



**Universidad
Nacional
Villa María**

Biblioteca Central "Vicerrector Ricardo A. Podestá"
Repositorio Institucional

Análisis desde terapia ocupacional del potencial de materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina que cumplan con las propiedades requeridas para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en 2024

Año
2025

Autoras
Bonis, Lucía Inés y Burgos, Bárbara Andrea

Directoras de tesis
Gomez Sanchez, Andrea Valeria y Virginio Tasca, Fabiana
Marcela

Este documento está disponible para su consulta y descarga en el portal on line de la Biblioteca Central "Vicerrector Ricardo Alberto Podestá", en el Repositorio Institucional de la **Universidad Nacional de Villa María**.

CITA SUGERIDA

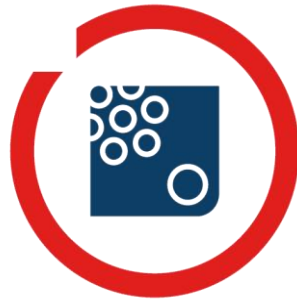
Bonis, L. I. y Burgos, B. A. (2025). *Análisis desde Terapia Ocupacional del potencial de materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina que cumplan con las propiedades requeridas para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en 2024*.

[Trabajo final de grado, Universidad Nacional Villa María]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Villa María.

http://biblio.unvm.edu.ar/opac_css/index.php?lvl=cmspage&pageid=9&id_notice=47723



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional



**Universidad
Nacional
Villa María**

Instituto Académico y Pedagógico de Ciencias Humanas

Licenciatura en Terapia Ocupacional

Trabajo Final de Grado

Análisis desde Terapia Ocupacional del potencial de materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina que cumplan con las propiedades requeridas para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en 2024

Autoras

Bonis, Lucía Inés, N° de legajo 36851.

Burgos, Bárbara Andrea, N° de legajo 34134.

Directora

Dra. Ing. Gomez Sanchez, Andrea Valeria.

Co-directora

TO Virginio Tasca, Fabiana Marcela.

2025

Análisis desde Terapia Ocupacional del potencial de materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina que cumplan con las propiedades requeridas para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en 2024



Este trabajo nace del esfuerzo constante, de la dedicación y, sobre todo, de la curiosidad que no se cansa de preguntar: ¿qué más? Esa pregunta que impulsa a seguir adelante, a explorar sin descanso, a buscar respuestas sin miedo al desafío.

Es el reflejo de los lazos profundos que hemos formado con personas extraordinarias, seres humanos con una vocación inmensa, cuya pasión no sólo inspira, sino que tiene el poder de transformar. Ellos son quienes nos han enseñado a escuchar, a crear, a pensar y a imaginar, a abrir puertas a un mundo lleno de posibilidades. Son quiénes, con su ejemplo, nos han mostrado que los sueños no sólo se sueñan, sino que se persiguen con todo el corazón, sin rendirse.

Este trabajo es para ellos, que nos motivan, que nos empujan a seguir, a no bajar los brazos. Es un homenaje a la perseverancia, al coraje y a la esperanza de que, a pesar de las circunstancias, siempre es posible llegar más lejos. Porque, al final, lo que celebramos es la magia de ver los sueños cumplidos, de sentir que el esfuerzo y el destino han trabajado juntos para hacerlos realidad.

Que este trabajo sea un testimonio de todo lo que se puede lograr cuando se cree, cuando se sueña, y cuando se trabaja con el alma.

Con cariño y gratitud.

Bárbara y Lucía.

Agradecimientos

Gracias a nosotras, por haber tomado la decisión en diciembre de 2022 de trabajar juntas en un proyecto de investigación, sin saber que ese sería el inicio de nuestro trabajo final de grado.

Gracias, Andrea, nuestra directora, por tu tiempo, tu constante motivación y tu generosidad. Por la escucha y confianza que depositaste en nosotras y en la Terapia Ocupacional, aceptar y maravillarte con lo que hacemos con tanta pasión, como vos lo haces. Esto es lo mágico de trabajar con personas que disfrutan lo que hacen.

Gracias, Fabiana, nuestra co-directora, una de las mejores Terapistas Ocupacionales y personas que hemos tenido el privilegio de conocer. ¿Qué hubiese sido de todo este tiempo sin tus sabias enseñanzas y esos "Hola amorosas" que nos regalabas con tanto cariño?

Gracias, Francisco y Santiago, estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica Nacional de Villa María, por brindarnos su apoyo de manera desinteresada, permitiendo que trabajáramos de forma conjunta en un proyecto interdisciplinario entre universidades públicas, a pesar de nuestras carreras tan distintas.

Gracias, Franco, por compartir con nosotras tu conocimiento. Por dedicarte a explicarnos, una y otra vez, lo que parecía un misterio. Por tu esfuerzo en buscar respuestas a nuestras preguntas, por tu paciencia. Te estamos eternamente agradecidas.

Gracias a nuestras familias y pareja, quienes nos acompañaron, nos sostuvieron y nos permitieron llegar hasta este punto.

Gracias a nuestros amigos, por el apoyo incondicional, los mates compartidos y por estar siempre cerca.

Gracias a cada docente que, con generosidad y pasión, nos transmitieron sus conocimientos que nos ayudaron a crecer.

Gracias a la Universidad Nacional de Villa María, por ser el lugar que nos brindó la oportunidad de formarnos, y por defender la educación pública y de calidad.

Gracias a todas las personas que formaron parte de este largo y hermoso proceso, por su apoyo, su motivación y por sostenernos en cada paso del camino.

Hoy alzamos la voz, y que se escuche: ¡Lo logramos! Somos Licenciadas en Terapia Ocupacional. La felicidad es plena.

Disfrutemos de este momento.

Abreviaturas y siglas

ABS: acrilonitrilo butadieno estireno.

AOTA: American Occupational Therapy Association.

C5-C6: vértebras de la columna cervical 5 y 6.

EO: elbow orthosis (órtesis de codo).

EWHO: elbow wrist hand orthosis (órtesis de mano, muñeca y codo).

HAAT: Modelo de Tecnología de Asistencia para la Actividad Humana (Human activity assistive technology model).

HITS: poliestireno de alto impacto.

HO: hand orthosis (órtesis de mano).

ISO: International Organization for Standardization.

PET: tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno tereftalato.

PET-G: tereftalato de polietileno con glicol-modificado.

PLA: ácido poliláctico.

PVC: policloruro de vinilo.

SEWHO: shoulder elbow wrist hand orthosis (órtesis de mano, muñeca, codo y hombro).

SMM: materiales con memoria de forma.

SME: efecto de memoria de forma.

SO: shoulder orthosis (órtesis de hombro).

T. ablandamiento: temperatura de ablandamiento.

TA: tecnología de asistencia.

Tg: temperatura de transición vítrea.

Tm: temperatura de fusión.

TO: Terapia Ocupacional.

TPU: poliuretano termoplástico.

WHO: wrist hand orthosis (órtesis de mano y muñeca).

WO: wrist orthosis (órtesis de muñeca).

Índice

1 Área temática - Resumen de la investigación.....	1
1.1 Área temática	1
1.2 Resumen.....	1
2 Introducción.....	2
CAPITULO 1: PLANTEAMIENTOS PRELIMINARES	5
3 Planteamiento del problema.....	6
4 Hipótesis	6
5 Objetivos	6
5.1 General	6
5.2 Específicos	6
6 Antecedentes / Estado de la cuestión.....	7
7 Justificación.....	10
CAPITULO 2: DESARROLLO TEÓRICO	12
8 Marco teórico	13
8.1 Primera Parte: TO, el diseño y fabricación de órtesis	13
8.2 Segunda Parte: las órtesis, sus características y proceso de prescripción	15
8.2.1 Prescripción de órtesis.....	19
8.3 Tercera Parte: polímero termoplástico de baja temperatura	23
CAPITULO 3: DISEÑO METODOLÓGICO	27
9 Metodología – Diseño metodológico.....	28
9.1 Tipo de investigación.....	28
9.2 Materiales y métodos	28
CAPITULO 4: ANALISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS.....	31
10 Desarrollo del trabajo de campo.....	32
10.1 Primera Parte: caracterización del termoplástico de baja temperatura ORFIT© ..	32
10.1.1 Identificación de las cualidades y atributos de termoplástico de baja temperatura según la empresa ORFIT© y TO	34

10.2 Segunda Parte: identificación de las principales propiedades del termoplástico de baja temperatura ORFIT© según la Ingeniería en Materiales	41
10.3 Tercera Parte: búsqueda y descripción de termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina en 2024	46
10.4 Cuarta Parte: análisis desde TO del potencial de los materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina.....	50
10.5 Quinta Parte: utilización de los materiales termoplásticos de baja temperatura para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior	62
11 Conclusiones.....	69
12 Bibliografía	73
13 Anexos	76
13.1 Anexo 1	76
13.2 Anexo 2	79
13.3 Anexo 3.....	80

Figuras

Figura 1: elaborado por las autoras, Bonis, L. I. y Burgos, B. A. (2023). Diagrama del modelo HAAT revisado para reflejar la tecnología de asistencia como punto focal y su determinación en relación a la persona, la actividad y el contexto.....	14
Figura 2: elaborado por las autoras, Bonis, L. I. y Burgos, B. A. (2023). Clasificación de los polímeros.....	24
Figura 3: gráfico de proveedores que ofrecen termoplásticos de baja temperatura en Argentina (Bonis, L. I.; Burgos B. A.; Gómez Sánchez, A. V.; Negrini, I. J. y Virginio Tasca, F. M., 2024).	33
Figura 4: distintos productos fabricados con material termoplástico de baja temperatura, recuperado de los catálogos ORFIT©.	36
Figura 5: termoplástico de baja temperatura PLA (1), PLA (2) y PLA (3) después de la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C.	52
Figura 6: termoplástico de baja temperatura ABS (1) y ABS (2) después de la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C.	53
Figura 7: termoplástico de baja temperatura TPU (1) y TPU (2) después de la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C.	55
Figura 8: termoplástico de baja temperatura PET-G (1) y PET-G (2) después de la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C.	56
Figura 9: termoplástico de baja temperatura HIPS (1) y HIPS (2) después de la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C.	58
Figura 10: ciclo de conformación del termoplástico de baja temperatura GEKKO FORM© durante la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C.....	59
Figura 11: termoplástico de baja temperatura ORFIT© con proceso de tratamiento térmico, antes (1) y después de la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C (2,3 y 4).....	61
Figura 12: tejas palmares y Cock Up diseñadas y fabricadas con termoplástico de baja temperatura PLA.	64
Figura 13: órtesis para la apertura o abducción de espacios interdigitales diseñada y fabricada con termoplástico de baja temperatura TPU.	65
Figura 14: cinta tramada autoadhesiva de fibra de vidrio (1), material retirado del agua caliente y colocados sobre la cinta tramada autoadhesiva de fibra de vidrio (2), luego de unos minutos de secado y colocado de la cinta en la otra cara (3) y, por último, los resultados finales del proceso (4).....	66

Figura 15: muestra de adhesión de termoplástico de baja temperatura GEKKO FORM© al alambre de acero inoxidable y termoplástico de baja temperatura ORFIT©.	66
Figura 16: posibles órtesis diseñadas y fabricadas con el termoplástico de baja temperatura GEKKO FORM©. Órtesis para abducción y apertura de espacios interdigitales (1 y 2), órtesis sindactilia (3).	67
Figura 17: proceso de tratamiento térmico del termoplástico de baja temperatura ORFIT© en estado de vencimiento.	79

Tablas

Tabla 1: características del termoplástico de baja temperatura ORFIT© más utilizados en Argentina.	37
Tabla 2: Tg y Tm de los materiales termoplásticos de baja temperatura.	49
Tabla 3: tiempo de activación y moldeo del PLA en comparación con ORFIT©.	52
Tabla 4: tiempo de activación y moldeo ABS en comparación con ORFIT©.	53
Tabla 5: tiempo de activación y moldeo según espesores del TPU en comparación con ORFIT©.	54
Tabla 6: tiempo de activación y moldeo según espesores del PET-G en comparación con ORFIT©.	56
Tabla 7: tiempo de activación y moldeo según espesores del HIPS en comparación con ORFIT©.	57
Tabla 8: tiempo de activación y moldeo según espesores del GEKKO FORM©.	60
Tabla 9: tiempo de activación y moldeo según espesor del material termoplástico con proceso de tratamiento térmico.	62
Tabla 10: comparación entre ORFIT©, PLA, TPU y GEKKO FORM©.	68
Tabla 11: disponibilidad de termoplástico de baja temperatura en ortopedias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y La Pampa. Bonis, L. I.; Burgos, B. A.; Gómez Sánchez A. V.; Negrini, I. J. y Virginio Tasca, F. M., (2024).	76
Tabla 12: tiempos de activación de los distintos materiales según los espesores y temperaturas de prueba.	80
Tabla 13: tiempos de moldeo de los distintos materiales según los espesores y temperaturas de prueba.	81

1 Área temática - Resumen de la investigación

1.1 Área temática

Órtesis y Terapia Ocupacional.

1.2 Resumen

En el presente trabajo final de grado, se plantea analizar el potencial de termoplásticos de baja temperatura, accesibles en Argentina que sean más económicos que el material tradicionalmente utilizado, además de que cumplan con las propiedades necesarias para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en el ámbito de la Terapia Ocupacional en 2024. Desde un enfoque cuantitativo con alcance explicativo y mediante un trabajo interdisciplinario con la Ingeniería en Materiales, se evidenció la problemática actual relacionada con la accesibilidad y el conocimiento disponible sobre estos materiales. Así mismo, se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda y análisis de una amplia variedad de termoplásticos de baja temperatura, identificando tres materiales con un notable potencial, detallando tanto sus ventajas como sus limitaciones. Finalmente, se desarrolló un procedimiento de utilización de estos materiales, orientado a su aplicación en la práctica clínica de Terapia Ocupacional.

Palabras claves: materiales, polímeros, férula, diseño y fabricación.

2 Introducción

El presente trabajo final de grado tiene como interés el estudio de materiales termoplásticos de baja temperatura para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en Terapia Ocupacional (TO). Se trata de materiales que pasan de un estado semirrígido a uno blando al aplicarles una fuente de calor por encima de los 50 °C, siendo entonces maleables y conformables, capaces de adoptar la forma requerida para una férula u órtesis. A temperatura ambiente, quedan luego con las mismas propiedades de rigidez del inicio. A esto se lo describe en catálogos de materiales para órtesis como “memoria de forma”.

En el mercado internacional existen diversas marcas y presentaciones distintas para estos termoplásticos de baja temperatura, y cada terapeuta ocupacional tiene sus preferencias, pero en Argentina la realidad es diferente. Se dispone de un único producto importado de alto costo que es el termoplástico de baja temperatura ORFIT®. Esto condiciona el acceso y disponibilidad para muchas personas y por ende para la concreción de los objetivos terapéuticos establecidos.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que ORFIT® no es el único polímero termoplástico de baja temperatura de ablandamiento (T. ablandamiento), si tenemos en cuenta materiales disponibles para aplicaciones fuera del campo de la salud.

Existen y están disponibles en Argentina materiales termoplásticos de baja temperatura que son utilizados con distintos fines. Algunos ejemplos incluyen: materiales para placas de contención dental, materiales para uso en diseño de pequeños objetos por diversas técnicas artesanales y en pequeños lotes, materiales para producción de objetos por impresión 3D, entre otros. Se trata de materiales plásticos de diferentes composiciones, características y propiedades, pero que podrían tener el potencial necesario para el diseño y fabricación de órtesis, cumpliendo con requerimientos mínimos apropiados, aunque probablemente con algunas ventajas y limitaciones. Por ello, en este trabajo se propone un estudio pormenorizado basado en la práctica de TO de la factibilidad de utilización de alguno de estos materiales.

Desde TO, en base al Modelo de Tecnología de Asistencia para la Actividad Humana (Human activity assistive technology model, HAAT), para la prescripción de tecnologías de asistencia, en la cual se incluyen las órtesis de miembro superior, se utilizan una variedad de recursos disponibles con el objetivo de promover el restablecimiento de la función, prevenir secuelas y prevenir o retrasar la progresión de patologías que pueden conducir a déficits funcionales y en consecuencia afectar la realización de las actividades de la vida diaria.

Por lo cual, las órtesis de miembro superior son consideradas dispositivos prioritarios para la salud y la calidad de vida de las personas. Siendo los/las terapistas ocupacionales profesionales competentes, con vasto conocimiento de los principios biomecánicos, anatómicos, fisiológicos y de los materiales, además de contar con el reconocimiento por Ley provincial (aún sin reglamentar) N. 10.911 (2023) en sus incumbencias, el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior. Esto último, avala y regula el ejercicio profesional de la TO otorgándole un rol importante y determinante en este sentido, ya que dichos dispositivos forman parte de un plan de tratamiento enfocado en mejorar la calidad de vida de las personas, en conjunto con un análisis minucioso de las actividades de la vida diaria, evaluación, diseño y fabricación de productos de apoyo y tecnologías de asistencia, teniendo como propósito último la independencia de la persona.

