

Innovación en férulas: Uso de plástico HDPE reciclado como material alternativo para la manufactura de férulas

Trabajo final de grado
Gonzalo Origoni

Escuela Universitaria Centro de Diseño
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de la República
Año 2023

Trabajo final de grado para la Licenciatura en Diseño Industrial

Autor: Bach. Gonzalo Origoni

Tutora: PhD. Rosita De Lisi

Co tutor: Lic. Andres Rey

Montevideo - Uruguay
2023

Escuela Universitaria Centro de Diseño
Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo
Universidad de la República





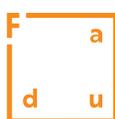
Innovación en férulas:

Uso de plástico HDPE
reciclado como material alternativo
para la manufactura de férulas

Montevideo - Uruguay

Trabajo final de grado para la Licenciatura en Diseño Industrial

Gonzalo Origoni



INDICE

00. INTRODUCCIÓN	13
Motivación	15
Justificación del tema	15
Objetivos	16
Metodología	16
01. MARCO TEÓRICO	19
La terapia ocupacional en Uruguay	23
La terapia ocupacional en Uruguay	25
Productos de apoyo, ortesis y férulas	26
Clasificación general de férulas	27
Propósitos del uso de férulas y su materialidad.	29
El plástico y su uso	33
El plástico y su uso	35
Productividad del plástico	36
Reciclado de plástico	38
Proyectos que impulsan el reciclado	39
Rumbo a una economía circular	42
El diseño industrial en el campo de la rehabilitación...	47
El diseño industrial en el campo de la rehabilitación	49
Proyectos relacionados - Estado del Arte Internacionales	50
Nacionales	51
Nacionales	55
02. EXPERIMENTACIÓN	59
A. Del desecho plástico a la placa plástica	63
Del desecho plástico a la placa plástica	65
Plástico HDPE	65
Reciclaje de tapas de refresco	66
Proceso de reciclado	67
Resultados	70
Observaciones	70
B. De la placa plástica a la férula	75
Férulas de termoplástico Orfit	75
Férulas de PVC (Cloruro de Polivinilo)	76
Férulas de HDPE reciclado	78

Sujeción y comodidad	78
Manufactura de férula	79
Resultados.....	80
Observaciones.....	80
C. Moldeado de férula	85
Prueba de perforaciones	85
Ensayo de flexión a 3 puntos.....	86
Testeo de moldeo	87
Resultados.....	88
Observaciones.....	89
D. Producción de pre férula	93
Tipologías de férulas	93
Análisis Antropométrico	94
Desarrollo de moldería	97
Trazado de pre férula y moldeado de férula	96
Resultados.....	98
Observaciones.....	99

03. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 101

Trazado final de PreFérula.....	105
Análisis sobre Costo, Tiempo y Beneficio de la aplicación de HDPE.....	105
Evaluación sobre la circularidad del proyecto ..	107
Matriz de riesgo	108

04. CONCLUSIONES 111

Conclusiones	115
Lineamientos a desarrollar.....	116
Bibliografía	119
Lista de figuras.....	123
Anexos.....	127
Anexo 1	129
Anexo 2	130
Anexo 3	130
Anexo 4	132
Muestreo de relevamiento antropométrico.....	132
Anexo 5	134
Fichas de medidas antropométricas de la empresa Fiixit .. 134	
Anexo 6	135
Métodos Propuestos para la Fabricación deulas.....	135
Anexo 7	136
Ensayo de Trazado en la Fabricación de Pre-férulas.....	136
Anexo 8	137
Anexo 9	137

ABREVIACIONES

- TO: Terapia Ocupacional, Terapeuta Ocupacional, Terapeutas Ocupacionales
- LF: La Fábrica
- HC: Hospital del Clínicas
- HDPE: Polietileno de Alta Densidad - PEAD sus sigla en español
- PVC: Policloruro de vinilo
- Usuario = Paciente. En el caso de esta investigación, se hará referencia a las personas que se atienden en los centros hospitalarios con el nombre de usuarios. Esta aclaración es hecha debido a que comúnmente estas personas son definidas como paciente
- Usuarios en situación de discapacidad. En este proyecto, se utilizará el término “usuarios en situación de discapacidad” para referirse a las personas con discapacidad física o movilidad reducida, ya que el término “discapacitado” puede resultar ofensivo al estigmatizar a las personas que poseen habilidades diferentes a la mayoría de la población (MIDES, s.f.).

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa al desarrollo y culminación de este trabajo de grado

En primer lugar, agradezco al taller de Terapia Ocupacional (TO) por proporcionar el contexto y los conocimientos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Quiero expresar mi agradecimiento a Andrés Rey, Terapeuta Ocupacional y docente del HC, quien me ayudó a identificar la problemática y me apoyó a lo largo de la investigación en la búsqueda de soluciones. Su experiencia y conocimientos fueron fundamentales para el enfoque innovador de este proyecto.

Agradezco especialmente a La Fábrica (LF) y a sus miembros, por brindar su apoyo y su espacio para la exploración de las propiedades del plástico reciclado. Su emprendedurismo y compromiso con mi proyecto fueron realmente muy valiosos para poder desarrollarlo.

Este trabajo de grado no habría sido posible sin el respaldo y la orientación de los docentes de la Escuela Universitaria Centro de Diseño (EUCD). Agradezco especialmente a Rosita De Lisi por su constante apoyo y estímulo en mi formación como diseñador industrial.

Finalmente, agradezco a mi familia y amigos por su comprensión, paciencia y aliento durante todo el proceso. Su apoyo incondicional fue fundamental para superar los desafíos y alcanzar la culminación de este trabajo de grado.

¡Muchas gracias!

RESUMEN

El trabajo de grado, titulado "Innovación en férulas: El uso de plástico reciclado como material alternativo para la manufactura de férulas", exploró exhaustivamente el potencial del plástico reciclado de polietileno de alta densidad (HDPE) para la creación de férulas.

En base a la problemática identificada en el servicio por parte de los Terapeutas Ocupacionales (TO) del Hospital de Clínica (HC), constatan que los recursos no cubren la totalidad de las demandas de fabricación de férulas con termoplástico. A dicha problemática se le agrega el hecho de que las mismas deben ser entregadas gratuitamente por tratarse de un servicio público. Para contrarrestar esta situación, se encontró como alternativa la fabricación de férulas en material de cloruro de polivinilo (PVC) (extraído de caños) lo cual impacta en la disminución de sus costos.

No obstante, esta alternativa presenta algunas complicaciones; siendo que el caño de PVC está diseñado y pensado con otro fin; entre ellas la contaminación durante todo su ciclo de vida y expulsión de resinas al momento de su manipulación, quedando en el aire, tornándose perjudicial para la salud ante su inhalación.

En la búsqueda de un material que se asemeje a los beneficios brindados por el termoplástico, es que surge como posibilidad indagar en las propiedades del plástico HDPE reciclado, siendo que el mismo presenta como beneficios: ser ligero, tener una vida útil prolongada, es moldeable a baja temperatura, y reciclable. Por medio del emprendimiento La Fábrica (LF) -miembros de Precious Plastic¹- quienes elaboran placas de plástico reciclado HDPE se planteó la pregunta de ¿Cómo podría aplicarse este material reciclado al ámbito de la Terapia Ocupacional?. En conjunto con Andrés Rey (TO y docente del HC) se identificaron algunas características mencionadas que podrían ser beneficiosas para la producción de férulas.

1 Precious Plastic es un proyecto de código abierto que involucra a una comunidad global que tiene como objetivo abordar el problema de la contaminación plástica y promover la reutilización y el reciclaje de plásticos

ABSTRACT

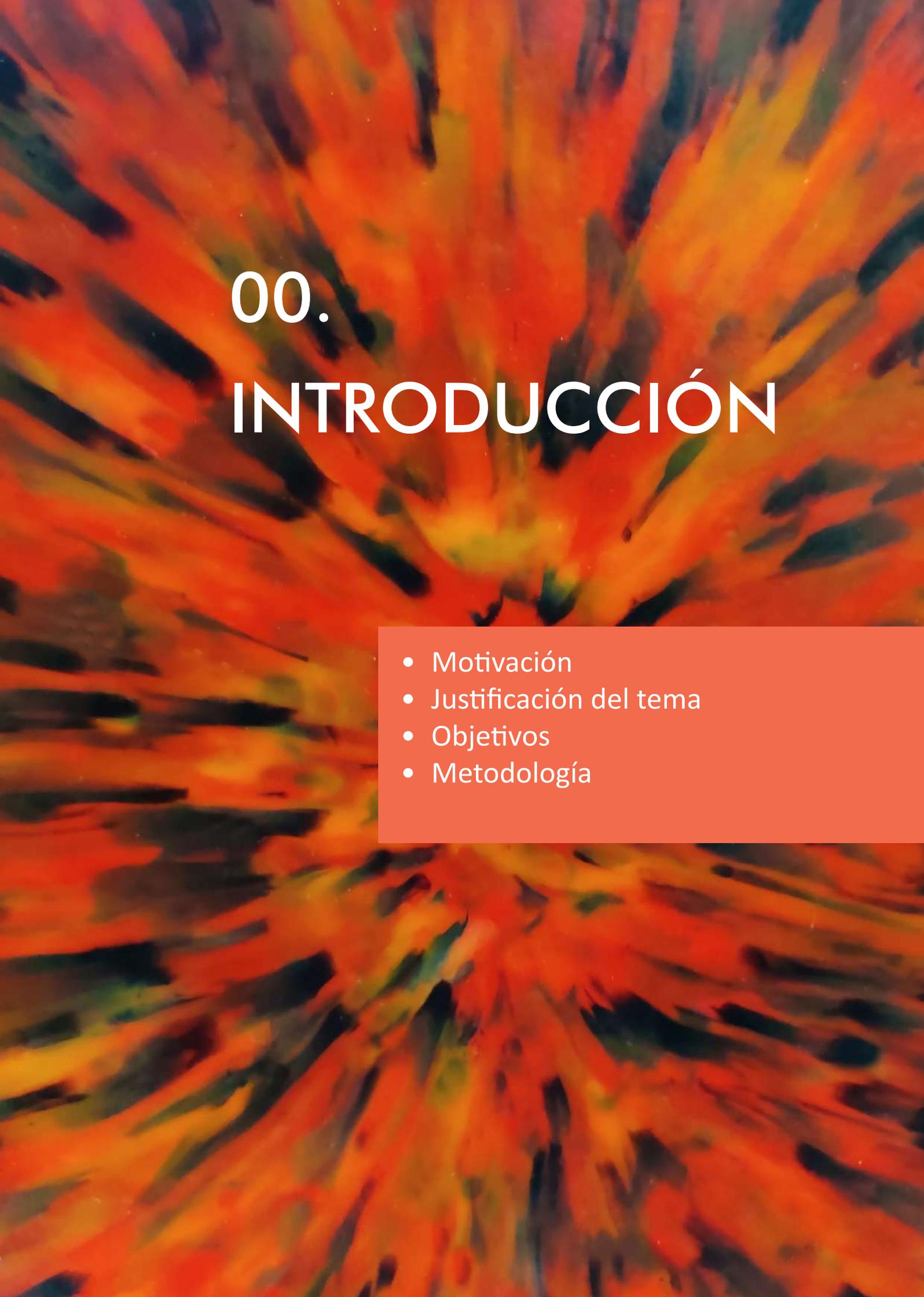
The degree work, titled "Innovation in ferrules: The use of recycled plastic as an alternative material for the manufacture of splints," exhaustively explored the potential of recycled high-density polyethylene (HDPE) plastic for the creation of splints.

Based on the problems identified in the service by the Occupational Therapists of the Clinical Hospital, they found that the resources do not cover the totality of the demands for the manufacture of splints with thermoplastic. This problem is compounded by the fact that the splints must be provided free of charge as a public service. To counteract this situation, the manufacture of splints in polyvinyl chloride (PVC) material (extracted from pipes) was found as an alternative, which has an impact on cost reduction.

However, this alternative presents some complications, since PVC pipe is designed and intended for another purpose, including contamination throughout its life cycle and resin expulsion during handling, remaining in the air and becoming harmful to health when inhaled.

In the search for a material that resembles the benefits provided by thermoplastic, it is a possibility to investigate the properties of recycled HDPE plastic, since it has the following benefits: being light, having a long useful life, being moldable at low temperature, and being recyclable. Through the enterprise La Fábrica (LF) -members of Precious Plastic¹- who produce HDPE recycled plastic plates, the question was posed: How could this recycled material be applied to the field of Occupational Therapy? Together with Andrés Rey (OT and HC teacher), some characteristics were identified that could be beneficial for the production of splints.

1 Precious Plastic is an open source project involving a global community that aims to address the problem of plastic pollution and promote the reuse and recycling of plastics.



00.

INTRODUCCIÓN

- Motivación
- Justificación del tema
- Objetivos
- Metodología

Introducción

El trabajo de grado cierra el ciclo de formación de grado para la obtención del título de Licenciado en Diseño industrial, proporcionado por la Escuela Universitaria Centro de Diseño (EUCD) de la Universidad de la República (Udelar)

La investigación realizada se enmarca en el taller de Terapia Ocupacional (TO) del Hospital de Clínicas(HC), servicio destinado a la atención de la población usuaria de Salud Pública que requiere de dispositivos ortopédicos personalizados para mejorar la funcionalidad y calidad de vida de los usuarios. Una de las principales actividades del taller es el desarrollo de férulas. Éstas son indicadas a los usuarios luego de una lesión o cirugía; los fisioterapeutas son quienes derivan a los usuarios a los TO para que se encarguen de modificar los aspectos funcionales o estructurales del sistema neuromusculoesquelético; buscado así la independencia y autonomía en actividades diarias de los usuarios.

Anualmente se fabrican en el taller de TO alrededor de 400 férulas de miembro superior. En base a la problemática identificada en el servicio por parte de los TO, se constata que los recursos no cubren la totalidad de las demandas de fabricación de férulas con termoplástico. A dicha problemática se le agrega el hecho de que las mismas deben ser entregadas gratuitamente por tratarse de un servicio público. Para contrarrestar esta situación, se encontró como alternativa la fabricación de férulas en material de cloruro de polivinilo (PVC) (extraído de caños) lo cual impacta en la disminución de sus costos.

En base a los primeros acercamientos a la problemática a investigar se formularon las siguientes interrogantes ¿Qué tan viable sería el proceso de manufactura de férulas con este material? ¿Qué beneficios se podrían lograr al implementarlo? ¿Qué impacto podría tener este material en la elaboración de férulas?

La investigación se desarrolla con un enfoque mixto y de forma presencial dentro de los talleres del emprendimiento LF y del taller de TO. En una primera parte se encontrará presentado la motivación y justificación de la pertinencia que tiene el tema de ser investigado, por otro un desarrollo de los objetivos y la metodología seleccionada para el conocimiento del objeto a investigar.

Motivación

El diseño aplicado a la rehabilitación de personas en situación de discapacidad fue un tema de interés en mi desarrollo como diseñador industrial. Por medio de docentes- estudiantes de la EUCD, quienes desarrollaron una propuesta de laboratorio de investigación y creatividad llamado HackLab, es que tengo el primer acercamiento a tecnologías y diseño aplicado a personas en situación de discapacidad.

Con el objetivo de obtener el título de Licenciado en Diseño industrial, el siguiente trabajo de grado trata el tema del diseño industrial aplicado al ámbito de la rehabilitación, en específico en la Terapia Ocupacional (TO).

Este proyecto busca, a través del diseño industrial, proponer soluciones innovadoras, atractivas, funcionales y económicas para la fabricación de férulas en el marco de los servicios de salud pública. Se parte de experiencias previas en talleres de HackLab¹, en la participación del evento Tikum Olam Makers², y el involucramiento en trabajos de investigación relacionados a la salud. A través de ello, se logra conocer la tarea que cumplen los TO dentro del sistema de salud pública, al mismo tiempo que las técnicas desarrolladas por éstos para la creación de soluciones accesibles para los usuarios.

1 Es un espacio académico dentro de la Escuela Universitaria Centro de Diseño (EUCD), que integra la Facultad de Arquitectura del Uruguay (FARQ), Universidad de la República del Uruguay (UdelaR). Nace como un proyecto de extensión estudiantil de la Escuela Universitaria Centro de Diseño para fomento de la apropiación tecnológica, con especial énfasis en la tecnología Open Source

2 Es una organización sin fines de lucro que reúne a personas de diversos campos, como ingenieros, diseñadores, terapeutas ocupacionales y personas en situación de discapacidad, para trabajar en equipo y se dedica a crear soluciones tecnológicas y de diseño para personas con capacidades diferentes .

Justificación del tema

La investigación se fundamenta en la necesidad de buscar un material alternativo que combine los beneficios del termoplástico con la reducción de costos, sin los inconvenientes asociados al PVC. Es en este contexto que surge la exploración del plástico reciclado de polietileno de alta densidad (HDPE) como una opción potencialmente viable.

La elección de la temática se justifica no solo por su importancia en el ámbito académico, sino también por el impacto social-ambiental que puede generar, su relevancia en el desarrollo de tareas interdisciplinarias y su contribución a las interacciones en los ciclos de reciclaje y materiales.

La investigación contribuirá al avance en el campo del diseño industrial al explorar y proponer soluciones innovadoras para la fabricación de férulas. La aplicación de materiales reciclados en este contexto representa un área poco explorada en la academia, ofreciendo nuevas perspectivas y enfoques para futuras investigaciones en el ámbito de la rehabilitación y la salud. Se busca proporcionar conocimientos aplicables y transferibles que puedan ser adoptados por diseñadores, terapeutas ocupacionales y profesionales de la salud en general.

Se promueven prácticas sostenibles en el sector de la salud pública. La adopción de materiales reciclados en la fabricación de férulas puede reducir la dependencia de recursos no renovables y minimizar el impacto ambiental asociado con materiales convencionales. Al utilizar plástico reciclado HDPE, la investigación contribuye a cerrar el ciclo de vida del material, transformando residuos plásticos en productos útiles. Al mismo tiempo, propone alternativas sostenibles a materiales convencionales. Esto puede aumentar la conciencia sobre las posibilidades de reciclaje en el diseño de productos médicos y promueve prácticas de economía circular demostrando cómo los materiales reciclados pueden tener aplicaciones valiosas en nuevos contextos.



Objetivos

Se fomenta la colaboración entre diseñadores industriales y terapeutas ocupacionales, creando un espacio para el intercambio de conocimientos y la generación de soluciones más efectivas. Los diseñadores pueden aprender de las prácticas y necesidades específicas de los terapeutas ocupacionales, y viceversa, creando un flujo bidireccional de información que enriquece la investigación y las aplicaciones prácticas. Esta interdisciplinariedad fortalece la capacidad de abordar problemas complejos desde perspectivas diversas.

Objetivo general

Explorar la potencialidad del plástico HDPE reciclado para la fabricación de férulas para miembros superiores en el taller de Terapia Ocupacional del Hospital de Clínicas

Objetivos específicos

Analizar y comprender las técnicas de fabricación de placas plásticas que se realizan en el taller de La Fábrica

Analizar y comprender las técnicas de fabricación de férulas que se llevan a cabo en el taller de Terapia Ocupacional del Hospital de Clínicas

Desarrollar posibles métodos de fabricación semi industrial de férulas considerando las limitantes de producción de los talleres en cuestión

Metodología

Este trabajo de investigación se enfoca en explorar la potencialidad del plástico reciclado de HDPE para la fabricación de férulas para miembros superiores. Para ello, se propone una serie de etapas a cumplir.

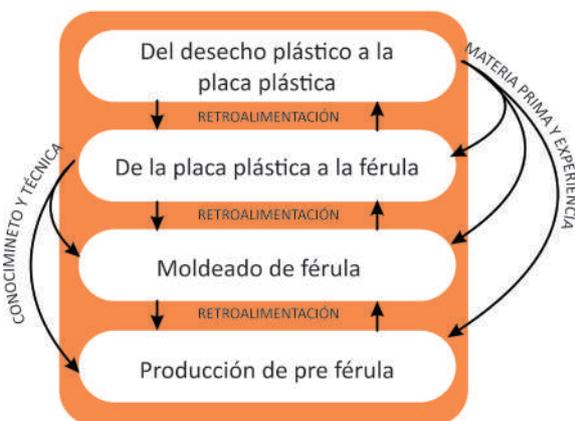
MARCO TEÓRICO

Se comienza con una revisión bibliográfica y búsqueda de referentes sobre la labor de los TO en Uruguay, el uso y la funcionalidad de las férulas, la industria del plástico, el reciclaje y la aplicación del diseño en el ámbito de la rehabilitación y la salud en general. También se realizó una búsqueda antecedentes que refieren al estado del arte local e internacional en la elaboración de férulas

ETAPA EXPERIMENTAL

En esta etapa del proyecto se plantea un exhaustivo proceso de investigación en las instalaciones de LF y en el taller de TO, para comprender los procedimientos de reciclaje de tapas de refresco y los procesos de fabricación de férulas.

Después de confirmar las competencias del HDPE reciclado para la realización de férulas, se busca optimizar el proceso de moldeo. Se investiga sobre: la resistencia del plástico, el debilitamiento generado por las perforaciones,



Etapas de la experimentación



Fig 1. Modelo del procesos de diseño

en la implementación de métodos de moldeo adaptados a los procesos de LF, la realización de estudios antropométricos; para definir talles de férulas y el trazado definitivo.

Para el desarrollo de esta etapa, se toma como referencia el modelo del proceso de diseño presentado por Bürdek (1994: p161). Este modelo proporciona un enfoque sistemático y estructurado que permite organizar y retroalimentar cada etapa del proceso.

CONCLUSIONES

En la sección de conclusiones, se pretende brindar una evaluación integral del proyecto y definir la viabilidad y el potencial del plástico reciclado. Se presentan los hallazgos específicos de la investigación que parten de los análisis de los resultados y objetivos establecidos desde un principio y se mencionan posibles lineamientos a desarrollar a futuro.

The background of the entire page is an abstract, textured pattern. It features a mix of bright yellow-green and dark, almost black, tones. The texture is reminiscent of marbled paper or a close-up of a natural material like stone or wood, with irregular, vein-like patterns and some darker, shadowed areas. The overall effect is organic and dynamic.

01.

MARCO TEÓRICO

- Introducción
- La terapia ocupacional en Uruguay
- El plástico y su uso
- El diseño industrial en el campo de la rehabilitación

La terapia ocupacional en Uruguay

- Productos de apoyo, ortesis y férulas
- Clasificación general de férulas
- Propósitos del uso de férulas y su materialidad

La terapia ocupacional en Uruguay

Con el objetivo de innovar en la realización de una férula, es pertinente entender aspectos de la Terapia Ocupacional y la situación actual de la disciplina en nuestro país. Así como la diversidad de productos que elaboran para sus usuarios.

Hace unos 50 años, en Latinoamérica, se inició el desarrollo de la Terapia Ocupacional como disciplina hospitalaria, basándose en los principios teóricos y filosóficos desarrollados en Inglaterra y Estados Unidos. Con el paso del tiempo, los países de la región han ido adquiriendo cada vez más conocimientos propios en este campo. Esto ha llevado a un proceso constante de adaptación de las intervenciones para satisfacer las necesidades regionales y locales de cada país, además de la incorporación de nuevas teorías y conocimientos a nivel global.

La TO es una profesión relativamente nueva en Uruguay que en los últimos años ha logrado adquirir relevancia en el ámbito de la salud. Gracias a la Licenciatura en Terapia Ocupacional que se enseña en HC, algunos de los principales centros hospitalarios públicos del país comenzaron a agregar esta profesión a sus servicios.

Los hospitales que ofrecen esta especialidad son el HC, el Hospital Policial, la Teletón, el Hospital Piñeyro del Campo, el Hospital Pereira Rossell, entre otros y la mayoría de los mismos son centros asociados con ASSE¹. En el caso del taller del TO del HC el público de usuarios que se atienden incluye a la población beneficiaria de ASSE de todo el país, los gastos son cubiertos con recursos económicos correspondientes a la Cátedra de Rehabilitación que provienen de los usuarios de ASSE principalmente. En ocasiones ese dinero no es suficiente para la compra de insumos del taller por lo que se deben ajustar a los recursos económicos disponibles

1 La Administración de los Servicios de Salud del Estado (ASSE) es el prestador estatal de salud pública en Uruguay. Cuenta con una red de servicios en todo el país.



Fig.2. Hospital de Clinicas - UDELAR

El objetivo de la terapia ocupacional (AATO, 2023) es ayudar a las personas a superar las barreras que les impiden realizar actividades cotidianas, como vestirse, cocinar, trabajar, estudiar y disfrutar de las actividades recreativas. Se enfoca en ayudar a las personas a alcanzar su máximo nivel de independencia y participación en la vida cotidiana a través de la realización de actividades significativas y funcionales. Según indica la WFOT (World Federation of Occupational Therapists, 2021), la...

...“Terapia ocupacional abarca múltiples sectores más allá de los de la salud, incluyendo la educación, el trabajo y el desarrollo social; de hecho, cualquier área que contribuya a apoyar la participación de las personas en una ocupación significativa”.

Para lograr esto diseñan planes de tratamiento personalizados que incluyen ejercicios, técnicas, estrategias y productos de apoyo, muchas veces adaptados especialmente a las características de sus usuarios.

