visual en el mercado. Además, se puede optar por usar residuos del mismo color para lograr un acabado uniforme o elegir combinaciones de colores específicas, lo que permite personalizar el material según las preferencias estéticas del cliente y las necesidades del diseño del producto.



# **APLICACIONES SUGERIDAS**

## 6. APLICACIONES SUGERIDAS

Si bien RESIL es ideal para una amplia variedad de aplicaciones, no es el material más adecuado para proyectar productos con detalles pequeños ni para posibles aplicaciones médicas. Aunque puede ser esterilizado, no es lo más recomendable.

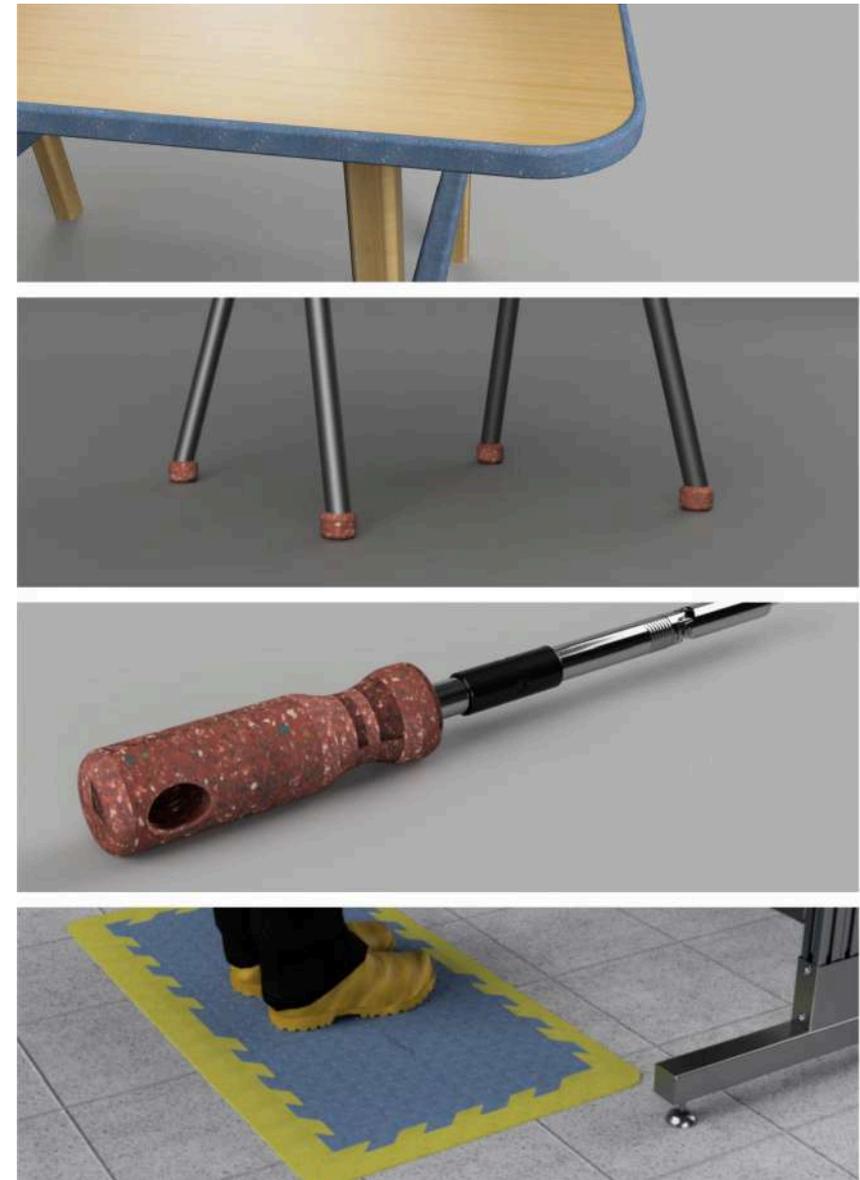
A continuación, listamos algunas sugerencias para su uso:

### 1. Bordes de mesas y sillas para niños

RESIL es un material adecuado y amigable con jardines de niños gracias a su superficie amortiguada, suave y segura, que protege a los niños de posibles golpes y caídas. Su resistencia al desgaste asegura una larga durabilidad, mientras que su diseño multicolor añade un atractivo visual que estimula y alegra el entorno infantil. Ideal para áreas de juego y aulas, RESIL no solo contribuye a un ambiente seguro, sino que también ayuda a minimizar el desgaste y los daños en los muebles.

### 2. Tapones para patas de sillas, bastones o andadores

Utilizar RESIL para tapones de sillas protege los suelos de rayaduras y daños. Además, el material ofrece una superficie antideslizante que ayuda a mantener las sillas en su lugar y reduce el ruido y las rayaduras al moverlas. Se puede utilizar en oficinas, hogares, y cualquier lugar donde se utilicen sillas con frecuencia. Ideal para entornos que requieren movilidad frecuente y protección del suelo.



**Figura 32.** Fotomontajes realizados sobre las posibles aplicaciones de RESIL.

Por otra parte, los tapones hechos de RESIL para bastones y andadores proporcionan una base estable que también protege las superficies y minimiza el ruido. Además, su capacidad para no deslizarse ayuda a mejorar la seguridad de los usuarios. Utilizados en entornos donde se utilizan bastones y andadores, como en hogares de ancianos, centros de rehabilitación y residencias privadas.

### **3. Mangos de herramientas de trabajo**

RESIL ofrece una superficie cómoda y duradera para los mangos de herramientas, mejorando el agarre y reduciendo la fatiga durante el uso prolongado. Su resistencia a la abrasión asegura una larga vida útil en condiciones de trabajo exigentes. Utilizado en ambientes de trabajo en fábricas, talleres y sitios de construcción donde se requiere una resistencia adicional y un agarre ergonómico.

Clientes ya existentes de Gomsil podrían ser usuarios objetivos.

### **4. Alfombras para puestos de trabajo.**

Las alfombras de RESIL proporcionan una superficie antideslizante y amortiguadora que ayuda a reducir la fatiga y proporciona comodidad a los empleados. Su durabilidad y facilidad de mantenimiento son ventajas en entornos con alto tráfico. Se pueden utilizar en áreas de trabajo donde se pasa mucho tiempo de pie o se requiere una superficie segura y cómoda, como en fábricas, peluquerías, restaurantes y gimnasios.

Para esta propuesta, los actuales clientes de Gomsil también podrían ser usuarios objetivos.

### **Otras posibles aplicaciones**

- Regalos empresariales: posavasos, tapones de botella, identificador de copa.
- Mango o cubrimiento de algún equipo deportivo.
- Juguetes infantiles: formas que se encastran, puzzles.

# **PRODUCCIÓN CIRCULAR**

## 7. PRODUCCIÓN CIRCULAR

Para el desarrollo de este capítulo, proponemos un modelo de producción/gestión circular con enfoque tanto social, ambiental y económico.

### Impacto Social

**Incorporación de un sector innovación y desarrollo (I+D):** teniendo en cuenta las características determinadas de RESIL, podría desarrollarse un departamento de I+D tanto en Gomsil como en empresas de giro similar, especializándose en la gestión de los residuos y el diseño y desarrollo de posibles alternativas de productos en base de la propuesta de RESIL.

**Fomentar la reducción de los desechos industriales:** contribuye a la limpieza y el orden en la comunidad. Además, la disponibilidad de productos realizados en base al reciclaje, puede beneficiar a la comunidad con menos acceso a materiales nuevos o costosos, dependiendo de los productos que se desarrollen.

**Concientización:** promoviendo la utilización de materiales reciclados, puede aumentarse la conciencia ambiental tanto en los empleados de Gomsil, su competencia, clientes y la comunidad en general, fomentando la toma de prácticas (más) sostenibles.

### Impacto Ambiental

**Reducción de residuos:** como se mencionó anteriormente, la incorporación de silicona de desecho nuevamente al proceso industrial, reduce la cantidad de desechos que pueden terminar en

usinas o incineradoras, disminuyendo la contaminación ambiental y los impactos negativos en los ecosistemas locales.

**Fomenta la conservación de recursos naturales:** al integrar materiales reciclados a un nuevo proceso de fabricación, se reduce la dependencia de recursos naturales no renovables, por ejemplo, en la producción de la silicona virgen.