Es así como esta investigación, busca la delimitación de las características y propiedades del material ampliamente utilizado (termoplástico de baja temperatura) que sean fundamentales para el diseño y fabricación de órtesis, con el objetivo de analizar luego el potencial de otros materiales plásticos que se ablandan en el rango de temperaturas accesibles, que sean más económicos (aproximadamente igual o inferior al costo de referencia de ciento diecisiete mil pesos correspondiente a una plancha de termoplástico Orfit Eco de 2,4 mm y 45 cm por 60 cm) y disponibles en Argentina. Cabe realizar una salvedad importante, cuando se menciona al material ORFIT© se hace referencia tanto al Orfit Classic como al Orfit Eco, ya que para los fines de este trabajo sus características químicas y físicas son iguales, y no alteran el análisis de los materiales candidatos.

Durante el recorrido de este escrito, el/la lector/a se encontrará con cinco capítulos, con el objetivo de facilitar la apropiación del conocimiento que se presenta.

El *capítulo 1* aborda los planteamientos preliminares que incluye el planteamiento del problema de investigación, antecedentes relevantes, justificación y relevancia para la disciplina. *Capítulo 2* describe el desarrollo teórico en el cual se propone adentrarse más al tema realizando un recorrido conceptual crucial para su entendimiento. *Capítulo 3* corresponde al diseño metodológico seleccionado para la realización de dicha investigación. *Capítulo 4* plantea el análisis y tratamiento de datos organizado de la siguiente manera: una Primera Parte se identifican las cualidades y atributos del termoplástico de baja temperatura ORFIT©. En la Segunda Parte, se establecen las principales propiedades de dicho material desde la perspectiva de la Ingeniería en Materiales. La Tercera Parte se centra en la búsqueda y descripción de termoplásticos de baja temperatura más accesibles y disponibles en Argentina. La Cuarta Parte, se realiza un análisis del potencial de estos polímeros desde el enfoque

de la TO. Finalmente, en la Quinta Parte, se propone un protocolo para la utilización de los materiales candidatos seleccionados según la práctica clínica de TO.

Al concluir la lectura, el/a lector/a encontrará las conclusiones finales de este trabajo final de grado, la bibliografía consultada y los anexos pertinentes.

CAPITULO 1

PLANTEAMIENTOS PRELIMINARES



3 Planteamiento del problema

En TO, en la práctica diaria de rehabilitación es habitual el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior, indicando tales dispositivos ortésicos como parte de un plan de tratamiento para la mejora de la funcionalidad, independencia y calidad de vida de las personas, siendo el termoplástico de baja temperatura uno de los materiales más utilizados, el cual representa un costo elevado, ya que es importado y más aún en el contexto actual de Argentina. Además, estos materiales poseen en general precios altos en el circuito comercial. Ante dicha situación se plantea como pregunta de investigación.

¿Cuál es el potencial de los materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos que cumplan con las propiedades requeridas para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en la práctica de TO disponibles en Argentina en 2024?

4 Hipótesis

Se encuentran disponibles en Argentina materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos que cuentan con el potencial necesario (requerimientos mínimos apropiados) según sus propiedades para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en la práctica de TO.

5 Objetivos

5.1 General

- Analizar el potencial de materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina que cumplan con las propiedades requeridas para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en la práctica de TO en 2024.

5.2 Específicos

- A. Identificar las principales cualidades y atributos que el termoplástico de baja temperatura ORFIT© posee, para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en la práctica de TO.
- B. Establecer las propiedades con las que deberían contar los termoplásticos de baja temperatura candidatos, para ser utilizados en la misma aplicación, en colaboración con la Ingeniería en Materiales y en base a las cualidades y atributos establecidos en el objetivo A.
- C. Realizar una búsqueda de materiales que cumplan con las propiedades y características físicas determinadas en el objetivo B: termoplásticos de baja temperatura, que sean económicos y estén disponibles en Argentina en 2024.

- D. Evaluar las características, propiedades y aptitud de los materiales para ser utilizados en el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior de acuerdo a los requerimientos de TO.
- E. Describir el procedimiento de utilización de los materiales termoplásticos de baja temperatura a partir de los resultados de la investigación.

6 Antecedentes / Estado de la cuestión

Desde TO en el ámbito de la rehabilitación de miembro superior son muchos los avances comprendidos en dicha materia. Sin embargo, la búsqueda de antecedentes muestra un escaso desarrollo científico que relacione las propiedades de materiales termoplásticos de baja temperatura con las cualidades y propiedades requeridas para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior durante los últimos años. No se trata de una falta de información o de avances en este tipo de materiales, sino que no son desarrollados teniendo en mente este tipo de aplicaciones o la descripción de las características necesarias y observadas en la práctica clínica.

La autora Kroll Lindemayer (2004), en su tesis de maestría “Estudo e avaliação de termoplásticos utilizados na fabricação órtese” realizada en São José dos Campos, Brasil, estudió cinco tipos de termoplásticos de baja temperatura utilizados en órtesis para miembro superior de personas con espasticidad, comparando las distintas marcas y destacando la importancia de comprender la composición química, estructura molecular y sus propiedades asociadas a las particularidades que estipula el diseño y fabricación de órtesis. Teniendo como objetivo, además, familiarizar a los/las terapeutas ocupacionales con las ventajas y desventajas del uso de ciertos materiales disponibles en ese momento, ya que en la experiencia clínica estos eligen el tipo de material a través de su práctica diaria y con la descripción de catálogos.

Por otra parte, Dussán, Muñoz Prieto, Sánchez Bacca y Vanegas Daza (2003), en su trabajo “Material sustituto al orthoplast para la fabricación de férulas dinámicas” en Bogotá, Colombia, indagaron con terapeutas ocupacionales sobre las propiedades y características de los termoplásticos requeridas para el diseño y fabricación de una órtesis dinámica para lesiones tendinosas. Las características mencionadas en la encuesta por los profesionales son las siguientes: resistencia, rigidez, durabilidad, peso leve, comodidad, estética y fácil limpieza. También destacan que los termoplásticos que existen en el mercado, son inaccesibles, siendo necesario modificar el tratamiento en función de ello.

Así mismo, Martínez, Elui, Martínez y Agnelli (2017), en Río de Janeiro, Brasil, elaboraron un instrumento para evaluar, de forma estandarizada, algunas propiedades

de los materiales termoplásticos de baja temperatura necesarias en la práctica clínica, denominado "Elaboração de instrumento padronizado para o teste de materiais termoplásticos para órteses". El instrumento contiene cinco propiedades a ser evaluadas: temperatura de trabajo, moldeabilidad, memoria, auto-adherencia y rigidez, el protocolo proporciona para cada uno de los elementos, la definición técnica, consideraciones relativas a la aplicación en la confección de órtesis y la descripción de las pruebas.

Las pruebas creadas para medir la calidad, la memoria y la auto-adherencia representan un avance para el análisis y la comparación entre los materiales existentes en el mercado. El fin es que este pueda ser utilizado por profesionales de la práctica clínica y por investigadores que pretendan estudiar materiales termoplásticos para esa finalidad.

Además, se evidencia que en otros países de Latinoamérica los/las terapeutas ocupacionales manifiestan dificultades para acceder al termoplástico de baja temperatura por su elevado costo, condicionando el tratamiento y abordaje, algunas de estas experiencias se destacan a continuación.

Los autores Cabral, Amaral, Cabral, Farias, De Paula, Silva y Silva (2019), estudiaron en "Entraves na utilização de órteses para membros superiores por terapeutas ocupacionais do Recife" cuáles son los obstáculos de los/las terapeutas ocupacionales de Recife en Brasil, respecto al uso de órtesis para miembros superiores, presentan como resultado que de 51 profesionales que participaron en la encuesta, el 49% utiliza órtesis en su práctica y el 58,8% tiene dificultades para utilizarlas, debido a la no disponibilidad del material para la confección, el largo tiempo de espera para la adquisición, el alto costo de los mismos al ser importados y con pocos proveedores en el mercado local. Siendo que el material de mejor calidad disponible es el termoplástico de baja temperatura, por su mayor durabilidad y una gran variedad de características, concluyen que la falta de materiales nacionales de calidad y/o modernos, a precios accesibles son impedimentos relevantes en este proceso.

En Colombia, Mayor (2012), en su investigación "Diseño y elaboración de una férula tipo tenodesis fabricada en termoplástico de alta resistencia policloruro de vinilo P.V.C. para la promoción de agarre de pinza trípode en personas con secuelas de trauma raquimedular" realizó el diseño y elaboración una férula dinámica tipo tenodesis fabricada en termoplástico de alta temperatura de policloruro de vinilo (PVC) para personas con lesión medular C5-C6, optando por dicho material en virtud de la fácil adquisición y de bajo costo, lo cual le proporciona ventaja comparado con

materiales como SOLARIS®, PRISM® y ENCORE®, todos estos termoplásticos disponibles en el mercado de Colombia, pero de difícil acceso. Destaca que otro aspecto que influye en el precio de la órtesis y que no debe olvidarse, es la experticia y conocimientos del profesional de los componentes de los materiales para realizar la órtesis, ya que así se puede proporcionar más variedad de materiales.

Por último, en Bogotá, Colombia, Barrios, Avendaño Jiménez, Cardona Martínez y Cuervo de Oviedo (2007), en su trabajo “Evaluación del T.O FORM como nuevo material en la elaboración de férulas estáticas en lesiones de nervio periférico para usuarios del Servicio de Salud del Ejército Nacional” evaluaron un material nuevo denominado T.O FORM de su propia autoría para la elaboración de férulas estáticas en el tratamiento de lesiones de nervios periféricos, como alternativa de reemplazo a los materiales disponibles, los cuales mencionan que son importados y de alto costo, lo cual dificulta su adquisición. Igualmente, comparan materiales termoplásticos de baja temperatura según sus propiedades como temperatura, rigidez, tenacidad, memoria, moldeo, entre otros.

Las autoras del trabajo mencionado, describen cuales son las cualidades, ventajas y desventajas, como así también los procedimientos necesarios que han de llevarse a cabo para la elaboración del T.O FORM, los resultados de su utilización y las recomendaciones para el adecuado manejo, todo ello pensado y aplicado desde TO.

Los resultados que arroja la investigación, son que presenta baja dificultad en el manejo, con una temperatura de modelado de 49 °C, con tiempos de elaboración y entrega de la férula entre 1 y 6 horas, de mediana resistencia siendo que este se deforma después de ser utilizado entre 15 y 29 días aproximadamente, considerado de alta durabilidad por evidenciar cambios físicos después de 20 días de uso permanente y, para finalizar, el costo, reconocido como bajo, menos de la mitad del de otros materiales termoplásticos disponibles en Colombia.

En resumen, los estudios revisados abordan la importancia de seleccionar adecuadamente los materiales utilizados en el diseño y fabricación de órtesis en la práctica de rehabilitación, cobrando gran relevancia la TO en el proceso de selección de los mismos, como así también en la generación de nuevos materiales, participando en la búsqueda de soluciones y nuevas propuestas que permitan dar respuesta a una problemática que se repite sucesivamente en muchos países, incluida Argentina, que es la escasez de oferta de materiales termoplásticos de baja temperatura que cumplan con las características requeridas a un costo accesible.

7 Justificación

En el marco del proyecto de investigación “Análisis del tratamiento con órtesis: spica corta de material termoplástico y el programa ergonómico en personas con diagnóstico de osteoartritis de la articulación trapeciometacarpiana en estadio I y II” aprobado y financiado por la Universidad Nacional de Villa María en 2023, el equipo de trabajo conformado por una terapeuta ocupacional, una investigadora en ciencia e Ingeniería en Materiales, un médico especialista en traumatología y ortopedia y dos estudiantes de la Licenciatura en TO, se planteó la accesibilidad y el coste del termoplástico de baja temperatura, así es como surge la inquietud de buscar alternativas de menor costo en Argentina, constituyéndose el eje central de este trabajo final de grado.

En TO, la Ley nacional N. 27.051 (2014) establece cuales son los alcances de la profesión, destacando su rol en la evaluación, diseño y confección de ayudas técnicas y de tecnologías de asistencia, capacitar, asesorar y entrenar en el uso de estas, en este sentido, aunque la ley no es lo suficientemente explícita permite el pensar a las órtesis como una tecnología de asistencia. En la misma línea, en la provincia de Córdoba se sancionó la Ley N. 10.911 (2023) aun sin reglamentar, mencionando la actividad de participar en el diseño, fabricación e implementación de prótesis y órtesis.

Para llevar a cabo el proceso mencionado en dicha incumbencia, los/las terapeutas ocupacionales cuentan con los conocimientos necesarios, basados en la evidencia práctica, para la selección de los materiales según los requerimientos de los dispositivos.

En este sentido, el material utilizado es el termoplástico, familia de los polímeros, que según García Hernández y Martínez Utrera (2015), es un tipo de “plástico termoconformable a bajas temperaturas, ampliamente utilizado en la práctica de TO, para la confección de órtesis. Este permite el moldeo y manipulación a temperaturas de entre 50 °C – 80 °C” (p. 222), posibilitando el conformado y moldeo in situ sobre la piel sin riesgo de producir quemaduras, con acabado estético, brindando confort y varios ciclos de conformado, lo cual permite cumplir los objetivos terapéuticos establecidos.

Sin embargo, como se plantea anteriormente en antecedentes, la situación que viven profesionales de países como Brasil y Colombia, el acceso y disponibilidad del termoplástico de baja temperatura es dificultoso, ya que es un material importado, cotizado en monedas extranjeras, y por ende de alto costo, lo cual condiciona su utilización para el diseño y fabricación de la órtesis de miembro superior y, por consiguiente, el tratamiento que reciben las personas.

Esta es una investigación relevante en el área, puesto que permitirá el acceso a los/las terapistas ocupacionales a alternativas más económicas al termoplástico de baja temperatura comúnmente utilizado en el país que es ORFIT®, permitiendo una mayor disponibilidad de materiales termoplásticos, que cumplan con las propiedades que se requieren en la práctica de TO en base a la experiencia acumulada en rehabilitación de lesiones, traumas y patologías que comprometen el miembro superior.

Además, la misma plantea un gran desafío para la disciplina por el trabajo en conjunto con profesionales de la Ingeniería en Materiales, para la búsqueda y estudio de la viabilidad de distintos materiales termoplásticos, conjugando las cualidades y atributos requeridos desde TO, con las propiedades y características ingenieriles del mismo. Esto es posible mediante la interdisciplinariedad, entendida por el autor Morin (1998) como “el intercambio, interacción, cooperación de las disciplinas para la organización de conocimientos” y la posterior ampliación y descubrimientos de nuevos esquemas cognitivos.

Este tema podría ser de interés tanto para las personas que trabajan en la fabricación de materiales, como para los profesionales de TO y otros del campo de la salud. Cabe aclarar que este estudio no pretende sobreponerse a los materiales utilizados por años en la práctica profesional y de calidad demostrada, sino, incrementar el conocimiento de los profesionales de TO sobre un material comúnmente utilizado y complementarse con otras alternativas económicas y posibles de pensarse y utilizarse en Argentina.

CAPITULO 2

DESARROLLO TEÓRICO



8 Marco teórico

Este capítulo, organizado en tres partes, tiene como objetivo presentar las bases teóricas que sustentan el desarrollo de la investigación, donde se establecerán las conexiones conceptuales entre las variables de estudio, proporcionando un marco que guía la comprensión del objeto de estudio.

8.1 Primera Parte: TO, el diseño y fabricación de órtesis

En Córdoba se aprobó la Ley N. 10.911 (aun sin reglamentar) en septiembre de 2023, la cual regula el ejercicio de la profesión en la provincia, mencionando en el capítulo 1, artículo 4 las actividades del ejercicio profesional, la actividad de participar en el diseño, fabricación e implementación de prótesis y órtesis.

Siendo esto un hito para la profesión, delimitando un campo de práctica y producción de conocimiento en los procesos de rehabilitación. Sin embargo, en el país existe escasez de estudios en lo que implica a los materiales utilizados para estas.

A partir del carácter amplio y la complejidad inherente de la disciplina, se selecciona como marco conceptual de referencia, el Modelo de Tecnología de Asistencia para la Actividad Humana (Human activity assistive technology model, HAAT) diseñado para guiar la evaluación y prescripción de tecnología de asistencia, así como evaluar el resultado funcional del sistema definido como una persona con dificultades funcionales (permanentes o temporales) quien realiza una actividad en un contexto determinado.

Desde su primer planteamiento en 1995 y luego en 2002, los autores Cook A. I. (ingeniero en rehabilitación) y Hussey S. (terapista ocupacional), y posteriormente junto con Polgar J. (terapista ocupacional) en 2008, definen cuatro componentes básicos para comprender dicho modelo, los cuales son:

Humano: comprende los aspectos sensoperceptuales, motores y praxis, cognitivos, comunicacionales, emocionales, valores y creencias.

Actividad: la manera en cómo la persona lleva a cabo las tareas que conforman las actividades en las distintas áreas ocupacionales, objetos utilizados, tiempo, espacio y demás demandas.

Contexto: considerando que el diseño y fabricación de tecnología de asistencia es influida por el factor cultural, social, personal, físico, económico, temporal, virtual e institucional.

Tecnología de Asistencia (TA): comprende el estudio de la relación que se establece entre dicho producto con la persona, con el ambiente donde se va a utilizar y

la contribución para mejorar el desempeño ocupacional en las actividades de la vida diaria.

En función de lo mencionado y bajo la influencia de planteamientos del autor Giesbrecht (2013), se pretende dejar en claro ciertas salvedades para dar mejor comprensión, en el cual las autoras del presente trabajo (Bonis L. I. y Burgos B. A.) no considera en primer lugar el componente humano con dicha terminología, sino que se entiende como persona desde una mirada holística de la misma y en segundo lugar, si bien, el contexto es considerado como influyente para los otros tres componentes, los autores lo plantean como no omnipresente, sin embargo, desde esta investigación se lo concibe como central y presente en todo momento.