A lo largo de la historia de la humanidad estos dispositivos de apoyo han sido de utilidad para

Productos de apoyo, ortesis y férulas

que las personas puedan vivir en sociedad. La mayoría de estos productos a lo largo de los años, han sido fabricados en diversidad de materiales y formas oficiando como herramienta, tanto estéticas como funcionales para personas que por alguna razón estaban con la necesidad de suplantar alguno de sus miembros. Tales pueden ser los ejemplos de las patas de palo o los garfios de los navegantes. A través del tiempo, el avance tecnológico ha permitido que los materiales y las técnicas de fabricación permitan elaborar opciones que brindan mayor comodidad, mejores beneficios y menores riesgos para las personas que usan estas adaptaciones



Fig. 3. Pata de palo



Fig. 4. Engrosador de mango

Para definir de forma general los productos desarrollados por los TO se tomará la norma UNIT ISO 9999: 2022 la cual los define como Productos de Apoyo para usuarios en situación de discapacidad,

“Este documento establece una clasificación y terminología de productos de apoyo, especialmente producidos o disponibles en el mercado, para que las personas optimicen su funcionamiento y reducen la discapacidad.” (UNIT ISO, 2022)

Estos productos de apoyo son variables dependiendo de la funcionalidad que deban cumplir. Por un lado, se le dice proyectos de apoyo o adaptaciones, cuando se hace referencia productos funcionales realizados con el objetivo de darle libertad motriz a los usuarios en situación de discapacidad. Por ejemplo, engrosadores de mango, calzadores o muletas, entre otros. Por otro lado se puede hablar de ortesis o férulas cuando se hace referencia a productos desarrollados con propósitos terapéuticos

Podemos definir la ortesis o férulas como un dispositivo médico de aplicación externa que se utiliza para corregir o apoyar la función de



Fig.5. Muletas

Clasificación general de férulas

una parte del cuerpo que se encuentra dañada, debilitada o con una limitación en el movimiento (Bangher et al.2015). Están diseñadas para adaptarse a la anatomía del cuerpo, elaboradas a medida del segmento corporal a tratar o mediante la adaptación de ortesis prefabricadas ayudando a estabilizar o mejorar la función de la extremidad o articulación.

Se utilizan para tratar una variedad de condiciones, desde lesiones deportivas y deformidades congénitas, hasta enfermedades crónicas. Se pueden aplicar en diversas partes del cuerpo, como las extremidades superiores e inferiores, la columna vertebral y la cabeza. Los objetivos compartidos por los productos de apoyo incluyen:

- Proporcionar estabilidad a segmentos o articulaciones que son débiles o paralizados.
- Actuar como soporte para articulaciones que han sufrido daños o lesiones.
- Regular el movimiento en las articulaciones, ya sea limitando o aumentando.
- Controlar movimientos anormales o espasmódicos.
- Aliviar la carga en segmentos distales.



Fig. 6. Variedad de férulas aplicadas al cuerpo

Según Bangher et al.(2015) existen distintos tipos de férulas que se pueden clasificar de la siguiente manera.

- Férulas estáticas, no permiten el movimiento pero mantienen una postura determinada, utilizándose para dar soporte rígido en fracturas, lesiones nerviosas y condiciones inflamatorias.



Fig. 7. Férulas estáticas

- Férulas dinámicas, permiten o facilitan el movimiento y se usan para asistir el movimiento de músculos debilitados, a diferencia de las férulas estáticas.



Fig. 8. Férulas dinámicas

- Férulas semi dinámicas, estabilizan y fijan una o más articulaciones mientras permiten el movimiento en otras áreas.

También es posible clasificar las férulas según su función

- Férulas estabilizadoras: su función es mantener una posición y evitar movimientos no deseados, siendo útiles en casos de parálisis flácidas¹ o espásticas². Pueden actuar como soporte de un segmento paralizado o disminuir la amplitud articular en un segmento inflamado y doloroso.
- Férulas funcionales: también conocidas como dinámicas, contienen un elemento elástico que permite la movilización de un segmento de un miembro paralizado.
- Férulas correctivas: están indicadas para corregir deformidades esqueléticas, siendo más efectivas si se utilizan durante el desarrollo infantil. Pueden forzar una articulación afectada a una alineación correcta o cercana a ella. También pueden estabilizar articulaciones para posibilitar la función de otras.
- Férulas protectoras: mantienen la alineación de un miembro enfermo o lesionado y evitan la distensión de los músculos debido a la parálisis temporal. Esto permite mantener una buena función, de manera que cuando retorna el movimiento, la zona afectada esté lista para funcionar activamente sin obstáculos. También pueden proteger a los músculos débiles y prevenir contracturas en casos de parálisis de nervios periféricos.

Cabe mencionar que, aunque no existe un criterio de clasificación de férulas homologado a nivel internacional, la mayoría de los sistemas de clasificación se basan en la función terapéutica de la férula y en la parte del cuerpo donde se utiliza. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el criterio de clasificación puede variar dependiendo de la región geográfica y la formación profesional de cada especialista.

1 Es un tipo de parálisis en la cual el músculo se torna laxo y blando, no resistiendo a un estiramiento pasivo, lo que da lugar a una debilidad extrema.

2 La parálisis espástica es el tipo de parálisis cerebral. Las personas que tienen este tipo de parálisis tienen mayor tono muscular haciendo que sus músculos estén rígidos y que, en consecuencia, se muevan con dificultad.



Propósitos del uso de férulas y su materialidad

El propósito de una férula es brindar soporte, inmovilización y protección a una parte del cuerpo que ha sufrido una lesión o que necesita estabilizarse debido a una afección médica. Las férulas están diseñadas para mantener una posición determinada de los huesos, articulaciones o tejidos blandos, permitiendo que se recupere adecuadamente y evitando que se agrave la lesión.

Algunos de los usos más comunes de las férulas son los siguientes:

- **Inmovilización de fracturas:** Cuando alguien sufre una fractura ósea, la férula se utiliza para mantener el hueso en su lugar y evitar que se mueva mientras se cura.
- **Soporte y estabilización de articulaciones:** Las férulas también se utilizan para inmovilizar y proteger articulaciones lesionadas, como los tobillos, rodillas o muñecas, ayudando a reducir el dolor y la inflamación.
- **Tratamiento de lesiones en tejidos blandos:** En caso de lesiones en tendones, músculos o ligamentos, las férulas pueden ayudar a mantener la posición adecuada para una recuperación más rápida y segura.
- **Corrección de deformidades:** En algunos casos, las férulas se utilizan para corregir deformidades congénitas o adquiridas, manteniendo una posición específica durante un tiempo prolongado.
- **Reducción de movimientos involuntarios:** Las férulas también pueden ser útiles para reducir movimientos no deseados en condiciones neurológicas o trastornos motores.

Para la elaboración de una férula o colocación, es esencial que las férulas sean realizadas y aplicadas por profesionales médicos calificados, ya que una colocación incorrecta podría agravar la lesión o afectar negativamente el proceso de curación. El usuario debe ser evaluado por un

TO capacitado con conocimiento profundo de la anatomía y biomecánica. Así como también conocer los métodos para prevenir deformidades y diseñar una férula que cumpla con el propósito específico para el cual se necesita.

Es fundamental que el TO encargado de la elaboración de la férula tenga un conocimiento detallado del proceso patológico del usuario, en qué etapa evolutiva se encuentra y cuál será el impacto en su situación funcional. Esto permitirá una mejor adaptación de la férula a las necesidades específicas del usuario, garantizando una mayor eficacia en su tratamiento.

Para que el usuario disponga de comodidad y una buena colocación de la férula es crucial conocer la materialidad de las mismas. Los materiales seleccionados para fabricar una férula deben ser apropiados para el propósito específico de la misma, teniendo en cuenta la lesión o afección médica que se está tratando y los requisitos de comodidad y funcionalidad.

Algunos de los materiales más comunes utilizados en la fabricación de férulas incluyen:

- **Yeso:** Es uno de los materiales más tradicionales y ampliamente utilizados en la construcción de férulas. Se aplica en forma líquida y se moldea alrededor de la parte del cuerpo que necesita inmovilización. Una vez seco, proporciona un soporte rígido y duradero.
- **Termoplásticos:** Estos materiales son flexibles a altas temperaturas y se pueden moldear directamente sobre la parte del cuerpo a inmovilizar. Al enfriarse, se endurecen y mantienen la forma deseada.
- **Metal:** En algunos casos, se pueden utilizar refuerzos de metal para brindar un soporte más rígido y duradero.
- **Materiales acolchados y sujeción:** Para aumentar la comodidad y evitar roces o irritaciones en la piel, las férulas pueden estar revestidas con materiales

acolchados, como espuma o forros de tela suave. También se usan velcros o bandas elásticas para lograr la correcta sujeción de la férula a la parte del cuerpo que debe ser tratada.

- Evitar la presión sobre la piel y articulaciones
- Estar guiado con un programa de rehabilitación.

La elección del material dependerá del tipo de lesión o afección médica, la duración prevista del uso de la férula, la preferencia del médico y las necesidades específicas del usuario. El tipo de material utilizado dependerá del propósito de la férula y la preferencia del TO encargado del tratamiento.

Es importante que la férula cuente con ciertas características:

- Ser liviana
- En lo posible debe ser duradera
- Fácil de higienizar
- Aceptada por el usuario
- Diseñada adecuadamente para cumplir con su propósito
- Debe tener un ajuste adecuado al cuerpo
- Tener una colocación y extracción fácil de realizar

Además, es importante el correcto uso y cuidado de la férula. En este aspecto la materialidad y el contexto de uso influyen sobre la misma por lo que se pretende que sea lo más resistente posible para evitar que la misma se rompa y que el usuario deje de usarla por esta razón. Los cuidados y precauciones que debe tener el usuario al utilizar una férula son:

- Conocer el propósito de uso de la misma en su cuerpo
- Colocarla y quitarla con cuidado
- Evitar colocar la férula en presencia de hinchazón o lastimaduras en su cuerpo
- En férulas estáticas, se debe retirar en intervalos regulares y acompañar con un programa de ejercicios
- Evitar erosiones de la piel y chequear la piel regularmente

El plástico y su USO

- Productividad del plástico
- Reciclado de plástico
- Proyectos que impulsan el reciclado
- Rumbo a una economía circular

El plástico y su uso

El plástico es un material constituido por compuestos orgánicos o sintéticos que poseen la característica de ser maleables, lo que les permite ser moldeados por medio de diversos procesos logrando así una amplia variedad de formas. Su denominación proviene del término “plasticidad”, que se refiere a la capacidad del material de deformarse sin llegar a fracturarse. Este atributo brinda a los plásticos una diversidad de aplicaciones en la vida diaria.

Existen variedades de plásticos. La identificación de los mismos fue dada en 1988 por la Sociedad de la industria de plásticos (SPI, por sus siglas en inglés), donde se clasifica con un número de 1 a 7 al material usado en el envase del producto con el objetivo de identificar y separar los plásticos según el contenido de resina que tienen. Esto ha permitido la clasificación y el reciclaje de los plásticos

Estas categorías se identifican con un número y una sigla:

- PET (tereftalato de polietileno): utilizado comúnmente en botellas de agua, refrescos y otros envases de alimentos.
- HDPE (polietileno de alta densidad) o PEAD en español: utilizado para fabricar botellas de leche, jugo, envases de detergente y otros recipientes de productos químicos.
- PVC (policloruro de vinilo): utilizado en tuberías, ventanas, recubrimientos de cables eléctricos y otros productos de construcción.
- LDPE (polietileno de baja densidad) o

PEBD en español: utilizado para bolsas de compras, bolsas de basura y otros productos de empaque.

- PP (polipropileno): utilizado para fabricar botellas de medicamentos, envases de alimentos y otros productos que requieren resistencia al calor.
- PS (poliestireno): utilizado para fabricar espuma de poliestireno para empaques, vasos y platos desechables y otros productos.
- O (Otros): incluye plásticos como el policarbonato (PC), el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y otros plásticos que no se ajustan a las categorías anteriores.

De estos plásticos antes mencionados hay 4 que son los más utilizados mundialmente por las empresas debido a sus propiedades: PE, PET, PP, PVC, por lo cual son los más comunes de ver en el mercado.

Los plásticos desempeñan un papel fundamental en diversas áreas, aportando beneficios significativos en múltiples aspectos de la vida cotidiana (Plastics Europe, 2023). Algunas de las contribuciones más relevantes de los plásticos son en áreas como:

- La construcción y edificación, donde ofrecen productos que son más eficientes en términos energéticos. Incluyen sistemas de aislamiento, marcos de ventanas y tuberías duraderas que mejoran la eficiencia energética de los edificios.
- El transporte, como por ejemplo en la



Fig. 9. Tipos de plásticos y su identificación



Productividad del plástico

industria automotriz, logran reducir el peso de los vehículos, ahorrando en combustible y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, mejoran la seguridad y el confort de los vehículos.

- En la sanidad y los avances médicos, desde equipos de protección personal hasta dispositivos médicos avanzados como válvulas cardíacas y productos para la liberación controlada de fármacos. También contribuyen a la innovación médica, como la impresión en 3D de tejidos y órganos.
- En electrónica, los plásticos permiten dispositivos electrónicos más compactos y eficientes, impulsando el crecimiento de la tecnología informática y de comunicación, lo que mejora la conectividad y la eficiencia energética de los dispositivos electrónicos.

Siendo estas aplicaciones tan eficientes y beneficiosas para nuestra vida cotidiana la realidad es que el plástico como material está siendo un problema medioambiental. La fabricación e incineración de plásticos contribuye de manera significativa al cambio climático. Los desechos plásticos contaminan la tierra y los océanos, causando la muerte de la fauna silvestre y penetrando en nuestra cadena alimentaria. Si la tendencia actual persiste, para el año 2050 habrá alrededor de 12,000 millones de toneladas de residuos plásticos en nuestros vertederos o contaminando el entorno. ¿Por qué es esto así?

En los últimos 50 años, específicamente en las últimas décadas, hemos producido más plástico que en toda la historia de la humanidad. Según el Ministerio de Ambiente (2021) la mayor parte de los plásticos se emplean en la fabricación de envases, es decir, en productos de un solo uso. Este uso extremo del plástico se debe en gran parte a las buenas propiedades físicas y químicas que presenta el material para dar contención a los productos de carácter alimenticios, químicos, tecnológicos, entre otros. Al ser plástico de un solo uso la mayoría de las veces se tira en la basura, acumulándose en los vertederos y mezclados con otros materiales sin ser clasificado, con el único fin de ser incinerado contribuyendo a aumentar la huella de carbono .

En base a lo investigado por Miranda (2023) se observa el enorme problema que suponen la producción del plástico y de los residuos derivados del mismo a nivel ambiental.

- Cada minuto, se venden un millón de botellas de plástico en todo el mundo.
- Cada botella de plástico tarda unos 450 años en descomponerse. Si no está a la intemperie, la cifra se aproxima a los 1.000 años.
- Más del 90% de los plásticos del mundo se producen a partir de combustibles fósiles.
- El 42% del plástico utilizado en el mundo se destina al empaquetado de alimentos y productos manufacturados. Es decir, plásticos de un solo uso que apenas pasan unos minutos en las manos de los consumidores.
- En 2018, la producción global de plásticos fue de 359 millones de toneladas, un peso similar al aproximado de la población mundial.
- 8 millones de toneladas de residuos plásticos acaban en los océanos cada año. Llegan por vía fluvial y se concentran en los grandes ríos del mundo y sus principales afluentes.

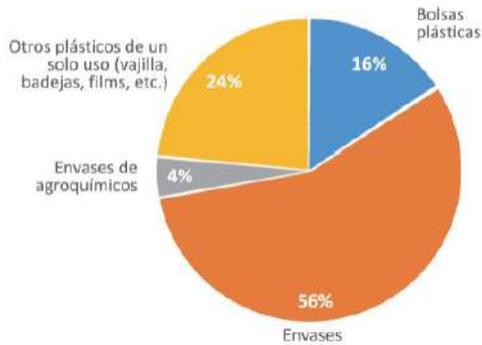


Fig. 10. Peso relativo en el porcentaje de cada categoría de plástico de un solo uso en el total generado (año 2019)

- Si los datos se mantienen, los océanos contendrían más plástico que peces en 2050 según datos de la ONU.
- Un estudio elaborado por el Center for International Environmental Law (CIEL) estima que en 2019, la polución resultante de la producción global de plásticos y su posterior incineración sería igual a las emisiones de 189 centrales eléctricas a carbón.
- En 2015, el 55% de los residuos plásticos globales eran desechados.

El problema no es el material en sí, sino la exce-

siva productividad que se ha tenido de éste y la mala gestión de los residuos los que más afectan el medio ambiente. En especial los llamados plásticos de un solo uso. Estos son los que generalmente tienen la utilidad de envases de alimentos o productos en general y que solo tienen la función de proteger o contener. Estos incluyen, entre otros, artículos tales como bolsas de supermercado, envases de alimentos, blisters, botellas, sorbitos, recipientes, vasos y cubiertos (IEEP, 2016).

En base a estadísticas se logra ver como en Uruguay el mayor porcentaje de plástico es desde el consumo de envases. En el país se ha avanzado en la gestión de plásticos de un solo uso mediante la implementación de normativas ambientales. Esta estrategia se alinea con los compromisos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, específicamente con el Objetivo 12. A nivel nacional, se estima que se generan más de 63,000 toneladas de residuos derivados de plásticos desechables cada año, y los envases representan aproximadamente el 60% de esta cantidad. No se incluyen en esta estimación los residuos generados por envases de productos químicos, ya que su generación es difícil de estimar con la información disponible (Ministerio de Ambiente, 2021)

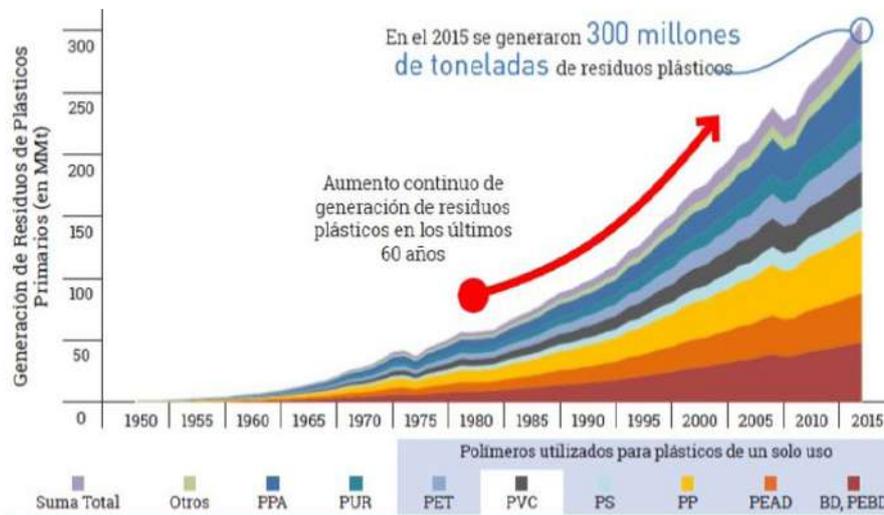


Fig. 11. Incremento de la generación de residuos plásticos a nivel mundial

Reciclado de plástico

En América Latina y el Caribe según Correal y Rihm (2022) se destacan los desechos plásticos como uno de los componentes más abundantes en la gestión de residuos. Aproximadamente más de un décimo de los desechos de la región corresponde a materiales plásticos. Aunque la gestión de residuos relacionada con los plásticos aún está en desarrollo en la mayoría de los países de la región, se han implementado sistemas de tratamiento y valorización de residuos plásticos en países como Argentina, Brasil, México y Uruguay. Estos sistemas incluyen la recolección y reciclaje de plásticos, así como la producción de subproductos valiosos a partir de estos materiales, contribuyendo así a reducir el impacto ambiental de la producción y el desecho de plásticos en la región.

En Uruguay desde hace algunos años se han realizado diversos esfuerzos por darle mayor importancia a la situación ambiental del país, implementando políticas públicas en el desarrollo de proyectos para incentivar el reciclado de plástico, con el fin de bajar el uso y consumo de

este material. Dada la reciente importancia y la falta de desarrollo regional en el tratamiento de reciclaje de plástico, apenas pueden desarrollar su potencial como valiosa materia prima secundaria en la fabricación.

En el Plan Nacional de Gestión de Residuos (Ministerio de Ambiente, 2021) se establecen las directrices para la gestión de residuos en Uruguay, con el objetivo de reducir la cantidad de residuos generados y mejorar su gestión nos menciona que “a nivel nacional, la generación anual de residuos derivados del consumo de plásticos de un solo uso superaría las 63.000 toneladas y los envases representan cerca del 60 % de esta generación”. Es importante señalar que los residuos producidos por envases de productos y sustancias químicas quedan por fuera de esta estimación, debido a que no es posible calcular con la información disponible.

Desde el Ministerio de Ambiente se gestiona la Política Nacional de Gestión Integral de Residuos y el Plan Nacional para seguir avanzando con el

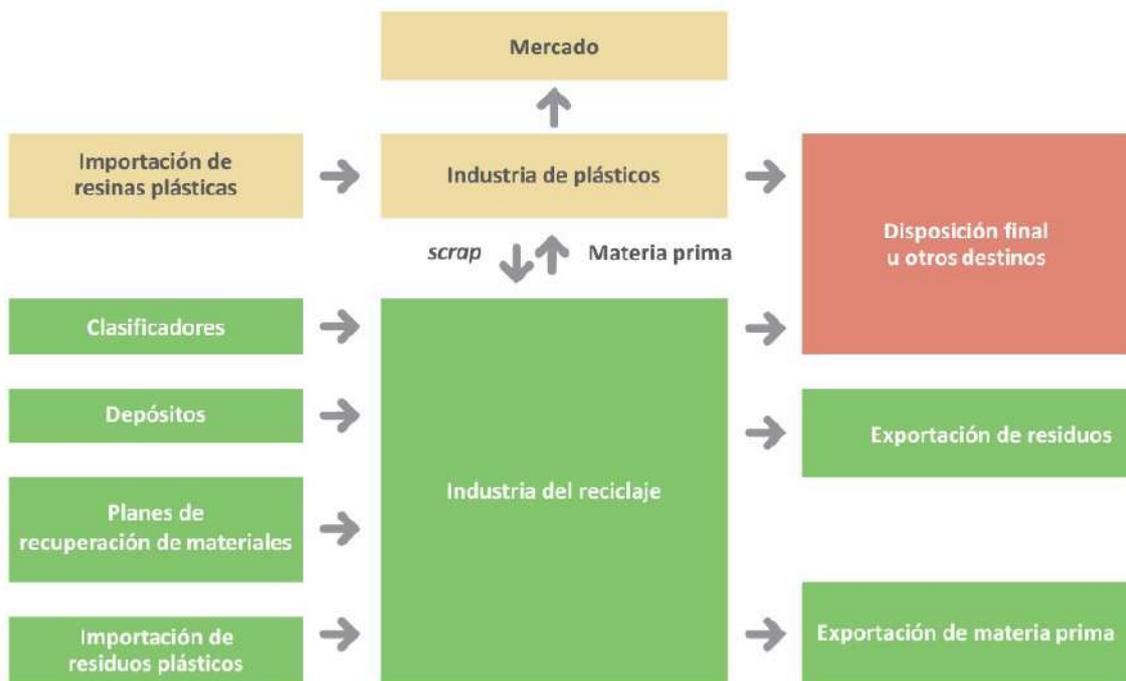


Fig. 12. Diagrama de reciclado en Uruguay



Proyectos que impulsan el reciclado

tema. Acciones tales como la Ley N° 19.655, que establece medidas para la prevención y mitigación del impacto ambiental derivado de la utilización de bolsas plásticas y acciones previstas como El Sistema de Gestión de Envases (que surge como reglamentación de la Ley N° 17.849 “Uso de envases no retornables” del año 2004) o el Plan Vale (Plan para recuperar y valorizar envases y materiales de envasado post consumo en todo el país) entre otras, son reglamentaciones que impulsan a un uso consciente del plástico

La Ley de Bolsas y su reglamentación han generado un cambio de hábitos en la población, reduciendo el consumo de bolsas y fomentando la conciencia ambiental en todos los sectores de la sociedad. La normativa ha evidenciado la responsabilidad compartida en el cuidado del medio ambiente y ha demostrado cómo la población se adhiere en forma responsable y masiva a la propuesta.

El ciclo del reciclado en Uruguay a nivel gubernamental puede entenderse al observar la ilustración. Existen flujos de entrada y salida al sector del reciclaje de los que resulta complejo estimar las cantidades finales realmente recuperadas, especialmente, porque se parte de una amplia diversidad de materiales y calidades de plásticos.

Partiendo de esta premisa existen empresas, emprendimientos y organizaciones a nivel nacional que ponen en práctica el reciclaje de estos desperdicios plásticos llevando a cabo campañas de reciclado y concientizando a la sociedad.

La mayoría de estas empresas trabajan procesando los desechos y vendiéndolos al exterior, a otras empresas o produciendo productos o insumos (Anexo 8). Algunas de estas empresas trabajan en base a comportamientos económicos más comúnmente asociados con el enfoque de la circularidad. El mismo se puede describir partiendo de los principios fundamentales de la educación ambiental como lo es el concepto de las 9R:

- Reducir: Utilizar menos recursos en la fabricación y procesos.
- Rechazar: Eliminar productos con sustancias peligrosas y sin función útil.
- Rediseñar: Transformar productos en “productos como servicio” o adoptar modelos de negocio colaborativos.
- Reutilizar: Utilizar productos aún funcionales para su propósito original.
- Reparar: Arreglar productos en mal estado para que vuelvan a ser útiles.
- Reacondicionar: Restaurar productos obsoletos para darles calidad estándar.
- Remanufacturar: Devolver piezas usadas a su estado de nuevo, combinando con otras piezas reutilizadas.
- Reconfigurar: Transformar productos desechables en nuevos productos o funciones.
- Reciclar: Procesar materiales recuperables de desechos para reutilizar como insumos de producción, excluyendo la recuperación de energía.

A continuación, se presenta un esquema y una tabla que detalla cada uno de estos 9 comportamientos. Vale resaltar que en orden prioritario lo primero a tener en cuenta es la elección de reducir mientras que la alternativa de recuperar se

debe considerar después de haber agotado las posibilidades.