**Huella de carbono reducida:** el reciclaje de materiales requiere, generalmente, de menos energía que la producción de materiales nuevos, lo que podría ayudar a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, asociadas a la extracción y procesamiento de materias primas.

### Impacto Económico

**Reducción de costos:** si bien el punto de partida para la investigación y desarrollo de productos confeccionados a partir de este material reciclado, conlleva una inversión inicial ya sea en tiempo o dinero, la realización de este tipo de productos puede ser más económico que realizado a partir de materiales vírgenes, significando una reducción en los costos de producción así como la mejora en la rentabilidad de la empresa.

**Acceso a nuevos mercados:** dado que existe un creciente mercado para productos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, ofrecer productos con materiales reciclados puede abrir oportunidades para captar otro tipo de clientes.

**Cumplimiento de posibles regulaciones ambientales:** dado que este tipo de regulaciones pueden determinar parámetros en la gestión de residuos, la gestión de estos de forma independiente puede ayudar a adoptar prácticas sostenibles y cumplir con la normativa.

En resumen, el desarrollo de silicona reciclada a partir de materiales de desecho no solo podría beneficiar económica a la y las empresas, sino también a mejorar su imagen social y empresarial, y a reducir su impacto ambiental, posicionándose como un actor responsable y en vías de sostenibilidad en su propia industria.



# CONCLUSIONES

## 8. CONCLUSIONES

En este TFG analizamos el comportamiento físico-mecánico y la maquinabilidad del material denominado RESIL: material resultante del reciclaje del desecho generado durante el proceso de extrusión de silicona industrial de la empresa Gomsil.

Teniendo en cuenta los objetivos y la hipótesis planteada, logramos relevar y describir la situación actual de los residuos de silicona industrial de la empresa Gomsil así como describir el paso a paso del proceso para generar distintas alternativas de placas que combinan silicona reciclada con material virgen.

Por otra parte, identificamos y sometimos el material a distintas pruebas regidas por las normas UNIT, con el objetivo de determinar, medir y registrar sus características físicas y mecánicas, tales como: Determinación de densidad, Contenido de humedad, Determinación de propiedades en flexión y tracción. También, el comportamiento del material ante el sometimiento a corte y grabado láser y, por último, respuesta a diversas pruebas de maquinabilidad de forma artesanal.

Una vez documentados los resultados de las pruebas mencionadas anteriormente, comparamos a RESIL con otros materiales de características similares: silicona virgen, caucho sintético, vitón y EPM-EPDM para sugerir la aplicación del material en diversos productos entre los que se destacan: bordes de mesas y sillas para niños, tapones para patas de sillas, bastones y andadores, mangos de herramientas de trabajo y alfombras para puestos de trabajo.

Adicionalmente, se listan los beneficios de incorporar un modelo de producción circular con un enfoque tripartita: social, ambiental y económico.

Creemos y ratificamos con este trabajo que el pensamiento del diseño juega un papel crucial en esta problemática, ya que es esencial para el diseñador considerar el ciclo de vida completo de materiales y productos, incluyendo los desechos generados. Además, nuestro aporte incluye la recopilación y documentación del proceso de reciclaje de silicona industrial en Uruguay, lo cual servirá como antecedente en un futuro cercano.

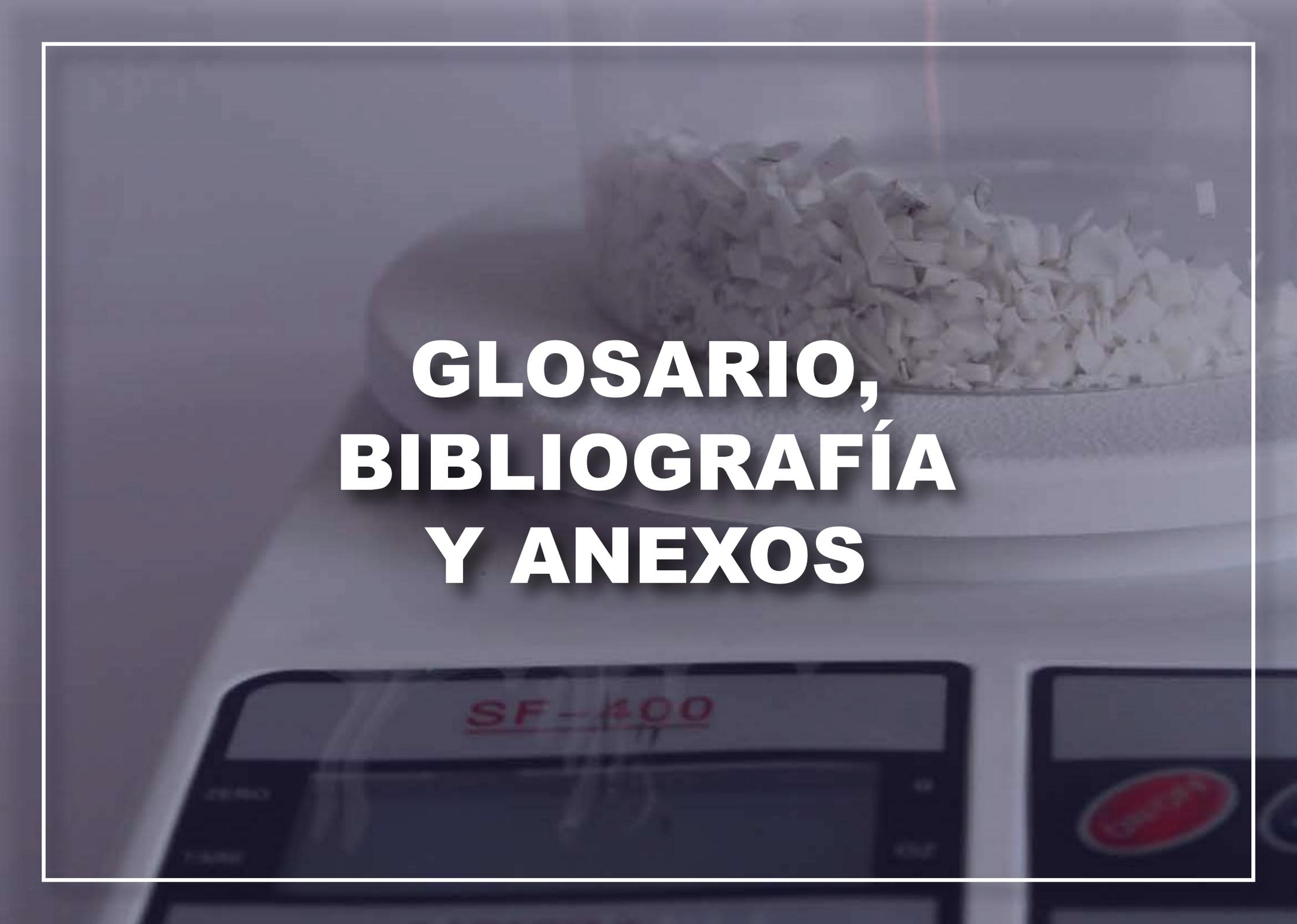
Parte importante a la hora de concluir con el trabajo, consiste en identificar las limitaciones que tuvimos durante el proceso de realización. A continuación, listamos algunas de estas:

- Confirmamos que la documentación e información disponible sobre el material, especialmente en lo que respecta al reciclaje de silicona, es escasa y, en muchas ocasiones, de difícil acceso.
- Nos interesaba experimentar con distintos porcentajes de residuos, variaciones en el espesor de las placas, y mezclas de colores, así como la incorporación de otros materiales a la mezcla. Sin embargo, para obtener el acabado deseado en las placas, necesitaríamos el equipamiento de Gomsil (trituradora, prensa, etc.) disponible bajo demanda.
- Una opción a considerar es la evaluación de otras técnicas de corte tales como el uso del troquel, que si bien no es tan avanzado tecnológicamente como el corte láser, podría resultar adecuado para ser utilizado en una PYME. Asimismo, podría explorarse el corte mediante CNC, el cual podría demostrar

una mayor efectividad al cortar el espesor de la placa, optimizando así el proceso de manufactura.

- Si bien planteamos las posibles aplicaciones del material, debido a los tiempos de ejecución del trabajo, no logramos materializar los productos propuestos.

Invitamos a futuros colegas y compañeros de la UDELAR a investigar y generar antecedentes sobre temáticas innovadoras que nos interpelan a todos, con el fin de contribuir al desarrollo de soluciones para esta y otras problemáticas.