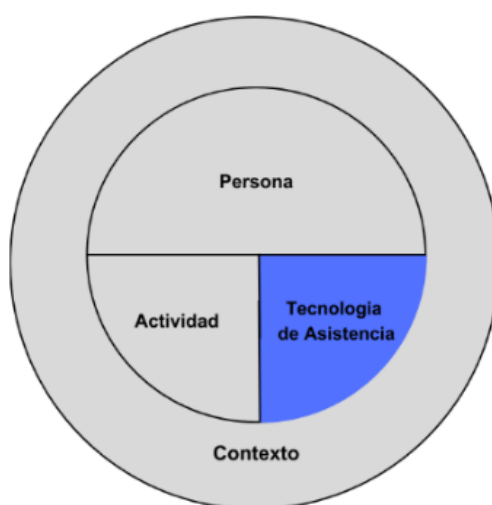


Figura 1: elaborado por las autoras, Bonis, L. I. y Burgos, B. A. (2023). Diagrama del modelo HAAT revisado para reflejar la tecnología de asistencia como punto focal y su determinación en relación a la persona, la actividad y el contexto.

De acuerdo a lo que estipula la Organización Mundial de la Salud, las órtesis son TA, prioritarias para la salud y la calidad de vida de las personas, y según Laserna (2002) permiten “mejorar las capacidades físicas y estimular las habilidades diarias de los adultos que presenten alguna alteración del sistema nervioso, cuya manifestación limite la funcionalidad del complejo muñeca-mano en las actividades de la vida diaria” (como se citó en Gómez, 2015).

Así mismo, el acceso a estas suele ser dificultoso, debido a los costos elevados, la escasa disponibilidad y la financiación insuficiente, generando situaciones de vulnerabilidad. Es así como una estrategia fundante es el trabajo con equipos multidisciplinarios que desarrollen e investiguen sobre TA de bajo costo, lo cual implica la revisión de la variedad de materiales, posibles alternativas y su viabilidad para la práctica, favoreciendo su acceso y disponibilidad.

Debido a esto, se justifica aún más la relevancia del tema propuesto siendo de interés para todos aquellos profesionales partícipes e impulsores del desarrollo y aplicación de TA.

8.2 Segunda Parte: las órtesis, sus características y proceso de prescripción

Las órtesis son recursos terapéuticos ampliamente utilizados en el ámbito de TO, para mejorar el desempeño ocupacional. De esta manera, se reconoce que la salud es obtenida y mantenida cuando las personas son capaces de comprometerse en ocupaciones y actividades que permiten la participación deseada o necesaria en los distintos contextos de su vida. Esta participación está influida por una complejidad de factores que hacen posible que la promoción de la salud atreves de las ocupaciones (AOTA, 2010).

En este sentido, la International Organization for Standardization, ISO 9999 (2012), define a las órtesis como “dispositivos externos aplicados para modificar las características estructurales y funcionales del sistema neuromuscular y esquelético” (p. 28).

Así mismo, otros autores mencionan que:

(...) Las órtesis, son dispositivos que ayudan en la recuperación funcional, y pueden ser prescritos y realizados por terapeutas ocupacionales, siendo aplicados en segmentos y articulaciones para promover posicionamientos estáticos o movimientos dirigidos, cuyo principal objetivo es promover la aplicación de fuerzas buscando la reestructuración del equilibrio biomecánico del segmento comprometido. (Barbosa y Mendes, 2020, p. 2)

La autora Trombly (2008), diferencia los términos férula y órtesis, mencionando que la primera son aquellos dispositivos temporales, a diferencia de las órtesis las cuales corresponden dispositivos permanentes que reemplazan o sustituyen la pérdida de función muscular. Pero en esta investigación se utilizarán los términos, órtesis y férula de forma indistinta, basados en la práctica misma de la profesión y la validación realizada por la Sociedad Americana de Terapeutas de Mano en 1992.

A continuación, se mencionan tres categorías principales de órtesis:

Las órtesis de extremidades inferiores, abarcando desde la cadera al pie, que desempeñan un papel importante en el soporte del peso y en la marcha.

Las órtesis espinales, utilizadas para reducir el dolor, corregir o disminuir la progresión de la deformidad y prevenir o minimizar lesiones.

Y, por último, las órtesis de miembros superiores, desempeñan un papel importante para ayudar a la función de estos. Siendo el miembro superior una cadena cinemática con gran movilidad y capacidad de prensión, constituida por las articulaciones del hombro, codo y muñeca, las cuales permiten orientar la mano en el espacio, siendo su misión fundamental la de agarrar, manipular y alcanzar objetos desde cualquier lugar y en el propio cuerpo para poder llevar a cabo las actividades de la vida diaria, además de permitir la defensa y equilibrio. (Zambudio, 2009, p. 245).

Dentro de cada categoría, existen muchos tipos de órtesis disponibles que la International Organization for Standardization, ISO 8549-3 (1989), clasifica según los segmentos anatómicos y las articulaciones que abarcan, y establece un sistema de abreviaturas derivadas de las iniciales de los términos ingleses para cada categoría, considerando con respecto al miembro superior los siguientes:

SO: shoulder orthosis (órtesis de hombro).

EO: elbow orthosis (órtesis de codo).

WO: wrist orthosis (órtesis de muñeca).

HO: hand orthosis (órtesis de mano).

WHO: wrist hand orthosis (órtesis de mano y muñeca).

EWHO: elbow wrist hand orthosis (órtesis de mano, muñeca y codo).

SEWHO: shoulder elbow wrist hand orthosis (órtesis de mano, muñeca, codo y hombro).

Además, como parte de un plan de abordaje terapéutico, Hsu, Michael y Fisk (2009) postulan que es imprescindible que la aplicación de las órtesis se fundamente por objetivos terapéuticos concretos, tales como: disminuir el dolor y edema, tratar deformidades, prevenir la movilidad articular excesiva, aumentar el arco de movimiento activo y pasivo de la articulación, compensar anomalías de longitud o forma del segmento, tratar anomalías de la función neuromuscular (por ejemplo, debilidad, hipotonía, hipertonia o espasticidad), proteger los tejidos, promover la cicatrización, servir de base para conectarse a otros dispositivos de asistencia y proporcionar otros efectos como placebo, calor y “feedback” postural .

Los principales tipos de órtesis se describen no sólo con respecto a objetivos de tratamiento sino también a la función que estas presentan, considerando, la función protectora, correctora y de asistencia.

Las de función protectora, hacen referencia a la inmovilización de un segmento o articulaciones para favorecer su reposo, evitando movimientos bruscos o posiciones no deseadas (órtesis de inmovilización), como así también el bloqueo de articulaciones en grados predeterminados (órtesis de bloqueo).

Las segundas con función correctora, son órtesis que van aplicando fuerzas progresivas a las articulaciones para favorecer o incrementar el arco de movimiento o la función musculoesquelética debilitada (órtesis de movilización).

Y, por último, las que tienen función de asistencia, actúan mediante la aplicación de mecanismos de tracción, colocando las articulaciones en posiciones adecuadas, durante la ausencia de la función muscular (órtesis de movilización) (Hernández y Utrera, 2015).

Según dichas funciones descritas, otra forma complementaria de clasificarlas establecida por McKee & Morgan (como se citó en Hernández y Utrera, 2015) es:

Órtesis sin articulares: no cruzan articulaciones, por lo que no influyen sobre la movilidad articular. Son férulas de inmovilización con función protectora.

Órtesis estáticas: estabilizan una o varias articulaciones completamente. Son también férulas de inmovilización con función protectora de estructuras dañadas o inflamadas para evitar el dolor y disminuir la inflamación mediante el posicionamiento adecuado.

Órtesis estáticas con bloqueo: permiten la movilidad en una dirección, pero la limitan en la opuesta.

Órtesis estáticas seriadas: incrementan el arco de movimiento articular de forma pasiva, por la aplicación de fuerzas intrínsecas a la férula, que inmovilizan totalmente las articulaciones. La función de estas es correctora.

Órtesis estáticas progresivas: influyen en la movilidad de la misma forma que las anteriores, pero utilizando un mecanismo extrínseco para la aplicación de las fuerzas, es decir, un sistema de tracción no elástico que permite ajustar su tensión, a medida que la rigidez o contractura va cediendo. Su función es protectora.

Órtesis dinámicas: aplican una fuerza de tracción pasiva en una dirección, mientras permiten la movilidad activa resistida en la dirección opuesta, su función es o bien de asistencia pasiva de uno de los movimientos y correctora por medio de la resistencia en el movimiento contrario.

Órtesis dinámicas con bloqueo: modificación de las anteriores que incorporan un componente que limita la movilidad en una dirección del movimiento.

Complementando dichas clasificaciones, las órtesis se pueden describir según su diseño:

Dorsal: la superficie de contacto es posterior, y se utilizan más como base de férulas dinámicas de extensión dejando libre el territorio sensorial de la mano.

Palmar: superficie de contacto anterior con la cara palmar del antebrazo y mano.

Lateral radial y cubital: cuando el contacto es por una de las caras laterales del antebrazo.

Bivalva: compuestas por dos partes separadas que encierran la articulación o estructura entre ambas,

Circunferencial: envuelve toda una articulación o segmento corporal

Espiral: su diseño estructural sigue una forma helicoidal o de espiral alrededor del segmento corporal.

Doble superficie: diseño estructural sigue una forma helicoidal o de espiral alrededor del segmento corporal.

Por otra parte, Hsu et al. (2009), contemplan además distintos componentes de las férulas, como los de interfase, que son aquellos que están en contacto directo con la persona y son responsables de mantenerla en su sitio, como: cubiertas, almohadillas, cinchas, órtesis de pie y calzado. Los componentes articulados, utilizados para permitir o controlar el movimiento de articulaciones anatómicas, especificando: la articulación anatómica cuyos movimientos se pretenden permitir o controlar; la forma de ésta; el eje de rotación; y el tipo de controles que incorpora la articulación (p. ej., bloqueos, mecanismos limitadores, mecanismos de ayuda/resistencia). Los componentes estructurales, que conectan los componentes de interfaz y articulados y mantienen la alineación de la órtesis, abarcan los montales y las cubiertas. Y los componentes estéticos se definen como, los medios para proporcionar hechuras, colores y texturas a las órtesis, incluyendo los rellenos, los foros y las fundas.

Así mismo, es importante mencionar que para la confección de órtesis se deben tener en cuenta principios que determinan la correcta ferulización, los cuales son: principios anatómicos como arcos y pliegues de los segmentos corporales; principios biomecánicos que incluyen fuerza, palanca y presión; y los principios fisiológicos como crecimiento y reabsorción, fases de cicatrización y rangos elástico y plástico de los tejidos.

Todas estas clasificaciones y categorías referentes a las órtesis, así como los principios mencionados, permiten la adecuada prescripción de las mismas por parte de los/las terapeutas ocupacionales, de allí que esto constituya un proceso complejo y dinámico, donde es de primordial importancia contar con conocimientos, técnicas y métodos específicos aplicados al diseño y fabricación, considerando el proceso patológico, evaluación inicial, objetivos propuestos, principios anatómicos, fisiológicos, biomecánicos, materiales a utilizar, uso y características de estos.

8.2.1 Prescripción de órtesis

La prescripción de la órtesis como parte del plan terapéutico, es uno de los elementos del largo proceso de rehabilitación para mejorar la capacidad funcional de la persona que presenta dificultades en el desempeño ocupacional producto de una alteración mecánica o funcional, provocada por una patología o un trauma. La identificación y comprensión de estas alteraciones, el curso de la patología y de su pronóstico, permiten una mayor precisión en el propósito de la órtesis como medida terapéutica.

Este proceso puede presentarse como lo plantea Hsu et al. (2009), en tres fases, la primera de evaluación del arco de movimiento activo y pasivo, la fuerza, la sensibilidad, el tono muscular, la integridad de la piel, la presencia de edema y dolor, deformidades y compensaciones, para identificar los problemas, la patología y la discapacidad subyacente y establecer un pronóstico, además de explorar los segmentos o miembros no comprometidos para comprender mejor la capacidad funcional y potencial, su desempeño ocupacional y estado cognitivo para determinar si puede cumplir con la formación y las instrucciones relativas al dispositivo ortésico; en la segunda fase, se elabora un plan terapéutico real, que plasma por escrito el abordaje establecido, incluido el ortésico, la educación de la persona y medidas alternativas; y durante la tercera fase se lleva a cabo el seguimiento para evaluar el resultado funcional, desempeño ocupacional y calidad de vida.

A continuación, se describe el proceso de prescripción de la órtesis como parte del tratamiento de la segunda fase del proceso de rehabilitación.

En primera instancia es importante tener en cuenta que el espacio de trabajo debe ser confortable a los usos que le dará el/la profesional, siendo necesario contar con herramientas como pistola de calor, batea de agua caliente, remachadora, sacabocado, alicate, cinta métrica, marcadores, pinzas y tijeras, además de materiales como, abrojo, malla tubular, alambre, elásticos, termoplásticos de baja temperatura, lycra, yeso, goma espuma de baja densidad, goma eva, entre otros.

La autora Trombly (2008), define con exhaustividad como es el proceso de prescripción de órtesis utilizando en este caso en particular termoplástico de baja temperatura. Partiendo de la *selección del diseño de la órtesis*, se debe tener en cuenta la posición funcional de cada segmento corporal y posiciones de reposo determinadas de las articulaciones para lograr un equilibrio entre los mecanismos biomecánicos involucrados, y se determina el tipo de férula según la función que se desea obtener y su diseño.

Una vez que el/la terapeuta ocupacional tiene en mente los parámetros del diseño de la férula, puede ser este un diseño estándar para el cual existen patrones

determinados, o bien se puede adaptar el mismo ajustándose al objetivo específico, como así también se puede diseñar una nueva férula y hacer un patrón único para abordar las necesidades de la persona. Cabe aclarar, que esto y los demás pasos siguientes dependen de la práctica y conveniencia de cada profesional.

Posteriormente, se debe *ajustar el patrón*, el mismo debe dibujarse a pulso para que se ajuste a la zona anatómica, pudiendo realizarlo sobre el material en sí con el cual se va a trabajar, o bien sobre moldes de papel, en los cuales se traza el contorno de la zona donde se va a aplicar la órtesis, siendo importante que la persona se encuentre en una posición cómoda y luego sobre este dibujo se plasme la órtesis. A continuación, se recorta dicho molde, se corrobora con el segmento corporal y se realizan los ajustes necesarios hasta lograr un patrón adecuado y que cumpla con los requerimientos necesarios.

Un paso de gran relevancia del proceso es la *selección del material*, es amplia la variedad de materiales disponibles, siendo importante discutir sobre cada uno, teniendo en cuenta tanto las ventajas y las desventajas que estos proveen, según la base de sus propiedades y métodos requeridos para trabajar y los objetivos con los cuales el/la profesional decide confeccionar la órtesis.

Así mismo:

(...) Es necesario comprender las características del material y el propósito de la órtesis, ya que no existe un material adecuado para todas las situaciones encontradas en la clínica. Estos materiales, como el yeso, los termoplásticos de alta y baja temperatura, el neopreno, las láminas de metal, el cuero y los tejidos varían en rigidez, flexibilidad de uso, memoria, adaptabilidad, durabilidad, acabado, resistencia y autoadhesión. (Barbosa y Mendes, 2020, p. 2)

Es así como la selección del material es un factor de extrema importancia para el diseño y fabricación de la órtesis, ya que puede influir por múltiples motivos en la consecución o no de los objetivos del proceso de rehabilitación.

Como así también otro factor a tener en cuenta en dicha selección, es la accesibilidad a la variedad de materiales existentes, que muchas veces está sujeta a la disponibilidad de recursos económicos de las personas y las instituciones donde trabajan los/las profesionales (Ocello y Lovotti, 2015, p. 24).

Una vez que se ha seleccionado el diseño, ajustado el patrón a la persona, y escogido el material más adecuado, se procede a la *fabricación de la órtesis*. El primer paso es el marcado del patrón en el material, este requiere para su trazo un crayón graso, lápiz de carbón, marcador con tinta de agua o un cutter, ya que la tinta de una lapicera o de una fibra no podrá quitarse y un lápiz no marcará bien el trazo.

Luego se procede a realizar el corte del material, este puede ser en seco, lo cual reviste mayor dificultad por su rigidez requiriendo de tijeras especiales o cutter para marcarlo. Otra alternativa es introducirlo en agua a una temperatura entre los 50 °C - 60 °C o exponer el material al calor seco, de esta manera el ablandamiento del material permite proceder al corte más fácilmente.

Cabe realizar una salvedad, no es igual exponer el termoplástico al calor húmedo o al seco, en el caso del primero su ablandamiento es en menor tiempo y de forma uniforme, en cambio al utilizar pistolas de calor el tiempo es mayor, ya que se expone el material por segmentos y de manera intermitente para evitar quemaduras por el sostén del mismo y un ablandamiento excesivo por la alta temperatura (mayor a 150 °C).

Después se moldea sobre la superficie de la piel de la zona a tratar, el material se puede estirar y adaptar a las superficies cóncavas y convexas del segmento, contornos y eminencias anatómicas, en este sentido la autora Herrera (2023) advierte que durante el moldeo se debe procurar no aplicar fuerzas excesivas, ya que además de dejar marcas, como huellas digitales, puede generar a posterior, puntos de presión, con el consecuente daño tisular e intolerancia al uso de la férula.