Muchos emprendimientos revalorizan los desechos plásticos convirtiéndolos en productos de uso. Al ofrecer productos funcionales y útiles permiten generar visibilidad del reciclado y concientizar a la población sobre los desechos plásticos. Por más que logren reconvertir estos desechos en objetos de valor no quiere decir que el plástico deje de ser un problema dado que el consumo masivo supera en gran parte el nivel de procesamiento para reciclaje que se puede hacer. Proyectos tales como:

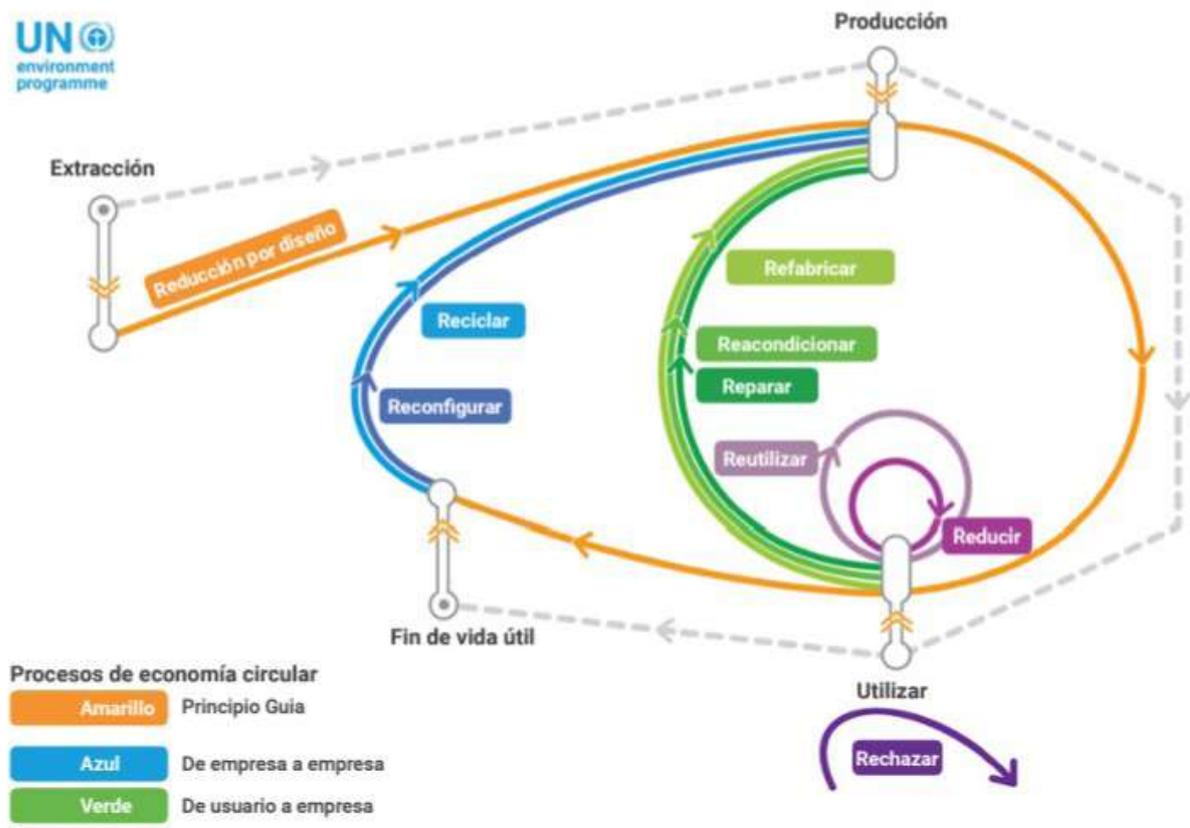


Fig. 13. Enfoque de la circularidad utilizando el concepto 9R



Tapitas Oportunidades

Es una organización que se dedica a la recolección de tapas de plástico, que luego son vendidas para ser recicladas. Partiendo de esta ganancia al vender las tapas generar recursos para ayudar a personas con enfermedades graves. También fomentan la cultura del reciclaje y la conciencia social y ambiental.



Plasricoin

Es una moneda virtual ecológica en Uruguay que valora los residuos plásticos. Su enfoque principal es educar, recompensar y generar cambios en la gestión de los desechos plásticos, involucrando a los usuarios y promoviendo la recolección, limpieza y reciclaje adecuados.



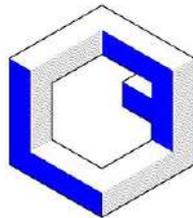
Eme Plásticas

Es un estudio de creatividad que combina el diseño industrial con la conciencia ambiental. Su enfoque principal es revalorizar plásticos de un solo uso para crear productos portantes para el uso diario, con el objetivo de prolongar y dar nueva vida a estos residuos plásticos, transformándolos en materiales mejorados y aportándoles valor. A través de su trabajo, busca promover la sostenibilidad y fomentar una economía circular al reutilizar y revalorizar los plásticos.



UTEC

Es la universidad tecnológica de Uruguay que se enfoca en la formación de profesionales en áreas de tecnología e ingeniería, quienes por medio de La Fabrica buscaron replicar el proyecto Precious Plastic en una localidad del departamento de Rivera con el fin de buscar alternativas para generar nuevas fuentes laborales en esta localidad.



La Fabrica

Es un emprendimiento que apunta a trabajar con los desechos plásticos en pequeña escala, con el objetivo de darle un segundo uso al material y permitir concientizar y trasladar el conocimiento a la sociedad. Además, ofrecen talleres y capacitaciones sobre prácticas sustentables y reciclaje, y promueven el consumo responsable y la reducción de residuos. Ellos parten de una iniciativa a nivel mundial llamada Precious Plastic.



Precious Plastic

Promueve la reutilización y el reciclaje de plásticos a través de la construcción de máquinas de procesamiento de plástico de bajo costo y el suministro de conocimientos y recursos de código abierto. Busca empoderar a las personas para que conviertan los desechos plásticos en nuevos productos, contribuyendo así a la reducción de la contaminación plástica y la promoción de la economía circular. Al mismo tiempo impulsan a recrear este proyecto en todo el mundo.



Rumbo a una economía circular

En la actualidad, el problema del plástico se ha convertido en una preocupación global debido a su impacto ambiental y la acumulación de residuos plásticos en nuestros ecosistemas. Ante esta problemática, se ha puesto un énfasis creciente en la búsqueda de soluciones que impulsen y se adapten a una Economía Circular.

La Fundación Ellen MacArthur (s.f.) proporciona una introducción detallada de la economía circular y su importancia. La define como un enfoque económico y de desarrollo sostenible que se centra en la minimización de residuos, la conservación de recursos y la maximización de la eficiencia en el uso de materiales. Se basa en la premisa de que los productos y los materiales deben circular en ciclos cerrados, donde se reducen, reutilizan, reciclan y regeneran en lugar de ser desechados después de un solo uso. El objetivo es crear un sistema económico más sostenible y resiliente, donde los recursos se mantengan en uso durante el mayor tiempo posible.

Dadas las propiedades de algunos plásticos y considerando sus posibles aplicaciones como material reciclado se puede considerar como un material con potencial para una Economía Circular. Principalmente porque es un problema actual la demasía de plástico a nivel mundial. En base a las características que presentan los plásticos como la durabilidad en el tiempo, la ligereza y la rápida manufactura se encuentra el problema de que no es biodegradable. Es un material el cual tarda cientos de años para degradarse por lo que a lo único que se puede aspirar es a reciclarlo, es necesario transformarlo para darle un segunda vida útil. En la actualidad, extraemos recursos naturales, los convertimos en productos y luego los desechamos. Este proceso es lineal. En cambio, en una economía circular, evitamos la generación de residuos desde el principio.

“Debemos transformar cada elemento de nuestro sistema de tomar - hacer - desperdiciar:

cómo administramos los recursos, cómo fabricamos y usamos los productos, y qué hacemos después con los materiales. Solo entonces podremos crear una economía circular próspera que pueda beneficiar a todos dentro de los límites de nuestro planeta.”(Ellen MacArthur. s.f.)

Este diagrama representa la constante circulación de recursos en una economía circular. Se pueden identificar dos ciclos fundamentales: el ciclo técnico y el ciclo biológico. En el ciclo técnico, los productos y materiales se mantienen en movimiento mediante prácticas tales como la reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje. Por otro lado, en el ciclo biológico, los nutrientes provenientes de los materiales biodegradables se reintegran a la Tierra con el fin de regenerar el entorno natural.

En el caso de las tapas de refresco se acudiría al ciclo más externo siendo que pertenecen a envases de un solo uso, el reciclaje, es por lo tanto la etapa de último recurso en una economía circular. La misma significa perder el valor total del producto (el tiempo y la energía invertidos en fabricarlo) al reducirlo a sus materiales básicos.

Como se mencionó antes, el reciclado de plástico no es una solución al problema ambiental si no una forma de eliminar el plástico existente. Para lograr una economía circular exitosa se debe tener controlado todos los procesos del producto, desde la creación del material hasta su fin como producto útil y funcional. No se puede dejar de lado que el plástico proviene de fuentes no renovables derivadas del petróleo y al reciclar este tipo de productos se necesita de un proceso de gestión de residuos y procesos de limpieza que gastan recursos.

La transición hacia una economía circular es crucial para la gestión de residuos plásticos. Mientras que las empresas productoras de envases de un solo uso no se puedan ir adecuando a una economía circular que se amigue con los ciclos biológicos planteados por la fundación Ellen MacArthur, se seguirá recurriendo al reciclado de plástico como solución. Si bien el reciclaje es una solución temporal y necesaria en el corto plazo, la verdadera solución radica en la adopción de productos biodegradables y en la reducción del consumo de recursos finitos.

Solo a través de un enfoque integral y sosteni-

ble podremos lograr una economía circular que permita repensar y rediseñar los sistemas de producción y consumo, fomentando la reutilización, la reparación y el uso responsable de los recursos.

En sí, la fabricación de férulas utilizando plástico reciclado se alinea con los principios de la economía circular promovidos por la fundación Ellen MacArthur. Esta práctica ofrece beneficios ambientales, sociales y económicos, al reducir la dependencia de recursos vírgenes, mitigar la contaminación plástica, generar empleo y facilitar el acceso a dispositivos terapéuticos a un costo más accesible. Como solución temporal a corto plazo es beneficiosa



Fig. 15. Diferencia entre una economía lineal y una economía circular

El diseño industrial en el campo de la rehabilitación

- Proyectos relacionados - Estado del Arte-
- Internacionales
- Nacionales



El diseño industrial en el campo de la rehabilitación

El desarrollo de productos de apoyo utilizados para la rehabilitación de los usuarios tiene como principio fundamental el entender cómo se relacionan las personas con su entorno y sus quehaceres diarios. Esto permite que el Diseño Industrial se enfoque en los aspectos sociales, culturales, creativos y tecnológicos de estos productos de apoyo, siempre desde un enfoque interdisciplinario. Al estudiar cómo las personas se relacionan con los objetos cotidianos que los rodean y las actividades en su vida diaria, se busca comprender el significado de esas actividades y examinar cómo interactúan de manera efectiva con su entorno.

El enfoque del Diseñador hacia el área de la rehabilitación - salud ha ganado impulso en el ámbito académico universitario mediante actividades interdisciplinarias. Estos enfoques fomentan la colaboración entre instituciones públicas y privadas, así como entre las cátedras universitarias, con el objetivo de contribuir a la generación de conocimiento. Al respecto menciona. M. Olivetti (2019):

“Entendemos que este tipo de articulación entre campos, donde la extensión en la perspectiva de integralidad sea objeto de investigación en sí mismo y pueda nutrirse de otros campos emergentes,(...) brinda un enriquecimiento y proliferación de formas de hacer y pensar las actividades en el marco de la integralidad universitaria...”(Olivetti, 2019, p. 117).

Desde el diseño se cuentan con herramientas que contribuyen al desarrollo de dispositivos que colaboren en la mejora de la calidad de vida de los sujetos que padecen alguna problemática

vinculada a la salud. En relación a esto la World Design Organization (2015) menciona en su definición de diseño industrial que los diseñadores industriales sitúan al ser humano en el centro del proceso y que adquieren un profundo conocimiento de las necesidades de los usuarios a través de la empatía, desarrollando un proceso pragmático de resolución de problemas centrado en el usuario. Se puede decir que las áreas de acción en las que puede incursionar el diseñador industrial son muy diversas, siendo su labor significativa para “identificar y solucionar los problemas de diseño en los productos existentes (evaluación y/o rediseño)”(Macías, 2017, p.110).

Sobre esto menciona Guerrero (2018) que los productos desarrollados o adaptados de manera casera por profesionales y estudiantes de terapia ocupacional podrían obtener mejores resultados si los diseñadores participan en su planificación. Los proyectos que logran soluciones exitosas suelen ser el resultado de un trabajo interdisciplinario. Menciona que la mayoría de las ayudas técnicas y objetos multisensoriales complejos utilizados en rehabilitación son importados y ofrecen soluciones que no cumplen adecuadamente con principios de ergonomía, higiene y simplicidad en su uso y almacenamiento. Finalmente agrega que “generalmente los proyectos que alcanzan soluciones positivas son resueltos en el marco de un equipo de trabajo interdisciplinario integrado”.

Establecer conexiones entre el diseño y la medicina permitirá que todos seamos beneficiados en cuanto a salud se refiere. Esto incluye a académicos, estudiantes y profesionales, quienes tendrán la oportunidad de reflexionar sobre sus prácticas con el propósito de mejorarlas. Estos vínculos colaborativos promoverán avances significativos para el bienestar de las personas en general. Siendo así el diseño industrial, estaría en condiciones de contribuir al desarrollo de soluciones a problemáticas identificadas en el ámbito de la salud. El punto es no solo concebir el diseño desde la materialidad de los productos, desde una perspectiva proyectual, sino ponien-



Proyectos relacionados Estado del Arte

do el acento particularmente en el sujeto usuario de la salud, con el objetivo de mejora de su calidad de vida.

De tal forma, tanto el diseño como la salud comparten un enfoque común, el bienestar de las personas a las que van dirigidas sus labores. Temas como la inclusión social, la responsabilidad social y el enfoque en el bienestar de las personas son elementos compartidos entre el diseño y la terapia ocupacional. Además, el público al que se dirige este proyecto y las tecnologías utilizadas por los terapeutas para la realización de férulas, han contribuido a la elección de este material de la Terapia Ocupacional como campo al que aportar desde el diseño.

Explorar áreas poco conocidas para el diseño y establecer nuevos vínculos de exploración e inserción laboral es de importancia. Al identificar la ergonomía como punto de encuentro entre la Terapia Ocupacional y el Diseño Industrial, se ha encontrado una base sólida para la colaboración y la sinergia entre ambas disciplinas. La ergonomía, que se centra en adaptar los entornos y productos a las necesidades y características de las personas, se convierte en un elemento clave para mejorar la calidad de vida de los usuarios y usuarios de los productos diseñados.

En relación a lo escrito anteriormente se pudieron encontrar variedad de proyectos que logran combinar diferentes saberes con el propósito de aportar nuevas soluciones. Muchas personas que sufren una situación de discapacidad o que se interesan por las mismas, buscan formas de ayudar y, en algunos casos, el uso de materiales reciclados o reciclables puede ser una solución efectiva para reducir los costos. En este sentido, se han visto investigaciones y proyectos en el campo que buscan generar soluciones óptimas para las personas afectadas.

Internacionales

Para esta búsqueda se hará énfasis en proyectos de particulares y en investigaciones universitarias que hayan abordado la temática



Fig. 16

Férulas con material reciclable, una alternativa ecológica para rehabilitación en miembro superior

DESCRIPCIÓN:

El plástico es un material que deteriora gravemente el medio ambiente y que se produce en grandes cantidades anualmente. La mayoría de los plásticos no son biodegradables y su incineración produce gases tóxicos. A pesar de esto, el plástico tiene propiedades que permiten su maleabilidad y su integración con otros materiales para formar productos duraderos y con múltiples funciones. La investigación plantea la posibilidad de utilizar el plástico reciclado para fabricar férulas a bajo costo, lo que contribuiría al medio ambiente y a la economía de las personas de escasos recursos.

MATERIAL:

Plástico reciclado

MÉTODO DE MODELADO:

No específica



Fig. 17

Férulas ecológicas diseñadas para hospitales

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto se enfocó en investigar nuevas formas de producir celulosa. Durante el proceso de investigación, se descubrió que este nuevo material podría ser utilizado en el ámbito médico como una alternativa a los vendajes y férulas actuales, los cuales suelen ser rígidos, incómodos y poco respetuosos con el medio ambiente. Woodcast, un material compuesto por madera y plástico, ofrece una solución práctica al permitir la creación de vendajes cómodos y delgados. Cuando se calienta a 65°C, el material se vuelve flexible y autoadhesivo, y recupera su forma y resistencia cuando se enfría.

Aunque Woodcast se ideó originalmente como una alternativa más ecológica a los vendajes de yeso utilizados en los hospitales, su versatilidad lo ha llevado a ser utilizado en diferentes campos, incluyendo el deportivo. Sin embargo, uno de los desafíos es que estos vendajes pueden ser demasiado grandes para ciertas aplicaciones, como caber en zapatos. Cabe destacar que Woodcast es un material ligero, biodegradable y amigable con el medio ambiente, ideal para aplicaciones médicas y deportivas.

MATERIAL:

material compuesto de fibra de madera y catalizadores de oxidación

MÉTODO DE MODELADO:

Se moldea bajo el efecto de calentado en agua. La férula se ablanda y es posible adaptarla a la forma precisa

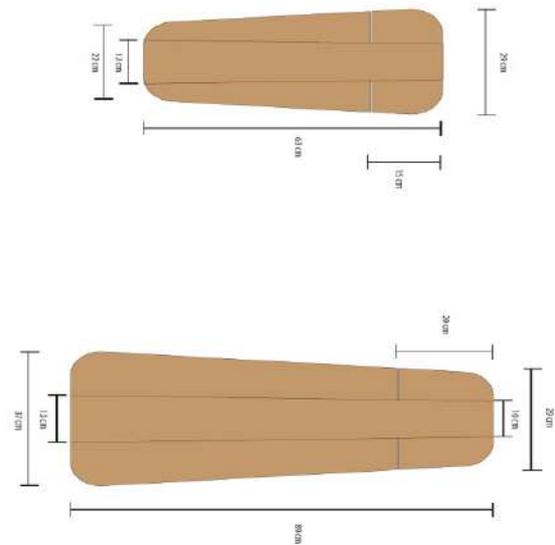


Fig. 18

Diseño y prototipo de férulas

DESCRIPCIÓN:

La siguiente investigación aborda la elaboración de férulas de cartón implementadas en casos de atención primaria de emergencias y urgencias para la inmovilización de usuarios. Se explican las problemáticas de usar este tipo de férulas, las ventajas y desventajas, el proceso y los riesgos a corto y largo plazo que puede presentar el usuario. La investigación concluye con recomendaciones para el uso de las mismas y con un impulso al mejoramiento de los elementos para inmovilizar. Principalmente en el uso, elección y almacenaje de las férulas para que sean óptimas en higiene y en composición de la materia prima sin perder la característica de ser amigable con el medio ambiente

MATERIAL:

Cartón corrugado

MÉTODO DE MODELADO:

Son férulas para urgencia, se ponen sobre la extremidad y se envuelven por medio de gases

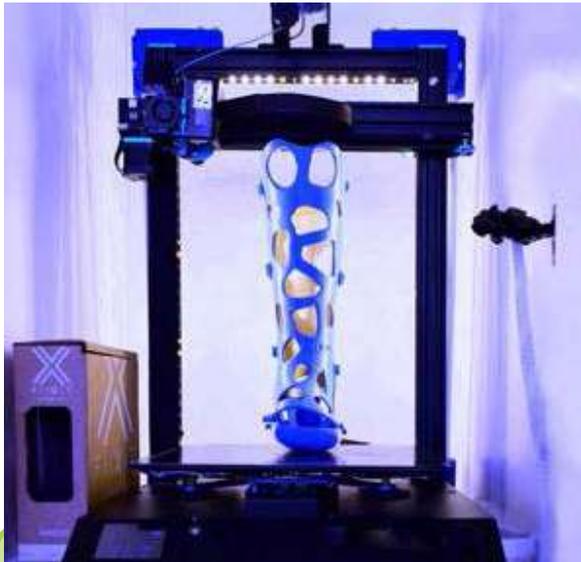


Fig. 19

Fiixit

DESCRIPCIÓN:

En la ortopedia, la tecnología de impresión 3D está revolucionando la manera en que se tratan las fracturas óseas. Las escayolas impresas en 3D son una alternativa más ligera y personalizada que se adapta a la anatomía del usuario, gracias a la innovación de Raquel Serrano Lledó, cofundadora de FIIXIT Orthotic Lab. Estas férulas impresas en 3D son también resistentes al agua, lo que permite a las personas disfrutar de actividades acuáticas durante sus vacaciones sin tener que preocuparse por su tratamiento. Con estas nuevas opciones, se mejora la calidad de vida de los usuarios en recuperación.

MATERIAL:

Filamento de plástico

MÉTODO DE MODELADO:

Escaneo e impresión plástica en CNC



Fig. 20

Rediseño de una férula ortopédica para rehabilitación de la muñeca

DESCRIPCIÓN: Este trabajo trata sobre la rehabilitación de usuarios que han sufrido lesiones en las extremidades superiores. Se centra en el rediseño de una férula de muñeca, para esto se requiere un sistema que permita la regulación controlada de la posición. En este caso la férula debe permitir la movilidad, uno de los aspectos más importantes que se ha tenido en cuenta es que el sistema de accionamiento debe facilitar la flexión palmar y dorsal de la muñeca en distintas posiciones necesarias para el proceso de rehabilitación. MATERIAL: Filamento de plástico ABS Y Herbimed Perforado
MÉTODO DE MODELADO: Escaneo e impresión plástica en CNC



Fig. 21

Economía circular y fabricación aditiva: reciclaje y reintroducción de PET en dispositivos biomédicos

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo describe el proceso de obtener una materia prima a partir de botellas de PET para ser utilizada en la tecnología de fabricación aditiva de deposición de hilo fundido. Se obtiene un filamento de calidad a partir del PET tratado mecánicamente y se optimizan las condiciones de impresión del mismo. Se evalúa el comportamiento mecánico del material una vez procesado y se describe la metodología seguida para su uso en la fabricación de un inmovilizador de muñeca a través de la impresión de un diseño plano y un termoformado posterior sobre el usuario. En resumen, se presenta un proceso completo para transformar botellas de PET en una materia prima útil para la fabricación de piezas médicas mediante impresión 3D.

MATERIAL:

Filamento de calidad realizado a partir del PET reciclado

MÉTODO DE MODELADO:

Se imprime plana y se adapta al brazo a partir de calor aplicado. Presenta un cierre realizado en el mismo material



Fig. 22

Bio-Pedic Recycling

DESCRIPCIÓN: Otro antecedente innovador es el de Franklin Zepeda quien por medio de bolsas de TNT y polipropileno genera prótesis y ortesis. Las mismas son a partir de material reciclado de bolsas de TNT. Se fabrican partiendo de un molde de la extremidad a la cual se le va a aplicar la férula o prótesis. Fabricando el armazón con bolsas de plástico y para partes con mayor detalle se elaboran las piezas en impresión 3d
MATERIAL: TNT, resina e filamento plástico PET
MÉTODO DE MODELADO: A través de un molde se le da forma al TNT bañado con resina. Para las piezas pequeñas se utiliza impresión 3D



Nacionales

Para esta búsqueda se hará énfasis en proyectos de particulares y en investigaciones universitarias que hayan abordado la temática



Fig. 22

Fig. 23

Manos de Héroe

DESCRIPCIÓN: Es una organización sin fines de lucro que se enfoca en producir prótesis de brazos y manos mediante el uso de tecnología de impresión 3D con el objetivo de proporcionar estos dispositivos de manera gratuita a aquellos que los necesitan, con el fin de mejorar su calidad de vida y permitirles una mayor autonomía y movilidad.

MATERIAL: Filamento de plástico

MÉTODO DE MODELADO: Escaneado e impresión plástica en CNC



Fig. 24

HackLab. Laboratorio de producción de soluciones open source

DESCRIPCIÓN: Hack lab fue un espacio cuyos miembros trabajaban en pos de poner a disposición del dominio público, herramientas útiles para la sociedad. Se vinculan a través de proyectos de extensión e investigación. En los proyectos proponían trabajar junto a usuarios en situación de discapacidad y actores sociales, en la realización y producción de soluciones relevantes para su entorno, de manera de involucrar y sensibilizar a la comunidad en la resolución de Ayudas Técnicas de baja complejidad. Se busca contribuir en la mejora de la calidad de vida de las personas, así como promover y sensibilizar a la población sobre la diversidad e integración social mediante el intercambio de experiencias.

MATERIAL: Filamento de plástico

MÉTODO DE MODELADO: Escaneado e impresión plástica en CNC



Fig. 25

Accede.uy

DESCRIPCIÓN: Empresa dedicada a la creación y distribución de productos que ofrecen accesibilidad a situaciones cotidianas para personas con limitaciones motrices.

MATERIAL: Filamento de plástico

MÉTODO DE MODELADO: Escaneado e impresión plástica en CNC



Fig. 26

Exoij

DESCRIPCIÓN: Este laboratorio es un espacio de colaboración entre diferentes disciplinas enfocado en la fabricación de inmovilizaciones ortopédicas personalizadas mediante el uso de tecnología de impresión 3D. En lugar de utilizar materiales convencionales, se utilizan materiales termoplásticos ecológicos que son termomoldeables y altamente adaptables a la anatomía del usuario. El objetivo es producir férulas, yesos y otras inmovilizaciones que brinden mayor comodidad y precisión en su ajuste, todo gracias al uso de tecnología avanzada en impresión 3D.

MATERIAL: Filamento de plástico

MÉTODO DE MODELADO: Escaneado e impresión plástica en CNC



02.

EXPERIMENTACIÓN

- A. Del desecho plástico a la placa plástica
- B. De la placa plástica a la férula
- C. Moldeado de férula
- D. Producción de pre férula

En la experimentación se investigó sobre las propiedades, características y técnicas con que se trabaja el HDPE reciclado. En esta instancia de experimentación se trabaja dentro de los talleres de TO y de LF para comprender los requisitos y limitantes que presentan en estos espacios, al mismo tiempo se experimenta y se presencia el trabajo de producción de férulas y placas de plástico evaluando en conjunto ideas y oportunidades para llegar al resultado deseado.

Es importante destacar que las fichas (anexo 5) propuestas para documentar las etapas de experimentación, serán la recopilación de un proceso, es decir, para la realización de una ficha fue necesario realizar más de una instancia de ensayo y error con los profesionales dentro de los talleres.