A photograph of a laboratory scale with a weighing boat containing white powder. The scale's display shows "SF-400". The text "GLOSARIO, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS" is overlaid in white on a dark blue background.

# **GLOSARIO, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS**

# GLOSARIO

## **Célula de carga**

*Dispositivo que convierte una fuerza o carga aplicada en una señal eléctrica proporcional. Se utiliza en sistemas de pesaje y medición de fuerzas, siendo esencial en aplicaciones industriales, de investigación y en la calibración de instrumentos de pesaje.*

## **Desecador**

*Recipiente cerrado usado en laboratorios para eliminar la humedad de sustancias y muestras. Equipado con un deshidratante, como sílice gel, mantiene un ambiente seco para conservar productos químicos y preparar muestras en condiciones controladas.*

## **Halterio**

*Modelo o pieza con forma geométrica utilizada en pruebas de materiales y análisis estructurales para simular condiciones o comportamientos específicos en experimentos y estudios.*

## **Probeta**

*Muestra de material, generalmente uniforme, utilizada en estudios y ensayos para analizar sus propiedades, como resistencia y dureza, en contextos de ingeniería y pruebas de materiales.*

## **Rigidez**

*La rigidez es la capacidad de un material para resistir la deformación cuando se le aplica una carga. Es una medida de cuánto se deforma un material bajo una fuerza dada.*

## **Termohigrómetro**

*Instrumento que mide simultáneamente la temperatura y la humedad relativa del aire. Combina un termómetro y un higrómetro en una sola unidad, permitiendo la monitorización en tiempo real de ambas variables ambientales, esencial para controlar condiciones en procesos industriales, investigaciones científicas y estudios climáticos.*

# BIBLIOGRAFÍA

## Fichas técnicas

Dow. (s.f.). Silastic DY 32-366 U Silicone Rubber. Recuperado de:  
<https://www.dow.com/documents/45/45-1719-01-silastic-dy-32-366-u-silicone-rubber.pdf?iframe=true&>

DP Seals. (2017). EPDM 70 Compound Data Sheet. Recuperado de:  
<https://dpseals.com/wp-content/uploads/2017/05/DPS-Compound-Data-Sheet-%E2%80%93-EPDM-70.pdf>

Rubbermill. (s.f.). EPDM Closed Cell Sponge Spec Sheet. Recuperado de:  
<https://rubbermill.com/wp-content/uploads/EPDM-Closed-Cell-Sponge-Spec-Sheet.pdf>

Rubbermill. (s.f.). Viton Black Spec Sheet. Recuperado de:  
<https://rubbermill.com/wp-content/uploads/Viton-Black-Spec-Sheet.pdf>

The Hygenic Corporation. (s.f.). Synthetic Rubber. Recuperado de:  
[https://www.hygenic.com/downloadable/download/sample/sample\\_id/10/](https://www.hygenic.com/downloadable/download/sample/sample_id/10/)

## Informes, Libros y Trabajos de Grado

Algorta, A., Carrera, V. & Díaz, M. (2022). *Diseño en territorio: memoria final del proyecto*. Universidad de la República. [Informe no publicado].

Bürdek, B. (2002). *Diseño. Historia, teoría y práctica del Diseño Industrial* (3rd ed.). Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA.

Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, North Point Press.

Calvente, A. (2007). *El concepto moderno de sustentabilidad*. Universidad Abierta Interamericana - Centro de altos estudios globales.

Capricho, N., Olivera, A., Cristóbal, S., & Martínez, M. (2022). *Manual de ecodiseño circular* (2.a ed.). Laboratorio Tecnológico del Uruguay. Recuperado de: <https://ctplas.com.uy/publicaciones/>

Eco, U. (2001) *Como se hace una tesis*. Gedisa. Barcelona.

Figueroa Zamudio, E. (2016). *¿Es lo mismo sustentabilidad que sostenibilidad?* Instituto Politécnico Nacional.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*. (4.a ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Lorenzo, V. & Queirolo, M. (2022). *Urbanwood. Posconsumo y diseño: material a partir de residuos plásticos*. Trabajo Final de Grado, Universidad de la República). Recuperado de:  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/39602>

Ministerio de Ambiente. (2021). *Uruguay + Circular: Plan Nacional de Gestión de Residuos 2022 - 2032*.

Papanek, V. (1971). *Design for the real world: Human ecology and social change*. Pantheon Books.

Vezzoli, C., & Manzini, E. (2008). *Design For Environmental Sustainability*. Zanichelli.

## Normas

Asociación Española de Normalización (UNE). (2019). *Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción*. (UNE-EN ISO 527-1). UNE.

Instituto Nacional de Normalización. (2009). *Determinación de la densidad*. (ISO 9427:2003). Editorial UNIT.

Instituto Nacional de Normalización. (2009). *Determinación de humedad*. (ISO 16979:2003). Editorial UNIT.

Instituto Nacional de Normalización. (2007). *Método de ensayo para la determinación de los módulos de elasticidad y rotura en ensayo de flexión estática en maderas*. (ISO 1137:2007). Editorial UNIT.

## Páginas web

Aquae Fundación (s.f.). *Zero waste, ¿vivir sin producir residuos?*. Recuperado de:

<https://www.fundacionaquae.org/zero-waste-que-es/>

Ellen MacArthur Foundation (s.f.). *Introducción a la economía circular*. Recuperado de:

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>

Ellen MacArthur Foundation (2019). *El diagrama de la mariposa: visualizando la economía circular*. Recuperado de:

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/el-diagrama-de-la-mariposa>

Eurofins (2024) *Análisis de Ciclo de Vida*. Recuperado de:  
<https://www.eurofins-environment.es/es/analisis-de-ciclo-de-vida-que-es/>

Gomsil (s.f.) *Empresa*. Recuperado de:

<http://www.gomsilltda.com/empresa.php>

Instron (s.f.). *Tipos de ensayo*. Recuperado de:

<https://www.instron.com/es-es/resources/test-types>

Laboratorio del Instituto de la Construcción (s.f.). *LABIC*.

Recuperado de:

<https://www.fadu.edu.uy/investigacion/noticias/laboratorio-del-instituto-de-la-construccion/>

Protolabs. *Manufacturing accelerated* (s.f.). *Silicona líquida*.

Recuperado de:

<https://www.protolabs.com/es-es/servicios/moldeo-por-inyeccion/silicona-liquida/>

Silicosas (s.f.). *Recorcholis*. Recuperado de:

<https://silicosas.com.ar/productos/recorcholis/>

Tarkett (s.f.). *¿Qué significa Cradle to cradle?*. Recuperado de:

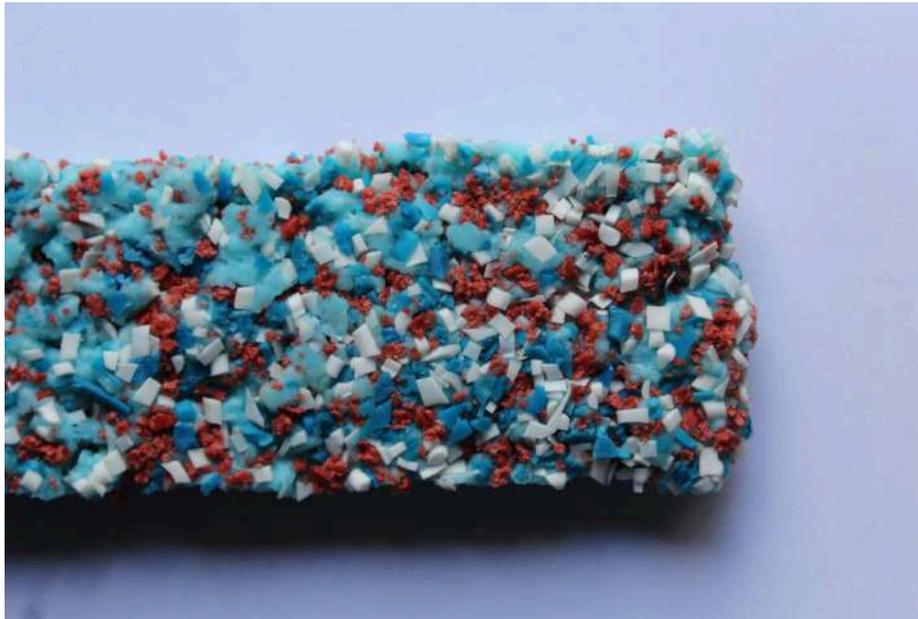
[https://profesional.tarkett.es/es\\_ES/node/que-significa-cradle-to-cradle-985](https://profesional.tarkett.es/es_ES/node/que-significa-cradle-to-cradle-985)

# ANEXOS

## A1 - Probeta artesanal

Para la realización de la probeta se utilizan 188grs. de silicona virgen y 47grs. de silicona reciclada triturada.