La órtesis puede requerir el reforzamiento, para esto se fusiona el mismo material calentando dos piezas y presionando fuertemente entre sí, exactamente en la posición que se desea el refuerzo. También para aumentar la resistencia, se puede insertar alambre acerado o aluminio entre ambas piezas de termoplástico.

Un paso de real importancia es el terminado de los bordes, ya que se pueden constituir en puntos que pueden ejercer presión, por ende, una vez moldeada la órtesis se realizan los acabados finales de los bordes redondeando los mismos.

Al final del proceso se realiza la colocación de los elementos de sujeción al segmento corporal, por lo general se utilizan abrojos autoadhesivos machos los cuales se colocan en la misma órtesis y abrojos hembras que la cierran. En caso de no contar con abrojos autoadhesivos pueden utilizarse abrojos los cuales se pegan mediante cemento de contacto.

Por otro lado, en la prescripción de órtesis dinámicas o estáticas progresivas, los elementos de soporte como el alambre o aluminio emergen de la misma, con el fin de suspender elásticos o distintos mecanismos de tracción hacia otras zonas anatómicas. Una de las formas de aplicar los mismos es colocando los extremos entre capas del termoplástico y luego fusionarlas entre sí, esto debe efectuarse antes de que la órtesis termine de ser moldeada.

Después se lleva a cabo la *revisión de la férula*, lo que implica examinar el ajuste, la función y la confiabilidad. Teniendo en cuenta los siguientes puntos, según la autora Trombly (2008):

¿Satisface realmente la órtesis el propósito para el cual fue elaborada?, ¿Están los interiores, bordes, remaches, etcétera revestidos y alisados para evitar las lesiones cutáneas?, ¿Inmoviliza innecesariamente alguna articulación?, ¿Hay áreas enrojecidas de la piel, indicando presión, que perduran más de 20 minutos después de que la férula haya sido quitada tras usarla media hora?, ¿Cuánto tiempo puede usar la órtesis sin incomodidad?, ¿Cumple la férula con los requisitos recomendados para un buen ajuste?, ¿Es cómoda?, ¿Está fabricada de modo que permita ser colocada y quitada por la persona?, ¿Puede la persona colocarla por sí misma o dar instrucciones claras a un tercero para su aplicación?, ¿Resulta estéticamente aceptable para la persona?, ¿Impide efectuar alguna actividad funcional que pudiera llevar a cabo sin ella? ¿Cuál? ¿Por qué? y ¿Es la construcción de la férula lo suficientemente fuerte y duradera para tal fin?

De acuerdo a Ocello y Lovotti (2015), otro de los aspectos relevantes es la *instrucción de la persona* acerca del uso de esta, los objetivos que se persiguen en el encuadre del tratamiento integral, la forma y el tiempo de uso.

Indicando verbalmente o por escrito, de forma clara y precisa, cómo colocar y quitar la férula, cuántas veces debe realizar ejercicios y actividades prescritas sin la órtesis y cuándo los realizará con la misma, combinando periodos de utilización y de descanso, incrementando el uso de acuerdo a la tolerancia que va manifestando la persona y los tiempos terapéuticos específicos, además educar sobre el monitoreo del estado de la piel y la circulación, determinando la presencia de molestia o dolor, enrojecimiento y marcas de presión en la piel, heridas por compresión o cizalle y flictenas, aumento del volumen local, parestesia, anestesia (alteraciones sensitivas) y dermatitis de contacto (reacción alérgica al plástico, humedad y sudoración).

Si las funciones cognitivas de la persona no permiten la comprensión de las consignas, se deberá instruir a la familia o cuidadores, utilizando estrategias como ilustraciones sobre el uso de la férula, y el programa para el hogar. Las instrucciones escritas disminuyen el riesgo de malos entendidos o instrucciones incorrectas. También pueden incluirse vídeos u otros materiales audiovisuales.

Igualmente, se le proveerá a la persona una serie de recomendaciones y cuidados con respecto a esta, tales como su higienización, la no exposición prolongada a fuentes de calor como encendedores, hornallas, radiadores o calefactores y al sol.

La autora Herrera (2023), menciona que es fundamental para lograr la adhesión al tratamiento, el control y seguimiento del uso y contribución de la órtesis al plan de tratamiento, permitiendo al/la terapeuta ocupacional visibilizar las limitaciones, para efectuar en forma pertinente la mantención, modificación o cambio del dispositivo.

De esta manera se fundamenta la importancia del/la terapeuta ocupacional en procesos interdisciplinarios, ya que cuenta con los conocimientos sobre anatomía, biomecánica y traumatología, además de la valoración de las actividades y ocupaciones. Con esto, se entiende que la prescripción ortésica es un proceso complejo de identificación y aplicación de la férula más pertinente de acuerdo a la persona, la patología, el contexto en el cual se desempeña y las actividades que realiza.

8.3 Tercera Parte: polímero termoplástico de baja temperatura

A partir de la invención del primer polímero artificial, la bakelita, la familia de los materiales fue creciendo ampliamente, y luego de la Segunda Guerra Mundial comienzan a producirse en laboratorios distintos polímeros que revolucionaron no sólo el campo de la salud, sino la vida diaria de las personas.

En este sentido, el término polímero proviene del griego polys (muchos) y meros (partes), estos son “moléculas de gran tamaño, constituidas por eslabones orgánicos denominados monómeros, unidos mediante enlaces covalentes. Los eslabones están formados, fundamentalmente, por átomos de carbono y pueden poseer grupos laterales o radicales con uno o más átomos” (Hermida, 2011, p. 14).

Es decir, los polímeros son compuestos químicos conformados por la unión de moléculas grandes, macromoléculas, que a su vez están formadas por la unión de más pequeñas llamadas monómeros, generalmente orgánicas (carbono e hidrógeno principalmente, u otros elementos como nitrógeno, oxígeno, fósforo, silicio, azufre, entre otros), entrelazadas entre sí constituyendo una cadena.

Los polímeros de acuerdo a Hermida (2011), se pueden clasificar según: su *origen*, en naturales y sintéticos; *estructura de la cadena*, en lineales, ramificados y entrecruzados; *composición*, en homopolímero y copolímero; *comportamiento frente al calor*, en termoplásticos y termorrígidos; y el *área de aplicación*, en elastómeros, plásticos, adhesivos, acabados de superficies y fibras.

En el caso específico de los termoplásticos alrededor de 1970, aparecieron los materiales a base de policaprolactona, de cadenas principales muy largas de átomos de carbono unidos por enlaces covalentes. Estos termoplásticos son los que actualmente se utilizan para el diseño y fabricación de órtesis.

Así mismo, se clasifican en termoplásticos de alta y baja temperatura, los primeros, según Herrera (2023) son polímeros termomoldeables que para su activación requieren temperaturas de base mayores a los 80 °C. Por esta razón no pueden ser moldeados directamente sobre la estructura corporal. Entre estos se encuentra el PVC, el acrílico y el plastazote.

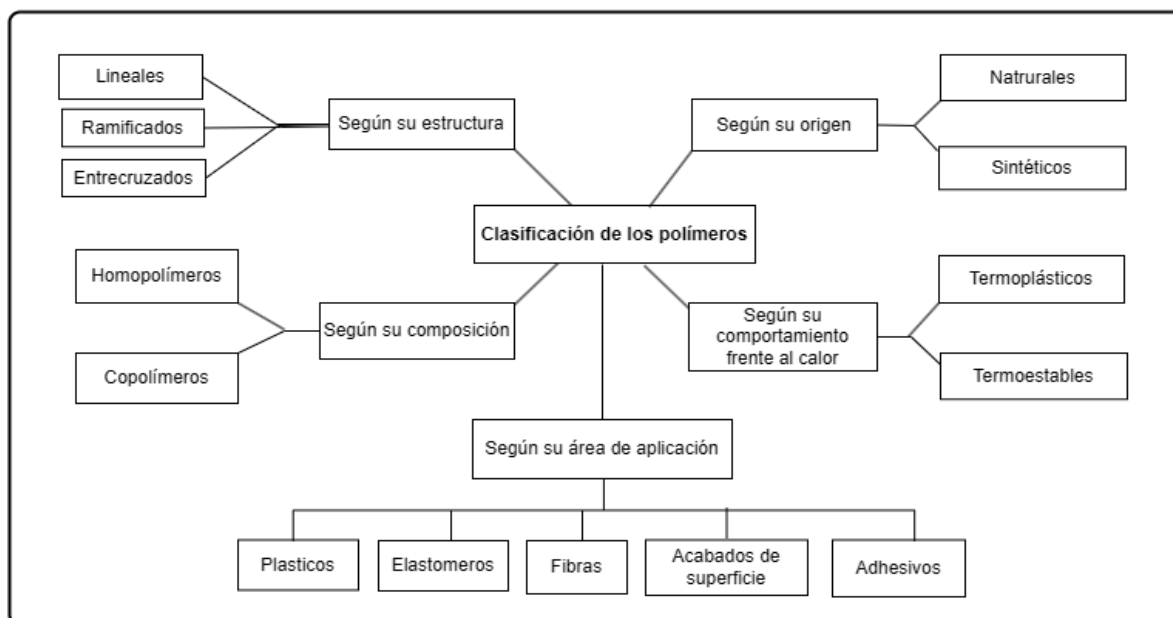


Figura 2: elaborado por las autoras, Bonis, L. I. y Burgos, B. A. (2023). Clasificación de los polímeros.

En el caso de los termoplásticos de baja temperatura, presenta una T. ablandamiento entre 50 °C - 80 °C, tienen facilidad para ser fundidos, y por lo tanto pueden ser moldeados, después de enfriarse sobre la piel, mantienen la forma que adquirieron, pudiéndose sumergir en agua caliente y moldear varias veces y rehacer en varias formas sin alterarse significativamente, ya que recuperan sus propiedades originales al enfriarse.

Es así que los termoplásticos de baja temperatura permiten el diseño y fabricación de órtesis en menor tiempo, con equipo mínimo y muy buenos resultados, comparado con el proceso largo y dispendioso en caso de utilizar materiales como madera, metales y PVC, sumando en la actualidad piezas producidas por impresión 3D de polietileno. Dado que estos requieren de procesos de conformado ex situ determinados por las altas temperaturas requeridas, la alta rigidez de las piezas construidas o los equipos necesarios para el conformado.

Definitivamente el termoplástico de baja temperatura, cambió en el corto plazo la manera de hacer órtesis para los/las terapeutas ocupacionales y que posteriormente se trasladó a la fabricación de productos de apoyo.

En el mercado internacional existen muchos tipos de termoplásticos de baja temperatura, pero en Argentina se trata de un producto importado de alto costo, que condiciona su acceso y disponibilidad y por ende para la concreción de los objetivos terapéuticos establecidos.

Por otra parte, los/las terapistas ocupacionales para la selección del termoplástico de baja temperatura tienen en cuenta las características que los diferencian y que reconocen debido a su práctica diaria, según García Hernández y Martínez Utrera (2025) las características que destacan son principalmente tres: la resistencia, el grosor y la perforación.

Resistencia: es el grado de oposición que presenta el termoplástico al estiramiento sin llegar a romperse. Según esto, hay materiales de resistencia máxima, moderada y mínima. Dependiendo de qué tipo de férula vaya a realizar, se utilizará una resistencia u otra.

Grosor: los materiales oscilan entre 1,5 y 5 milímetros. Este aspecto influye mucho en el tamaño de la férula y la rigidez que proporciona. A más grosor, más rigidez, pero hay ocasiones en las que, aunque la férula sea grande, no es necesario que sea muy rígida.

Perforación: todos los materiales pueden ser no perforados, perforados o súper perforados. La perforación está en relación con la ventilación; al tratarse de plásticos, la piel en contacto con él tiene pocas posibilidades de transpirar; en el caso de personas que sudan mucho, hay que elegir plásticos ventilados en mayor o menor medida, pero hay que tener en cuenta que, a mayor perforación, menor rigidez. (p. 222)

Además de estas características, dichos autores mencionan otras que no se deben olvidar, como son la memoria, el revestimiento y el tiempo de trabajo.

Memoria: es la capacidad que tienen algunos materiales de recuperar su forma original en frío, tantas veces como se sumerge en el agua y llega a su temperatura óptima de moldeado.

Revestimiento: algunos plásticos están cubiertos por una capa protectora que facilita la confección de las férulas, porque permite adherir momentáneamente el material sobre sí mismo mientras está caliente, pero que después, en frío, se puede despegar. Si se prefiere que esta adhesión sea definitiva, este revestimiento se elimina frotando con algodón empapado en disolvente sobre la zona que se quiere adherir.

Tiempo de Trabajo: depende de la resistencia, el grosor y la perforación. Cuanta más resistencia tenga el material, menos tiempo de trabajo; cuanto más grueso, más tiempo de trabajo, porque tarda más en

enfriarse; cuanto más perforado esté, menos tiempo de trabajo. En general, los tiempos oscilan entre 3 y 7 minutos desde que se ha conseguido la temperatura óptima de moldeado. (García Hernández y Martínez Utrera, 2015, p. 223)

Como así también se destaca la maleabilidad, el confort (para que pueda ser utilizado durante el tiempo indicado, de fácil higiene, colocación y retiro), simple proceso de conformado in situ (característica estructural de un material que le permite ser moldeado en productos con diferentes dimensiones y geometrías, ajustándose al segmento corporal y posibilitando la adaptación a la anatomía) y durabilidad.

Aunque los/las terapistas ocupacionales reconocen dichas características debido a la práctica diaria, poco conocen del origen, composición química y propiedades mecánicas del material que posibilitan dichas ventajas.

La situación ideal sería contar con una vasta variedad de materiales y aditamentos para el diseño y fabricación de órtesis, lo cual implicaría no restringir las posibilidades de elección. En defecto, en muchos países los/las profesionales se integran a equipos de trabajo con el objetivo de investigar y desarrollar distintos materiales que sean viables y de fácil acceso, lo que lleva a que estos cuenten con los conocimientos sobre el manejo de estas alternativas, para una correcta elección y aplicación.

Por otro lado, la autora Herrera (2023) plantea que los materiales alternativos o también denominados materiales de bajo costo, son aquellos que no han sido específicamente creados para ser utilizados en el diseño y fabricación de férulas, pero que presentan características que los hacen adecuados para estos dispositivos.

Sigue la autora expresando que, la decisión para que el/la terapeuta ocupacional opte por seleccionar materiales de bajo costo, es influenciada por: dificultad para acceder a materiales manufacturados para la fabricación de órtesis, o las habilidades y pericia para reconocer que las características de estos materiales alternativos son adecuadas a las necesidades de la persona y que posibilitan el cumplimiento de los objetivos terapéuticos.

Este desarrollo teórico permite ahondar más aún en los conocimientos necesarios para la comprensión de los aportes ya realizados en el campo disciplinar y para la fundamentación de las variables de estudio que se proponen en este trabajo.

CAPITULO 3

DISEÑO METODOLÓGICO



9 Metodología – Diseño metodológico

9.1 Tipo de investigación

A partir de lo planteado por el autor Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014), este trabajo de investigación corresponde a un enfoque cuantitativo, ya que se determinarán variables que permitan realizar un análisis del potencial de materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina, siendo este un tema de investigación poco estudiado desde TO en el país, e incluso con pocos antecedentes en la literatura internacional de acuerdo a un exhaustivo relevamiento de antecedentes / estado de la cuestión.

Se trata de una investigación con alcance explicativo debido a que el objetivo es analizar si determinados materiales termoplásticos de baja temperatura cumplen con las propiedades necesarias en TO para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior. Es un diseño transeccional o transversal, ya que se busca conocer y analizar materiales en un sólo momento y contexto socioeconómico en Argentina durante 2024.

9.2 Materiales y métodos

Unidad de análisis: materiales termoplásticos más económicos que ORFIT® y disponibles en Argentina en 2024.

Variables (bivariado): variable independiente: materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos; variable dependiente: propiedades de los materiales requeridas para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

Universo: termoplásticos de baja temperatura.

Población accesible: termoplásticos de baja temperatura más económicos (aproximadamente igual o inferior al costo de referencia de ciento diecisiete mil pesos correspondiente a una plancha de termoplástico Orfit Eco de 2,4 mm y 45 cm por 60 cm) y disponibles en Argentina.

Muestra: se tomarán para su análisis tres muestras de los materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina, de tamaño y forma suficiente que permita el estudio del material.

Debido a la complejidad del tema de investigación para responder a los criterios de inclusión e instrumentos de recolección de datos, se realizará por cada uno de los objetivos específicos.

Objetivo A: identificar las principales cualidades y atributos que el termoplástico de baja temperatura ORFIT© posee, para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en la práctica de TO.

Criterios de inclusión: cualidades y atributos físicos del material utilizado en el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior desde el conocimiento teórico de TO (tomando como referencia el presente marco teórico). La información se condensará de manera narrativa en Word.

Instrumento de recolección de datos: se relevará detalladamente la información de las principales cualidades y atributos que tiene el material ORFIT©, mediante la revisión de catálogos disponibles en la web y el material bibliográfico del marco teórico.

Objetivo B: establecer las propiedades con las que deberían contar los termoplásticos de baja temperatura candidatos, para ser utilizados en la misma aplicación, en colaboración con la Ingeniería en Materiales y en base a las cualidades y atributos establecidos en el objetivo A,

Criterios de inclusión: propiedades de los termoplásticos de baja temperatura, según los conocimientos teóricos y prácticos desde la Ingeniería en Materiales, tomando como partida las cualidades y atributos físicos establecidos desde TO en el objetivo A.