Todo este proceso se lleva a cabo de manera organizada y sistemática, gracias a los objetivos previstos en cada etapa. Esto permite estructurar las visitas y el proceso de recopilación de datos de manera coherente. Además, permite documentar la información de manera ordenada en la ficha, lo que facilita su posterior análisis, la elaboración de conclusiones y la comprensión de quien lee la investigación .

A.

Del desecho plástico a la placa plástica

- Plástico HDPE
- Reciclaje de tapas de refresco fabricadas con HDPE
- Proceso de reciclado



Del desecho plástico a la placa plástica

Información:

Para esta etapa se visitó las instalaciones de LF y se llevó a cabo el relevamiento de los procesos que realizan para la fabricación de las placas plásticas. A partir de este insumo es que se desarrolla la investigación para la fabricación de férulas.

Se realizó la experiencia de fabricar las placas plásticas para entender el proceso de fabricación y observar las condiciones y limitaciones que se deben tener en cuenta. En primera instancia se concurrió al taller para entender el proceso que se realiza con el plástico y para definir qué aspectos se deben investigar con profundidad

Objetivos

- Vivenciar y registrar el proceso paso a paso que conlleva el desarrollo de las placas plásticas
- Entender el HDPL como material reciclado

Desarrollo de la actividad e investigación:

En primer lugar, se investigó más de cerca el plástico HDPE y sus propiedades siendo este el único plástico que utiliza el LF para la elaboración de sus productos



Plástico HDPE



Fig. 27. Símbolo representante del HDPE

El HDPE (PEAD si nos referimos a este material con su sigla en español) es uno de los plásticos más usados para la fabricación de envases y productos. Es un homopolímero¹, cuya densidad abarca entre los 0,941 y los 0,967 g/cm³. Su comportamiento es más influido por la temperatura de fusión² en lugar de una temperatura de transición vítrea³ dado que su cambio de estado es más instantáneo. Su temperatura de fusión se encuentra entre los 125 y los 140 C. Este tipo de plástico generalmente se utiliza como envoltura para alimentos y debido a su resistencia química, también se emplea en el embalaje de productos químicos y productos de limpieza. Los métodos más comunes de fabricación son la extrusión, la inyección, el termoformado, el moldeo y el rotomoldeo (Rubin y Robinson Plastics Corporation, 1999).

Algunas de las ventajas y desventajas generales de las propiedades del HDPE (Botet Latre, A. 2018) en la producción de productos son:

Ventajas:

- Alta resistencia: es muy resistente a la rotura y a la abrasión
- Bajo peso: es un material ligero
- Resistencia química: es resistente a una amplia variedad de productos químicos
- Fácil de procesar: mediante moldeo por inyección, soplado, extrusión y otros métodos.

Desventajas:

- Sensible a la temperatura: superiores a 120°C. La capacidad de soportar cargas disminuye rápidamente al aumentar la temperatura ambiente
- No es biodegradable: puede tardar cientos de años en descomponerse.
- No es resistente a la radiación UV: se descompone bajo una larga exposición a la luz solar directa.



Fig. 28 / Imagen de tapas a reciclar

1 Es un polímero conformado por el mismo monómero (molécula de pequeña masa molecular) a lo largo de toda su cadena.

2 La temperatura de fusión se refiere al cambio de un estado sólido a un estado líquido

3 La temperatura de transición vítrea marca la transición de un estado vítreo y rígido a un estado más flexible



Reciclaje de tapas de refresco

En general, el reciclaje de HDPE tiene muchas ventajas. Es un plástico que puede ser reutilizado y aun así es considerado como un insumo de buena calidad para la fabricación de diversos productos como recipientes de detergente, tuberías, muebles de jardín. Su reciclaje puede llevar a una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de materiales vírgenes. Estas son ventajas siempre y cuando en el proceso el reciclado tenga un costo económico y productivo inferior al de materias primas vírgenes.

Es importante tener en cuenta las limitaciones y los desafíos asociados con la producción y el uso de este material reciclado. Un problema presente, es la disminución de propiedades físicas y mecánicas debido a la degradación que sufre el material durante su uso y el reciclaje continuo. En base a la investigación de Carvajal Quezada (2016) se pueden observar las diferencias en las propiedades mecánicas entre una muestra de HDPE virgen y otra de HDPE reciclado (Anexo 1).

Otro problema que puede surgir es la variabilidad de resinas usadas en productos realizados en plástico. Por ejemplo, los envases fabricados para estar en contacto con alimentos presentan diferentes resinas a los envases destinados a productos de limpieza, y aun así, los dos envases siguen siendo HDPE. Todas las producciones de HDPE virgen pueden variar sus fórmulas debido a que cada empresa realiza sus propias mezclas y usa diferentes marcas de resinas. También en cada empresa las fórmulas de HDPE varían en base a las especificaciones del producto a producir. En el manual de Poliolefinas para la Producción de Tapas (Braskem, s.f.) se ofrecen diversas soluciones en resinas para satisfacer necesidades específicas de cada uno de sus clientes (Anexo 9). Por ejemplo, Braskem ha desarrollado y usado resinas especiales para la producción de tapas para botellas de agua mineral. Los requisitos de homologación de las aguas minerales son aún más estrictos que las de otras bebidas por lo que deben garantizar un estricto control de las propiedades organolépticas de las resinas,

de modo que el agua no se vea afectada en sus propiedades.

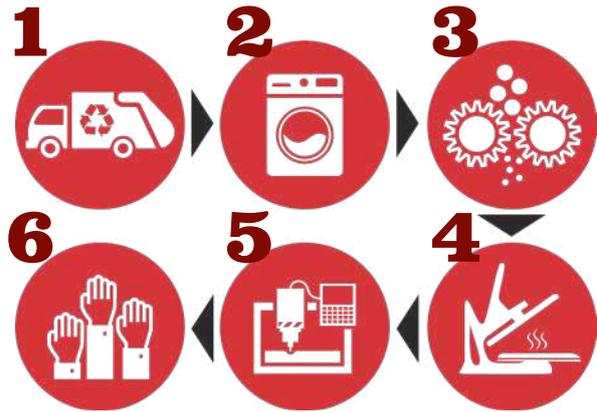
Por razones como éstas, LF decide reciclar exclusivamente tapas de plástico de refrescos únicamente. De esta forma se reduce el rango de variación de los valores de cantidad y tipos de resinas y la diversidad de fórmulas de HDPE a procesar obteniendo así mayor control sobre la calidad de los productos finales. La mayoría de las tapas de refrescos son fabricadas en este material.



Triuturado grueso y fino de las tapas plásticas

Proceso de reciclado

Para asegurar un reciclaje exitoso, es necesario elaborar un proceso de purificación y reducción de tamaño de los insumos a reciclar. Para esto en LF se aplica el siguiente proceso



Recolección y clasificación

Las tapas plásticas son clasificadas según los diferentes pigmentos (colores). Las mismas son donadas por diferentes instituciones o por particulares.

Lavado y secado

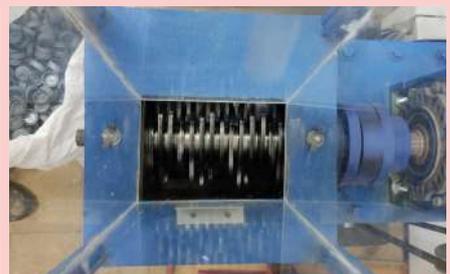
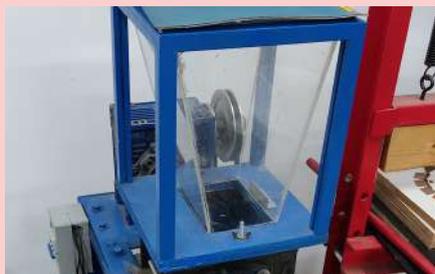
Pasan por un proceso de limpieza para asegurar que el insumo quede libre de sustancias y suciedad que puedan molestar en el proceso de reciclado.

Tiempo: 20 min. Antes se remojan para ablandar residuos existentes.
Cantidad de material: 5,5 kg.
Máquina: Lavarropas. El insumo es secado para asegurar que las tapas no queden con restos de agua.
Tiempo: 24 hs. se secan al sol

Triturado

Las tapas se depositan en una tolva de triturado para convertirse en virutas plásticas. Este proceso lleva dos etapas. Primero son pasadas por una tolva que permite un triturado grueso y luego por una segunda que permite un triturado más fino y uniforme. En esta etapa las tapas pasan a transformarse en materia prima con la cual

Tiempo: 60 min. En este tiempo se pasa el material por las dos trituradoras.
Cantidad de material: 6 kg.
Máquina: Tolva de triturado



Elaboración de placas

Con la ayuda de una plancha de estampado y un molde rectangular que presenta el espesor que tendrá la futura placa. Las virutas son puestas en el molde y es bajada la tapa superior de la plancha de estampado. Por medio de la presión y calor emitido por la plancha, las virutas plásticas se funden para transformarse en una placa plástica sólida. Una vez realizada la placa, se deja bajo precio enfriando lentamente hasta que se

pueda extraer del molde. En este punto las placas pueden ser vendidas como insumos

Tiempo: 25 min de fundición
2 hs de enfriamiento

Cantidad de material:
450 gs aprox. 1 plancha plástica
Máquina: Plancha de estampado

4



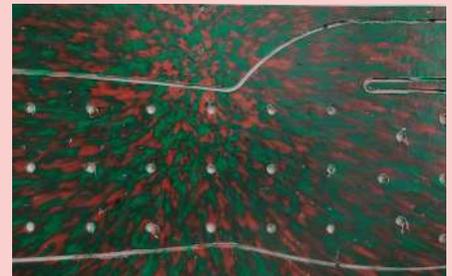
Ruteado

Para transformar estas placas en futuros productos en LF se aplica un proceso de fresado por CNC. Esta técnica permite obtener piezas cortadas a la precisión y/o grabados superficiales.

Tiempo: 28 min. Tiempo de corte y perforado de férula

Máquina: CNC de corte por fresado

5



Emprolijado

Luego de realizar terminaciones de extracción de rebabas y lijado de piezas estas pasan a ser el producto final. Los desechos ocasionados del plástico restante o las virutas del mismo pueden volver a la etapa 03 del proceso para ser reutilizados.

6

Resultados:

La fabricación de placas con HDPE reciclado, obtenido de tapas de refrescos es factible, las placas no presentan un espesor uniforme pero sí ofrecen solidez. Se identificó que el proceso de fabricación no es rápido y podría mejorar en aspectos referentes al tiempo de productividad de placas y al sistema de enfriado y prensado. La optimización de estos procesos puede ser beneficioso en el caso que se requiera realizar producciones a mayor escala

El sistema de elaboración de piezas por medio del router es una buena opción para la fabrica-

ción de piezas o productos De todas formas es un método que agrega tiempo al proceso de fabricación y por lo tanto aumenta el costo final del producto

En la LF el único método que tienen estandarizado hasta el momento es la fabricación de placas plásticas por medio de moldes. Este método lo realizan aplicando calor y presión a las virutas de plástico puertas en el molde rectangular. Sobre este método principalmente se deberá trabajar dado que es el único con el cual poder producir placas útiles para la fabricación de férulas

Observaciones:



Textura visual marmolada



Textura visual salpicada

Observación sobre la fundición:

- El reciclaje de tapas de refrescos les ofrece una amplia variedad de colores con los que poder fabricar productos. Se puede lograr realizar 2 texturas visuales. La primera la defino como SALPICADO, esta es la primera textura que se obtiene al calentar las virutas de plástico de diferentes colores. La segunda es el MARMOLADO, esta se obtiene a partir del amasado manual del plástico salpicado logrando que los colores se entreveran. Esta técnica lleva más tiempo de procedimiento dado el amasado del plástico.
- La textura táctil de las placas plásticas es lisa. Se puede notar sobre la superficie unas pequeñas líneas casi imperceptibles y visibles a contraluz que pertenecen a la fibra de vidrio que presenta el teflón en su composición, esta textura es casi imperceptible al tacto por lo que se puede considerar que la placas plásticas tienen una textura táctil lisa
- Las láminas de teflón utilizadas en el proceso son para evitar que se pegue el plástico fundido al metal de la plancha de estampado.
- La máquina en donde calienta el material es una plancha de estampado de remeras, la misma calienta solo



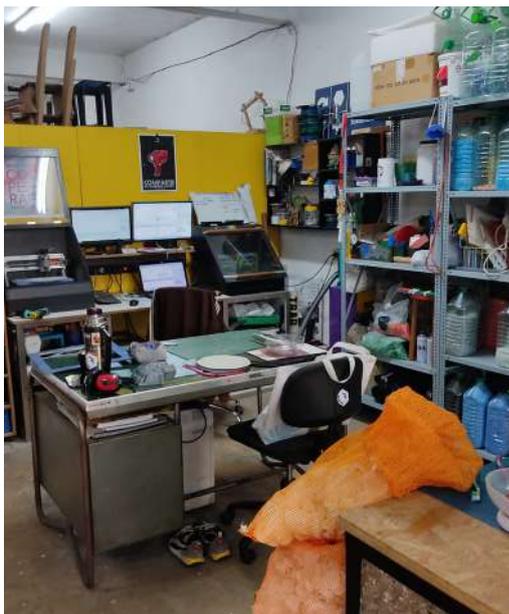
Teflon sobre plástico en estado vitreo



Grosos de placas plásticas



Maquina de estampado



Espacio de trabajo

por uno de sus lados. Ellos deben girar el molde más de una vez para lograr una fundición total del material.

- La fabricación de placas es de buena calidad aunque presenta pequeñas variaciones en el espesor total de la placa. Se logra fabricar placas sólidas de 1, 2, 3 y 5 mm de espesor

Observación sobre el enfriamiento:

- El enfriamiento del material plástico debe ser controlado. El material se deja enfriar lentamente mientras está prensado dentro de la plancha de estampado. Si baja muy rápido su temperatura o recibe un impacto frío el material se pandea sobre sus laterales principalmente y/o se arruga en su superficie.
- El proceso de enfriamiento no permite que se haga una producción activa y continua de placas plásticas.
- Las placas plásticas reducen su tamaño cuando se enfrían. En el largo y ancho, tiene una relación de reducción de 2 mm cada 10 cm. En el espesor del material es casi imperceptible la reducción que presenta, alrededor de 0,5 mm

B.

De la placa plástica a la férula

- Férulas de termoplástico Orfit
- Férulas de PVC (Cloruro de Polivinilo)
- Férulas de HDPE reciclado
- Sujeción y comodidad
- Manufactura de férulas

De la placa plástica a la férula

Información:

En esta instancia se asistió al taller de TO ubicado en el HC. Se vivió la experiencia de realizar férulas con el objetivo de determinar el proceso que requiere su fabricación y las herramientas que se deben usar para hacerlas.

Para esta etapa se llevaron placas plásticas de HDPE para que los TO tengan un primer acercamiento a este material y para poder realizar un primer ensayo de la fabricación de una férula con este material

Objetivos:

- Vivenciar y registrar el proceso paso a paso que conlleva la fabricación de férulas en el taller de TO del Hospital de Clínicas
- Relevar requisitos necesarios para realizar el modelado de férulas
- Evaluar el primer acercamiento de los TO a las placas de HDPE reciclado

Desarrollo de la actividad e investigación:

Las visitas se desarrollaron en horarios en donde los TO atienden a sus usuarios y realizan actividades de fabricación y modificación de férulas. En el lugar se pudo ver y evaluar la fabricación de diversas férulas con dos tipos de materiales. Uno de ellos era el termoplástico de marca Orfit, el otro era un trozo casi plano y rectangular de PVC, proveniente de un caño de PVC. Las propiedades y características de estos materiales serán desarrollados a continuación.

Férulas de termoplástico Orfit

El termoplástico es el material recomendado por los profesionales de la salud para realizar férulas, el mismo está diseñado con ese fin y presenta todas las cualidades y propiedades físicas para facilitar el moldeado. En el taller de TO del HC generalmente se usa el termoplástico de marca Orfit en dos presentaciones:

- Orfit de espesor 3.2mm, para órtesis de gran tamaño o cuando se necesita más resistencia. Puede ser liso o perforado.
- Orfit de espesor 1.6mm Microperforado, para férulas pequeñas de dedo y mano. Principalmente se utiliza cuando se deben hacer modelos con precisión

Algunas presentaciones del termoplástico marca Orfit presentan variaciones de colores y agregan microperforaciones y perforaciones de diversos tamaños. Dependiendo del grosor de la placa plástica es la variabilidad de sus presentaciones perforadas.

Las perforaciones permiten la ventilación y la transpiración de la piel, lo que ayuda a reducir la acumulación de humedad y aumentar la comodidad del usuario. Las perforaciones suelen tener diferentes diámetros para ajustarse a las necesidades específicas, por lo general, tienen diámetros que oscilan entre 0.5 mm y 5 mm.



Fig. 29. Imagen de termoplástico Orfit



Férulas de PVC (Cloruro de Polivinilo)

Ventajas del Orfit para los TO:

- Presenta excelentes propiedades elásticas y adhesivas.
- Se puede utilizar para múltiples usos en confección de distintos tipos de órtesis.
- Presenta un excelente estiramiento (100%) sin llegar a rasgarse o romperse.
- Se logra una memoria elástica (100%).
- Fácil ajuste de bordes.
- Su temperatura de activación en batea con agua a 65°C.
- Propiedades antibacterianas.
- Auto adherencia.
- Reutilizable, se puede modificar por completo la forma de la férula

Desventajas del Orfit para los TO:

- Presenta un costo elevado para las condiciones de trabajo en el HC

En el taller de TO del HC se emplea el termoplástico con el propósito de confeccionar férulas que requieran un alto nivel de detalle, especialmente en casos como férulas pequeñas para dedos o en casos especiales donde los usuarios precisan de una férula exclusiva que se pueda modificar varias veces en el tiempo.

Sin embargo, debido al coste significativamente elevado de este material. En vista de esta situación, los TO del HC han identificado una alternativa eficaz, que consiste en trabajar con plástico PVC.



Fig. 30. Férula realizada con termoplástico

Este material es obtenido a partir del fraccionado de un caño de PVC de 11 cm de diámetro y 3 metros de largo. Para la producción de férulas este caño es trozado y las piezas extraídas son calentadas en un horno, para luego ser aplanadas y lograr así eliminar la forma curva del caño. Partiendo de esta pieza es que se desarrollan las férulas.

Esta alternativa fue obtenida por los TO del HC mediante experiencias compartidas con otros profesionales. En este blog (Marta, 2016) dirigido a TO es posible saber más sobre esta técnica. Es un material que se utiliza frecuentemente bajo la necesidad de generar férulas funcionales y a bajo costo. Claramente esta problemática referente a los recursos económicos de los centros trasciende a nuestro país y el uso del PVC es una alternativa que se aplica en varios centros hospitalarios de América Latina

El PVC es un material resistente a la abrasión y al impacto, es ligero y duradero, impermeable, química y biológicamente inerte, que mediante diferentes aditivos se puede fabricar rígido o flexible. En el caso del PVC perteneciente a los caños el material se torna rígido. En general presenta un Punto de fusión de 212-310°C y una densidad de 1,4 g/cm³. La temperatura de transición vítrea del PVC promedia el rango de 100°C. Estos datos simplemente dependen del grosor



Fig. 31. Caños de PVC

del material y de las resinas que contenga el mismo. En la práctica el acaño de PVC debe ser caletado por los TO a una temperatura de 140 °C para poder comenzar a moldearlo. Se obtiene generalmente por polimerización de cloruro de vinilo monómero (CVM). En la polimerización se forma un polvo blanco, fino, inodoro y químicamente inerte.

Según el INSST (2016) de España el PVC puede ser tóxico. La toxicidad proviene del CVM, compuesto principal de este plástico. La exposición más peligrosa a este compuesto se da en las plantas industriales, al momento de la fabricación del producto en PVC, por lo que el contacto con el material luego de su fabricación no es peligroso. De todas formas el INSST menciona que se debe procurar tener cuidado al trabajar con este material, dado que la exposición a partículas de PVC puede hacer que las mismas se alojen en los pulmones y comenzar a liberar sustancias tóxicas como el CVM que resultan cancerígenas para el cuerpo humano. Otro punto a tener en cuenta es cuando se procede a calentar el material. El PVC es resistente al fuego, no arde salvo en caso de estar en presencia de llama continua pero si se calienta demasiado comienza a carbonizarse y eso puede liberar gases tóxicos.

Ventajas del PVC para los TO:

- La principal ventaja es su bajo costo
- Presenta gran resistencia a la deformación

Desventajas del PVC para los TO:

- No se puede moldear sobre la piel del usuario, esto no permite realizar un molde con exactitud
- Presenta más dificultad para moldear debido a que se deben utilizar guantes de silicona para evitar quemaduras
- Requiere un mayor tiempo de trabajo, debido a que se tiene que preparar el material, deben convertir el caño de PVC en una placa.

- Es modificable solo para realizar pequeños arreglos.



Fig. 32. Férulas realizadas en PVC

Férulas de HDPE reciclado

En base a las diversas problemáticas encontradas con estos dos materiales, se presentó la alternativa de usar las placas de HDPE reciclado para la elaboración de férulas y se concurre al taller de TO con placas plásticas realizadas en LF para hacer un primer acercamiento al material y un ensayo de fabricación de férula.

Para hacer el primer acercamiento a la construcción de férulas con las placas de HDPE reciclado se llevaron a cabo las técnicas de fabricación utilizadas para moldear el termoplástico y el PVC. Se utilizaron placas de 1 mm, 2 mm y 3 mm de espesor.

En primera instancia se trató de aplicar la técnica que se utiliza para ablandar el termoplástico Orfit en la placa de HDPE más fina con el fin de evaluar que sucede. Esta técnica consta de calentar una piletta con agua caliente que no supera los 100 grados, la temperatura de transición vítrea del HDPE es mucho mayor a eso por lo que se tomó la placa de más fina (de 1 mm de espesor) para hacer el ensayo. El plástico HDPE reciclado calentado en agua a menos de 100 grados logró quedar más blando que en su estado frío pero no resultó apto para moldear

En la fabricación de férulas con PVC o HDPE debido a su alta temperatura se deben usar guantes de silicona para manipularlo y darle una primera forma al plástico. Luego de que el material se enfría y queda con la forma deseada se sigue trabajando sobre este con pistola de calor para modificar ciertas zonas específicas y lograr moldearlo a la perfección.



Fig. 33. Férulas realizadas con HDPE reciclado

Sujeción y comodidad

Las férulas requieren de sistemas de sujeción que permitan colocarse, esta sujeción debe ser resistente y en ocasiones debe permitir que el usuario pueda extraerla y volver a ponerla. También en ocasiones es necesario el uso de superficies acolchadas en el interior de las mismas, en zonas donde el plástico apoye contra la piel y/o para disminuir la presión en los bordes. Se busca proteger al usuario ante cualquier inconveniente que pueda tener en el uso, siendo que es un material que presenta dureza

Para la sujeción generalmente se utiliza velcro, además se pueden utilizar vendas de gasas o elásticos. Es importante que los usuarios entiendan dónde van los amarres y que cuiden el velcro porque se deteriora rápidamente. Si se utilizan tiras más anchas para cerrar las férulas, se ejercerá menos presión sobre los tejidos y se logrará una mayor sujeción.

Para las almohadillas se acostumbra a utilizar Polyfoam y goma EVA son utilizados en ocasiones por debajo del velcro para que lo cubra y no lastime la piel, en los bordes de la férula o dentro de la férula en las zonas donde los apoyos de las articulaciones puedan ejercer mayor presión.

Manufactura de férula

Los procesos para realizar una férula varían dependiendo del material con que se fabriquen. En base a la Guía de férulas Orfit (2010) y a los pasos que realizan en el taller de TO se definen los siguientes

1. Dibujar con marcador el contorno de la mano-brazo de la persona sobre un papel contorneando la silueta con un marcador a 90 grados respecto al papel.
2. A este contorno se le dibuja la férula a realizar, teniendo en cuenta el tipo de férula que se va a reproducir y sumando aproximadamente entre 10mm y 15 mm a cada uno de los laterales siendo estos los que van a moldearse de forma curva envolviendo el brazo.
3. Este último dibujo se corta y luego se transfiere al plástico con que se va a conformar la férula.
4. Se corta el plástico. En el caso del Orfit se corta por medio de una tijera. En el caso del PVC o el HDPE se usa tijera de corte para metal y/o caladora de mano
5. Luego se calienta. En el caso del Orfit se remoja en agua caliente a 70 grados promedio para ablandarlo. En el caso

del PVC o el HDPE se coloca en el horno a unos 170 grados para ablandarlo

6. Cuando el plástico está en estado vítreo, se procede a moldear la férula. En el caso del Orfit se moldea sobre la piel del usuario, copiando la forma del brazo-mano y dándole la forma correcta. En el caso del PVC o el HDPE, los TO se deben colocar guantes de protección para manipular el plástico y para moldearlo sobre el brazo
7. El siguiente paso es realizar las modificaciones pertinentes y trabajar sobre los detalles para que la férula quede bien ajustada. Este paso es relevante principalmente en las férulas de PVC o el HDPE dado que por su forma de modelo puede quedar más grande de lo necesario o con variedad de ajustes a realizar. Generalmente estos ajustes se realizan con pistola de calor
8. Finalmente se le aplican los velcros autoadhesivos a la superficie plástica para asegurar una óptima sujeción y/o se agregan superficies acolchadas

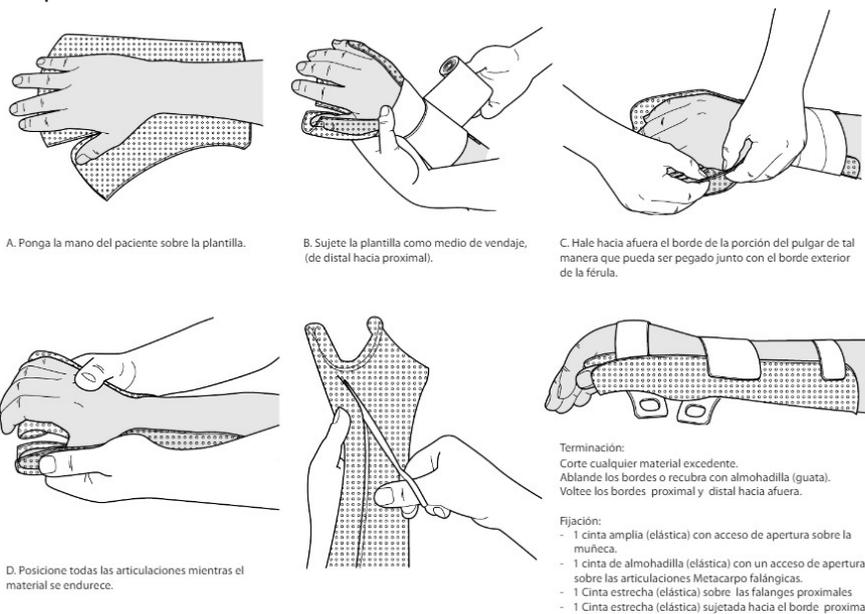


Fig. 34. Procedimiento de realización de férulas según guía Orfit

Resultados:

Como se puede observar, cada plástico tiene diferentes propiedades físicas que lo hacen adecuado para ciertas aplicaciones. El PVC es rígido y resistente, lo que lo hace adecuado para tuberías y perfiles. El HDPE es flexible y resistente a los impactos, lo que lo hace ideal para envases y productos para la casa. El termoplástico Orfit es moldeable a baja temperatura y flexible, lo que lo hace ideal para aplicaciones en el campo de la ortopedia y la fisioterapia.