Procedimiento: se mezcla de forma manual la silicona virgen con el residuo, se coloca en una asadera con papel manteca y con otra asadera arriba con piedras haciendo peso y se lleva al horno 30 minutos a 240°C.



## A2 - Notas de ensayos

### 1er. ensayo) UNIT 1137:2007 - Método de ensayo para la determinación de los módulos de elasticidad y rotura en ensayo de flexión estática en maderas.

Instrumental: prensa, cabezal o bloque de carga, deflectómetro o comparador, instrumento de medición (calibrado, precisión de 0,1mm).

Muestreo: de acuerdo con el tamaño del lote (conjunto de piezas de madera que responden a especificaciones determinadas), se decide el tamaño de muestra (n° de piezas) cantidad de probetas necesarias para realizar un muestreo estadísticamente representativo del lote.

Confección y acondicionamiento de las probetas: (25±0,5) mm de ancho (b) x (25±0,5) mm de altura (h) o de (20±0,5) mm de ancho (b) x (20±0,5) mm de altura (h), y una longitud mínima de 16 veces la altura (h).

Procedimiento:

- Se debe medir el ancho (b) y la altura (h) de la probeta en el centro de su longitud (l), con una apreciación de 0,1 mm.
- La luz de ensayo o separación entre apoyos (L) debe ser 14 veces la altura (h) de las probetas.
- Se debe colocar la probeta sobre los apoyos de modo que la carga sea aplicada en el punto medio de la luz y en la cara tangencial más cercana a la médula.
- Se debe aplicar la carga en forma continua, con una velocidad del cabezal de 2,5 mm/min, hasta la rotura.
- Se debe medir la deformación (d) producida en la mitad de la luz para cargas progresivas, con intervalos de carga que permitan con las lecturas que así se obtengan, realizar gráfico carga - deformación con la precisión requerida. El valor P1

debe ser correspondiente a un 10% del valor de la carga máxima y el P2 al correspondiente al 40%.

- Se debe registrar toda falla que se produzca en la probeta, describiendo sus características así como la forma en que la misma ha ido evolucionando.
- Se debe registrar la carga máxima (Pm) obtenida durante el ensayo de la probeta con una apreciación de 0,1 N.
- Luego de realizado el ensayo, se debe determinar el contenido de humedad de la probeta y el peso específico aparente (Norma unit 235).

Cálculos:

El módulo de rotura MOR se calcula por la siguiente fórmula:

$$MOR = \frac{3P_m L}{2bh^2}$$

MOR es el esfuerzo unitario máximo, en N/mm<sup>2</sup>

Pm es la carga máxima obtenida, en N

L es la luz de ensayo o separación entre apoyos, en mm.

b es el ancho de la probeta, en mm.

h es la altura de la probeta, en mm.

El módulo de elasticidad MOE se calcula por la siguiente fórmula:

$$MOE = \frac{\Delta_p L^3}{4 \Delta_d bh^3}$$

MOE es el módulo de elasticidad, en N/mm<sup>2</sup>

$\Delta p$  es la diferencia entre dos puntos P1 y P2 cualquiera de la recta de la zona elástica, en N.

$\Delta d$  es la diferencia entre las flechas o deformación correspondiente a las cargas elegidas d1 y d2, en mm.

L, b y h (idem anterior)

Expresión de resultados: en MPa o N/mm<sup>2</sup>

Informe del ensayo:

- nombre del instituto donde se realizó el ensayo
- fecha de ensayo y fecha de informe
- referencia a esta norma
- identificación de la muestra
- nombre del solicitante
- fecha, lugar y tipo de muestreo
- cualquier desvío de esta norma
- resultado del ensayo.

Material:

Fecha:

Características de las probetas

Identificación	L (mm)	b (mm)	h (mm)	P1 (N)	P2 (N)

* Pm (N)	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	Pv (g)	Ps (g)	CH %	PE (g/cm <sup>3</sup> )	Vista de la falla	Observaciones

l, b , h - dimensiones de la probeta

P1 - valor correspondiente a un 10% del valor de la carga máxima

P2 - valor correspondiente a un 40% del valor de la carga máxima

Pm - carga máxima

MOE - Módulo de elasticidad

MOR - Módulo de rotura

Pv - Peso original de la probeta destinado a determinar el contenido de humedad.

Ps - peso seco al horno de la probeta destinado a determinar el contenido de humedad.

CH - Contenido de humedad

PE - Peso específico aparente

## **2do. ensayo) Unit ISO 16979:2003 (Dic 2009) - Determinación del contenido de humedad**

Principio: se determina por pesada, la pérdida de masa de probeta, entre su estado en el momento del muestreo y después de secar hasta masa constante a  $(103\pm 2)^{\circ}\text{C}$  y se calcula la pérdida de masa referida a la masa de la probeta después de secar y expresada en %.

Equipos: Balanza, estufa de secado, desecador.

Probetas: de acuerdo en norma ISO-16999, probetas de espesor del tablero.

Masa: masa mínima 20grs.

Forma y dimensiones: cualquier forma, exenta de aserrín o partículas.

Se calcula la humedad (H), de cada probeta, como tanto por ciento de la masa, con aproximación de 0,1% mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{m_0 - m_1}{m_1} * 100$$

donde:

$m_0$  = masa inicial de la probeta en grs.

$m_1$  = masa de la probeta luego del secado, en grs.

Estimación del contenido de humedad de un tablero:

El contenido de humedad de un tablero se obtiene cuando la media aritmética de los contenidos de humedad de todas las probetas extraídas de un mismo tablero y se debe expresar en %, con aproximación decimal.

El informe de ensayo debe contener:

Nombre y dirección del laboratorio de ensayo

Informe del muestreo de acuerdo a la norma ISO-16999

Fecha del informe de ensayo

Referencia a la norma internacional

Tipo y espesor del tablero

Especificaciones correspondientes al producto

Tratamiento superficial, cuando corresponda

Equipos específicos utilizados

Resultados de ensayos expresados

Desviaciones de la norma internacional.

### 3er. ensayo) ISO-9427:2003 (Dic 2009) - Determinación de la densidad.

Principio: se determina la densidad de cada probeta por la relación entre su masa y volumen, midiendo ambos parámetros al mismo contenido de humedad.

Equipos: Micrómetro (o instrumento similar para medir el espesor)

(dos superficies planas, paralelas y circulares de diámetro entre 6 mm y 20 mm, y una fuerza de operación entre las 0.02 Mpa y 0.05 Mpa.)

El diámetro de la superficie de medida seleccionado dependerá del tipo de tablero. En principio, tableros de baja densidad y superficie irregular deberían ser medidos utilizando un diámetro mayor.

Calibre para medir longitud y ancho (0.1 mm de precisión).

Probeta: dimensiones: forma cuadrada y con lados de una longitud nominal de 50 mm.

Pesada: se pesa cada probeta con una exactitud de 0.1 grs.

Medición: las dimensiones de cada probeta se realizan de acuerdo con la ISO-9424.

Se mide el t, en el punto de intersección de las diagonales, con exactitud de 0.5mm.

Se mide b1 y b2, en dos puntos, paralelamente a los cantos de la probeta a lo largo de la línea que une el centro de los cantos opuestos, con una precisión de 0,1mm.

La densidad p de cada probeta (en kg/m<sup>3</sup>) se calcula mediante:

$$p = (m / b1 * b2 * t) * 10^6$$

donde:

m = masa de probeta en g

b1 y b2 = ancho y longitud de la probeta en mm

f = espesor de la probeta en mm

La densidad de un tablero se obtiene calculando la media aritmética de las densidades de todas las probetas extraídas de dicho tablero y se expresa en kg/m<sup>3</sup> aproximado al número entero más cercano.