Instrumento de recolección de datos: posteriormente en sesiones de consultorías con ingenieros en materiales, se determinarán qué características y propiedades físicas del material utilizado son las que determinan la posibilidad de un correcto diseño y fabricación de órtesis de miembro superior. La información se condensará de manera narrativa en Word.

Objetivo C: realizar una búsqueda de materiales que cumplan con las características y propiedades físicas determinadas en el objetivo B: termoplásticos de baja temperatura, que sean económicos y estén disponibles en Argentina en 2024.

Criterios de inclusión: selección de tres materiales termoplásticos cuya T. ablandamiento sea menor a los 100°C, más económicos y disponibles en Argentina.

Instrumento de recolección de datos: búsqueda web de materiales termoplásticos de baja temperatura cuyas características y propiedades físicas se relacionen con las indicadas en el objetivo anterior.

Objetivo D: evaluar las características, propiedades y aptitud de los materiales para ser utilizados en el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior de acuerdo a los requerimientos de TO.

Criterios de inclusión: sólo se utilizarán muestras de los materiales que posean el rango de T. ablandamiento que sean factibles de utilizar para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

Instrumento de recolección de datos: se determinará con instrumental de laboratorio idóneo debidamente calibrado para las variables analizadas (temperatura de transición: termómetros; conformado: evaluación de la resistencia, corte en seco y húmedo con tijeras y cutter, acabado de superficies mediante observación y exposición a fuentes térmicas como rayos ultravioletas y encendedor) en comparación con las propiedades del material usualmente utilizado para el diseño y fabricación de órtesis. Los datos obtenidos se documentarán utilizando tablas y gráficos comparativos de los hallazgos en los diferentes materiales, junto con el comportamiento determinado en las mismas pruebas del material ORFIT©.

Objetivo E: describir el procedimiento de utilización de los materiales termoplásticos de baja temperatura a partir de los resultados de la investigación.

Criterios de inclusión: se incluyen los materiales termoplásticos de baja temperatura, más económicos y disponibles en Argentina, que cumplen con las características y propiedades físicas consideradas como requerimientos mínimos para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

Instrumento de recolección de datos: de acuerdo a los resultados obtenidos en el objetivo D se describirá el procedimiento de utilización de cada uno de los materiales.

CAPITULO 4

ANALISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS



10 Desarrollo del trabajo de campo

En este capítulo se presenta el proceso de recolección sistemática de información, desarrollo y análisis de los datos obtenidos durante el trabajo de campo, en relación a los objetivos, marco teórico y metodología establecida.

10.1 Primera Parte: caracterización del termoplástico de baja temperatura ORFIT©

Disponibilidad del material termoplástico de baja temperatura en ortopedias de Argentina, análisis del polímero ORFIT©, e identificación de cualidades y atributos fundamentales del material desde TO, para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

De acuerdo a la experiencia académica y de prácticas profesionales de TO, se conoce que en Argentina, el termoplástico de baja temperatura con mayor disponibilidad para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior es el de la marca ORFIT©¹. Se trata de un polímero importado de Bélgica de alto costo (plancha de ORFIT© Eco de 45 cm x 60 cm aproximadamente 117.000 pesos en mayo del 2025), lo que condiciona el acceso y disponibilidad para muchas personas y profesionales, y por ende para la concreción de los objetivos terapéuticos establecidos. Esto ha sido demostrado en 2024, en un proyecto de investigación denominado “Análisis del tratamiento con órtesis: spica corta de material termoplástico y el programa ergonómico en personas con diagnóstico de osteoartritis trapeciometacarpiana en estadio I y II”, llevada a cabo por Bonis L. I.; Burgos B. A.; Gómez Sánchez A. V.; Negrini I. J. y Virginio Tasca F. M. En el cual, uno de los objetivos se orienta a realizar un relevamiento de los materiales comerciales disponibles para la práctica profesional.

Para llevar a cabo dicho objetivo, se contactaron a distintas ortopedias de las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y La Pampa, consultando sobre la disponibilidad del termoplástico de baja temperatura, marca comercial, presentaciones y costo (véase Anexo 1). Lo cual arrojó los siguientes resultados: de

¹ Empresa que surge en 1981, en Wijnegem, Bélgica, impulsada por Leon Van Malderen, pionero en la producción de láminas termoplásticas para el mercado de dispositivos médicos, revolucionando la atención de personas en rehabilitación y oncología radioterápica. Actualmente, la empresa cuenta con centrales en países como Estados Unidos, China, Francia, Alemania y Países Bajos. Con vasto alcance de distribuidores en más de cien países a nivel mundial.

un total de cincuenta y cinco (55) ortopedias (quince (15) en Buenos Aires, dieciocho (18) en Córdoba, siete (7) en Santa Fe, once (11) en Entre Ríos y cuatro (4) en La Pampa), sólo nueve (9) cuentan con termoplástico de baja temperatura, siendo ocho (8) las que lo proveen a profesionales de salud.

Tal como muestra en la Figura 3, sólo el 16% de las ortopedias consultadas comercializan el material correspondiente, representando una gran diferencia. Siendo las ortopedias de las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, disponen de termoplástico de baja temperatura para la venta al público, de las cuales en su mayoría son de la empresa ORFIT©, a excepción de una que comercializa el material AQUAPLAST© en planchas de 10 cm x 10 cm.

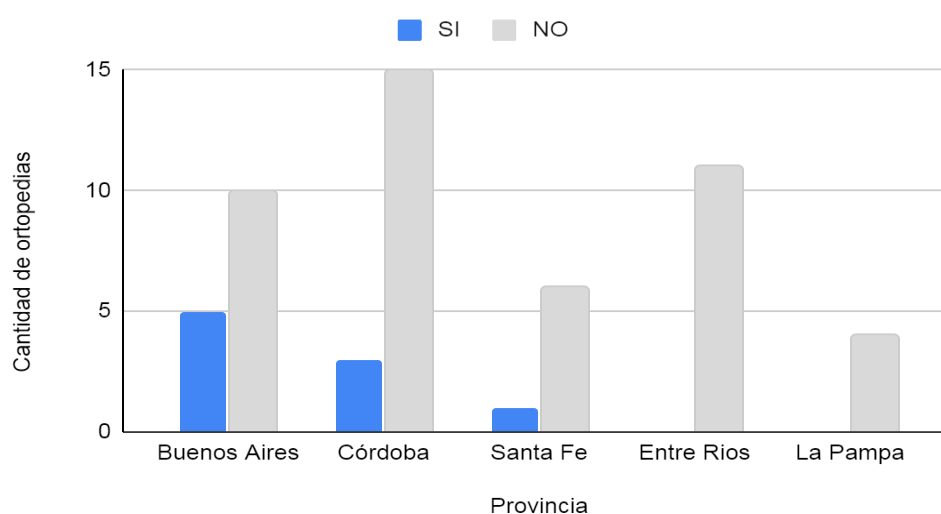


Figura 3: gráfico de proveedores que ofrecen termoplásticos de baja temperatura en Argentina (Bonis, L. I.; Burgos B. A.; Gómez Sánchez, A. V.; Negrini, I. J. y Virginio Tasca, F. M., 2024).

En relación a los costos del material ORFIT©, varían según las ortopedias y dimensiones, con medidas entre 45 cm x 60 cm y 90 cm x 45 cm, los valores oscilan para el mes de abril del 2024 entre setenta y seis mil ochocientos pesos (76.800) y quinientos cincuenta y cuatro mil pesos (554.000), además de gastos de envío.

Es así que, en base a los resultados del relevamiento se sostiene que el termoplástico de baja temperatura ORFIT© es el más utilizado en Argentina, ya que es una de las pocas marcas comerciales disponible y en presentaciones requeridas desde TO, para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior. Aún así su costo es elevado y de difícil acceso, ya que como se demostró, no está disponible en todas las provincias y ortopedias consultadas. De esta manera, con la información recabada se justifica aún más el análisis que se pretende llevar a cabo en la presente investigación, de materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina.

10.1.1 Identificación de las cualidades y atributos de termoplástico de baja temperatura según la empresa ORFIT© y TO

Con el propósito de responder al objetivo A de la presente investigación, se llevó a cabo un análisis pormenorizado de la documentación disponible sobre el material, revisando catálogos de producto obtenidos de la web oficial de ORFIT© (<https://www.orfit.com/>) y de la Ortopedia Gullone (<http://www.ortopediagullone.com.ar/>), distribuidor oficial en Argentina. Accediendo a un total de tres catálogos: *Materiales para férulas, mejorando la calidad de la vida cotidiana* (2014), *Catálogo de productos, ajustes personalizados* (2023) y *Catálogo de productos: Ajustes personalizados* (2024). En estos se especifican descripciones del material como, propiedades, características y presentaciones de los distintos productos disponibles.

En ellos, se afirma que la empresa ofrece una amplia línea de materiales termoplásticos de baja temperatura, especificando que la *T. ablandamiento* es entre 60 °C - 70 °C a excepción del ORFIT© Crystal a 80 °C, con tiempos de moldeo entre uno (1) y tres punto cinco (3.5) minutos, y tiempos de endurecimiento entre uno (1) y diez (10) minutos.

Además, en los catálogos se destacan propiedades como: *memoria*, siendo está definida como “la capacidad de retorno a su original forma y tamaño al recalentar” (p. 7, 2024). Mencionando su clasificación, baja cuando la órtesis fabricada mantiene la forma al calentarse para realizar ajustes menores, facilitando realizar pequeñas correcciones después de aplicar calor; moderada permitiendo la remodelación y ajuste completo luego de recalentar; y, por último, alta cuando es completamente remodelable (corrección o remodelación completa) y fácil de ajustar después de recalentar localmente, evitando el desperdicio de material.

Así mismo, en los catálogos del fabricante antes mencionados y en la página web oficial de ORFIT© (consultada en septiembre de 2024), se mencionan otras propiedades como:

- *rigidez*, determina que tan fuerte es el material una vez terminada de fabricar la órtesis;
- *conformabilidad*, referente al comportamiento del material de ser moldeado en la región anatómica;
- *drapeabilidad*, como se comporta el material con la gravedad durante la aplicación;
- *resistencia al estiramiento*, como actúa el material ante fuerzas de tracción al ser activado, la alta resistencia requiere un manejo firme siendo adecuada para órtesis grandes y personas con tono muscular alto y/o contracturas;

- *elasticidad*, capacidad de estirarse sin rasgarse;
- *revestimiento antiadherente*, conformado por una capa aplicada al producto para evitar que se pegue, pero no todos cuentan con ello, siendo posible su remoción; y
- *unión o adhesión*, a sí mismo o a accesorios.

A su vez, sus productos son descritos como innovadores y de excelencia internacional, al brindar comodidad eficiente y un soporte fuerte y rígido, facilidad de uso, adaptabilidad, con posibilidad de revestimiento, mayor rendimiento, diversidad de colores y variedad de presentaciones.

También en ORFIT© (2023) se observan otros productos que comercializa la empresa para el diseño y fabricación de órtesis como: accesorios (tijeras ginger, tijeras para vendas, tijeras afiladas, tijeras dentadas, tijeras fuertes, marcador, pinza con espiral resorte, perforador de ojales, cuchillo para desbarbar, dinamómetro, regla orficast, suspan, pistola de calor, almohadillados y forros), y aditamentos (cinta de gancho estándar y autoadherente, hilo elástico, extremos para Orfitube, guías flexibles, ajustador, llave allen, herramienta del doblado del Orfitube, resortes en espiral para articulaciones, para extensión de muñeca y para flexión de nudillos, resorte de acero inoxidable, entre otros).

Con respecto a las presentaciones de sus productos (véase Figura 4) varían de acuerdo a los formatos del tipo y dimensiones requeridas como: planchas con dimensiones de 45 cm x 60 cm o 60 cm x 90 cm y espesores entre 1.6 mm, 1.8 mm, 2.0 mm, 2.4 mm, 2.5 mm, 3.0 mm, 3.2 mm, 3.4 mm y 4.2 mm; rollos de 3 m o 6 m y ancho de 3 cm, 6 cm, 12 cm, 15 cm y 30 cm; tiras de 45 cm x 0.5 cm ó 45 cm x 2 cm y espesores de 2.0 mm y 3.4 mm; y gránulos en bolsas de 500 gr.

Igualmente, el formato en planchas puede ser no perforado (liso), macroperforado, maxiperforado, miniperforado, microperforado o micro plus perforado, esta característica contribuye a la ventilación de la piel y a la liviandad del material. Con respecto a los colores pueden ser de tres gamas, naturales (blanco, blanco perlado, negro, negro dominante, beige), metálicos (azul atómico, dorado, plata) y vivos (naranja, rosa, rojo, azul, celeste, verde, lila).

No obstante, a pesar de la información que brinda ORFIT©, no se advierte en su página web y catálogos de producto, las características y propiedades físicas del material tales como, composición química, peso molecular y temperaturas de transición (Tg). Siendo importantes no sólo para mayor conocimiento del polímero utilizado en la práctica diaria de TO, sino que también para la búsqueda de otros materiales termoplásticos de baja temperatura, que puedan cumplir con los

requerimientos mínimos y adecuados para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

En la Figura 4, se observan los distintos termoplásticos de baja temperatura que la empresa ORFIT® comercializa a través de sus catálogos.






Figura 4: distintos productos fabricados con material termoplástico de baja temperatura, recuperado de los catálogos ORFIT®.

Por otra parte en su catálogo ORFIT® (2014), se manifiesta un compromiso con la seguridad y el cuidado del medio ambiente, debido a que, la empresa plantea que sus productos se someten a pruebas de conformidad con estándares de biocompatibilidad estrictos, exentos de látex y biodegradables. Considerando esto último de acuerdo a Hermida (2011), los materiales biodegradables sufren una transformación de macromoléculas de plástico por la acción de microorganismos, a pequeñas moléculas presentes en la naturaleza, como agua y dióxido de carbono.

A su vez, en referencia los catálogos disponibles, se detallan en la Tabla 1, las características de las principales presentaciones de termoplásticos de baja temperatura utilizados en Argentina.

Tabla 1: características del termoplástico de baja temperatura ORFIT® más utilizados en Argentina.

NOMBRE COMERCIAL	ORFICAST®	ORFIT® CLASSIC	ORFIT® ECO
PRESENTACIÓN	Rollo	Plancha sin perforación, mini perforado, maxi perforado, microperforado, micro plus perforado.	Plancha sin perforación y miniperforado.
DIMENSIONES	<p>Orficast®</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longitud: 3 m • Ancho: 3 cm 6 cm 15 cm 30 cm • Espesor: 1,8 mm <p>Orficast® more</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formato: tiras • Longitud: 3 m • Ancho: 6 cm 15 cm 30 cm • Espesor: ± 1,8 	<p>ORFIT® Classic soft (blanda)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longitud: 45 cm 60 cm • Ancho: 60 cm 90 cm • Espesor: 1,6 mm 2,0 mm 2,4 mm 2,5 mm 3,2 mm 4,2 mm <p>ORFIT® Classic Stiff (rígida)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Largo: 45 cm 60 cm • Ancho: 60 cm 90 cm • Espesor: 3,2 mm 4.2 mm 	<p>Orfit® eco</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longitud: 45 cm 60 cm • Ancho: 60 cm 90 cm • Espesor: 2,4 mm 3,2 mm <p>Orfit® eco negro NS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longitud: 45 cm 60 cm • Ancho: 60 cm 90 cm • Espesor: 2,4 mm 3,2 mm
COLORES	Disponible en azul, negro y naranja.	Disponible en beige.	Disponible en negro y natural.
CARACTERÍSTICAS MENCIONADAS	Material de tela tejida fina termoplástica, transpirable, confortable al tacto, capacidad autoadhesiva bajo el calor seco, excelente memoria (longitudinal) y elasticidad en dos direcciones.	Material sin recubrimiento, con memoria elástica completa (100%), disponible en versión de alto estiramiento ("blando") y bajo estiramiento ("rígido").	Material reciclado con recubrimiento no pegajoso (NS), rígido, resistente al estiramiento, con capacidad de moldeado a baja, con memoria elástica de baja a moderado.
IMAGEN DEL PRODUCTO			

De esta manera, se visibiliza la información disponible por parte de la empresa ORFIT® del material termoplástico de baja temperatura (por medio de sus catálogos y sitio web), ampliamente utilizado para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en la práctica diaria de TO en Argentina. Se observa que la empresa menciona las propiedades y características del material de forma breve, no especificando aspectos fundamentales de la tecnología del producto tales como, composición química, proceso de fabricación, etc. Por eso, en esta investigación cuando se menciona al material ORFIT® se hace referencia tanto al Orfit Classic como al Orfit Eco, ya que para los fines de este trabajo sus características químicas y físicas son iguales, y no alteran el análisis de los materiales candidatos.

De igual manera, no es basta la revisión de los catálogos de producto de ORFIT®, sino que también es importante tener en cuenta los desarrollos teóricos sobre el termoplástico de baja temperatura desde TO. Siendo en el proceso de prescripción de las órtesis de miembro superior, un paso crucial, la selección del material. Teniendo presente la variedad de materiales termoplásticos disponibles, se requiere un análisis profundo de las cualidades, atributos y tecnología del material en función de los métodos de trabajo del/la profesional y los objetivos terapéuticos a lograr.