El resultado obtenido en el ensayo con HDPE fue exitoso, el material fue calentado y se moldeó sin ocasionar problemas. En comparación con el PVC se obtuvo mejor maleabilidad del material, esto llevó a que sea más fácil de moldear. Al igual que con el PVC, una de las problemáticas encontradas fue al momento del moldeado, el usuario debe cubrir su mano con un guante para evitar quemaduras con el material. Es posible ablandar

el material a menor temperatura pero esto hace que pierda maleabilidad.

Otro problema identificado es que el material si se calienta mucho comienza a llegar a su temperatura de transición vítrea, entra en un estado viscoso, esto evita que el plástico mantenga su forma cuando se agarra para moldearlo porque comienza a estirarse y deformarse. Además, el plástico en este estado copia las texturas de los guantes de protección que se usa para manipular el plástico

En cuanto a la materialidad se lograron reconocer propiedades del material muy beneficiosas para la labor. Se pudo reconocer propiedades como la de elasticidad y soldadura del material que presentan similitud con el material de Orfit y un plus para la fabricación

Observaciones:



Observaciones sobre el PVC

- No todos los TO o estudiantes pueden y/o se animan a trabajar en el cortado y moldeado del PVC debido a las complicaciones que se dan en el proceso. Muchas veces se deben usar herramientas como caladoras las cuales no todos los estudiantes están dispuestos a usar.
- El proceso de fabricación genera desechos pertenecientes principalmente a restos de plástico. Estos son ocasionados al momento de cortar la forma de la férula a realizar.
- El proceso de aplanar la curvatura del caño de PVC insuere tiempo valioso de taller para los TO
- Para realizar férulas para miembros inferiores hacen uso de moldes de piernas y pies realizados en yeso. Estos moldes permiten darle una primera forma a la férula sin precisar de la persona física para moldear. Al



Moldeo con pistola de calor



Corte con tijeras



Ensayo de auto adherencia



Primer prueba de férula terminada

momento de aplicar al usuario, esta se prueba y se le realizan los ajustes pertinentes con pistola de calor.

Observación sobre el HDPE

- Para el cortado se probó utilizando una caladora eléctrica y tijeras de corte para metales. El TO destacó la facilidad y poca resistencia que le presentaban las placas de HDPE en comparación a cortar PVC con la caladora. En cuanto el cortado con tijera, se hizo la apreciación de que estas tienen que estar afiladas para lograr un buen corte, si estas están desafiladas las mismas resbalan ante el cortado material

Observación sobre adherencia y estiramiento

- Se realizó una prueba para ver qué tan factible era unir (soldar) el material por medio de su derretimiento. Para esto se tomó dos trozos de HDPE, se calentó uno de sus lados con una pistola de calor y cuando la superficie del material se volvió viscosa (el material estaba derretido) se juntaron aplicando presión. Al enfriarse las mismas estaban soldadas e inseparables, al aplicarle fuerza no era posible separarlas. El HDPE demostró ser beneficioso en este aspecto, con el PVC esta acción no era posible realizarla. Esta cualidad del material es necesaria, dado que les permite modificar, arreglar o reforzar cualquier férula a través de un método sencillo y rápido
- También se probó el estiramiento que presentaba el HDPE. Se observó que el material presenta buen estiramiento con un índice de memoria muy bajo, es decir, el material se estira y no vuelve a su posición original. Este aspecto presenta un plus en la tarea de fabricar, modificar, arreglar o reforzar una férula siendo que en ocasiones es necesario modificar partes de las misma.



Primer prueba de férula terminada

C.

Moldeado de férula

- Prueba de perforaciones
- Ensayo de flexión a 3 puntos y moldeo
- Testeo de moldeo

Moldeado de férula

Información:

Luego de confirmar que la placa plástica de HDPE reciclado sirve para la realización de férulas el interés se enfocó en optimizar el moldeado. Se imitó las perforaciones que posee el termoplástico Orfit en su superficie con el fin de brindar ventilación a la piel. Se estudió y ensayo la estructura del plástico a temperatura ambiente para entender cómo actúan las fuerzas sobre la superficie perforada. También se investigó cómo estas perforaciones pueden ayudar o entorpecer el proceso de modelado de férula

Objetivos:

- Investigar cómo actúan las perforaciones circulares sobre la superficie de la placa plástica cuando está en estado vítreo moldeable
- Investigar cómo actúan las perforaciones circulares sobre la superficie de la placa plástica cuando la férula está realizada y fría

Desarrollo de la actividad e investigación:

Para esta oportunidad se realizó una producción de placas plásticas que fueron perforadas en su totalidad con un taladro de pie. Las mismas fueron testeadas y moldeadas por los TO para comprobar cómo resultaba la materialidad para la realización de férulas. En una segunda etapa se concurreó al Instituto de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería - UdelaR para realizar ensayos sobre las placas perforadas observando cómo se comporta el material variando el espesor de la placa, el diámetro y la distancia entre perforaciones

Prueba de perforaciones

Para realizar una primera prueba se usaron mechas de 8 mm y de 5 mm de diámetro con diferentes distancias entre perforados; las distancias usadas fueron de 15 mm, 20 mm, 30mm. Estas perforaciones fueron hechas teniendo en cuenta el diámetro de perforación más grande que se utilizan en las placas de Orfit (siendo este de 5 mm de diámetro), y se consideró perforar con un diámetro de 8 mm siendo que la rigidez del HDPE es mayor a la del Orfit.

La actividad del moldeado de estas placas se realizó en el taller de TO en donde ellos pudieron probar con las diferentes perforaciones evaluando así si esta modificación era conveniente.

Por lo experimentado en estas pruebas de aproximación, el diámetros de 8 mm pueden generar concentración de tensiones en el material volviéndolo frágil para poder ser moldeado. Esto puede debilitar el plástico de manera significativa y potencialmente conducir a fallas o fracturas en la superficie. En el caso de las perforaciones de 5 mm se logró encontrar una buena maleabilidad del plástico a menor temperatura (Anexo 2).

Al reducir los diámetros de perforación, se reducirán las concentraciones de tensiones¹ y, por ende, el riesgo de debilitar excesivamente el material. Se busca un equilibrio entre debilitamiento controlado y la conservación de las propiedades mecánicas necesarias para el propósito específico del plástico

Para poder definir diámetros de perforación, distancia entre perforaciones y espesor de placa se realizó un ensayo, dado que estas variantes pueden afectar las propiedades mecánicas del plástico

¹ Se refiere al aumento localizado de las fuerzas internas o tensiones en un material en una región específica. Esto ocurre cuando hay una discontinuidad, irregularidad o cambio en la geometría del material

Ensayo de flexión a 3 puntos

Para realizar este ensayo se asistió al Instituto de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería - UdelaR. Esta prueba se realiza con base en la norma ASTM D790¹ correspondiente a ensayos de flexión en 3 puntos sobre plásticos rígidos y semirrígidos. Este es un ensayo que presenta una adaptación a la norma debido a que el material y las muestras son realizadas de forma artesanal y no industrial, es decir, no se tiene control regulado sobre las muestras a ensayar.

El ensayo fue realizado el 5 de julio con una máquina INSTRON MODELO 1011. El ambiente del laboratorio tenía una temperatura de 24°C y una humedad de 64 g / m³. El ensayo se hizo a una velocidad de 50 mm/min.

Debido a la inexactitud y variantes de dimensiones y peso de las placas plásticas se plantea la realización de 5 muestras correspondientes a cada variante a analizar. Para el ensayo se utilizaron placas plásticas de 3 mm y 4 mm de espesor, seccionadas en cuadrados de 12 x 12 cm aprox. En base a los ejemplos de termoplástico perforado de marca Orfit y tomando en cuenta las pruebas realizadas anteriormente se propone hacer el ensayo con diámetros de perforación de 3 mm y de 5 mm variando la distancia de los mismos entre 15 mm y 30 mm

Se calculó el esfuerzo de flexión(σ) para describir el comportamiento de un material bajo carga y comprender cómo se comportará bajo diferentes cargas. Al estudiar el esfuerzo de flexión para seleccionar el perforado del material adecuado, se busca encontrar un equilibrio entre la resis-

1 Es una de varias pruebas diseñadas para medir las propiedades de flexión de los plásticos –al igual que la norma ISO 178–. La sigla significa American Society for Testing and Materials. Una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios por consenso, aplicables a materiales, productos, sistemas y servicios. (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2017)



Fig. 35. Instrumentos de medición, calibre, medidor de espesor y una balanza, usados para tomar medidas de cada una de las muestras



Fig. 36. Máquina INSTRON MODELO 1011 para hacer ensayo de flexión

tencia del material y la aplicación específica. Si se espera que una aplicación esté sujeta a un alto esfuerzo de flexión, significa que las cargas aplicadas inducirán una flexión significativa en el material. En este caso, se necesita un material que tenga una alta resistencia a la flexión para evitar la deformación excesiva o el fallo estructural y para garantizar el rendimiento y la durabilidad. Por lo tanto, al seleccionar el material, se buscará uno con una alta resistencia a la flexión o un módulo de elasticidad alto.

En este caso, el método fue limitado a un alargamiento por flexión del 5%, esto significa que



Testeo de moldeo

Luego de realizar los ensayos correspondientes se concurrió nuevamente al taller de TO para ensayar el moldeo de férulas. En base a los resultados arrojados por el ensayo se definió trabajar únicamente sobre el espesor de 3 mm, dado que el espesor de 4 mm es propenso a fisurarse y quebrarse con más facilidad

El ensayo se realizó con las herramientas y técnicas que los TO usan comúnmente para la fabricación de férulas. Se realizaron placas de 3 mm de espesor con las variantes de diámetros de perforación y distancias de perforados.

El resultado arrojado de este testeo es en base a el comportamiento que presente el plástico al moldearse y a la experiencia vivida por el TO que las moldea, en base a sus opiniones se tomará una decisión

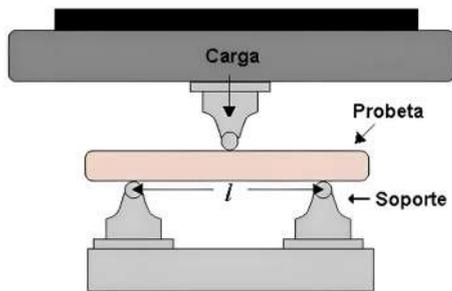


Fig. 37. Ensayo de flexión a tres puntos

fue establecido un criterio específico para la deformación permitida en la muestra. Es una forma de controlar la deformación elástica de la muestra durante el ensayo y asegurar que no se produzcan deformaciones excesivas o irreversibles. Ayuda a garantizar que los resultados del ensayo sean comparables y consistentes entre diferentes muestras y condiciones de prueba.



Fig. 38. Ensayo de flexión a tres puntos de muestras en HDPE reciclado (Anexo2)



Resultados:

En general, se observó que las perforaciones aplicadas al material no causan cambios significativos en las propiedades mecánicas del mismo. En base a los espesores de las placas se puede notar que en cada una de las pruebas el espesor de 4 mm resultó menos flexible y más quebradizo que el espesor de 3 mm. Al mismo tiempo el espesor de 4 mm mantuvo menos variabilidad en el esfuerzo aplicado que la placa de espesor 3 mm.

Se confirma que las placas presentan variaciones en su espesor aprox. de ± 3 mm en promedio, esto se pudo ver en base a las diferentes muestras ensayadas. Esta variación es permanente e incontrolable en cada una de las placas producidas debido a su forma de producción semi industrial. Es una variante a tomar en consideración y que no afecta en grandes medidas en la fabricación del producto final.

En base a las variantes de diámetro y distancia entre perforaciones, se determinó que la variante de diámetro 5 mm cada 15 mm de distancia fue la que más debilitó ambos espesores de placas, esta opción queda descartada debido a su alta tendencia a la fragilidad. Por otro lado, la variante de diámetro 3 mm cada 30 mm de distancia fue la opción que más resistencia tuvo en ambos espesores de placas.

En los dos espesores de placas se observa que las variantes de perforación de diámetro 3 mm cada 30 mm de distancia son las que presentan menos diferencia con la variante sin perforaciones, esta variante sería la indicada. Sin embargo al momento de ensayar esta variante en el moldearlo de férula no representó cambios significativos en la facilidad de moldeo como si lo significó la variante de diámetro 5 mm cada 30 mm de distancia.

Se ha determinado que las perforaciones de 5 mm cada 30 mm de distancia proporcionarán la cantidad precisa de debilitamiento sin comprometer en gran medida la resistencia estructural del material. Las mismas permiten un espaciado adecuado para la función de ventilación y una distribución equilibrada, lo que garantiza una debilitación uniforme y controlada. El plástico debe debilitarse sin comprometer en exceso su integridad estructural. El debilitamiento del plástico puede estar relacionado con las fluctuaciones de temperatura a las que se someterá en su uso final. Diámetros de perforación más grandes pueden aumentar la susceptibilidad del material a cambios dimensionales y deformaciones térmicas.

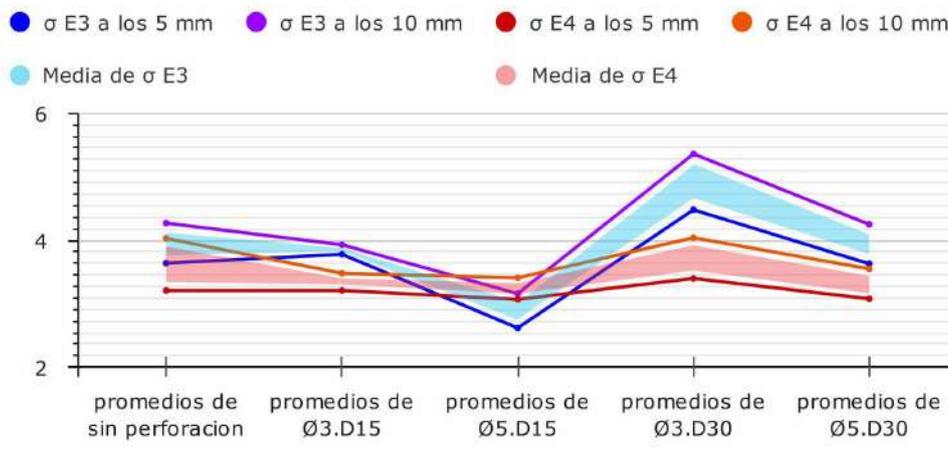
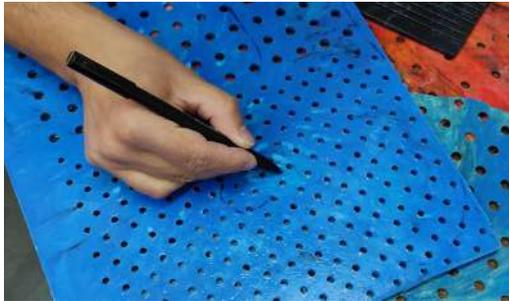


Fig. 39. Gráfica de ensayo de flexión a tres puntos sobre de muestras en HDPE reciclado

Observaciones:



Placas perforadas



Corte de férula



Calentamiento de férula



Corte de férula con caladora

- Siendo que las planchas estaban agujereadas en su totalidad, al cortar el material para darle forma de férula, los terapeutas pasaron sobre algunos de los orificios. Esto generó irregularidades en el corte dejando algunas zonas de la férula discontinua o con puntas inapropiadas para su uso
- Para realizar férulas en ocasiones es necesario cortar el plástico generando curvas muy cerradas. En estas situaciones se noto ciertas complicaciones para dar forma a estas curvas haciendo que queden irregularidades en el corte de la férula
- Considerando que las perforaciones se realizaron en toda la superficie se observó que la zona del pulgar queda muy débil, precisa mayor rigidez dado que es un área que queda separada de la estructura general de la férula.
- Los lugares en donde las perforaciones son necesarias son sobre la palma de la mano y en el tramo entre la muñeca y el codo. Estas dos zonas son las que presentan cambios direccionales de las curvas que requieren mayor fuerza de moldeo



Detalles de fabricación



D.

Producción de pre férula

- Tipologías de férulas
- Análisis Antropométrico
- Desarrollo de moldería
- Trazado pre férula y moldeado de férula

Producción de pre férula

Información:

Luego de entender el comportamiento y resistencia del plástico perforado, definir qué tipo de perforado es útil para el trabajo y con el propósito de optimizar los procesos de fabricación, se investigó la posibilidad de implementar algún método de moldeo, un sistema de producción adaptado a la productividad de LF. Este método debe adaptarse a los procesos de fabricación de LF y debe permitir a los TO moldear la férula.

Objetivos:

- Definir un método de fabricación que se adapte a las técnicas de producción de LF
- Definir tipología y medidas de férulas a producir con un sistema de producción
- Evaluar cómo funciona la propuesta de pre férulas en el taller de TO

Desarrollo de la actividad e investigación:

La búsqueda de este método se centró en generar un producto en 2D (plano) que permita ser entregado a los TO para que ellos puedan moldearlo y así adaptarlo a los usuarios.

Para lograr esto, se decidió definir una tipología de férula sobre la cual trabajar y realizar el ensayo. Se definió una forma para ese producto en 2D (plano), a este producto lo llamaremos Pre férula. En base a la diversidad de cuerpos se debe considerar la variabilidad de medidas de manos y brazos en la población Uruguaya. En esta instancia se tuvo en cuenta generar una pequeña muestra de antropometría para determinar la variabilidad de medidas y de esta forma definir si es necesario generar talles, y de ser necesario que cantidad de talles se deben de realizar

Tipologías de férulas

Para definir la tipología de férula a trabajar se utilizaron datos e información correspondientes a Orfit, relevamientos e investigaciones internas del taller de TO del HC y libros como Johnson y Johnson (s.f.). Se tomó como relevante la opinión de los TO y los datos relevados sobre la productividad de férulas que se realizan en el taller.

En base a esto se definió trabajar sobre una tipología de férula de miembro superior, específicamente del tipo que fabrican en taller. El tipo de férula sobre el que se va a trabajar son férulas inmovilizadoras y se denominan como Palmetas de reposo o descanso.

El objetivo de la misma es inmovilizar la musculatura intrínseca de la mano. Se busca la estabilización dinámica de la muñeca, la mano y los dedos en una situación de reposo. Esta férula se suelen colocar intercaladamente a lo largo del día - 2 horas de uso, 2 horas de descanso -



Fig. 40. Ferula de descanso

Análisis Antropométrico

Se busca examinar la antropometría de la población uruguaya para poder definir talles para la fabricación de Pre férulas. La población de estudio comprendió personas de sexo masculino y femenino entre los 20 y los 65 años excluyendo personas que presenten una lesión o patología funcional o estructural diagnosticada en el segmento a evaluar en los últimos 12 meses. Estas edades fueron tenidas en cuenta en base a que en el HC se atiende personas mayores de edad y considerando que en el rango entre esas edades las personas tienden a variar muy poco sus medidas antropométricas

El muestreo constó del relevamiento antropométrico de 20 personas (Anexo 3). En específico se tomaron medidas referentes a la mano y el brazo. Para la toma de medidas se tuvo en cuenta aspectos mencionados en Ferreira, A (2017) y fichas existentes de la empresa Fiixit donde se relevan medidas antropométricas para realizar yesos en impresión 3d (Anexo 7).

Las medidas que se tomarán en cuenta serán:

- A. Largura de palma de mano. Distancia vertical desde la base de la mano (primer pliegue de la muñeca) hasta la base del tercer dedo (medio).
- B. Ancho de palma de mano. Distancia horizontal desde borde externo lateral (región hipotenar) sobre el 5to dedo (meñique), hasta el borde lateral del 2do dedo (índice) a nivel del nudillo (región tenar). Línea a través de los puntos finales de los huesos metacarpianos
- C. Largura de mano. Distancia vertical desde la base de la mano (primer pliegue de la muñeca) hasta la punta (pulpejo) del tercer dedo (medio).
- D. Ancho máximo de la mano. Distancia entre la cabeza del quinto metacarpiano por lateral hasta la cabeza del primer metacarpiano por lateral.
- E. Longitud del codo al dedo medio. Es la distancia desde la punta del codo a la punta del dedo medio

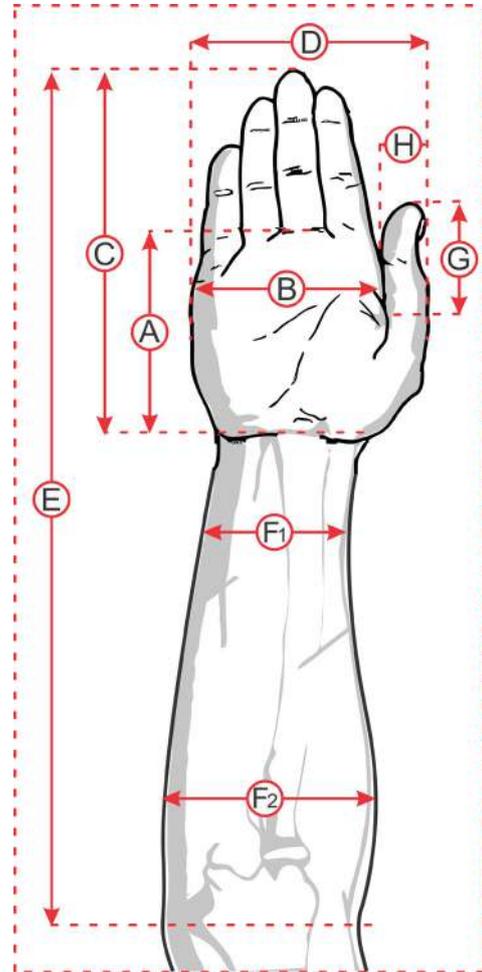


Fig. 41. Referenciá de las medidas que se tomaron de mano-brazo (Anexo 3)

- F. Ancho de antebrazo. Distancia entre los lados del brazo, esta se toma en dos secciones dado que el antebrazo se ensancha próximo al codo y se vuelve más delgado sobre la muñeca. Se toma la media máxima y la medida mínima del antebrazo
- G. Largo de dedo pulgar. Distancia vertical desde la punta del dedo pulgar hasta su base.
- H. Ancho de dedo pulgar. Distancia horizontal tomada desde el frente al dedo pulgar (en el mismo plano en donde se encuentra la uña)
- I. Longitud del dedo medio hasta la parte más ancha del brazo F2



Desarrollo de moldería

Se investigaron los percentiles de 5, 30, 50, 70, y 95 y las diferencias milimétricas entre los mismos para tomar la decisión de cuantos talles se deben plantear y con qué medidas. En base a la toma de medidas antropométricas, los datos analizados y a la opinión profesional del TO se tomó la decisión de realizar 3 talles de férulas, uno con base en los datos del 30 percentil, otro en base a el 70 percentil y otro con base en el 95 percentil. (ver en resultados las especificaciones de los talles)

Teniendo definidos los talles a producir, se buscó generar procesos semi industriales de producción que pudieran adaptarse a las formas de producción de LF y que evitaran la adopción de nuevos procesos para ellos.

Para la fabricación de la moldería hay que tener en cuenta los procesos de fabricación que se realizan en LF, los procesos de modelado que tienen los TO y los costos agregados que puede implicar la creación de moldería. Las alternativas encontradas para la producción de Pre férulas fueron buscadas en conjunto con el personal de LF.

Las alternativas fueron las siguientes:

A- Corte por fresado CNC. Esta técnica es la que realizan hoy en día para fabricar varios de sus productos. Luego de que la placa está creada y fría se pasa a una fresadora para ser cortada por medio de una máquina CNC



Fig. 42. Corte por fresado

B - Corte por troquel. Costaría de fundir el plástico con el espesor determinado, para luego (mientras se encuentra fundido en estado vítreo) aplicar presión con un molde de cuchillas para cortar la pieza deseada. Extraer el sobrante y así dejar la preferida pronta. Este procedimiento es la técnica que se realiza para el cortado de cajas de cartón o de piezas de cuero.

Trazado de pre férula y moldeado de férula



Fig. 43. Corte por troquel

C- Moldería plana. En este caso el plástico se fundirá dentro de un molde plano adaptándose al mismo. El molde es una pieza rectangular de acero o acrílico que presenta el espesor deseado en la férula (3 mm) el mismo presenta calada la figura de Pre férula. Este sistema es el que hoy en día usan en la fábrica para realizar las placas plásticas



Fig. 44. Moldería plana

Se propone usar una matriz comparativa para valorar y comparar alternativas de producción para la pre férula y seleccionar la que más se ajuste a los requisitos planteados. Se plantea una matriz de doble entrada, cruzando un listado de requisitos con las alternativas. (anexo 6)

En el proceso se llevó a cabo un ensayo que involucró la creación de un prototipo con el objetivo de definir un trazado para este dispositivo. Se buscó perfeccionar el desarrollo de la férula considerando el estudio antropométrico y las diferentes direcciones de curvatura que se deben realizar en el material cuando se moldea la pre férula.