#### 4to. ensayo) UNE-EN ISO 527-1 - Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción.

Objeto y campo de aplicación:

Especifica los principios generales para la determinación de las propiedades en tracción de plásticos y compuestos plásticos en condiciones definidas. Se definen varios tipos de probetas en función de los diferentes tipos de materiales que se detallan a continuación.

1.2- Los métodos que se utilizan para investigar el comportamiento en tracción de las probetas y para la determinación de la resistencia a la tracción, del módulo de elasticidad en tracción y de otros aspectos de la relación esfuerzo/deformación en tracción en las condiciones definidas.

1.3- Los métodos son selectivamente seleccionados para:

Materiales termoplásticos rígidos y semirrígidos para moldeo, extrusión y colado.

#### 4 – Principio y métodos

La probeta se somete a tracción a lo largo de su eje longitudinal principal, a una velocidad constante, hasta que rompa o hasta que el esfuerzo (carga) o la deformación (alargamiento) alcance un valor predeterminado. Durante este procedimiento se media la carga que soporta la probeta y el alargamiento que experimenta.

#### 5 – Aparatos:

Máquina de ensayo: la máquina debe ajustarse a las normas ISO 7500-1 e ISO 9513 y cumplir las especificaciones indicadas:

La máquina de ensayo de tracción debe ser capaz de mantener las velocidades de ensayo especificadas en la tabla 1.

Velocidad de ensayo mm/min

Tolerancia %

0.125

+20

0.25

0.5

1

2

5

10

+10

20

50

100

200

300

500

Las mordazas no deben provocar rotura prematura o aplastamiento de la probeta en las mordazas.

Probetas: formas y dimensiones: Ver norma ISO 527 - Al menos 5 probetas.

Tiempo de acondicionamiento: 16h 23±2°C y 50±10% de humedad relativa.

Medición del esfuerzo:  $\sigma = F/A$  N/mm<sup>2</sup>

Donde:

O es el valor del esfuerzo en cuestión, expresado en megapascales (MPa)

F es la fuerza medida implicada en Newtons (N)

A es el área de sección transversal inicial de la probeta, expresada en mm<sup>2</sup>

Medición de deformación:  $E = \Delta L/L_0$

Donde:

E es el valor de la deformación en cuestión, en porcentaje

L<sub>0</sub> es la longitud de referencia de la probeta, expresada en mm (distancia entre mordazas = longitud inicial)

Delta L<sub>0</sub> es el incremento de la longitud de la probeta entre las marcas de referencia, expresado en mm.

Módulo de elasticidad en tracción:  $E_t = (\sigma_2 - \sigma_1) / (E_2 - E_1)$

(02-01 sería la fuerza)

et es el módulo de elasticidad en tracción, en MPa megapascales.

o<sub>1</sub> es el esfuerzo, medido en el valor de deformación E<sub>1</sub> = 0.0005 de E (0.05%).

o<sub>2</sub> es el esfuerzo, medido en el valor de deformación E<sub>2</sub> = 0.0025 de E (0.25%).

Diferencia de fuerzas / diferencias de deformaciones que es E.

### UNE. EN ISO 527-2

Medidas de las probetas:

1ª (en mm)

Longitud total: 170 mm

Ancho: 20±0,2

Espesor recomendado: 4.0 ±0.2

### UNE – ISO 37

Esta norma describe un método para la determinación de las propiedades de esfuerzo-deformación en tracción de cauchos vulcanizados y termoplásticos.

Se hace con probetas en forma de halterio.

### A3 - Condiciones probeta en forma de halterio

AENOR

- 13 -

ISO 527-2:2012

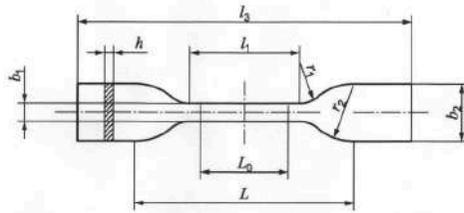


Figura A.2 – Probetas tipo 5A y 5B

Tabla A.2 – Medidas de las probetas tipo 5A y 5B

Medidas en milímetros

Tipo de probetas	5A	5B
$l_3$ Longitud total	$\geq 75$	$\geq 35$
$b_2$ Anchura en los extremos	$12,5 \pm 1$	$6 \pm 0,5$
$l_1$ Longitud de la parte estrecha de caras paralelas	$25 \pm 1$	$12 \pm 0,5$
$b_1$ Anchura de la parte estrecha	$4 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$
$r_1$ Radio pequeño	$8 \pm 0,5$	$3 \pm 0,1$
$r_2$ Radio grande	$12,5 \pm 1$	$3 \pm 0,1$
$L$ Distancia inicial entre las mordazas	$50 \pm 2$	$20 \pm 2$
$L_0$ Longitud de referencia	$20 \pm 0,5$	$10 \pm 0,2$
$h$ Espesor	$2 \pm 0,2$	$1 \pm 0,1$

NOTA Los tipos de probetas 5A y 5B son similares al tipo 5 de la Norma ISO 527-3 y representan, respectivamente, los tipos 2 y 4 de la Norma ISO 37.

Deberían ser las 5B, pero por facilidad de corte, se realizan según las medidas de las 5A.

### A4 - Display de lectura bastidor



## A5 - Ficha técnica siliconas (proporcionada por Gomsil)



### FICHA TÉCNICA

#### SILICONAS

**Fabricante:**  
GOMSIL Ltda  
Dirección: Miguelete 1427  
Teléfono: 29241326  
Montevideo, Uruguay

FAX: 29245599



#### Descripción

Los cauchos de silicona forman un importante grupo de la familia de los polímeros con base en silicio. La goma silicónica es un derivado orgánico de polímeros inorgánicos, como el polímero de *dimethylsilanediol*. Estos se distinguen por tener una cadena formada por átomos alternados de silicio y oxígeno.

#### Propiedades

- Son usados dentro de un amplio rango de temperaturas (-100 a 250 C)
- Tienen gran flexibilidad hasta -55°C, constancia en sus propiedades como aislamiento eléctrico, su repelencia al agua y sus características anti adhesivas.
- Es resistente a la combustión.
- Son tolerantes con el cuerpo humano.
- Excelentes en su resistencia a la intemperie y el envejecimiento.
- Las gomas silicónicas tienen buena resistencia a:
  - Alcoholes
  - Ácidos diluidos y álcalis.
  - Sales
  - Aceites, grasas y ceras
  - Ozono

#### Desventajas

- La goma silicónica es atacada por:
  - Hidrocarburos halogenados
  - Solventes aromáticos
  - Fenol
  - Ácidos concentrados
  - Vapor
- Tienen pobre resistencia a la tracción y al desgarre.
- Requieren postcurado para obtener óptimas propiedades.

#### Formas de presentación

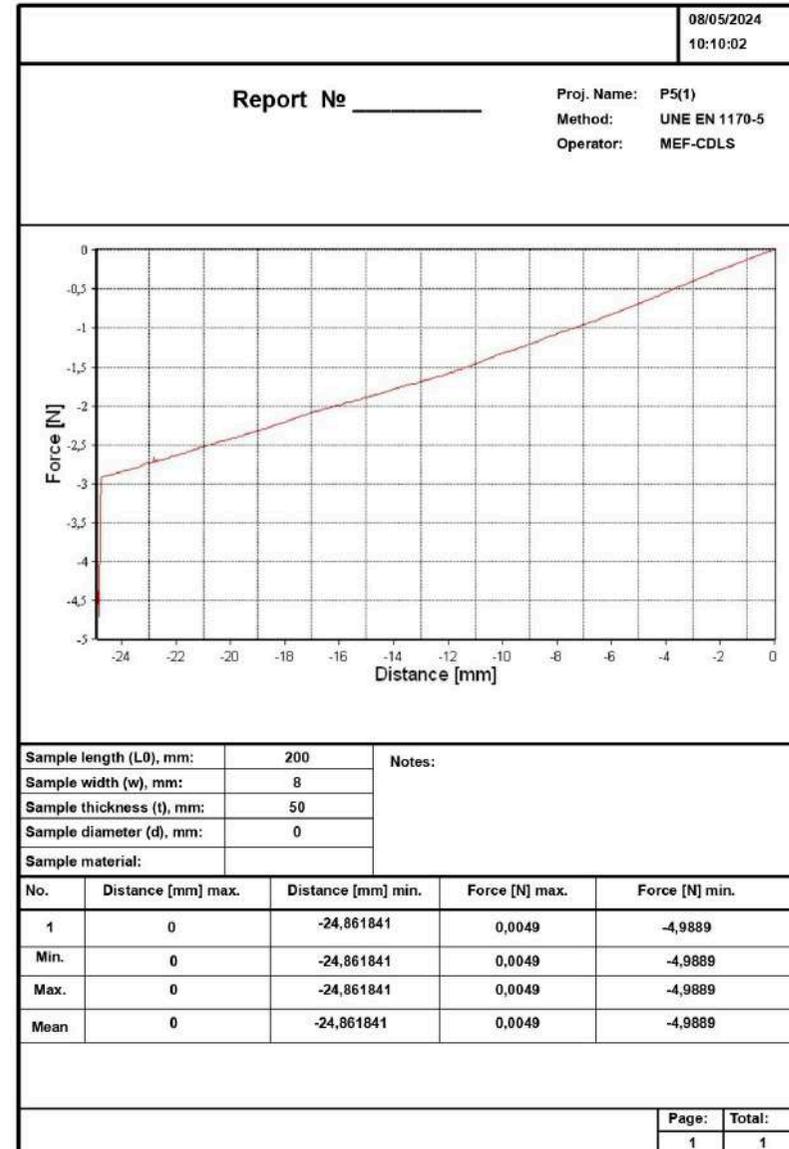
O'Ring, Seal Ring, V Ring, O'R Media Caña, Válvula mariposa, tubuladuras.