Los denominados en el ámbito de TO termoplásticos de baja temperatura, son materiales que cuentan con cualidades y atributos específicos y únicos. En este sentido, de acuerdo al marco teórico de la presente investigación, se recogen aportes más relevantes de los/las autores/as: Barbosa y Mendes (2020), García Hernández y Martínez Utrera (2015), Herrera (2023), Hsu, Michael y Fisk (2009), Ocello y Lovotti (2015) y Trombly (2008), en relación a las cualidades y atributos del material.

Con respecto a la T. ablandamiento del termoplástico de baja temperatura, la autora Trombly (2008) plantea que, el material puede ser calentado entre 60 °C - 77 °C, García Hernández y Martínez Utrera (2015) entre 50 °C - 80 °C, Herrera (2023) 60 °C, y, por último, Ocello y Lovotti (2015) entre 50 °C - 60 °C. Es decir, que la T. ablandamiento en agua caliente corresponde entre 50 °C - 80 °C. En este rango de temperaturas, se consigue el ablandamiento del material en agua caliente y su moldeado directamente sobre la piel de la persona, manteniendo posteriormente la forma adquirida luego de enfriarse. Además de permitir varios ciclos de ablandamiento por calentamiento, lo cual posibilita rehacer la órtesis en varias formas sin que se observen alteraciones significativas de las cualidades (rigidez y estabilidad) de la órtesis conformada, ya que luego de cada ciclo se recobran las propiedades originales a temperatura ambiente.

Cabe realizar una salvedad, no es igual exponer el termoplástico al calor húmedo o al seco, en el caso del primero su ablandamiento es en menor tiempo y de forma uniforme, en cambio al utilizar pistolas de calor el tiempo es mayor, ya que se expone el material por segmentos y de manera intermitente para evitar quemaduras por el sostén del mismo y un ablandamiento excesivo por la alta temperatura (mayor a 150 °C).

Otra característica a tener en cuenta es el tiempo necesario para que el ablandamiento ocurra al calentar. La autora Herrera (2023), especifica que el termoplástico de baja temperatura tiene un *tiempo de activación* y de *trabajo de moldeo*, que aproximadamente es de entre cero punto cinco (0.5) a siete (7) minutos en ambos (tiempo que depende proporcionalmente del espesor del material).

Por otra parte, García Hernández y Martínez Utrera (2015) destacan tres características: la *resistencia*, el *grosor* y la *perforación*, las cuales las describe como:

Resistencia: es el grado de oposición que presenta el termoplástico al estiramiento sin llegar a romperse. Según esto, hay materiales de resistencia máxima, moderada y mínima. Dependiendo de qué tipo de férula vaya a realizar, se utilizará una resistencia u otra.

Grosor: los materiales oscilan entre uno coma cinco (1,5) y cinco (5) milímetros. Este aspecto influye mucho en el tamaño de la férula y la rigidez que proporciona. A más grosor, más rigidez, pero hay ocasiones en las que, aunque la férula sea grande, no es necesario que sea muy rígida.

Perforación: todos los materiales pueden ser no perforados, perforados o súper perforados. La perforación está en relación con la ventilación; al tratarse de plásticos, la piel en contacto con él tiene pocas posibilidades de transpirar; en el caso de personas que sudan mucho, hay que elegir plásticos ventilados en mayor o menor medida, pero hay que tener en cuenta que, a mayor perforación, menor rigidez. (p. 222)

Además de estas características, dichos autores mencionan otras como, la *memoria*, el *revestimiento* y el *tiempo de trabajo*.

Memoria: es la capacidad que tienen algunos materiales de recuperar su forma original en frío, tantas veces como se sumerge en el agua y llega a su temperatura óptima de moldeado.

Revestimiento: algunos plásticos están cubiertos por una capa protectora que facilita la confección de las férulas, porque permite adherir momentáneamente el material sobre sí mismo mientras está caliente, pero que después, en frío, se puede despegar. Si se prefiere que esta adhesión sea

definitiva, este revestimiento se elimina frotando con algodón empapado en disolvente sobre la zona que se quiere adherir.

Tiempo de Trabajo: depende de la resistencia, el grosor y la perforación. Cuanta más resistencia tenga el material, menos tiempo de trabajo; cuanto más grueso, más tiempo de trabajo, porque tarda más en enfriarse; cuanto más perforado esté, menos tiempo de trabajo. En general, los tiempos oscilan entre 3 y 7 minutos desde que se ha conseguido la temperatura óptima de moldeo. (García Hernández y Martínez Utrera, 2015, p. 223)

Como así también otros autores, destacan diferentes cualidades y atributos como: la *autoadhesión* (cuando se fusiona el mismo material calentando dos piezas y presionando fuertemente entre sí), el *acabado*, la *adaptabilidad*, la *maleabilidad*, el *confort* (para que pueda ser utilizado durante el tiempo indicado, de fácil higiene, colocación y retiro), *simple proceso de conformado in situ* (característica estructural de un material que le permite ser moldeoado con diferentes dimensiones y geometrías, ajustándose al segmento corporal y posibilitando la adaptación a la anatomía) y *durabilidad*.

Por otro lado, el material permite la adhesión de distintos aditamentos, como elementos de sujeción al segmento corporal, por lo general se utilizan abrojos autoadhesivos machos los cuales se colocan en la misma órtesis y abrojos hembras que la cierran, adhiriéndose al material mediante pegamentos propios de los abrojos o cemento de contacto. Como así también, los elementos de soporte como el alambre o aluminio, colocando los extremos entre capas del termoplástico fusionarlas entre sí, esto debe efectuarse antes de terminar el moldeo de la férula.

En resumen, teniendo en cuenta la teoría revisada de TO, la información disponible en la página web de ORFIT© y sus catálogos: *Materiales para férulas, mejorando la calidad de la vida cotidiana (2014)*, *Catálogo de productos, ajustes personalizados (2023)* y *Catálogo de productos: Ajustes personalizados (2024)*, se identificó una variación de la T. ablandamiento del material. Siendo de 60 °C - 70 °C por parte ORFIT©, mientras que desde TO es entre 50 °C - 80 °C, atribuible esto a las diferencias propias de cada práctica. Con respecto a las definiciones conceptuales de las características: memoria, tiempo de moldeo, perforación, revestimiento, grosor y resistencia, en ambos los aportes son similares. Así mismo, en ninguno de los documentos analizados se mencionan cuestiones como, origen y composición química del material que posibilitan dichas ventajas.

En base al conocimiento teórico disponible, se identifican desde TO las principales cualidades y atributos, que deben poseer los materiales candidatos para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior, las cuales son:

- *Baja temperatura*: corresponde a la temperatura medida en grados celsius (°C) de ablandamiento del material al exponerse a una fuente de calor, como lo es el agua caliente, a temperaturas menores a 100 °C.
- *Tiempo de activación y trabajo de moldeo*: lapso de tiempo en minutos que requiere el material para ablandarse permitiendo el posterior moldeo.
- *Resistencia*: grado de oposición que presenta el material al estiramiento sin llegar a romperse y/o el sostén del segmento ferulizado en la posición deseada.
- *Unión o adhesión a sí mismo o a otros materiales*: elementos de sujeción como abrojos, alambres, materiales para el revestimiento de las superficies.
- *Cortado en seco y húmedo*: en seco reviste mayor dificultad por su rigidez requiriendo tijeras especiales y/o cutter, o bien realizar el corte con el material húmedo.
- *Acabado estético*: terminación de bordes y superficies libres de marcas digitales por manipulación durante el moldeo.

Se considera de gran importancia ahondar aún más en los conocimientos disponibles sobre el termoplástico de baja temperatura, siendo necesario ello para la comprensión de los aportes ya realizados en el campo disciplinar e identificar nuevas oportunidades de acceso a materiales ya disponibles y económicos en Argentina, por fuera del campo de la salud, los cuales pueden tener el potencial necesario para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior, cumpliendo con requerimientos apropiados, aunque probablemente con algunas ventajas y limitaciones.

10.2 Segunda Parte: identificación de las principales propiedades del termoplástico de baja temperatura ORFIT© según la Ingeniería en Materiales

Consultoría para la selección de las principales propiedades del termoplástico de baja temperatura que permitan la búsqueda de materiales más económicos y disponibles en Argentina.

La Ingeniería en Materiales es una disciplina que estudia los materiales entendiendo la relación entre su estructura, propiedades, comportamiento y procesos,

combinando conocimientos de distintas áreas del saber cómo, física, química y matemáticas, con exactitud la ciencia e Ingeniería en Materiales es:

(...) Un campo interdisciplinario de la ciencia e ingeniería que estudia y manipula la composición y estructura de los materiales a través de escalas de longitud para controlar las propiedades de los materiales a través de la síntesis y el procesamiento. (...) el enfoque está en cómo convertir o transformar los materiales en dispositivos estructuras útiles. (Askeland, Fulay y Wright, 2011, p. 4)

Debido a dicha complejidad, y especificidad, es de fundamental importancia la realización de una consultoría con un profesional experto en dicha materia, como lo es el Ing. en materiales Stupenengo Franco especializado en el área de materiales plásticos y compuestos. Con ello, se busca mayor comprensión sobre los termoplásticos de baja temperatura, como materiales plásticos con características fisicoquímicas específicas, para con esta información y descripción detallada, tener criterios técnicos con los cuales hacer una búsqueda de posibles materiales más económicos y disponibles en Argentina, para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

La consultoría constó de tres encuentros, como primera actividad las autoras (Bonis, L. I. y Burgos, B. A.) exponen al especialista los conocimientos recabados del material desde TO junto con la información disponible en los catálogos de producto de la empresa ORFIT©, dicha información se encuentra en la primera parte del Capítulo 4.

A partir de esto, el Ing. Stupenengo comparte sus conocimientos acerca de los polímeros, familia de materiales a la cual pertenecen los termoplásticos de baja temperatura. Así mismo, proporciona información técnica en la cual describe que estos materiales se clasifican de acuerdo a su origen en naturales (producidos por organismos vivos que se emplean sin modificación) y sintéticos (producidos por el hombre por medio de químicos partiendo de sustancias simples); según su comportamiento ante el calor en dos categorías principales, termoplásticos (polímeros sintéticos que al calentarse se ablandan o funden, y son solubles en disolventes adecuados, presentan estructuras lineales) y termoestables o termorrígidos (polímeros sintéticos que se descomponen al ser calentados y no pueden fundirse ni solubilizarse, presentan estructuras entrecruzadas); y de acuerdo a su estructura química, en polímeros lineales (se repite siempre el mismo tipo de unión), ramificados (con cadenas laterales unidas a la principal) o reticulados (con enlaces entre las cadenas vecinas) (véase Figura 2).

Esta información está disponible y se aborda de manera exhaustiva y simple en: Hermida (2011) *Capítulo 9 Polímeros*.

Con respecto al termoplástico ORFIT®, el Ing. Stupenengo plantea que este es un polímero compuesto principalmente de policaprolactona, sintético, amorfo y semicristalino, o sea, que está compuesto por regiones amorfas con una estructura desordenada de cadenas de moléculas lineales, combinado con lamelas (cristales) dispersas en toda la zona amorfa. Siendo el grado de cristalinidad de los termoplásticos un factor influyente en las propiedades físicas y comportamiento mecánico a diferentes temperaturas.

Los polímeros amorfos se caracterizan por presentar una T. de ablandamiento lo cual corresponde a la T. transición vítrea (T_g), temperatura en la cual se produce la transición de un comportamiento elastomérico (tipo goma) a un comportamiento vítreo, es decir, que ante la exposición al calor el material se activa (tiempo de activación) y pasa de un estado sólido rígido a un estado semi-sólido blando, y en temperatura ambiente a rígido.

Los polímeros semicristalinos poseen entonces dos temperaturas características que determinan su comportamiento mecánico y formabilidad: una T_g correspondiente a su parte amorfa, y una temperatura de fusión (T_m), por encima de la cual el material se transforma de estado sólido a líquido, lo cual significa que la temperatura de fusión es mayor que la T_g . Debido a estos cambios, las cadenas de moléculas adquieren mayor movilidad y se separan entre ellas. Sin embargo, la pieza conserva su forma original porque este movimiento relativo sólo se da en algunos tramos de las largas cadenas moleculares, tanto en la región amorfa como semicristalina.

En base a estos conocimientos técnicos, se explica que, debido a su estructura y los cambios que esta presenta a diferentes temperaturas, al exponer el termoplástico ORFIT® en agua a temperatura entre 50 °C - 80 °C, se produce el ablandamiento necesario que permite el diseño y fabricación de órtesis en la práctica de TO. Este cambio se debe a la T_g del material, donde pasa a un estado semi-sólido blando, sin llegar a un estado líquido (ya que la temperatura del agua caliente no supera la T_m) permitiendo su activación: el moldeo en un tiempo determinado (tiempo de moldeo) y la fabricación de la órtesis.

Al permanecer a temperatura ambiente, o temperatura corporal, que está muy por debajo de la T_g (menos de 50 °C) se convierte en rígido y la forma otorgada a la órtesis por el moldeo se conserva permanentemente. Pero, luego si se expone a temperaturas entre 50 °C - 80 °C, comienza un nuevo ciclo de calentamiento y

conformado del material. Esta propiedad de recobrar su forma original luego de exponerse a una fuente de calor desde TO es lo que se conoce como memoria.

Existe, además, un efecto que repercute en la memoria, luego de reiterados procesos de re-conformado, atribuido a cierta degradación o ruptura de cadenas que puede ocurrir en cada ciclo de calentamiento y conformado, que, con el paso del tiempo se acompaña de una disminución de la integridad mecánica del material (también denominada “envejecimiento” del material).

Con respecto a esto último, los autores García Hernández y Martínez Utrera (2015) plantean que “Memoria: es la capacidad que tienen algunos materiales de recuperar su forma original en frío, tantas veces como se sumerge en el agua y llega a su temperatura óptima de moldeado” (p. 223). Como así también, ORFIT© (2024) la define como “la capacidad de retorno a su original forma y tamaño cuando al recalentar” (p. 7).

En este sentido, desde la ciencia en materiales, según los autores Huang, Ding, Wang, Wei, Zhao, y Purnawali (2010), plantean que los materiales con memoria de forma (SMM, por siglas en inglés) se caracterizan por la capacidad de recuperar su forma original a partir de una deformación significativa y aparentemente plástica cuando se les aplica un estímulo particular, que generalmente implica una transformación de fase² del material, principalmente en los metales. Esto se conoce como efecto de memoria de forma (SME, por siglas en inglés). La superelasticidad (en aleaciones) o la viscoelasticidad (en polímeros) también se observan comúnmente en ciertas condiciones. El SME se puede utilizar en muchos campos, desde la ingeniería aeroespacial (por ejemplo, en estructuras desplegables y a las que se transforman) hasta dispositivos médicos (por ejemplo, en stents y filtros).

En el caso de los termoplásticos de baja temperatura ORFIT© lo que ocurre es que, al calentar por encima de la T_g el material adquiere la capacidad de re-conformarse por el ablandamiento que provoca estar por encima de dicha temperatura. Estrictamente, por lo tanto, no se trata de un fenómeno de SME, sino simplemente de un ablandamiento que propicia la conformabilidad, que es posible por un cambio en el estado del material (de sólido rígido a semi-sólido blando). Es importante hacer esta aclaración, ya que se ha atribuido que los productos comerciales ORFIT© cuentan con SME, lo que dificulta el acceso a información de otros materiales que sí presentan esa característica. Desde la perspectiva de la Ingeniería en Materiales, los termoplásticos ORFIT© no son materiales con SME, sino termoplásticos con una T_g (y por lo tanto con ablandamiento) entre 50 °C y 80 °C. Esta

² Son los procesos físicos de transición entre estados de un material, ya sea sólido, líquidos o gaseoso con parámetros identificados, a otro estado con distintos parámetros.

nueva caracterización es fundamental para la búsqueda de materiales más económicos y disponibles en Argentina, con el potencial para ser utilizados en el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

Por otra parte, respecto a las demás propiedades se destaca, la *conformabilidad* y la *drapeabilidad*. Desde el punto de vista técnico ingenieril, la conformabilidad se relaciona con la ductilidad y la plasticidad del material, que describen su capacidad para deformarse sin romperse y para mantener la deformación una vez que se ha removido la fuerza, lo cual desde TO se refiere a la capacidad del material de moldearse y adaptarse a la forma anatómica para la fabricación de la órtesis. En cambio, la drapeabilidad, es el comportamiento del material bajo la influencia de la gravedad, un concepto que está relacionado con la flexibilidad y viscosidad en ingeniería, permitiendo el conformado in situ resistiendo la fuerza de la gravedad durante la aplicación.

Así mismo, desde el punto de vista ingenieril, desde ORFIT© y TO, se coincide en la comprensión de las propiedades como: *resistencia*, capacidad de *unión y adhesión*, *simple proceso de conformado in situ* y *acabado superficial*. En el caso de la primera, se entiende como el comportamiento que tiene el material para soportar las fuerzas de tracción cuando sus fibras están bajo tensión y estiramiento. La segunda, con la capacidad de adherirse a sí mismo o a otros materiales como metal, abrojo, velcro, entre otros. La tercera, con la facilidad de manipular y moldear el material en la zona anatómica. La cuarta, representa las características finales, que incluyen la textura, la perforación, la rugosidad, el brillo y la uniformidad de la superficie del material antes y después del conformado de la órtesis.