Al inicio, para la creación del trazado de la pre férula, se aplicaron las técnicas convencionales empleadas por los TO. Sin embargo, a medida que se avanzó, se hizo evidente la necesidad de generar un trazado diferente y adaptado a este material específico y a las medidas relevadas dado que al moldearlo las curvaturas superficiales se comportan de forma diferente a las de los otros plásticos. Un desafío en este proceso fue el moldeado de la zona del pulgar, debido a las curvaturas inherentes al brazo y la mano que presenta.

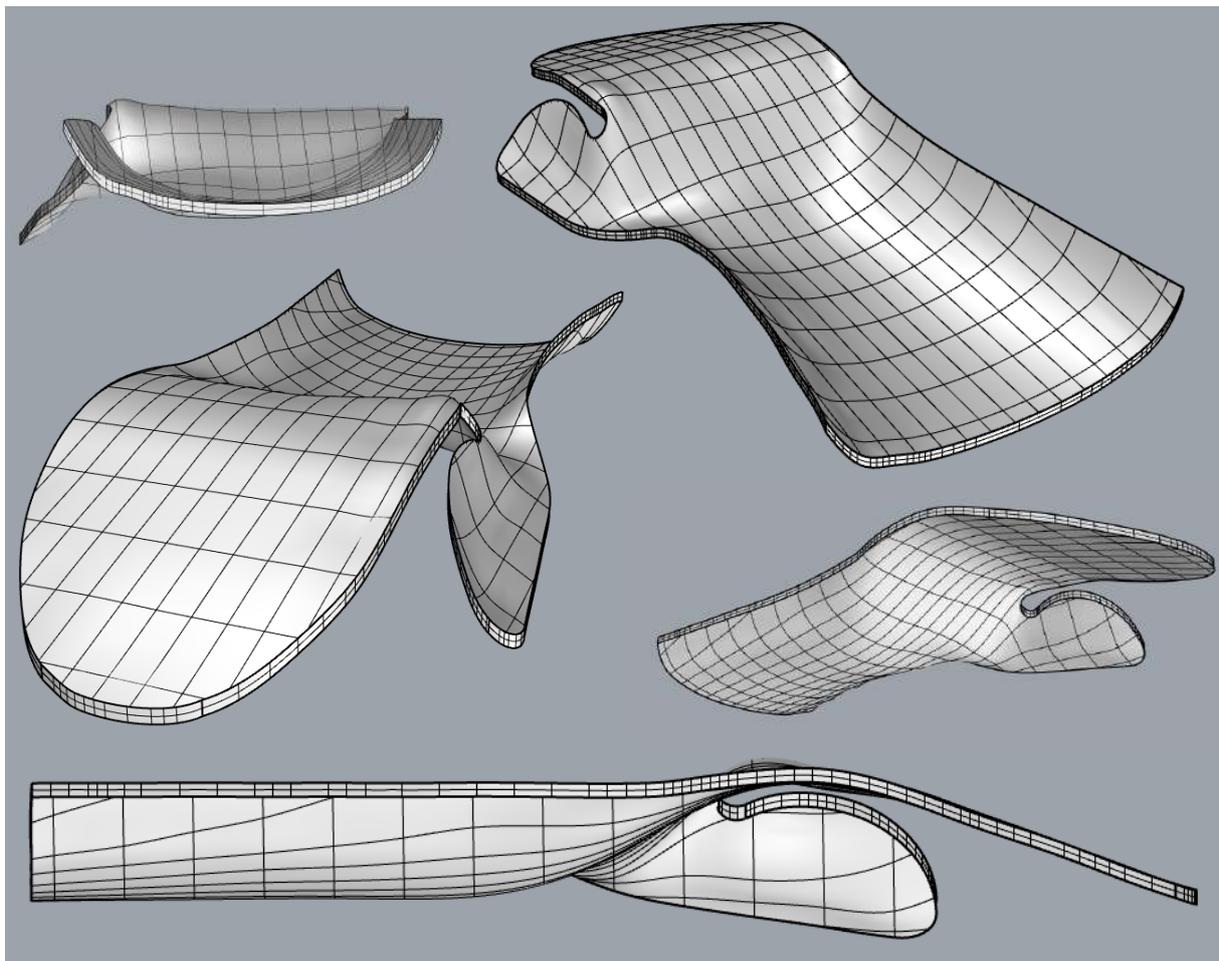


Fig. 45. Trazado de mano de paciente junto al trazado de la férula a realizar

En primer lugar, se centró el trabajo en entender cómo se comportaba la férula clásica realizada por los TO al momento de pasar de la bidimensionalidad a la tridimensionalidad en, esta transición se observó la cantidad de material restante que se generó.

En segundo lugar, se aplicaron las medidas antropométricas relevadas a este trazado existente para lograr generar un trazado geométrico, a medida y estandarizado. Al moldear el mismo se hicieron observaciones sobre el cambio de curvaturas que se genera en las diferentes partes de la mano-brazo, por lo que se debían hacer modificaciones en base a cómo se comportará la férula en la etapa de moldeo

Por ultimo, partiendo del análisis anterior se fueron haciendo diferentes modificaciones sobre el trazado para hacer pruebas de moldeo y llegar a un trazado definido que lograrse curvarse de forma que se adapte adecuadamente a las curvaturas naturales de la mano-brazo. Se trabajó sobre el trazado diseñado rectas con puntos de intersección secantes con ángulos rectos u obtusos que permitiera la transición direccional de las curvaturas a moldear de manera eficaz. Estos puntos de intersección resultaron fundamentales para moldear la férula y adaptar las curvas de manera precisa a la forma de la mano-brazo. Se logró una transición fluida del plano bidimensional al tridimensional.

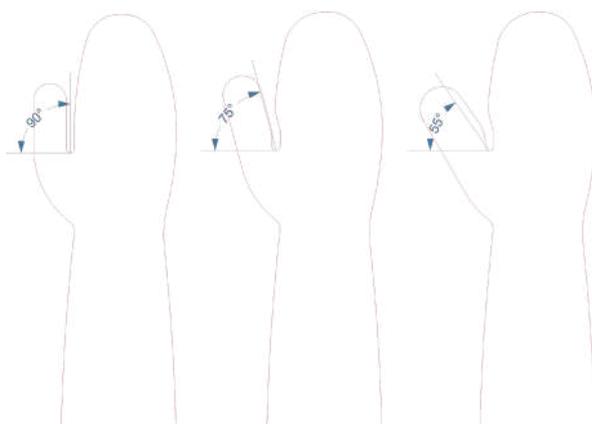


Estudio de curvaturas de férula



Resultados:

El ensayo de trazados de pre férulas representó un proceso crucial de adaptación de las técnicas clásicas usadas por los TO a un trazado adaptado al proceso de fabricación por moldería y a las características del material para poder ser moldeado por los TO. Hasta el momento no se había elaborado ningún ensayo basado en el trazado formal de una férula en el taller de TO del HC. (Anexo 4)



Proceso de trazado vectorizado de mano de pre férula

Esta mejora en la línea productiva optimiza el tiempo de fabricación de férulas, dado que no sería necesario cortar la placa plástica. También significa un ahorro de recursos económicos, dado que la cantidad de material utilizado será menor que el usado para las placas plásticas disminuyendo la cantidad de desperdicios generados correspondientes a los sobrantes de material al momento de hacer la férula. Esto impacta directamente sobre el costo final de pre férula ya que el plástico reciclado se cobra en base al peso.

Con base en las muestras antropométricas se definieron 3 talles a realizar. Se observó que la mayor cantidad de personas se aproximan al percentil 50 por lo que es importante dar prioridad a las medidas cercanas a este valor, esto garantizará un ajuste adecuado para la mayoría de los usuarios. Se tomó desde el percentil 30 hasta el 70 para definir el talle intermedio. Siendo las medidas del percentil 30 las elegidas para el talle chico. Por otra parte, para el talle mas grande se definió usar el percentil 95

Para asegurar que las férulas sean cómodas y funcionales, se han agregado milímetros adicionales a las medidas correspondientes a los anchos. Considerando la técnica al momento de realizar una férula, cuando se dibuja el contorno del brazo-mano, se debió agregar entre 10 mm para cada lado, principalmente en la parte del antebrazo y sobre el exterior del dedo pulgar (Anexo 7). Se agregó 20 mm a las medidas correspondientes para contemplar este detalle de fabricación

Por otro lado, en cuanto sistema de fabricación, el sistema de moldería plana (C) sería el elegido para este proceso de elaboración de la pre férula debido a que requiere baja inversión, no resulta ser proceso extra en la línea de producción de la fábrica y cumple con los requisitos indispensables y deseables. El sistema de producción para una primera etapa de prueba sería en moldes planos realizados en acrílico. Los mismos tendrán más desgaste en el tiempo pero en comparación

con los realizados en acero serán menos costosos

En lo que refiere a los otros dos métodos tienen sus particularidades (Anexo 6). El método de fresado resulta ser muy caro debido a que primero se debe elaborar la placa y luego ruterarla, tiene un proceso extra que se cobra a parte. Mientras que el proceso por troquelado por el

momento no resulta debido a que no se tiene la demanda necesaria para invertir en la realización de troqueles y la máquina actual con la que trabaja la fábrica no es la más favorable para esta tarea de troquelar.

Observaciones:



Corte de modelo de pre férula



Ensayos de pre férula

- En base a la forma de fabricación que tiene LF y al proceso de moldeado que hacen los TO las pre férulas deben ser planas. No se buscará realizar bajos relieves ni modificaciones que impliquen volumetría tridimensional.
- Al proponer que el producto sea plano e igual en sus dos caras, la pre férula permite que se usen tanto para mano izquierda como derecha.
- Se debe realizar un sistema que permita realizar las perforaciones en su correcto lugar
- Se debe tener en cuenta que es necesario un aislante para que el plástico no se pegue al molde, para esto se podría usar un producto llamado teflón en aerosol, este genera una película en la superficie donde se aplica, evitando que el plástico en estado vítreo se pegue a las superficies.
- El proceso en CNC sirve como proceso alternativo para la creación de perforaciones, los prototipos están generados por medio de este sistema



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Trazado final de PreFérula
- Análisis sobre Costo, Tiempo y Beneficio de la aplicación de HDPE
- Evaluación sobre la circularidad del proyecto
- Matriz de riesgo

Trazado final de PreFérula

Se logró llegar a un desarrollo e implementación de un trazado de férula que responde a las diversas curvaturas requeridas para el moldeo de una férula de reposo.

La atención cuidadosa a las curvaturas naturales de la mano y la incorporación de filas estratégicas de perforaciones en diferentes áreas, como el brazo, la palma y el pulgar, evidencian un enfoque detallado en la adaptación del diseño a las necesidades anatómicas. Las decisiones tomadas en base a la observación del comportamiento del plástico durante el proceso de calentamiento y moldeo demuestran una aplicación práctica.

En comparación con las técnicas convencionales empleadas inicialmente, el enfoque en la generación precisa de curvas cortantes ha demostrado ser esencial para el éxito del proceso. La transición fluida del plano bidimensional al tridimensional, especialmente en la zona del pulgar, ha mejorado significativamente al implementar estratégicamente las perforaciones de ventilación



Análisis sobre Costo, Tiempo y Beneficio de la aplicación de HDPE

Este análisis está realizado desde la perspectiva de los TO. La relación de costo-beneficio va a estar definida en base a los materiales mencionados anteriormente (Termoplástico Orfit, PVC y HDPE reciclado) para la fabricación de la férula y en el tiempo que se invierte en la aplicación de las mismas a los usuarios. El uso de insumos para proporcionar sujeción y comodidad de la férula se replican para todas las opciones de materia prima mencionada por lo que no se va a tomar como factor a evaluar.

Por otro lado, se tendrá en cuenta los beneficios que brinda cada material con base en la comparación de sus propiedades físicas y mecánicas presentes en cada uno. Siendo el termoplástico Orfit la opción por excelencia - por ser un plástico diseñado específicamente para este propósito- se tomará como referencia ideal con la cual comparar.

De la comparación correspondiente a los factores se puede mencionar que si bien el HDPE termina siendo una opción un tanto más costosa que el PVC, tiene a favor que no requiere tanto tiempo de producción debido a que el material ya viene plano y resulta ser más fácil para trabajar y moldear. Si a esto le sumamos el caso de la pre férula, esta tiene mayores beneficios dado que viene con su forma predeterminada para evitar cortar y desperdiciar material. También sus características permiten que en el futuro se pueda modificar y arreglar sin problemas, hasta poder ser adaptada para otros usuarios.

Al hacer foco en los beneficios que presenta cada uno de los materiales, es notorio como el plástico HDPE reciclado es semejante al termoplástico, si bien no es posible ablandarlo con agua caliente y moldearlo sobre la piel de los usuarios las características de elasticidad, adherencia térmica, la alta maleabilidad y la precisión en el moldeo que se logra con este material son mucho mejores a las del PVC y se logran resultados similares a el material termoplástico.

		Termoplástico Orfit	PVC	HDPE reciclado		Pre ferula
	Presentaciones	Plancha 50 x 40 cm	Caño 300 x 28 cm	Plancha 60 x 40 cm		formato definido
	costo	\$ 2200	\$ 1080	\$ 330		sin perforaciones \$70 con perforaciones \$120
	Costo por m2	\$ 11000	\$ 1285	\$ 1375		x
	Cantidad de férulas de reposo por tamaño de presentaciones	2 unidades	20 unidades	3 unidades		1 unidad
TIEMPOS	Compra de insumo	0 min viene en planchas	15 min deben cortarlo y aplanarlo	0 min viene en planchas		0 min Se compra, viene la pre ferula pronta
	Desarrollo de ferula	10 min trazado de mano del usuario y corte de plástico	15 min trazado de mano del usuario y corte de plástico	15 min trazado de mano del usuario y corte de plástico		5 min viene por talle, si es necesario se hacen modificaciones
	Moldeado de ferula	6 min Utiliza agua caliente	20 min Utiliza horno caliente y pistola de calor	15 min Utiliza horno caliente y pistola de calor		15 min Utiliza horno caliente y pistola de calor
BENEFICIOS	Baja temperatura de moldeado	60 - 80 °C	100 - 140 °C	125 - 140 °C		
	Transparencia	SI	NO	NO		
	Opciones de color	No son tan comunes, debido al color tienen un precio mas elevado	Viene solo en blanco	Existen tantos colores y variaciones como colores de tapitas existen		
	Memoria elastica	SI	NO	Presenta memoria. Es menor a la que presenta el Orfit		
	Elasticidad	SI	NO	SI		
	Prop. antibacterianas	SI	NO	SI		
	Auto Adherencia	SI	NO	SI		
	Maleabilidad	SI	NO	SI		
	Precision de moldeo	SI	NO	Es posible llegar a moldear con gran precision. No iguala al Orfit en este aspecto		
	Modificacion de color cuando es calentado	Si. Se comienza a poner transparente para facilitar el moldeo	Si. Es posible que suceda cuando recibe mucho calor. Queda amarillento	NO		
Reutilizable	SI	Es posible pero no es facil. Cuando mas veces se calienta mas duro queda	SI			

Análisis sobre Costo, Tiempo y Beneficio de la aplicación de HDPE

Evaluación sobre la circularidad del proyecto

En base a lo establecido en el manual de economía circular de Capricho N. (2020) y lo mencionado por la fundación Ellen MacArthur se procede a definir Los modelos de negocio de economía circular que se vinculan con este proyecto

El hecho de tomar la tapa de refresco monomaterial como insumo principal con el objetivo de reciclar y re convertirlo en otro producto es considerado una recuperación de recursos. Los productos de un solo uso como son las tapas de plástico son vistos como una oportunidad, se recupera el valor al final del ciclo de vida del producto y de esta forma comienza otro ciclo a través del reciclaje. Los desechos derivados del trabajo con las placas de tapas fundidas pueden ser reutilizadas y refundidas con el fin de que vuelvan al ciclo de vida. De esta recuperación de recursos también participan los TO dado que para facilitar este proceso de recuperación, los productos que en este caso con las férulas deben poder desmontarse fácil y no tener productos anexos que compliquen su reciclado. Por otro lado, la Extensión de ciclo de vida de un producto también se hace presente. Este mode-

lo sucede en la etapa en donde los TO reciben la férula y se la entregan a sus usuarios. Mediante la reparación, el reacondicionamiento o la remanufactura de las férulas logran que estas sigan siendo útiles tanto para su poseedor original o para otras personas las cuales reciben férulas que están en desuso y que gracias a que el material es modificable se pueden adaptar

También se podría implementar un modelo de negocio de Plataformas compartidas. En este caso la colaboración entre organizaciones no es existente debido a que LF consigue sus propios recursos y los TO hacen una compra directa pero se podría proponer y potenciar aún más la relación entre organizaciones por medio de la inclusión de los usuarios. Se podría generar un sistema donde se solicite a los usuarios reciclar tapas de refrescos en las instalaciones del HC para donar a LF y de esta forma contribuir a la realización de más férulas y al reciclado de plástico.

Si nos centramos en el producto finalizado, para su uso se le añade insumos externos como pueden ser velcros, vendas elásticas o superficies

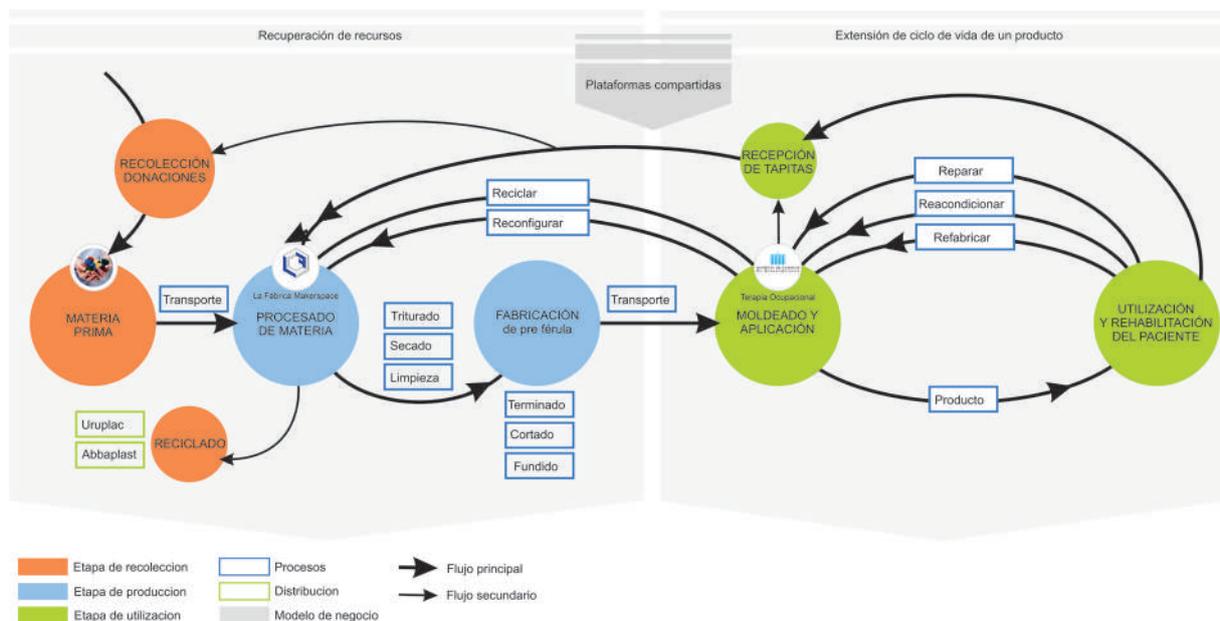


Fig. 46. Posible modelos de negocio de economía circular



Matriz de riesgo

acolchonada goma EVA o tela. Los mismos son adheridos mediante pegamentos que no corroen el plástico o tan solo ubicados en el lugar sin modificar ni alterar el HDPE. Esto permite que el mismo se pueda volver a modificar, rehusar para otro usuario o reciclar en la línea de producción de LF con el fin de desarrollar otro producto.

Para darle cierre a este ciclo circular de plástico es posible derivarlo a otras empresas que lo reciclan con el fin de generar otros productos. En la investigación se pudo detectar que el material se puede volver a reutilizar pero con cierto criterio, dado el estudio sobre las propiedades es sabido que cuanto más se precede el HDPE reciclado va a ir perdiendo propiedades. Esto puede hacer que el plástico pierda flexibilidad y sea frágil quebrándose con facilidad. En este caso la pieza no sería de utilidad por esto mismo la opción de que sea reciclado por otra empresa como Uruplac o Abbiplast para otros fines es posible, evitando así que se vuelva un desecho

La matriz de riesgos es una herramienta de gestión que sirve para identificar, evaluar y priorizar los riesgos que enfrenta el proyecto. Proporciona una base sólida para la toma de decisiones, la planificación de acciones de mitigación y el monitoreo continuo de los riesgos, lo que contribuye a la protección del proyecto frente a amenazas y al logro de los objetivos con mayor éxito.

Dentro de los riesgos detectados ninguno es mayormente probable ni catastrófico. Esto se debe a que el sistema de productividad es muy simple, los procesos son replicables en cualquier otro taller que tenga las herramientas necesarias para calentar y prensar el plástico. Se puede concluir

- El riesgo “Posibles cambios en las normativas de reciclaje en Uruguay que afecten la viabilidad” es el más crítico. Este riesgo debe ser abordado con mayor prioridad y planificar estrategias para adaptarse a los cambios regula-

		Gravedad				
		Insignificante	Menor	Moderada	Importante	Catastrófica
Probabilidad	Muy probable					
	Probable				Cambios en las normativas de reciclaje en Uruguay	
	Posible			Competencia con otros proveedores de férulas tradicionales		
	No es probable		Disminución de calidad en las férulas fabricadas por LF	No conformidad de los pacientes hacia las férulas de plástico reciclado	Cierre del emprendimiento LF	
	muy improbable	Se logra conseguir termoplastico mas barato	Escasa demanda de férulas fabricadas con plástico reciclado		Interrupcion de suministros de materia prima para LF	

Fig. 47. Matriz de riesgo aplicada al proyecto en cuestión

torios que puedan surgir.

- El riesgo de “Interrupción en la cadena de suministros de materia prima para LF” es poco probable, pero tiene una gravedad importante. La cantidad de plástico para reciclar es mucha por lo que el producto específico que usan hoy en día son las tapas , por lo que se deben establecer planes de contingencia y diversificar las fuentes de suministro para evitar impactos significativos en la producción en caso de cualquier interrupción inesperada.

- Es alentador observar que el riesgo de “Cierre del emprendimiento LF” es considerado muy improbable, lo que sugiere que el negocio tiene una base sólida y posibilidades de mantenerse en funcionamiento. Por medio de la elaboración de férulas se le permite a LF extender su mercado y sus posibilidades de venta, es importante seguir ajustando la estrategia empresarial para garantizar la continuidad a largo plazo.

- Los riesgos relacionados con la calidad y la demanda de las férulas fabricadas con plástico reciclado, así como la conformidad de los usuarios hacia ellas, tienen una probabilidad y gravedad moderadas. Es entendible que los usuarios del HC se ven limitados económicamente a aceptar las ayudas técnicas que le otorgan gratuitamente en el taller de TO pero de todas maneras es esencial realizar estudios de mercado para comprender mejor las necesidades y preferencias de los posibles clientes. La realización de productos de rehabilitación estandarizados realizados con este material es una posible opción a futuro y para esto de deben garantizar altos estándares de calidad.

Como estrategias de Mitigación, es necesario que LF planifique qué otros productos plásticos poder reciclar y de donde obtener los mismos así tener una opción B en caso de que las normativas de reciclaje Uruguayas cambien y no le permita seguir obteniendo insumos plásticos. Para esto las alianzas y acuerdos con empresas u organizaciones es beneficioso para mantener proveedores estratégicos para enfrentar situa-

ciones inesperadas.

Para abordar el riesgo de disminución de calidad y la no conformidad de los usuarios hacia las férulas de plástico reciclado, es esencial implementar por parte de los TO un riguroso control de calidad en todo el proceso de fabricación y recopilar opiniones por parte de los usuarios para mejorar continuamente los productos y servicios.



03. CONCLUSIONES

- Conclusiones
- Conclusiones abiertas

En las conclusiones se pretende brindar una evaluación integral del proyecto y definir la viabilidad y el potencial del plástico HDPE reciclado para la fabricación de férulas en el ámbito de la terapia ocupacional. Se presentan los hallazgos específicos de la investigación que parten de los análisis de los resultados y objetivos establecidos.



Conclusiones

Se puede concluir que es posible realizar férulas a partir de material plástico HDPE reciclado proveniente de tapas de refresco. El material resultó ser amigable tanto en su producción como en su manipulación para la fabricación de dispositivos. La investigación buscó llegar más en profundidad guiando a un posible método de producción semi industrial y estandarizando por medio de moldería aplicada. Sin embargo es relevante entender que la simple placa plástica que produce LF en la actualidad ya es un insumo que puede ser utilizado para la fabricación de férulas sin realizar ninguna modificación a la placa. Los métodos y técnicas aplicadas para la producción de férulas con PVC son replicables en el HDPE reciclado y hasta presentan mejor rendimiento en cuanto manipulación del material y tiempos de elaboración.

El HDPE reciclado presenta ventajas significativas en comparación con el PVC en términos de facilidad de trabajo, tiempo de trabajo y rendimiento de material. Además, el material reciclado presenta propiedades físicas y mecánicas que el PVC no presenta, lo que lo convierte en una opción deseable y sostenible. Se pudo identificar que el HDPE es un material fácilmente maleable y moldeable cuando se calienta. Algunas de las propiedades como la elasticidad y la autoadherencia del mismo material por medio de su derretimiento, significan un beneficio en la fabricación de férulas y de otros dispositivos ortopédicos. El material no llega a igualar las propiedades del termoplástico Orfit pero sí permite la creación de ortesis funcionales que se adapten al cuerpo del usuario y logren cumplir con su propósito de inmovilizar la zona del cuerpo afectada

El uso de HDPE reciclado en lugar de materiales termoplásticos tradicionales ayuda a reducir los costos, es un material fácil de trabajar y accesible que puede contribuir a que más personas tengan acceso a estos dispositivos ortopédicos. Si bien se identificó que el metro cuadrado de HDPE es un poco más costoso que el de PVC, es importante considerar los factores antes mencionados

que influyen directamente en la eficiencia de la producción y la calidad del producto final.