#### Aplicaciones

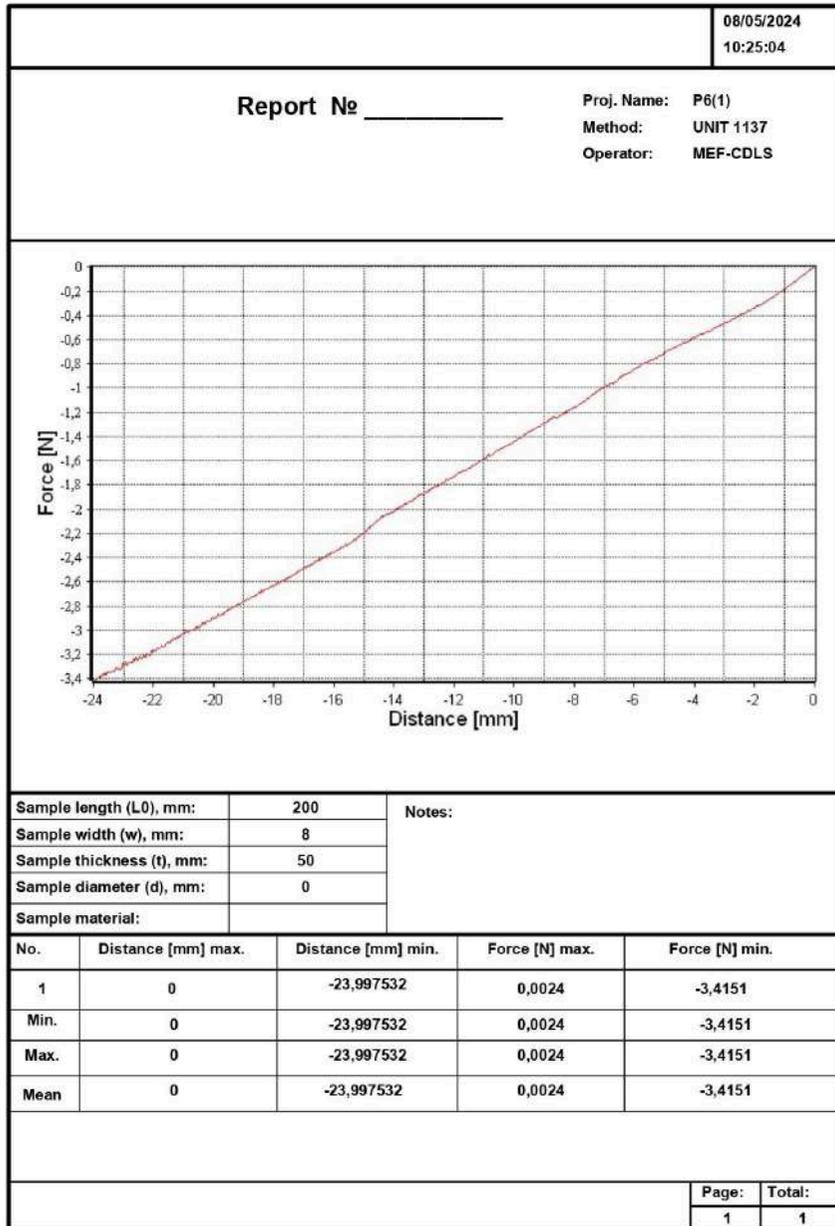
Sellado, juntas de materiales, aislantes eléctricos, cables de encendido y cebadoras de bujía.