A su vez, al margen que la empresa ORFIT© no haga mención en específico de los componentes del material, desde la Ingeniería en Materiales y el análisis del termoplástico expuesto, se advierte la incorporación de diversos aditivos como: *pigmentos* (para lograr que el material presente un color determinado), *revestimiento antiadherente* (capacidad de un material para resistir la adhesión a otras superficies o a sí mismo al momento del moldeo), *plastificantes* (mejoran las propiedades y características de conformabilidad, en termoplásticos con la Tg superior a la temperatura ambiente), y *estabilizantes* (impiden el deterioro del polímero provocados por el medio ambiente y las condiciones de uso prolongado sin degradarse).

En base al intercambio de información con la Ingeniería en Materiales y las cualidades y atributos (véase primera parte del Capítulo 4), se establecen las propiedades para la búsqueda y el análisis del potencial (requerimientos mínimos apropiados) de materiales candidatos, más económicos y disponibles en Argentina

para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en la práctica clínica de TO. Estas son:

- *Tg*: corresponde a la temperatura medida en grados celsius (°C) de ablandamiento del material al exponerse a una fuente de calor, la cual debe estar en un rango compatible con la práctica en consultorio, que consiste en utilizar inmersión en agua u otra fuente de calor, a temperaturas menores a 100 °C.
- *Tiempo de activación y de moldeo*: lapso de tiempo en minutos que requiere el material para volverse flexible permitiendo el posterior moldeo, de al menos algunos minutos.
- *Conformabilidad*: resistencia y rigidez adecuadas en seco y húmedo, cortado en seco y húmedo, exposición a fuentes de calor, adherencia del material a sí mismo o a otros materiales y posibilidad de realización de formas simples que puedan dar cuenta del potencial de los termoplásticos para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

También, surge por parte del Ing. Stupenengo, la posibilidad de mediante procesos de tratamiento térmico de recuperar, de forma parcial, la integridad mecánica del termoplástico de baja temperatura ORFIT© luego del paso del tiempo y los reiterados procesos de re-conformado, y la posterior prueba desde TO de la aptitud del material para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

10.3 Tercera Parte: búsqueda y descripción de termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina en 2024

Búsqueda web y descripción de termoplásticos de baja temperatura que cumplan con las propiedades determinadas desde TO.

Para llevar a cabo la búsqueda de los materiales, se seleccionó uno de los motores de búsqueda más conocidos, GOOGLE©, utilizando palabras claves como: termoplástico de baja temperatura en Argentina y polímero de baja temperatura en Argentina. La misma arroja información variada desde termoplásticos de baja y alta temperatura, destacándose ORFIT© de la Ortopedia Gullone, además de información ingenieril como distintos tipos de proceso de conformado de polímeros.

Entre los materiales encontrados, de acuerdo a las propiedades mínimas determinadas para la búsqueda (véase tercera parte del Capítulo 4), se seleccionaron los siguientes materiales: termoplásticos para impresión 3D y termoplástico de baja

temperatura GEKKO FORM© en la web (<https://www.mundopox.com/>) de la empresa Mundo Pox.

Con respecto a los termoplásticos para impresión 3D, el Ing. Galbiatison (2019) plantea que son polímeros utilizados para producir objetos tridimensionales a partir de un modelo digital, por medio de la tecnología de fabricación por adición, donde se van superponiendo capas sucesivas de material para el conformado de la pieza final. Desde la década de 1980 los avances de esta tecnología han sido extraordinarios, permitiendo la fabricación de una gran variedad de objetos que pueden encontrarse en la vida diaria, como en el área, salud, educación, ingeniería, juego, automotriz, electrónica, robótica, alimentación, etc.

Desde TO hace tiempo los filamentos 3D son aplicados en la fabricación de productos de apoyo, por su versatilidad, accesibilidad, estética, durabilidad, bajo costo y alta calidad, permitiendo la concreción de objetivos como: "(...) facilitar la participación; proteger, apoyar, entrenar, medir o sustituir funciones / estructuras corporales y actividades; o prevenir deficiencias, limitaciones en la actividad o restricciones en la participación" (ISO – 9999, 2012, p. 8). Así mismo, su aplicación en órtesis sigue siendo controversial.

Este tipo de polímeros, corresponden a termoplásticos, y por su Tg algunos pueden ser considerados de baja temperatura. Uno de los comúnmente utilizados es el ácido poliláctico (PLA), que presenta una Tg 60 °C y Tm 150 °C - 230 °C, es biodegradable y reciclable producido a base de vegetales ricos en almidón como el maíz, la papa y la remolacha. Material fácil de imprimir, pero sus productos finales pueden deformarse en ambientes de alta temperatura. Su precio para el mes de abril de 2025 es de veintidós mil quince pesos (22.015) más costos de envío.

Otro de los polímeros, es el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), uno de los plásticos que domina el mundo de la impresión 3D, con Tg 80 °C - 110 °C y Tm 215 °C - 250 °C. Material con buena resistencia mecánica, a ataques químicos y térmicos, rigidez, pero más flexible que el PLA, además de estabilidad a altas temperaturas. Es un subproducto de la industria petrolera, por ende, no es biodegradable pero sí reciclable, no tóxico e incoloro. Este requiere una cámara cerrada a alta temperatura para una impresión adecuada y repetible. Su precio para el mes de abril de 2025 es de veinticinco mil doscientos veintiocho pesos (25.228) más costos de envío.

El Tereftalato de Polietileno, Politereftalato de Etileno, Polietilentereftalato o Polietileno Tereftalato (PET), es uno de los plásticos más utilizado del mundo junto con su variante el PET-G que incorpora glicol, que lo hace más transparente y resistente, son utilizados para fabricar las botellas y múltiples envases. Presenta una Tg 81 °C y Tm 245 °C - 250 °C, resistente con un acabado mate - liso, elevada resistencia

química a ácidos, hidrocarburos, aceites y otros productos. De igual manera, no es biodegradable. Su precio para el mes de abril de 2025 es de veintidós mil seiscientos diez pesos (22.610) más costos de envío.

El Poliuretano Termoplástico (TPU), con Tg 60 °C y Tm 220 °C - 230 °C. Este es un filamento flexible resultante de la combinación de plástico y caucho con base de uretano, o poliuretano termoplástico. Deriva de la familia de los poliuretanos y cuenta con características interesantes como, resistencia a productos químicos, a la abrasión, al desgaste, al frío y a los rayos del sol (UV), absorbe impactos, es ligeramente más rígido y reciclable. Su precio para el mes de abril de 2025 es de veintiún mil cuatrocientos veinte pesos (21.420) más costos de envío.

El Estireno de alto impacto (HIPS), con Tg 104 °C y Tm 200 °C, se fabrica tradicionalmente polimerizando estireno en presencia de caucho de butadieno, lo cual combina la alta resistencia al impacto y el alto brillo. Se utiliza en robótica, industria alimenticia y juguetes, útil para objetos que soporten resistencia de alto impacto incluso a bajas temperaturas, posee estabilidad térmica, alta rigidez, resistencia a la tracción, de fácil coloración, realizar formas muy complejas, liviano, muy versátil, reciclable y no es higroscópico, es decir, que no absorbe ni exhala la humedad del medio, por lo que permite estar expuesto al aire libre sin deteriorarse. Su precio para el mes de abril de 2025 es de veintitrés mil doscientos cinco pesos (23.205) más costos de envío.

Todos los polímeros mencionados son aptos para su procesamiento de impresoras 3D con asistencia de softwares especializados, además de un mínimo de conocimiento para su aprovechamiento.

Por otra parte, el termoplástico de baja temperatura GEKKO FORM®, en presentación de pellet, es decir con forma de pequeñas esferas o cilindros que facilitan el manejo y el procesamiento del material, es producido por la empresa CARMAS COMPOSITES®, la cual en su descripción lo presenta como un plástico fácil de utilizar para manualidades, prototipos, artesanías, etc. que al exponerse a agua caliente a temperatura de 70 °C se fusionan los pellets para formar una masa única, moldeable manualmente y que luego se endurece a temperatura ambiente, no se recomienda la utilización de microondas o pistola de calor para calentar directamente el producto. Además, es biodegradable, reutilizable y no tóxico.

De la misma manera que ocurre con ORFIT®, en la búsqueda web no se han encontrado datos con respecto a composición química, Tg y Tm u otros proveedores del material GEKKO FORM®. Pero de acuerdo a las cualidades de conformabilidad que se detallan en la descripción del producto y con la información obtenida en la consultoría, se considera que se trata de un material que posee temperaturas de

transformación en el rango de lo que se busca con esta investigación para la prueba de materiales termoplásticos de baja temperatura. Su precio para el mes de abril de 2025 es de veintiocho mil seiscientos veinticuatro pesos (28.624) por 100 gr, más costos de envío.

A continuación, en Tabla 2 se detallan de forma clara, las Tg y Tm de los materiales seleccionados.

Tabla 2: Tg y Tm de los materiales termoplásticos de baja temperatura.

POLÍMEROS DE BAJA TEMPERATURA			
TERMOPLÁSTICOS		Tg	Tm
Material utilizado en la práctica de TO en la actualidad	ORFIT©	50 °C - 80 °C	Información no publicada
Materias primas para impresión 3D con potencial para utilizarse en el diseño y fabricación de órtesis	PLA	60 °C	150 °C - 230 °C
	ABS	80 °C - 110 °C	215 °C - 250 °C
	PET-G	81 °C	245 °C - 250 °C
	TPU	60 °C	220 °C - 230 °C
	HIPS	104 °C	200 °C
Material utilizado para el conformado de piezas artesanales	GEKKO FORM©	Información no publicada	

Como resultado de la búsqueda web, se identifican una serie de materiales termoplásticos de baja temperatura que pueden llegar a cumplir con las propiedades y características físicas mínimas para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en la práctica de TO.

Así mismo, se continúa con la propuesta sugerida en la consultoría con el Ing. Stupenengo, sobre la posibilidad de, mediante procesos de tratamiento térmico, recuperar de forma parcial, la integridad mecánica del termoplástico de baja temperatura ORFIT©. Con respecto al proceso de tratamiento del termoplástico ORFIT©, se expone posteriormente de forma simple y explicativa con el propósito de dar cuenta de lo realizado desde la Ingeniería en Materiales. Para ello, se seleccionan en este caso, muestras de termoplástico de baja temperatura Orfit Classic perforado de 3,4 mm de espesor, con como mínimo 5 (cinco) años de antigüedad y algunos ciclos de calentado y conformado de órtesis. Para más detalles sobre este proceso, consulte el Anexo 2.

10.4 Cuarta Parte: análisis desde TO del potencial de los materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina

Evaluación de las características, propiedades y aptitud de los materiales más económicos y disponibles en Argentina para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

Una vez que se seleccionan los termoplásticos de baja temperatura, que podrían cumplir con las propiedades mínimas, para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior, se procede a realizar un análisis pormenorizado de los mismos desde TO, en comparación con el material ORFIT®. Recordando que este término se atribuye tanto al Orfit Classic como al Orfit Eco, ya que presentan propiedades químicas y características iguales.

Se evalúan muestras de termoplástico de baja temperatura PLA, ABS, TPU, PET-G y HIPS, con tamaños aproximados de 3 cm x 5 cm, espesores de 0,6 mm, 1 mm y 3 mm, algunas replicando las perforaciones del material de referencia, obtenidas por impresión 3D a partir de filamentos de estos materiales, con el fin de obtener un formato plancha.

Para la ejecución de las pruebas se seleccionan instrumentos que son comunes en un consultorio de TO o de fácil acceso, como lo es un termómetro para medir la temperatura del agua, un cronómetro para la medición del tiempo de ablandamiento y moldeo. Además, de utilizar herramientas como batea con agua caliente, tijeras, toallas, alambre, pegamento, abrojos y detergente.

Con el objetivo de proporcionar mayor claridad y orden en el proceso de prueba, se establece un protocolo de acción, donde cada una de las muestras son inmersas en agua caliente, a temperaturas que parten de los 60 °C (temperatura de referencia según ORFIT®), luego 70 °C, 80 °C y por último 100 °C punto de ebullición del agua y temperatura límite para este análisis.

Durante la inmersión, mediante un cronómetro se evalúa el tiempo de ablandamiento o activación del material, desde que se sumerge la pieza hasta que se retira la misma, y de igual forma se evalúa el tiempo de moldeo. Posteriormente, con los distintos instrumentos que se mencionan se realizan pruebas de resistencia, cortado en seco y húmedo, adherencia del material a sí mismo o a otros materiales y realización de formas simples.

Ácido poliláctico (PLA)

Se trabaja con tres planchas de muestras de termoplástico 3D, diseñadas del mismo tamaño 3 cm x 5 cm, con perforaciones similares a las del termoplástico de baja temperatura ORFIT®, con espesores de 0.6 mm (PLA 1), de 1 mm (PLA 2) y de 3 mm (PLA 3).

En el caso de la muestra PLA 1, al introducirla en agua a temperatura de 60 °C se observa que, presenta ablandamiento en un (1) minuto, pero al retirarla del agua el tiempo de moldeo es menor a un (1) minuto, es decir su llegada al punto de ablandamiento es rápido, como así también su traspaso de semi-sólido blando a rígido.

A 70 °C el tiempo de ablandamiento es de un (1) minuto, y por encima de 80 °C es menor a un (1) minuto. La exposición del PLA 1 ante ambas temperaturas tiene cambios de semi-sólido blando a rígido en menos de un (1) minuto. A 100 °C el tiempo de ablandamiento y moldeo son menores a un (1) minuto. Debido los resultados, el PLA 1 por su delgadez extrema y alta susceptibilidad a romperse durante el proceso de moldeo y manipulaciones, se descarta para a prueba de los materiales restantes en este espesor (0.6 mm).

Con respecto a la muestra PLA 2, al sumergirla en agua a temperatura de 60 °C, el tiempo de ablandamiento es de tres (3) minutos, mayor al de la muestra anterior, pero al momento de sacar la pieza del agua caliente, el cambio de semi-sólido blando a rígido es menor a un (1) minuto.

Así mismo, al incrementar la temperatura del agua a 70 °C el tiempo de ablandamiento es de tres (3) minutos, a 80 °C es de dos (2) minutos, y al llegar a una temperatura de 100 °C, demuestra un tiempo de ablandamiento de un (1) minuto. Luego de la exposición a las tres últimas temperaturas, se observa que el cambio de estado de semi-sólido blando a rígido es de un (1) minuto permitiendo realizar movimientos de moldeo por ciclos de calentamiento.

Por último, en la muestra PLA 3, cuando se procede a sumergirla en agua a 60 °C, 70 °C y 80 °C, se registra que el tiempo de ablandamiento de tres (3) minutos no es lo suficiente para obtener un estado semi-sólido blando, por lo que se procede a sumergir la muestra un tiempo prolongado en agua, agregando cuatro (4) minutos más, siendo un total de siete (7) minutos de inmersión del material. Sin embargo, no se evidencian cambios significativos. Al incrementar la temperatura del agua a 100 °C, el tiempo de ablandamiento es de dos (2) minutos, con tiempos de moldeo para estas temperaturas de un (1) minuto.

Las temperaturas y tiempos de ablandamiento y moldeo del PLA, pueden observarse de manera resumida en la Tabla 3.

Tabla 3: tiempo de activación y moldeo del PLA en comparación con ORFIT®.

		Temperatura de calentamiento máxima a la que se realiza la prueba	TIEMPOS SEGUN ESPESORES					
			Tiempo de activación			Tiempo de moldeo		
Material utilizado en la práctica de TO en la actualidad	ORFIT®	60 °C - 70 °C	< 1 minuto			3,5 minutos		
			0.6 mm	1 mm	3 mm	0.6 mm	1 mm	3 mm
Materias primas para impresión 3D con potencial para utilizarse en el diseño y fabricación de órtesis	PLA	60 °C	1 minuto	3 minutos	7 minutos	< 1 minuto	< 1 minuto	No se puede realizar ya que no se observa ablandamiento
		70 °C						
		80 °C	< 1 minuto	2 minutos	1 minuto			
		100 °C	1 minuto	2 minutos	1 minuto			

En resumen, en base a las pruebas llevadas a cabo se registra que el PLA (véase Figura 5), si bien, presenta cortos tiempos de moldeo, con secado y endurecimiento rápido, permite realizar movimientos de moldeo y dar formas simples o retoques en bordes. En relación al cortado del material con tijeras, tanto en húmedo como en seco es posible, de igual manera, es resistente (excepto el PLA 1), no presenta marcas por el moldeo, no altera su forma con los distintos ciclos de calentado y conformado sólo las perforaciones sufren cambios mínimos.



Figura 5: termoplástico de baja temperatura PLA (1), PLA (2) y PLA (3) después de la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C.

Como desventaja, el mismo no permite la adherencia a sí mismo o a elementos externos, pero si a abrojos por medio de pegamento de contacto.

Además, cuenta con la ventaja de que, ante exposiciones prolongadas a los rayos ultravioletas y fuentes de calor térmico como el encendedor, el material no manifiesta alteraciones. Siendo este último de utilidad para el acabado final de bordes evitando irregularidades que generen puntos de presión.

De igual manera, existe la posibilidad de que dicho material pueda tener potencial para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior. No obstante, se requiere su prueba y análisis detallado, el cual se plantea en la siguiente parte.

Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)

Con respecto a la muestra ABS 1 (1 mm), al sumergirla en agua a una temperatura de 60 °C presenta un ablandamiento progresivo, alcanzando el estado semi-sólido blando en cuatro (4) minutos. Sin embargo, el endurecimiento es inmediato al retirarla del agua, tornándose rígida en menos de un (1) minuto, lo que impide cualquier manipulación para el moldeo. En la exposición a temperaturas de 70 °C, 80 °C y 100 °C no se registran resultados significativamente distintos, manteniendo el estado semi-sólido blando y rápida rigidización.