En lo que respecta a la producción de pre férula, se logró llegar a una propuesta productiva que optimiza el proceso de fabricación de férulas para los TO, no presenta cambios significativos en los procesos de producción que realiza LF en su taller y se permite llegar a un producto estandarizado del cual no se genera desperdicios al realizar la férula. El sistema de moldería está basado en los procesos existentes de fabricación que tienen LF.

El proyecto demuestra compromiso con los principios de la economía circular al utilizar tapas de refresco como materia prima. Esto promueve y contribuye a la recuperación de recursos al darle una segunda vida a envases de un solo uso y colabora a la reducción de la demanda de plástico virgen. La propuesta no solo beneficia a la optimización de tiempos y recursos en el taller de TO del HC, también abre un nuevo mercado de venta para LF.

Proyectos de este tipo permiten al diseño industrial encontrar un lugar relevante en disciplinas como la salud propiciando las bases para futuras investigaciones y colaboraciones interdisciplinarias. La investigación ha dejado posibles temáticas para seguir desarrollando investigaciones futuras, que aborden de forma más exhaustiva algunas de las áreas investigadas. La interacción entre el Diseño Industrial y la Terapia Ocupacional, se revela como un camino prometedor para abordar desafíos en el ámbito de la salud y la rehabilitación. Representa una oportunidad significativa para avanzar en la creación de soluciones innovadoras y centradas en el usuario en el campo de la rehabilitación.



Lineamientos a desarrollar

Se invita a seguir explorando y construyendo sobre la base establecida por este proyecto, promoviendo así un desarrollo continuo en el diseño industrial. Algunas de las etapas desarrolladas en esta investigación podrían ser profundizadas y trabajadas para optimizar aún más la aplicación del HDPE reciclado a las férulas.

Métodos de producción:

Si bien la investigación avanzó hacia la creación de moldería aplicada y enfocada en los procesos que realiza LF hoy en día, existe la posibilidad de explorar otros métodos de producción. Métodos que requieran de inversión económica y/o instalaciones para la manufactura. Este enfoque podría facilitar la adopción a mayor escala de las férulas fabricadas con HDPE reciclado.

Exploración de propiedades del HDPE reciclado:

La investigación resalta por las propiedades del HDPE reciclado en comparación con el PVC. Siendo esto un factor destacable se podría estudiar la materialidad más a fondo. Esto podría implicar la investigación de técnicas de refuerzo o aditivos que puedan mejorar las propiedades mecánicas del HDPE reciclado sin comprometer su maleabilidad.

Ampliar materialidad a otras ayudas técnicas:

Aunque se ha centrado en las férulas, la versatilidad y facilidad de trabajo del HDPE reciclado sugiere la posibilidad de investigar su uso en la fabricación de otras ayudas técnicas. Investigar estas aplicaciones podría tener un impacto significativo en la accesibilidad a soluciones ortopédicas.

Incentivo a la colaboración interdisciplinaria:

Es destacable la oportunidad de colaboración entre diseño industrial y la terapia ocupacional. Continuar fomentando la creatividad y la innovación por medio de la colaboración interdisciplinaria es de gran ayuda para abordar desafíos en el campo de la rehabilitación. La interacción entre disciplinas es crucial para compartir experiencias y saberes con el fin de potenciar el cono-

cimiento.

Interacción entre la funcionalidad y la usabilidad:

Queda pendiente la investigación sobre la usabilidad de las férulas en usuarios. Por más que el material fue evaluado y aceptado por los TO se requiere realizar un seguimiento y una evaluación de cómo reaccionan los usuarios frente a este nuevo material. Esto podría incluir aspectos como la comodidad, la durabilidad y la integración estética en la vida cotidiana de los usuarios.

Impacto psicológico y emocional del usuario:

La introducción de colores y texturas visuales llamativas en las férulas ofrecen una estética particular. La opción de poder elegir los colores o poder personalizar la aplicación de los mismos impacta directamente sobre los deseos y gustos de los usuarios. Investigar más a fondo cómo estas opciones impactan en la percepción visual, la autoestima y la aceptación de las férulas por parte de los usuarios podría ser crucial para mejorar la experiencia global.

Mejora de aspectos técnicos de las férulas:

La determinación de espesores de férulas y la aplicación de perforaciones son áreas que pueden tener una exploración más profunda. El estudio de variedades de perforaciones podrían marcar un diferencial en el comportamiento del HDPE reciclado al momento de ser moldeado y en su uso cotidiano

Exploración de sistemas de sujeción y protección:

Integrar otros sistemas de sujeción y protección abre oportunidades para desarrollar materiales y/o sistemas innovadores. Investigar cómo estos sistemas adicionales pueden mejorar la comodidad y la eficacia de las férulas sería un paso importante en la aplicabilidad.

Bibliografía

- World Federation of Occupational Therapists. (2021). WFOT Bulletin 78(1) - Electronic Version. Recuperado de <https://www.wfot.org/checkout/19069/21795>
- Ocello, M., & Lovotti, V. (Comp.). (2015). Ortesis y prótesis: herramientas para la rehabilitación [Archivo digital: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/5534>]. Ediciones UNL
- Ministerio de Desarrollo Social. (s.f.). Terminología adecuada sobre discapacidad. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-desarrollo-social/comunicacion/campanas/terminologia-adecuada-sobre-discapacidad>
- Greenpeace. (2019). Reciclar no es suficiente. Recuperado de https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2019/03/reciclar_no_es_suficiente.pdf
- Ellen MacArthur Foundation. (s.f.). Circular Economy Introduction. Recuperado de <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- Braskem. (s.f.). Manual de Poliolefinas para la Producción de Tapas. Recuperado de <https://www.braskem.com.br/portal/Principal/arquivos/listas/12803/thumb.pdf?v=>
- Carvajal Quezada, I. (2016). Caracterización de mezclas de polietileno virgen con reciclado. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142062>
- Botet Latre, A. (2018). Estudio de los plásticos como material de reciclado para la obtención de material de construcción. <http://hdl.handle.net/10251/115263>
- Rubin, I., & Robinson Plastics Corporation. (1999). Materiales Plásticos, Propiedades Y Aplicaciones.
- INSST (2016). DLEP 105-CLORURO DE POLIVINILO (PVC) Fracción respirable. Recuperado de <https://www.insst.es/documents/94886/289981/DLEP+105.pdf/8b1a-c9ad-eb47-40b8-851d-a1c062de654f?version=1.0&t=1528396214354>
- Guerrero, R. B. (2018). LOS APORTES DEL DISEÑO INDUSTRIAL EN EL CAMPO DE LA TERAPIA OCUPACIONAL. ACTAS - Jornadas de Investigación, 2712–2722. <https://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/actas/article/view/558>
- Olivetti, Miguel (2019) “El pensamiento del diseño como una perspectiva para la inserción de la universidad en el territorio en el marco de la integralidad”. Montevideo, Uruguay
- Macías, Luis Enrique. Reyes, Adriana. Lom, Fabiola. Fornelli, Felipe (2016) “Importancia del diseño industrial enfocado a dispositivos médicos”. México, CULCyT Año 13, No 59, Especial No. 2
- World Design Organization (24 de junio del 2023). Definition of industrial design [DEFINICIÓN DE DISEÑO INDUSTRIAL]. Recuperado de <https://wdo.org/about/definition/>
- Bürdek, B. (1994). Diseño. Historia, teoría y práctica del diseño industrial. Barcelona, España. Editorial Gustavo Gili
- Capricho Marocci, N. (2020.). El diseño industrial en la economía circular: estrategias de diseño en modelos de negocios circulares. Tesis de grado. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo.
- UNIT ISO (2022). Productos de apoyo - Clasificación y terminología (Norma núm. 9999) <https://www.unit.org.uy/normalizacion/norma/100001386>
- Bangher, M. C., Abraham, L., Cangini, G., Vecchietti Doldán, M. J., Banda Rabah, R., Petrolini, G., Ocello, M., Andreu, P., De Falco, R., Manzone, P., Alsina, G., Lovotti, V., Leegstra, R., Emmer, G., Barcos, M. B., Castillo Cuadros, J., &

- Garbayo del Pino, R. (2020). Órtesis y prótesis : herramientas para la rehabilitación. Ediciones UNL.
- AATO – Asociación Argentina Terapistas Ocupacionales. (s/f). Org.ar. Recuperado el 1 de julio de 2023, de <https://www.terapia-ocupacional.org.ar/>
 - Marta (2016). A FALTA DE TERMOPLÁSTICO, BUENO ES EL PVC. Terapeuta Ocupacional DIY. Recuperado el 1 de julio de 2023, de <http://terapeutaocupacionaldiy.blogspot.com/2016/12/a-falta-de-termoplastico-bueno-es-el-pvc.html>
 - Ojeda C. (2021). No te hagas más líos con la economía circular. Greenpeace España. Recuperado el 1 de julio de 2023, de <https://es.greenpeace.org/es/noticias/lio-economia-circular/>
 - American Society for Testing and Materials (24 de julio de 2017)Standard test methods for Flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. (s/f). <https://www.astm.org/d0790-17.html>
 - Correal, M., & Rihm, A. (2022). Hacia la valorización de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Conceptos básicos, análisis de viabilidad y recomendaciones de políticas públicas. <https://doi.org/10.18235/0003971>
 - Miranda, D. (2023, 5 junio). 20 datos sobre el problema del plástico en el mundo. www.nationalgeographic.com.es. https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/20-datos-sobre-problema-plastico-mundo_15282
 - Uso sostenible - Plastics Europe ES. (2023, 10 enero). Plastics Europe ES. <https://plasticseurope.org/es/sostenibilidad/uso-sostenible/>
 - Ministerio de Ambiente (2021) Uruguay+Circular: Plan Nacional de Gestión de Residuos 2022-2032
 - https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/PNGR_Cap2.pdf
 - Ferreira. A (2017). Antropometría nacional: Caracterización de la población uruguaya en edad laboral. <https://es.sli-deshare.net/nonouy/relevamiento-antropometrico-de-la-poblacion-uruguaya>

Lista de figuras

Fig. 1. Modelo del procesos de diseño

<https://catedrad3.files.wordpress.com/2009/04/metodologia-de-diseno.pdf>

Fig. 2. Hospital de Clínicas - UDELAR

<https://www.hc.edu.uy/>

Fig. 3. Pata de palo

<https://www.ortopediamimas.com/blog-de-ortopedia/como-elegir-la-muleta-adeuada/>

Fig. 4. Engrosador de mango

<https://civat.es/recurso3d/cubiertos-grip-engrosador-para-cubiertos/>

Fig. 5. Muletas

<https://www.ortopediamimas.com/blog-de-ortopedia/como-elegir-la-muleta-adeuada/>

Fig. 6. Variedad de férulas aplicadas al cuerpo

<https://icemachine-cn.es/material-sanitario/tipos-de-ferulas-de-inmovilizacion/>

Fig. 7. Férulas estáticas

<https://www.orliman.com/producto/ferula-inmovilizadora-de-mano-en-posicion-funcional-y-oposicion-del-pulgar/>

Fig. 8. Férulas dinámicas

<https://www.ortopediamostkoff.com.mx/producto/ortosis-miembros-superiores/mano/ferula-dinamica-importada-para-mano/>

Fig. 9. Tipos de plásticos y su identificación

<https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/PNGR-general.pdf>

Fig. 10. Peso relativo en el porcentaje de cada categoría de plástico de un solo uso en el total generado (año 2019)

<https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/PNGR-general.pdf>

Fig. 11. Incremento de la generación de residuos plásticos a nivel mundial

<https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/PNGR-general.pdf>

Fig. 12. Diagrama de reciclado en Uruguay

<https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/PNGR-general.pdf>

Fig. 13. Enfoque de la circularidad utilizando el concepto 9R

<https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2021/04/Circular-Economy-Report-2020-ESP.pdf>

Fig. 14. Diagrama de Mariposa. The circular economy (Ellen MacArthur Foundation)

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

Fig. 15. Diferencia entre una economía lineal y una economía circular

<https://www.thegravitywave.com/economia-circular/>

Fig. 16. Férulas con material reciclable, una alternativa ecológica para rehabilitación en miembro superior

<https://revistas.umariana.edu.co/index.php/travesiaemprendedora/issue/view/200/288>

Fig. 17. Férulas ecológicas diseñadas para hospitales

<https://www.woodcast.com/products>

Fig. 18. Diseño y prototipo de férulas

<http://repository.unac.edu.co/bitstream/handle/11254/379/Trabajo%20de%20grado%20%28rev%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fig. 19. Fiixit

<https://fiixit.es/>

Fig. 20. Rediseño de una férula ortopédica para rehabilitación de la muñeca

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73758/ESPLUGUES%20-%20Redise%C3%B1o%20de%20una%20f%C3%A9rula%20ortop%C3%A9dica%20para%20rehabilitaci%C3%B3n%20de%20mu%C3%B1eca.pdf?sequence=1>

Fig. 21. Economía circular y fabricación aditiva: reciclaje y reintroducción de PET en dispositivos biomédicos

https://somim.org.mx/memorias/memorias2021/articulos/A2_88.pdf

Fig. 22. Bio-Pedic Recycling

<https://www.df.cl/df-mas/punto-de-partida/protesis-chilenas-de-plastico-reciclado-se-van-a-ee-uu>
<https://www.instagram.com/biopedicrecycling/>
<https://www.nadanosdetiene.cl/nnd-play/tarapaca/>

Fig. 23. Manos de Héroe

<https://www.manosdeheroes.com/>

Fig. 24. HackLab. Laboratorio de producción de soluciones open source

<http://www.fadu.edu.uy/extension/proyectos-extension/hacklab-laboratorio-de-produccion-de-soluciones-open-source/>

Fig. 25. Accede.uy

<https://accede.uy/>

Fig. 26. Exoij
<https://www.exoij.com/>

Fig. 27. Símbolo representante del HDPE
https://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno_de_alta_densidad

Fig. 28. Imagen de tapas a reciclar
<https://www.ucr.ac.cr/noticias/2018/11/30/para-que-sirve-separar-clasificar-y-reciclar-las-tapas-plasticas.html>

Fig. 29. Imagen de termoplástico Orfit
https://es.made-in-china.com/co_eazycare/product_Thermoplastic-Sheet-Orthopedics-Rehabilitation-Splint-Brace-Splinting-Material-Occupational-Therapy-Orfit-Splints_esgoheney.html

Fig. 30. Férula realizada con termoplástico
<http://ortopediadelcampus.com.ar/ferula-antebraquiopalmar-termoplastica/>

Fig. 31. Caños de PVC
<https://megaplasticos.com.ar/producto/tubo-de-160-x-4-mts-x-3-2-mm/>

Fig. 32. Férulas realizadas en PVC
Fotografía propia

Fig. 33. Férulas realizadas con HDPE reciclado
Fotografía propia

Fig. 34. Procedimiento de realización de férulas según guía Orfit
<https://www.studocu.com/latam/document/universidad-autonoma-de-chile/ayudas-tecnicas-y-ortesis/guia-de-ferulas-1-230305-221609/51806858>

Fig. 35. Instrumentos de medición, calibre, medidor de espesor y una balanza, usados para tomar medidas de cada una de las muestras
Fotografía propia

Fig. 36. Máquina INSTRON MODELO 1011 para hacer ensayo de flexión
<https://www.metalinspec.com.mx/avisos-ciclo-de-vida/instron-1000>

Fig. 37. Ensayo de flexión a tres puntos
<https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2023/04/ensayos-de-flexion-manufactura.html>

Fig. 38. Ensayo de flexión a tres puntos de muestras en HDPE reciclado
Fotografía propia

Fig. 39. Gráfica de ensayo de flexión a tres puntos sobre de muestras en HDPE reciclado
Realización propia

Fig. 40. Ferula de descanso
<https://www.studocu.com/latam/document/universidad-autonoma-de-chile/ayudas-tecnicas-y-ortesis/guia-de-ferulas-1-230305-221609/51806858>

Fig. 41. Referenciá de las medidas que se tomaron de mano-brazo
Realización propia

Fig. 42. Corte por fresado
Fotografía propia

Fig. 43. Corte por troquel
<http://troquelesberbes.com/blog-2>

Fig. 44. Molderia plana
Fotografía propia

Fig. 45. Trazado de mano de paciente junto al trazado de la férula a realizar
Fotografía propia

Fig. 46. Posible modelos de negocio de economía circular
Realización propia

Fig. 47. Matriz de riesgo aplicada al proyecto en cuestión
Realización propia

Anexos

Anexo 1

Los datos precisos de este ensayo no se pueden tomar como pertinentes para esta investigación dado que pertenece a un HDPE con diferentes propiedades que el de las tapas. Es plástico perteneciente a una empresa chilena llamada Cambiaso la cual recicla plástico en grandes cantidades (con procesos industrializados) y que provienen de la industria pesquera, agrícola y retail. Teniendo estas particularidades no es adecuado tomar los valores del estudio como referencia para la investigación de plástico reciclado de tapas. Esta información es mostrada para reflejar las variantes existentes entre un plástico virgen y un plástico reciclado

Ensayo	virgen HDPE	reciclado HDPE
Ensayo de tracción	28 MPa	17,4 MPa
Alargamiento	144 %	18 %
Módulo de Young	916 MPa	584 MPa
Límite de fluencia	18 MPa	11 MPa
Resistencia al rasgado	187,2 N	152,1 N

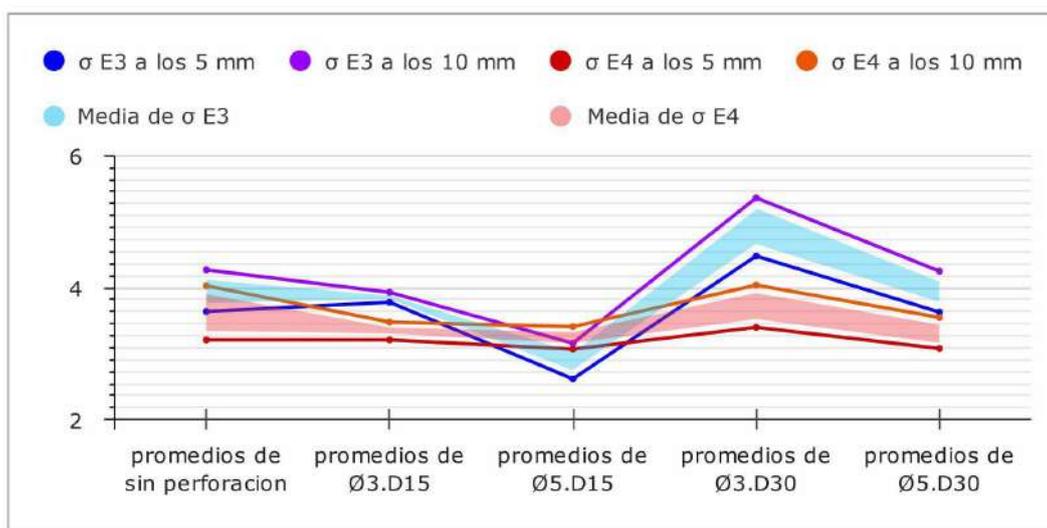
Anexo 2

Análisis de Esfuerzo de Flexión en Ensayos de Perforación

A continuación, se presentan los promedios de esfuerzo de flexión obtenidos en cada uno de los ensayos de perforación realizados. Estos promedios se han representado de manera gráfica para facilitar su visualización y análisis. Además, se incluyen los resultados individuales de cada ensayo llevado a cabo en las placas de plástico perforadas.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de forma individual, realizados en las placas de plástico perforadas. Estos resultados individuales ofrecen una visión detallada de las variaciones y singularidades en el comportamiento del material durante los ensayos.

	promedios s/perforacion	promedios de Ø3.D15	promedios de Ø5.D15	promedios de Ø3.D30	promedios de Ø5.D30
σ E3 a los 5 mm	3,64	3,78	2,62	4,48	3,63
σ E3 a los 10 mm	4,27	3,93	3,16	5,36	4,25
σ E4 a los 5 mm	3,21	3,21	3,07	3,4	3,08
σ E4 a los 10 mm	4,03	3,48	3,41	4,04	3,55



Placa de espesor 3 mm	Peso inicial gr.	largo mm	ancho (b) mm	espesor general mm	esoesor max. mm	espesor min. mm	espesor \bar{X} (h) mm	fuerza (a los 5 mm) N.	esfuerzo de flexión σ (MPa)	Desviación estándar de esfuerzo σ	fuerza (a los 10 mm) N.	esfuerzo de flexión	Desviación estándar de esfuerzo σ
promedios de E3								49,6	3,64	0,3	58	4,27	0,3
E3.a	43	120	120	3	3,3	2,9	3,06666	50	3,66		61	4,46	
E3.b	43	122	120	3	3,4	2,7	3,03333	56	4,18		64	4,78	
E3.c	44	122	120,5	3	3,4	2,9	3,1	47	3,35		56	3,99	
E3.d	42	122	120	3	3,3	2,9	3,06666	49	3,58		56	4,09	
E3.e	42	120	121	3	3,2	2,9	3,03333	46	3,41		54	4,00	
promedios de E3 Ø3.D15								53	3,78	1,07	55	3,93	0,6
E3.1	43	122	122	3	3,2	2,9	3,03333	74	5,44		55	4,04	
E3.2	47	120	120	3	3,6	3	3,2	62	4,16		71	4,77	
E3.3	43	121,5	121	3	3,5	2,6	3,03333	44	3,26		50	3,71	
E3.4	45	120,5	119,5	3	3,5	2,8	3,1	47	3,38		57	4,09	
E3.5	41	121	122	3	3,4	2,9	3,1	38	2,67		43	3,03	
promedios de E3 Ø5.D15								35,4	2,62	0,79	42	3,16	1,0
E3.6	46	122	120	3	3,1	2,9	3	45	3,44		57	4,35	
E3.7	42	121	120	3	3,4	2,9	3,1	35	2,50		42	3,00	
E3.8	41	121	120	3	3,3	2,5	2,93333	21	1,68		24	1,92	
E3.9	42	121	120,5	3	3,1	2,9	3	45	3,42		52	3,96	
E3.10	40	120,5	120	3	3,7	2,9	3,2	31	2,08		38	2,55	
promedios de Ø3.D30								58,75	4,48	1,04	70	5,36	1,1
E3.11	42	122	121	3	3,3	2,7	3	68	5,15		80	6,06	
E3.12	46	122	122	3	3,1	2,8	2,96666	55	4,23		69	5,30	
E3.13	41	123	120	3	3,3	2,6	2,96666	40	3,12		49	3,83	
E3.14	50	122	122	3	3,2	2,8	3	72	5,41		83	6,24	
E3.15													
promedios de Ø5.D30								50,6	3,63	1,09	59	4,25	1,3
E3.16	46	120	120	3	3,2	2,8	3	58	4,43		63	4,81	
E3.17	52	122	121	3	3,3	2,9	3,06666	70	5,07		85	6,16	
E3.18	46	122	122	3	3,3	2,9	3,06666	45	3,24		54	3,88	
E3.19	47	120	120	3	3,7	3	3,23333	45	2,96		52	3,42	
E3.20	42	122	121	3	3,4	3	3,13333	35	2,43		43	2,99	

Placa de espesor 4 mm	Peso inicial gr.	largo mm	ancho (b) mm	espesor general mm	esoesor max. mm	espesor min. mm	espesor \bar{X} (h) mm	fuerza (a los 5 mm) N.	esfuerzo de flexión σ (MPa)	Desviación estándar de esfuerzo σ	fuerza (a los 10 mm) N.	esfuerzo de flexión	Desviación estándar de esfuerzo σ
promedios de E4									3,21	1,36		4,03	1,33
E4.a	62	121	120	4	4,4	3,9	4,1	120	4,91		148	6,06	55
E4.b	52	120	120	4	4,2	3,9	4,0	85	3,59		103	4,35	
E4.c	45	120	119	4	4,1	3,7	3,9	78	3,50		88	3,94	
E4.d	47	120	119	4	4	3,6	3,9	62	2,87		71	3,29	
E4.e	42	123	121	4	4	3,5	3,8	25	1,16		54	2,51	marco quiebr
promedios de E4.Ø3.D15									3,21	0,30		3,48	0,52
E4.1	49	120	120	4	4	3,6	3,9	64	2,94		74	3,40	
E4.2	52	121	120	4	4	3,9	4,0	70	3,06		79	3,45	
E4.3	53	120	120	4	4	3,8	3,9	70	3,11		69	3,07	marco quiebr
E4.4	59	120	120,5	4	4,4	3,8	4,1	90	3,73		105	4,35	marco quiebr
E4.5	54	121	121	4	4,3	3,7	4,0	75	3,20		74	3,15	marco quiebr
promedios de E4.Ø5.D15									3,07	0,60		3,41	0,65
E4.6	49	120,5	120	4	4	3,6	3,9	55	2,53		63	2,90	
E4.7	52	122	120	4	4,3	3,8	4,0	78	3,30		84	3,55	
E4.8	51	120	119	4	4,1	3,7	3,9	59	2,64		65	2,91	
E4.9	62	120	120	4	4,4	4	4,1	95	3,82		106	4,27	
E4.10				4			4,0						
promedios de E4.Ø3.D30									3,40	1,27		4,04	1,39
E4.11	58	121	120	4	4,4	3,7	4,0	94	3,97		109	4,61	
E4.12	49	122	121	4	4,1	3,7	3,9	38	1,67		54	2,38	marco quiebr
E4.13	45	121	119	4	4,1	3,6	3,9	55	2,51		65	2,96	marco quiebr
E4.14	46	120	120	4	4,2	3,9	4,0	96	4,06		103	4,35	marco quiebr
E4.15	42	120	120	4	4	3,6	3,9	104	4,78		128	5,89	
promedios de E4.Ø5.D30									3,08	0,27		3,55	0,30
E4.16		122	120	4	4	3,9	4,0	61	2,67		70	3,06	
E4.17		121	120	4	4,1	3,5	3,9	65	2,99		82	3,77	
E4.18		120	120	4	4,2	3,6	3,9	73	3,24		80	3,56	marco quiebr
E4.19	50	120,5	120	4	4	3,6	3,9	73	3,36		82	3,77	marco quiebr
E4.20	51	120	120	4	4,3	3,7	4,0	73	3,14		84	3,61	