## A6 - Gráficas resultados ensayo de flexión

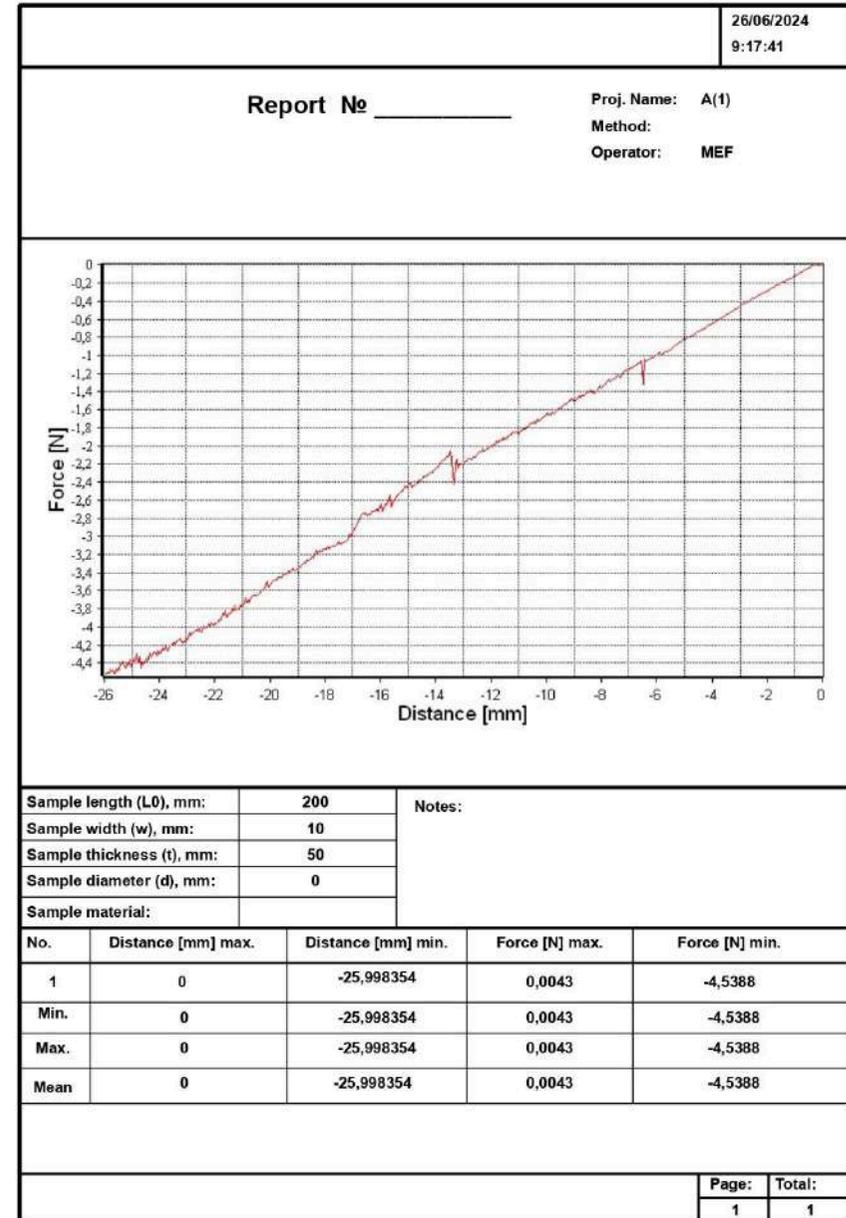
### Probeta N°5



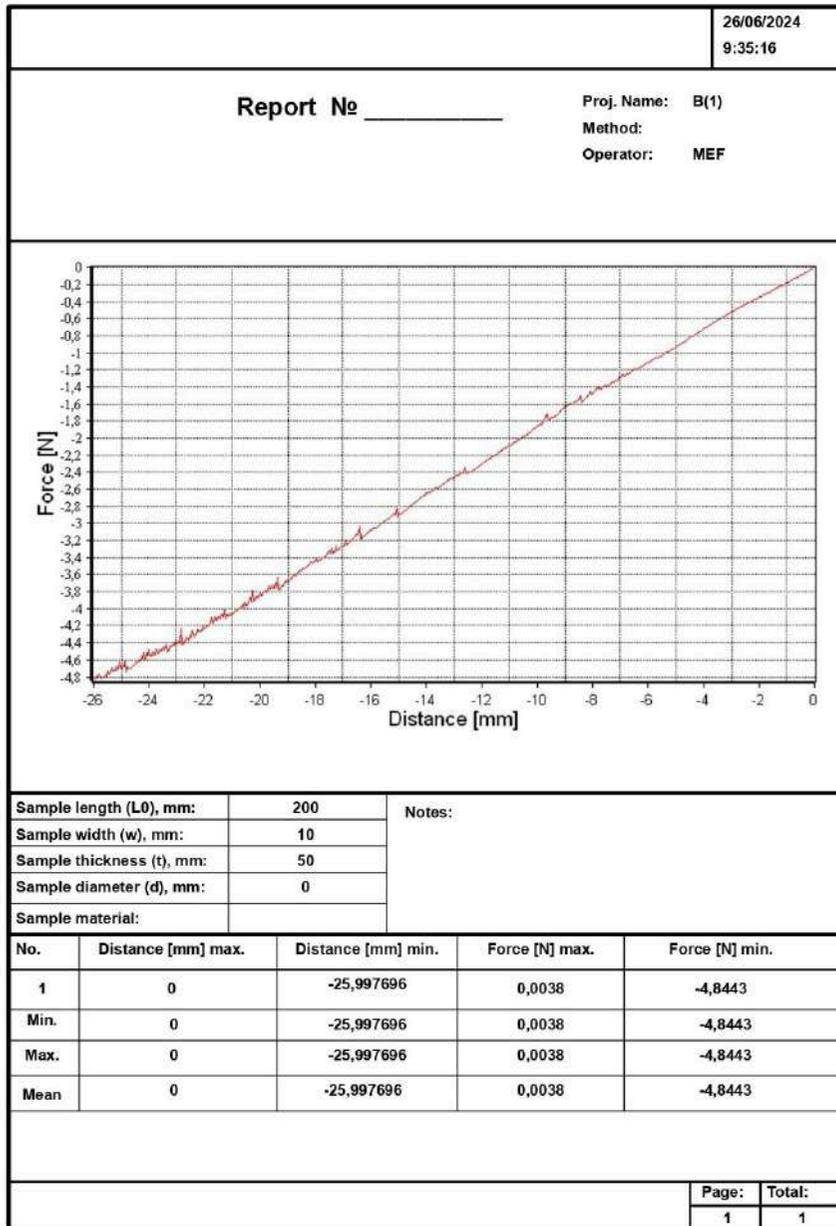
### Probeta N°6



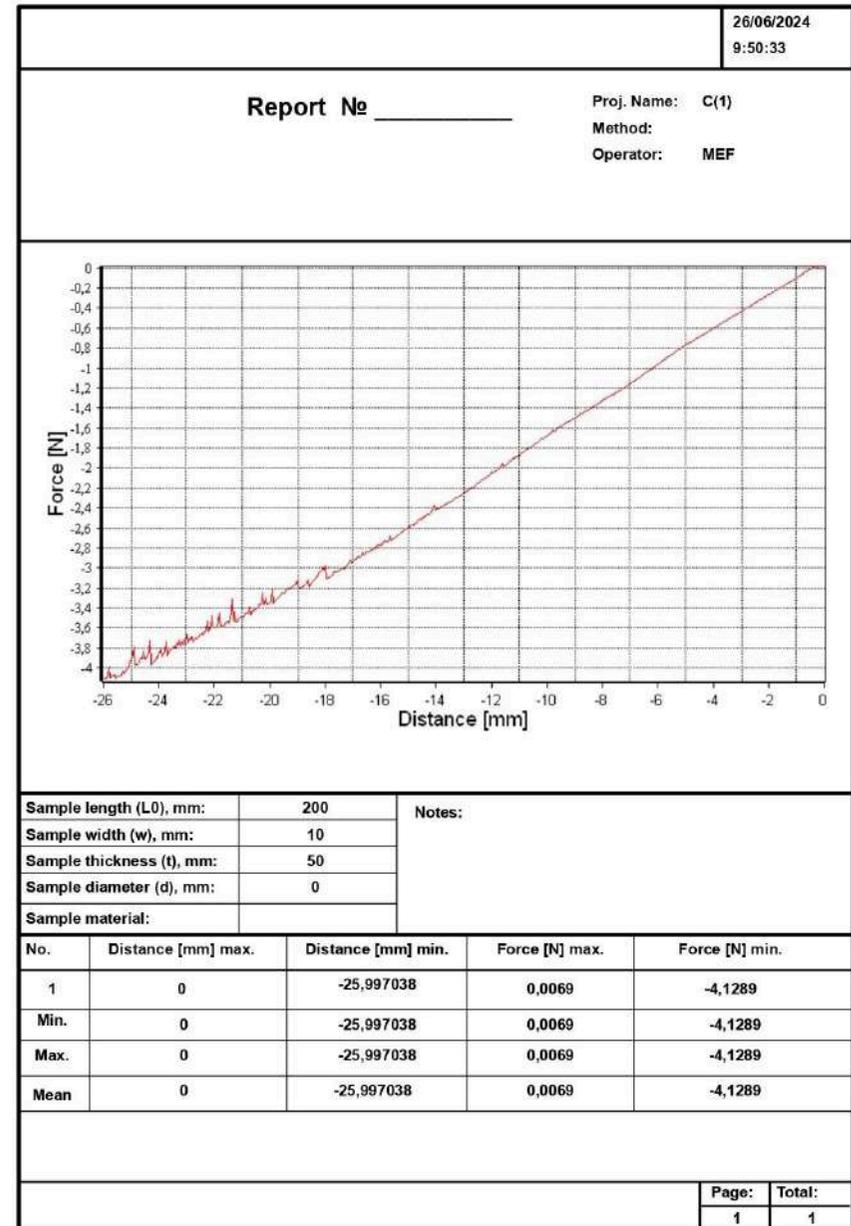
### Probeta A



### Probeta B



### Probeta C



## A7 - Gráficas resultados ensayo de tracción

### Probeta A residuo al 20%

USER LOGO

Report 1/1

11/07/2024

**Project:**

Order No:

Part No: A L5cm 20%

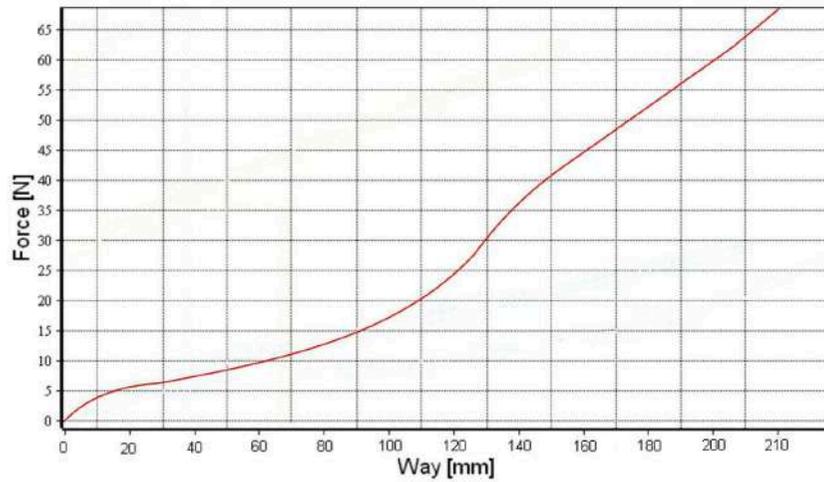
Customer: CDLS

Tester:

Method: Tension test

Execution date: 11/07/2024 9:38:13

**Chart:**



**Results:**

Nom	Force [N] ,max.	Way [mm] ,max.	Force [N] ,break	Way [mm] ,break
<b>A L5cm 20%(1)</b>	<b>68,38</b>	<b>212,24</b>	<b>-0,63</b>	<b>212,24</b>
<b>Mean</b>	44,50	69,97	23,29	70,76
<b>Std. Dev.</b>	19,02	44,00	25,75	43,06

### Probeta B residuo al 20%

USER LOGO

Report 1/1

11/07/2024

**Project:**

Order No:

Part No: B L5cm 20%

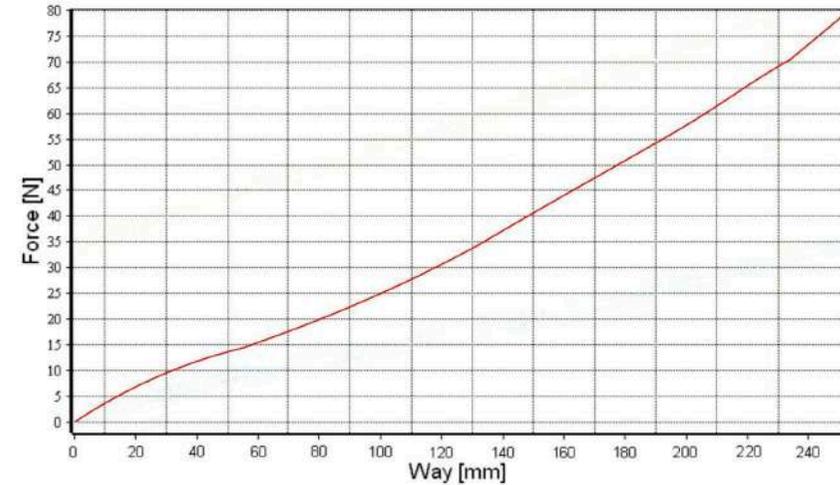
Customer: CDLS

Tester:

Method: Tension test

Execution date: 11/07/2024 10:32:27

**Chart:**



**Results:**

Nom	Force [N] ,max.	Way [mm] ,max.	Force [N] ,break	Way [mm] ,break
<b>B L5cm 20%(1)</b>	<b>79,75</b>	<b>239,44</b>	<b>-1,70</b>	<b>239,44</b>
<b>Mean</b>	57,36	119,72	16,64	120,15
<b>Std. Dev.</b>	31,66	8,49	25,93	7,87

## Probeta C residuo al 20%

USER LOGO

Report 1/1

11/07/2024

### Project:

Order No:

Part No: C L5cm 20%

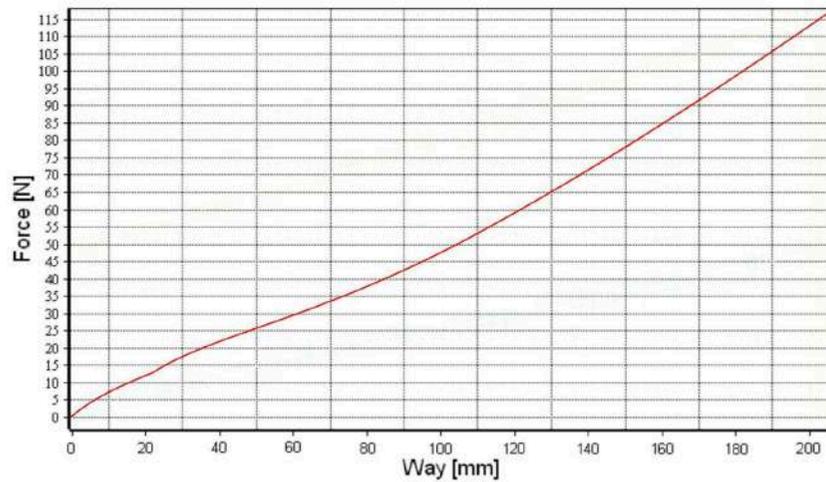
Customer: CDLS

Tester:

Method: Tension test

Execution date: 11/07/2024 10:52:08

### Chart:



Results:	Nom	Force [N] ,max.	Way [mm] ,max.	Force [N] ,break	Way [mm] ,break
	C L5cm 20%(1)	117,51	204,34	-2,90	205,80
	Mean	83,70	102,17	23,49	102,90
	Std. Dev.	47,82	0,74	37,33	0,29

## Probeta A residuo al 50%

USER LOGO

Report 1/1

11/07/2024

### Project:

Order No:

Part No: A L5cm 50%

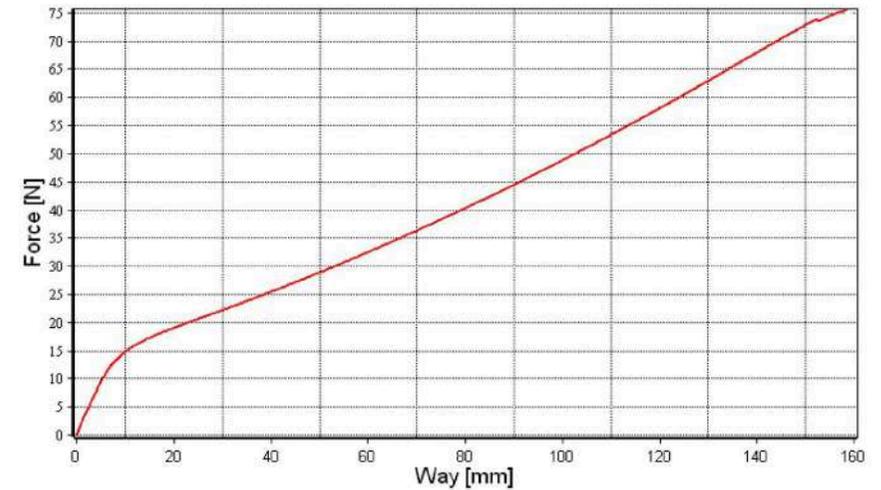
Customer: CDLS

Tester:

Method: Tension test

Execution date: 11/07/2024 9:19:47

### Chart:



Results:	Nom	Force [N] ,max.	Way [mm] ,max.	Force [N] ,break	Way [mm] ,break
	A L5cm 50%(1)	75,38	158,01	1,27	160,18

# Probeta B residuo al 50%

USER LOGO

Report 1/1

11/07/2024

## Project:

Order No:

Part No: B L5cm 50%

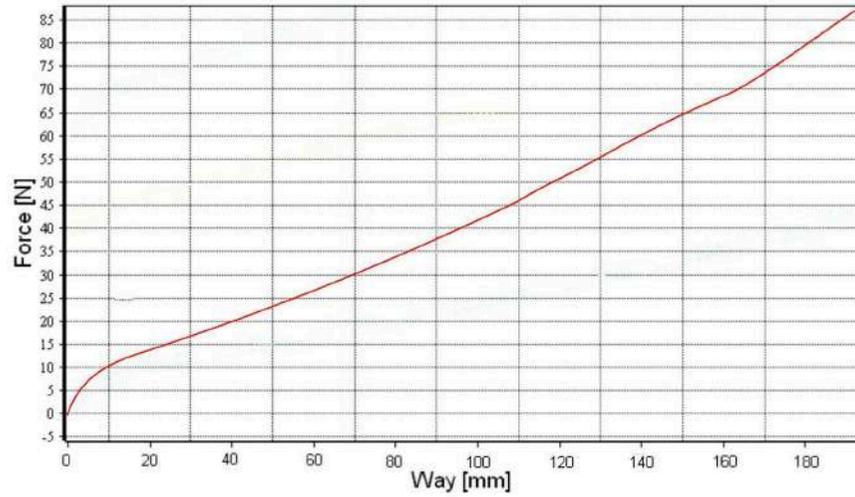
Customer: CDLS

Tester:

Method: Tension test

Execution date: 11/07/2024 10:15:50

## Chart:



## Results:

Nom	Force [N] ,max.	Way [mm] ,max.	Force [N] ,break	Way [mm] ,break
B L5cm 50%(1)	87,50	185,29	-5,32	185,29
Mean	65,35	61,76	34,41	62,02
Std. Dev.	22,44	31,83	36,33	31,50