Anexo 3

Muestreo de relevamiento antropométrico

	Percentil	38	33	56	35	68	28	52	30	65	48	35	52	60	65	28	28	43	34	30	33
A	Largura de palma de mano	110	93	105	106	100	103	102	92	109	117	98	102	93	98	98	105	102	110	98	108
B	Ancho de palma de mano	105	80	103	103	88	85	90	88	94	100	86	95	92	85	80	82	83	90	88	90
C	Largura de mano	170	160	195	186	175	185	187	173	193	190	180	184	163	178	160	170	158	180	165	171
D	Ancho máximo de la mano	115	96	130	119	115	110	99	103	107	126	102	110	102	98	95	100	95	99	95	98
E	Longitud del codo al dedo medio	450	410	455	475	425	439	420	425	443	493	430	443	423	432	425	450	455	460	444	435
EF2	Longitud del dedo medio hasta F2	430	390	420	445	405	410	405	398	422	450	410	415	395	408	400	410	415	420	420	430
F2	ancho maximo de antebrazo	100	100	110	104	100	95	105	90	92	100	70	82	90	85	68	65	70	77	67	80
F1	ancho minimo de antebrazo	85	88	70	75	72	80	80	68	65	70	55	60	71	70	50	54	59	60	52	70
G	largo de dedo pulgar	62	57	60	65	60	57	55	60	55	60	55	60	50	52	53	44	49	54	59	55
H	ancho de dedo pulgar	28	25	29	32	25	24	25	27	25	20	20	20	25	29	22	20	24	30	28	25

	Percentil	5%	Dif	30%	Dif	50%	Dif	70%	Dif	95%
A	Largura de palma de mano	92,05	5,95	98	4	102	3,7	105,7	10,95	116,65
B	Ancho de palma de mano	80	5,3	85,3	3,7	89	4,4	93,4	11,5	104,9
C	Largura de mano	158,1	11,9	170	6,5	176,5	8,2	184,7	10,2	194,9
D	Ancho máximo de la mano	95	3,3	98,3	3,7	102	8	110	19,8	129,8
E	Longitud del codo al dedo medio	410,5	16	426,5	14,5	441	9	450	42,1	492,1
EF2	Longitud del dedo medio hasta F2	390,25	15,65	405,9	6,6	412,5	7,5	420	29,75	449,75
F2	ancho maximo de antebrazo	65,1	12,8	77,9	12,1	90	10	100	9,75	109,75
F1	ancho minimo de antebrazo	50,1	9,9	60	10	70	1,7	71,7	16,15	87,85
G	largo de dedo pulgar	44,25	10,05	54,3	1,7	56	4	60	4,85	64,85
H	ancho de dedo pulgar	20	4	24	1	25	2,7	27,7	4,2	31,9

	Percentil	5%	20 mm +	30%	70%	20 mm +	95%	20 mm +
A	Largura de palma de mano	92,05		98	105,7		116,65	
B	Ancho de palma de mano	80	100	85,3	93,4	113,4	104,9	124,9
C	Largura de mano	158,1		170	184,7		194,9	
D	Ancho máximo de la mano	95	115	98,3	110	130	129,8	149,8
E	Longitud del codo al dedo medio	410,5		426,5	450		492,1	
EF2	Longitud del dedo medio hasta F2	390,25		405,9	420		449,75	
F2	ancho maximo de antebrazo	65,1	85,1	77,9	100	120	109,75	129,75
F1	ancho minimo de antebrazo	50,1	70,1	60	71,7	91,7	87,85	107,85
G	largo de dedo pulgar	44,25		54,3	60		64,85	
H	ancho de dedo pulgar	20	40	24	27,7	47,7	31,9	51,9

El 20mm + corresponde al agregado de 10 mm que se debe hacer en la ferula a cada uno de sus lados

Talle chico								
Talle mediano								
Talle grande								

Anexo 4

Ensayo de Trazado en la Fabricación de Pre-férulas

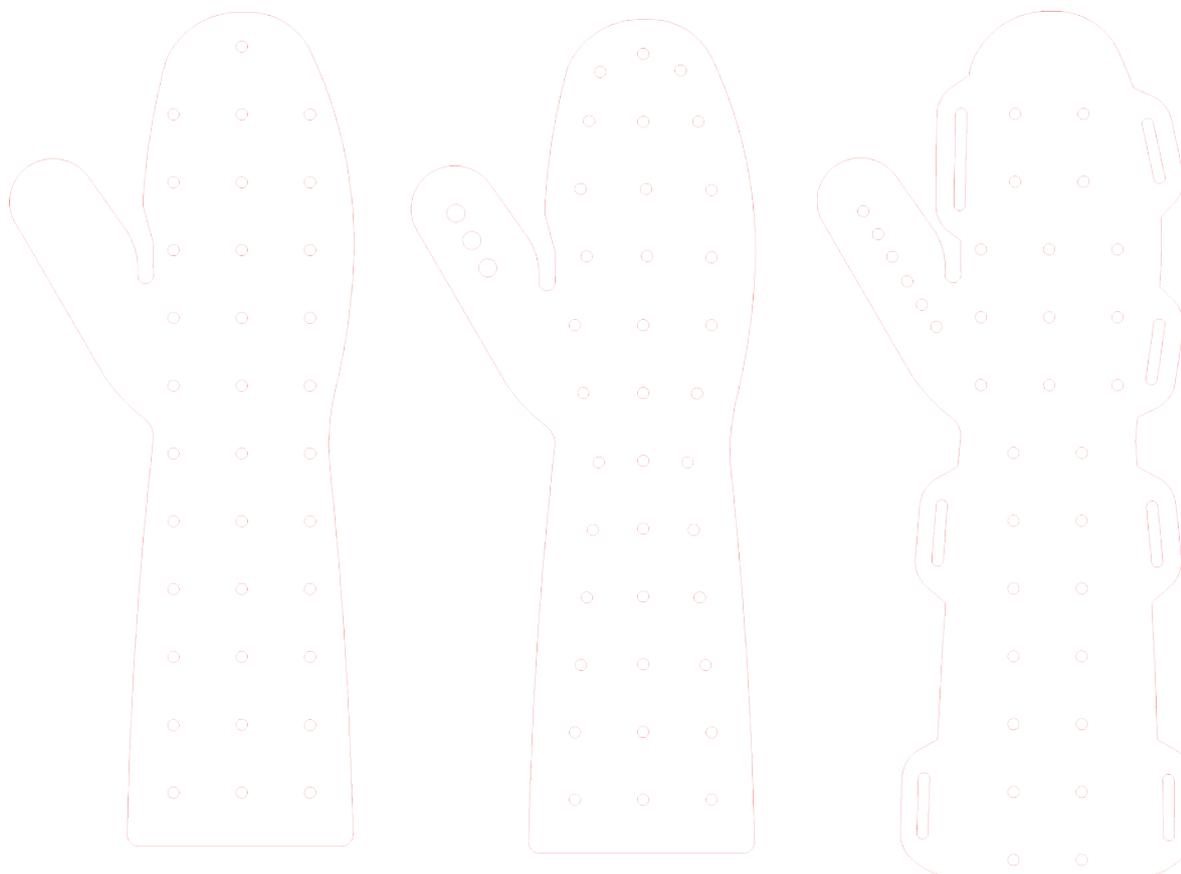
En las etapas iniciales de este estudio, se aplicaron las técnicas convencionales empleadas por los Terapeutas Ocupacionales para crear las pre-férulas. Sin embargo, a medida que se avanzó en la investigación, se hizo evidente la necesidad de generar un trazado definido para realizar la palmeta de reposo. Esto requería una atención especial a la zona del pulgar, que demostró ser el principal punto de complejidad en el proceso.

Para abordar este desafío, se implementaron varias estrategias. En primer lugar, se centró el trabajo en el estiramiento del material plástico en la zona del pulgar. Esto implicaba una cuidadosa manipulación, asegurando que se adaptan adecuadamente a las curvaturas naturales de la mano. Además, se trabajó sobre el trazado diseñando curvas con ángulos rectos u obtusos que permitiera la transición de un modelo en dos dimensiones (2D) a un producto final en tres dimensiones (3D) de manera eficaz.

La generación de estas curvas cortantes resultó fundamental para el éxito del proceso. Al adaptar las curvas de manera precisa, se logró una transición fluida del plano bidimensional al tridimensional, lo que fue esencial para la creación de las férulas de manera efectiva y beneficiosa para los usuarios.

En la zona del brazo se realizaron dos filas de perforaciones, en lo que respecta a la palma de la mano se hicieron 3 filas y en el pulgar correspondió hacer una fila distante de los límites para permitir que pliegue mejor el plástico para envolver el dedo pulgar. Estas decisiones fueron tomadas en base a ver como actuaba el plástico al ser calentado y moldeado

Al mismo tiempo se plantea una férula que disponga de espacios laterales para pasar el velcro y mejorar la sujeción. La misma esta propuesta pero requiere de ensayos para perfeccionarla



Anexo 5

Fichas de experimentación

Las fichas propuestas se estructuran de la siguiente forma:

Título de la ficha:

Título conciso que refleje el propósito de la experiencia.

Información:

Proporciona una breve introducción sobre la relevancia o importancia de la etapa en el contexto de tu investigación.

Objetivos:

Enumera los objetivos específicos de la etapa.

Explica por qué esta etapa es relevante para la investigación.

Desarrollo de la actividad e investigación:

Describe la actividad realizada

Se desarrolla la información que es relevante investigar con mayor profundidad

Resultados:

Resume los resultados derivados de la experiencia y cómo contribuyen a la investigación.

Observaciones:

Registra datos como procesos, tecnologías o cualquier otro aspecto relevante para la investigación y cómo contribuyen a la investigación.

Incluye detalles sobre las prácticas o metodologías específicas que llamaron la atención en la experiencia vivida.

Anexo 6

Métodos Propuestos para la Fabricación de Pre-férulas

Métodos Propuestos para la Fabricación de Pre-férulas

En este anexo, se detallan los distintos procedimientos propuestos para la fabricación de pre-férulas. Cada método se describe resaltando los pasos clave y las consideraciones necesarias para llevar a cabo la producción de manera eficiente y precisa. Cada enfoque tiene sus ventajas y desafíos, y la elección del método adecuado dependerá de las necesidades específicas de fabricación y los recursos disponibles. A continuación, se presentan los procedimientos en detalle:

A - Corte por Fresado CNC:

Este método de fabricación se basa en el uso de una máquina de fresado CNC (Control Numérico Computarizado), que permite el corte preciso de las placas plásticas para crear las pre-férulas. El proceso se desarrolla de la siguiente manera:

- Se coloca el plástico triturado en una plancha de estampar.
- Una vez que la placa plástica está formada y se enfría, se procede al fresado. Para esto se utiliza un archivo vectorial que guía la máquina CNC.
- Finalmente, se extrae la pieza fabricada.

B - Corte por Troquel: En este método, se utiliza un troquel con cuchillas de corte para crear las pre-férulas. El proceso se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Se coloca el plástico triturado en una plancha de estampar.
- Mientras el plástico está en estado viscoso debido al calor, se aplica el troquel desde arriba.
- Posteriormente, se retira el troquel y se permite que la pieza de plástico se enfríe.
- Finalmente, se extrae la pieza fabricada.
- Se realizó un ensayo para evaluar la eficacia de este método, observando que la fuerza manual aplicada para cortar el plástico resulta insuficiente. Sin embargo, el plástico queda marcado y se puede dividir fácilmente

con una trincheta o partirlo con la mano debido a su delgadez.

C - Moldería Plana: En este, se emplea un molde con forma de pre-férula para dar forma al plástico triturado. El proceso se detalla de la siguiente manera:

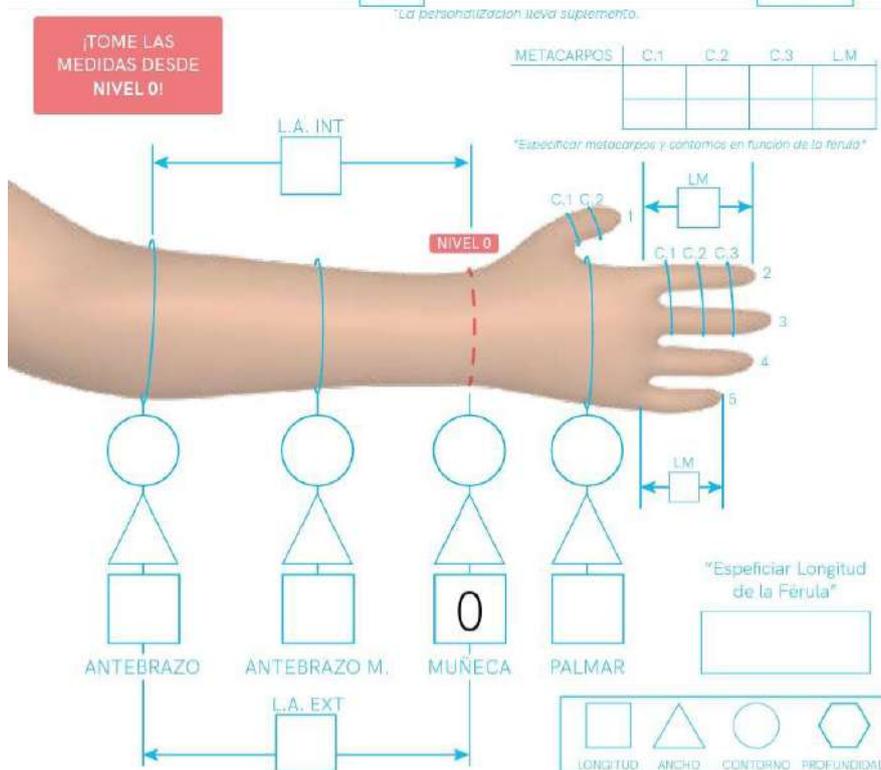
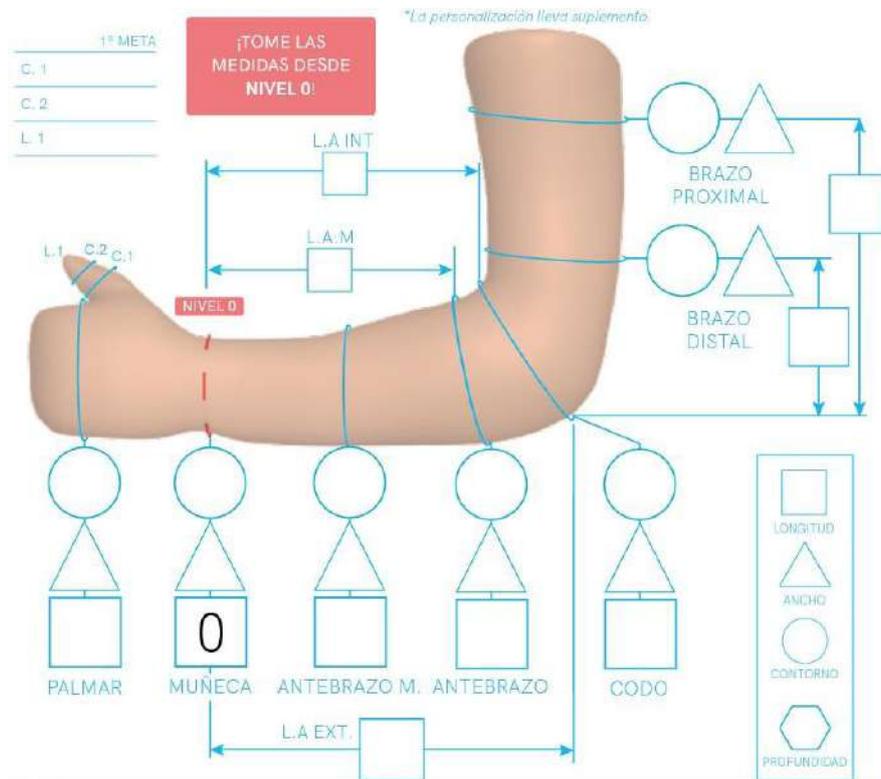
- El plástico triturado se coloca dentro de un molde con la forma deseada de la pre-férula en una plancha de estampar.
- Mientras el plástico se calienta, se adapta a la forma del molde.
- Se aplica un troquel con marcas cilíndricas para ubicar las perforaciones en la férula.
- El plástico queda marcado según el diseño del molde.
- Se retira el troquel y se permite que la pieza de plástico se enfríe.
- Luego, se extrae la pieza y se realizan los ajustes necesarios utilizando una mecha y un taladro.

En este caso, el plástico se funde y se adapta al molde, logrando la forma deseada de la pre-férula. El molde presenta las especificaciones necesarias, como el espesor deseado de 3 mm y la figura de la pre-férula, calada en su interior.

Requisitos de proceso de pre ferula	A- Corte por fresado CNC	B - Corte por troquel	C- Moldería por tasel
INDISPENSABLE (entre 0 y 5)			
Que se use las maquinarias existentes en LF	5 esta técnica utiliza la plancha seligrafica y la fresadora CNC	5 esta técnica utiliza la plancha seligrafica y la prensa hidraulica	5 esta técnica utiliza la plancha seligrafica
Que se usen pocos recursos economicos en la creacion del metodo de corte	5 no se precisan insumos extras	3 Es necesario comprar un troquel y una plancha de teflon	4 Es necesaria la compra y corte de un acrilico
Que el tiempo de mano de obra invertida en el corte de la pieza no suponga un costo extra	3 Se le suma el costo extra del ruteado	3 Se le suma el costo extra del prensado Hidraulico	4 No presenta costo extra dado que la fabricacion se realiza dentro de la plancha caliente
que permita realizar la forma deceada	5 es preciso	4 es preciso pero presenta problemas de corte	4 es preciso pero se debe emprolijar el resultado final
que se realice en el menor tiempo posible	3 se debe esperar a que se enfrie la placa para luego rutearlo	4 implica sacarlo de la plancha caliente, cortarlo en la prensa hidráulica y dejar enfriar	5 el plastico se derrite con la forma precisa
DESEABLE (entre 0 y 4)			
que genere la menor cantidad de viruta posible	1 genera viruta al cortar con fresadora	3 genera poca viruta. Solo cuando se extrae la rebaba y se emprolija	3 genera poca viruta. Solo cuando se extrae la rebaba y se emprolija
que genere la menor cantidad de sobras de plastico posible	1 genera sobras de placa plastica	2 genera sobras de placa plastica	4 NO genera sobras de placa plastica
Que las perforaciones sean exactas	4 es preciso	2 el marcado facilita el agujerado	3 el marcado facilita el agujerado
OPCIONAL (entre 0 y 3)			
que permita realizar las perforaciones en una sola etapa	3 las perforaciones se hacen en la etapa de ruteado	2 las perforaciones se marcan para poder ser hechas luego con un taladro de pie	2 las perforaciones se marcan para poder ser luego hechas facilmente con un taladro de mano
TOTAL	30	28	34

Anexo 7

Fichas de medidas antropométricas de la empresa Fiixit



Anexo 8

Empresas que reciclan plástico en Uruguay

En la siguiente tabla se muestran algunas de las empresas que reciclan materiales plásticos y se encuentran alcanzadas por los decretos 349/005 y 182/013. En base a todas estas empresas mencionadas la capacidad instalada para procesar desechos de plástico asciende aproximadamente a 14.470 t/año ~ 60 t/d. Esta estimación se hace a partir de una base anual de 240 días trabajados, aunque esto puede subestimar la capacidad real instalada. Tabla extraída de Plan Nacional de Gestión

de Residuos (Ministerio de Ambiente, 2021) pag369. Capacidades instaladas para el reciclaje de plástico

Tabla 12. Capacidades instaladas para el reciclaje de plástico

Empresa	Tipo de residuo	Capacidades (t/año)
Abbaplast S.A.	Bolsas y <i>big bag</i> de plastillera que contuvieron fertilizantes, cajas y cajones de HDPE.	2.200
ATMA S.A.	Cajones plásticos.	1.400
Chichué S.R.L.	PET (botellas) y PE (diferentes densidades, silo bolsas y bolsas).	1.300
Cristalpet S.A.	Envases posconsumo o de fabricantes de bebidas u otros productos. <i>Scrap</i> .	4.560
Ingopan Ltda.	Polvo de goma, guantes de látex, neopreno.	100
Los Tornos S.R.L.	PEBD, PEAD, PP, etc.	1.200
MIER SERGA ALEJANDRO GABRIEL	Tapas de polipropileno (PP), cajones de polietileno de alta densidad (PEAD).	1.200
Recipol S.R.L.	Mermas de generación de productos plásticos (materia prima posproducción) y material sucio (material prima posconsumo).	480
Rotoplast S.R.L.	Plásticos mezcla (principalmente PE).	480
Tecnofiled Uruguay S.R.L.	Envases de plástico limpios o contaminados con sustancias no peligrosas.	480
TIRONI ALESSANDER JACKSON	Envases de plástico vacíos (capacidad entre 10 y 1000 litros), envases de nylon (bolsas) y nivel de invernáculos.	40
Uruplac S.R.L.	PEBD, PEAD, PP, PS, PET, PVC, Tetrabrik y multilaminados.	840
Valle agreste	<i>Scrap</i> y plástico PEBD.	190
Total		14.470

Anexo 9

Fichas de medidas antropométricas de la empresa

Fiixit

Bebidas Carbonatadas – CSD

POLIETILENO						
Grado	Familia	Índice de Fluidez (g/10min) ASTM D 1238 (190 °C /2,16 kg)	Densidad (g/cm ³) ASTM D 1505/ D 792	ESCR en tapas (h) ⁽²⁾	Deslizante	Aplicación
GE7252LS ⁽¹⁾	PEAD	2,0	0,952	20	Si	Tapas de una pieza para bebidas carbonatadas
GE7252NS ⁽¹⁾	PEAD	2,0	0,952	20	No	Tapas de una pieza para bebidas carbonatadas
GE7252XP ⁽¹⁾	PEAD	2,0	0,952	20	Si	Tapas de una pieza para bebidas carbonatadas
GE7252XS ⁽¹⁾	PEAD	2,0	0,952	20	Si	Tapas de una pieza para bebidas carbonatadas

⁽¹⁾ Puede ser producido a partir de fuente renovable - I'm Green™ - biobasado.

⁽²⁾ Método Interno para análisis de ESCR en tapas.

Agua Mineral



POLIETILENO					
Grado	Familia	Índice de Fluidez (g/10min) ASTM D 1238 (190 °C /2,16 kg)	Densidad (g/cm ³) ASTM D 1505/ D 792	Propiedades organolépticas	Aplicación
HD3403S ⁽¹⁾	PEAD	4,5	0,954	Excelente	Tapas para el proceso de inyección y/o compresión
HDC0752	PEAD	6,2	0,953	Buena	Tapas para el proceso de inyección y/o compresión
HDI0453	PEAD	4,5	0,953	Buena	Tapas para el proceso de inyección y/o compresión
GE7252XP ⁽¹⁾	PEAD	2,0	0,952	Buena	Tapas para el proceso de inyección y/o compresión
HC7260 ⁽¹⁾	PEAD	7,2	0,959	Excelente	Tapas para el proceso de inyección

⁽¹⁾ Puede ser producido a partir de fuente renovable - I'm Green™ - PE biobasado.

Bebidas

POLIETILENO				
Grado	Familia	Índice de Fluidez (g/10min) ASTM D 1238 (190 °C /2,16 kg)	Densidad (g/cm ³) ASTM D 1505/ D 792	Aplicación
HA7260 ⁽¹⁾	PEAD	20	0,955	Tapas para bebidas (jugos)
HD3401S ⁽¹⁾	PEAD	4,5	0,954	Tapas para bebidas (jugos)
HDC0962	PEAD	8,5	0,961	Tapas para lacteos, jugos, tés y bebidas isotónicas
HDI2061	PEAD	20	0,955	Tapas para lacteos, jugos, tés y bebidas isotónicas
IA59	PEAD	7,8	0,96	Tapas para lacteos, jugos, tés y bebidas isotónicas
IA58	PEAD	22	0,957	Tapas para lacteos, jugos, tés y bebidas isotónicas
HC7260 ⁽¹⁾	PEAD	7,2	0,959	Tapas para bebidas (jugos)

⁽¹⁾ Puede ser producido a partir de fuente renovable - I'm Green™ - PE biobasado.

Alimenticio



POLIETILENO				
Grado	Familia	Índice de Fluidez (g/10min) ASTM D 1238 (190 °C / 2.16 kg)	Densidad (g/cm ³) ASTM D 1505/ D 792	Aplicación
GE7252NS ⁽¹⁾	PEAD	2,0	0,952	Tapas con elevado requisito de ESCR
HD2404N	PEAD	17	0,950	Tapones y tapas para aceites comestibles, vinagres, salsas
HD3401S ⁽¹⁾	PEAD	4,5	0,954	Tapas con requisitos de bajo torque de aplicación - facilidad de apertura.
IA58	PEAD	22	0,957	Tapas planas de gran área
IB58	PEAD	35	0,958	Tapas planas de gran área
IC32	PEBDL	29	0,924	Tapas planas de gran área
IF33	PEBDL	48	0,931	Tapas planas de gran área
IN34	PEBDL	48	0,938	Tapas planas de gran área
LL2402N	PEBDL	38	0,927	Tapas para aceites comestibles, vinagres, salsas
ML2400N	PEBDL	20	0,926	Tapones y tapas para aceites comestibles, vinagres, salsas
M2520	PEBDL-m	25	0,919	Utilidades domésticas y tapas planas de gran área

⁽¹⁾ Puede ser producido a partir de fuente renovable - I'm Green™ - PE Verde.