Por su parte, en la muestra ABS 2 (3 mm), expuesta ante temperaturas de 60 °C, 70 °C, 80 °C y 100 °C, no se observan cambios ni ablandamiento perceptible, diferente a las pruebas realizadas al ABS.

En la Tabla 4, se visualizan las temperaturas y tiempos mencionados con respecto al material ABS.

Tabla 4: tiempo de activación y moldeo ABS en comparación con ORFIT®.

		Temperatura de calentamiento máxima a la que se realiza la prueba	TIEMPOS SEGUN ESPESORES						
			Tiempo de activación			Tiempo de moldeo			
Material utilizado en la práctica de TO en la actualidad	ORFIT®	60 °C- 70 °C	< 1 minuto			3,5 minutos			
			0.6 mm	1 mm	3 mm	0.6 mm	1 mm	3 mm	
Materia prima para impresión 3D con potencial para utilizarse en el diseño y fabricación de órtesis	ABS	60 °C	Se descart a la prueba de los material es en este espesor	4 minutos			Se descart a la prueba de los material es en este espesor	< 1 minuto	
		70 °C							
		80 °C							
		100 °C							

Con las pruebas llevadas a cabo en las muestras de ABS (véase Figura 6), se arriba a la conclusión de que los tiempos de ablandamientos son mayores, pero con tiempos de moldeo reducidos, además este material no manifiesta cambios significativos ante el aumento de la temperatura.

Como desventaja, el corte del mismo con tijera o cutter en condiciones húmedas y secas resulta impracticable, aunque las muestras demostraron buena resistencia

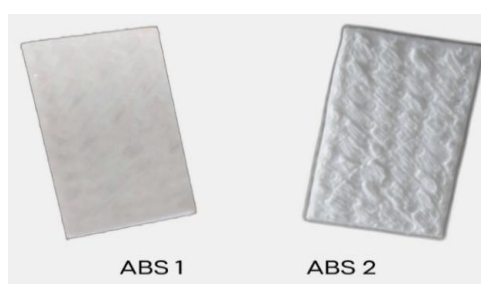


Figura 6: termoplástico de baja temperatura ABS (1) y ABS (2) después de la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C.

estructural en ambas condiciones, también ante la exposición a los rayos ultravioletas y fuentes de calor térmico, además presenta un acabado superficial rugoso, sin posibilidad de terminación de bordes, no permite la adherencia a sí mismo o a materiales externos, pero si a abrojos por medio de pegamento de contacto y no se observan marcas de dígito por el moldeo.

Poliuretano Termoplástico (TPU)

Por otro lado, la muestra TPU 1 (1 mm), al sumergirla en agua a temperatura de 60 °C, presenta un ablandamiento en un tiempo de dos (2) minutos, pero al ser retirada adquiere una característica estructural elástica flexible, que es permanente. Es decir, que puede ser manipulada estirándose longitudinalmente varias veces y luego volver a su forma inicial cuando se deja de manipular. Al elevar la temperatura a 70 °C, se obtiene el mismo resultado, incluso cuando se incrementa el tiempo de inmersión a cuatro (4) minutos. A 100 °C, el tiempo de ablandamiento es de un (1) minuto.

En la muestra TPU 2 (3 mm), al emplear temperaturas de 60 °C, 70 °C y 80 °C, el tiempo de ablandamiento es de tres (3) minutos. A 100 °C el tiempo de ablandamiento es de un (1) minuto, replicando el comportamiento de la muestra TPU 1.

En Tabla 5, se especifica lo anterior mencionado sobre el material TPU.

Tabla 5: tiempo de activación y moldeo según espesores del TPU en comparación con ORFIT®.

		Temperatura de calentamiento máxima a la que se realiza la prueba	TIEMPOS SEGUN ESPESORES					
			Tiempo de activación			Tiempo de moldeo		
Material utilizado en la práctica de TO en la actualidad	ORFIT®	60 °C – 70 °C	< 1 minuto			3,5 minutos		
			0.6 mm	1 mm	3 mm	0.6 mm	1 mm	3 mm
Materia prima para impresión 3D con potencial para utilizarse en el diseño y fabricación de órtesis	TPU	60 °C	Se descart a la prueba de los material es en este espesor	2 minutos	3 minutos	Se descart a la prueba de los material es en este espesor	El tiempo de moldeo es ilimitado, porque la estructura del material es semi-blanda elástica de manera permanente.	
		70 °C						
		80 °C						
		100 °C		1 minuto				

En definitiva, ambas muestras de TPU (véase Figura 7), no difieren en tiempos de ablandamientos que no hayan sido observados, pero lo relevante es que cuenta con tiempos de moldeo extensos, debido a que su estructura es semi-blanda elástica permanentemente.



Sin embargo, este no permite adhesiones a sí mismo, el moldeo no preciso, y no recobra el estado rígido. Así mismo, como característico de dicho material, es que permite el corte con tijera en condiciones tanto húmedas como secas, y cuenta con buena resistencia estructural, con buen acabado superficial, liso al tacto, no presenta marcas por el moldeo y manipulación.

Como desventaja, el mismo no permite la adherencia a sí mismo o a elementos externos, pero si a abrojos por medio de pegamento de contacto.

Con respecto a la exposición prolongada a los rayos ultravioletas y fuentes de calor térmico, no se observan alteraciones del mismo. De igual modo, como se plantea en la muestra del material PLA, se requiere su prueba y análisis detallado, el cual se plantea en la siguiente parte.

Tereftalato de Polietileno (PET-G)

En cuanto a la muestra de PET-G 1 (1 mm), al ser inmersa en agua a temperatura de 60 °C, el material alcanza un estado semi-sólido blando en un tiempo de cinco (5) minutos; sin embargo, la rigidización del mismo ocurre en menos de un (1) minuto, restringiendo su moldeabilidad. Al someterlo a agua a temperatura de 70 °C, el tiempo de ablandamiento es igual a cinco (5) minutos, que al extenderse la inmersión a cuatro (4) minutos adicionales, siendo un total de nueve (9) minutos, no se logran efectos significativos en la manipulación.

Las pruebas a mayor temperatura, 80 °C y 100 °C, replicaron los mismos resultados, indicando que el PET-G 1 no alcanza condiciones óptimas para la moldeabilidad.

La muestra PET-G 2 (3 mm), a temperaturas de 60 °C, 70 °C y 80 °C, muestran tiempos de ablandamiento de seis (6) minutos, y a temperaturas de 100 °C tiempos de cuatro (4) minutos, sin observar cambios significativos. En estos casos, el tiempo de moldeo es mínimo, menor a un (1) minuto. Estos resultados del material PET-G pueden observarse en la Tabla 6.

Tabla 6: tiempo de activación y moldeo según espesores del PET-G en comparación con ORFIT®.

		Temperatura de calentamiento máxima a la que se realiza la prueba	TIEMPOS SEGUN ESPEORES					
			Tiempo de activación			Tiempo de moldeo		
Material utilizado en la práctica de TO en la actualidad	ORFIT®	60 °C – 70 °C	< 1 minuto			3,5 minutos		
			0.6 mm	1 mm	3 mm	0.6 mm	1 mm	3 mm
Materia prima para impresión 3D con potencial para utilizarse en el diseño y fabricación de órtesis	PET-G	60 °C	Se descarta la prueba de los material es en este espesor	5 minutos	6 minutos	Se descarta la prueba de los material es en este espesor	< 1 minuto	
		70 °C						
		80 °C			4 minutos			
		100 °C						

En fin, el material PET-G (véase Figura 8) no manifiesta cambios relevantes en tiempos de ablandamiento o moldeo, siendo estos hallazgos similares a los observados en muestras de PLA y ABS, con excepción de TPU, ya que su comportamiento estructural si varía. También, al corte con tijera o cutter de dicho material, en condiciones húmedas es factible, mientras que en seco no lo es. Este no cuenta con buen acabado superficial, se observan marcas de dígitos por el moldeo o manipulación, tampoco es posible la adherencia a asimismo y a materiales externos, con excepción del abrojo mediante pegamento de contacto. Presenta buena resistencia estructural, tanto en condiciones húmedas como secas, como a la exposición ante los rayos ultravioletas y fuentes de calor térmico.

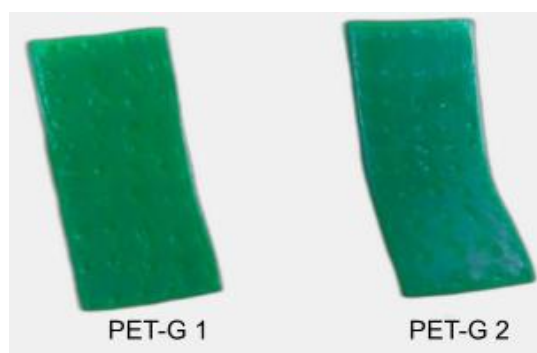


Figura 8: termoplástico de baja temperatura PET-G (1) y PET-G (2) después de la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C.

Estireno de alto impacto (HIPS)

Acerca de la muestra HIPS 1 (1 mm), al someterla a temperatura de 60 °C, se observa un ablandamiento en un tiempo de dos (2) minutos, con tiempo de moldeo menor a un (1) minuto. A temperaturas de 70 °C, el ablandamiento es de dos (2) minutos, pero con tiempos de moldeo de un (1) minuto, en el cual al realizar pequeños movimientos de manipulación la muestra se rompe.

Al observar el comportamiento del HIPS 1 a 70°C, es previsible que a temperaturas más altas la degradación del material sea aún mayor. Por lo tanto, se descartan las pruebas a 80°C y 100°C para evitar la degradación del material y obtener resultados poco fiables.

En la prueba de HIPS 2 (3 mm) en la inmersión al agua a temperaturas de 60 °C y 70 °C el material no presenta ablandamiento, mientras que a 80 °C y 100 °C, se observa el ablandamiento en tiempos de cuatro (4) minutos a 80 °C y tres (3) minutos a 100 °C, en ambos casos con tiempos de moldeo menores a un (1) minuto.

Las temperaturas y tiempos de ablandamiento y moldeo del HIPS pueden observarse en la Tabla 7.

Tabla 7: tiempo de activación y moldeo según espesores del HIPS en comparación con ORFIT®.

		Temperatura de calentamiento máxima a la que se realiza la prueba	TIEMPOS SEGUN ESPESORES					
			Tiempo de activación			Tiempo de moldeo		
Material utilizado en la práctica de TO en la actualidad	ORFIT®	60 °C -70 °C	< 1 minuto			3,5 minutos		
			0.6 mm	1 mm	3 mm	0.6 mm	1 mm	3 mm
Materia prima para impresión 3D con potencial para utilizarse en el diseño y fabricación de órtesis	HIPS	60 °C	Se descarta la prueba de los materiales en este espesor	2 minutos	No se observa ablandamiento	Se descarta la prueba de los materiales en este espesor	< 1 minuto	No se puede realizar moldeo a estas temperaturas ya que no se observa ablandamiento
		70 °C					1 minuto	
		80 °C		Se descartan las pruebas por la degradación del material	4 minutos		Se descarta la prueba de los materiales en este espesor	< 1 minuto
		100 °C		3 minutos				

En definitiva, las muestras de HIPS (véase Figura 9) presentan tiempos de activación similares a los mencionados anteriormente, pero los tiempos de moldeo no son suficientes para realizar un moldeo simple. En relación al corte con tijera o cutter en húmedo y seco, en ambas muestras no es posible. Con respecto a la resistencia en húmedo de HIPS 1 es buena, posterior a la activación en seco aumenta su fragilidad, y de HIPS 2 ambas son buenas. Estas muestras no presentan alteraciones cuando son expuestas a rayos ultravioleta y fuentes de calor térmico. Como desventaja, el material no permite la adherencia a sí mismo o a materiales externos, con excepción del abrojo mediante pegamento de contacto, su acabado superficial no es bueno siendo rugosas al tacto, pero sin dejar marcas de dígitos por el moldeo y manipulación.



Figura 9: termoplástico de baja temperatura HIPS (1) y HIPS (2) después de la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C.

En general, en las pruebas de los distintos materiales, PLA, ABS, TPU, PET-G y HIPS, muestran en t. de ablandamiento entre los 60 °C - 100 °C, comportamientos limitados en relación a la moldeabilidad, con transiciones rápidas de estado semi-sólido blando a rígido dificultan el moldeo de configuraciones simples.

La mayoría de las muestras presentan buena resistencia estructural en condiciones tanto húmedas como secas, aunque la viabilidad para el corte de las mismas varía considerablemente entre los distintos materiales según las condiciones húmedas o secas. Como ventaja, al manipular los materiales no se observan marcas de dígitos (por más que esta sea mínima en muchas de las muestras), no hay adherencias del material entre sí. Sin embargo, permiten la adhesión de elementos externos, tales como abrojo, utilizando como medio de unión pegamento de contacto.

En relación a las muestras de los materiales PLA, ABS, TPU y PET-G, al someterlos a tres (3) ciclos de exposición a agua a temperaturas entre 60 °C - 100 °C, no se observan cambios importantes en la estructura del material, solamente se ven alteradas, de forma mínima, las perforaciones, tendiendo a desaparecer. En cambio, en el material HIPS, sí demuestra alteraciones, ya que la exposición a varios ciclos aumenta su fragilidad y posterior ruptura.

Pellets GEKKO FORM© (nombre comercial)

Para el análisis de los pellets GEKKO FORM©, se utilizan veinticinco (25) gramos de pellets que se sumergen en un recipiente con agua a temperatura entre 60 °C y 70 °C. En los primeros cinco (5) minutos, no se observan cambios en la estructura del material. Pero al incrementar la temperatura a 80 °C y 100 °C, se manifiestan cambios, pasando de ser una estructura con pigmentación blanca a una transparente, en un tiempo de ablandamiento de dos (2) minutos, lo cual señala el inicio de la activación del material. Al extraer el material del agua, presenta una textura pegajosa y notable drapeabilidad.

El moldeo del material debe realizarse sobre el plano de apoyo una la mesa, y en un (1) minuto se evidencia el cambio de ser, una estructura transparente y pegajosa a estado semi-blando con pigmentación blanca, con tiempos de moldeo de cuatro (4) minutos. Posteriormente, el material pasa de un estado semi-blando a rígido, finalizando el ciclo de conformado (véase Figura 10).



Figura 10: ciclo de conformación del termoplástico de baja temperatura GEKKO FORM© durante la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C.

En la Tabla 8 se observan las temperaturas y tiempos del GEKKO FORM©.

Tabla 8: tiempo de activación y moldeo según espesores del GEKKO FORM®.

		Temperatura de calentamiento máxima a la que se realiza la prueba	TIEMPOS SEGUN ESPESORES					
			Tiempo de activación			Tiempo de moldeo		
Material utilizado en la práctica de TO en la actualidad	ORFIT®	60 °C -70 °C	< 1 minuto			3,5 minutos		
			0.6 mm	1 mm	3 mm	0.6 mm	1 mm	3 mm
Material utilizado para el conformado de piezas artesanales	GEKKO FORM®	60 °C	No se observa ablandamiento			No se puede realizar moldeo a estas temperaturas ya que no se observa ablandamiento		
		70 °C						
		80 °C	2 minutos			4 minutos		
		100 °C						

Se puede destacar que este material, después de ser moldeado y sometido a más de cinco (5) ciclos de inmersión en agua caliente, los pellets mantienen su comportamiento de ablandamiento y moldeabilidad, sin presentar cambios significativos.

Cuenta con capacidad de adherencia a sí mismo y a materiales externos, tales como, el abrojo a través del pegamento de contacto y el alambre de acero inoxidable. Respecto al corte con tijeras, tanto en estado semi-blando húmedo y en seco es bueno. Como consecuencia de la gran capacidad de moldeo del material, al endurecerse permanecen en su superficie marcas de los dígitos y presenta buena resistencia.

Por otra parte, una vez en estado rígido expuesto a los rayos ultravioleta no presenta alteraciones en su estructura, no así, ante fuentes de calor térmico como el encendedor, porque se activa la drapeabilidad del material.

En resumen, los pellets GEKKO FORM® presentan un potencial considerable para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior. No obstante, se requiere de adaptación para su uso en el consultorio, la cual se brinda a modo de recomendación y de forma detallada, en la siguiente parte.

Termoplástico de baja temperatura ORFIT® recuperado

Se utilizan dos muestras de termoplástico de baja temperatura Orfit Classic con un vencimiento de cinco (5) años aproximadamente. Para ello fueron sometidas a un tratamiento térmico realizado por el estudiante de Ingeniería Mecánica Castro Francisco, de la Universidad Tecnológica Nacional de Villa María y la Ing. Gómez Sánchez Andrea (véase Anexo 2).

Tal como se aprecia en Figura 11, las muestras finales que se utilizan para las pruebas, estas presentan dimensiones de 3 cm x 5 cm y un espesor de 3 mm, con perforaciones similares al material ORFIT® original. El acabado de sus superficies es, en una lisa, mientras que en la otra rugosa. Esto se debe a que, en el proceso de recuperación se apoya el material sobre una placa.



Figura 11: termoplástico de baja temperatura ORFIT® con proceso de tratamiento térmico, antes (1) y después de la exposición a temperaturas entre 60 °C y 100 °C (2,3 y 4).

Al sumergirse en agua caliente a 60 °C, alcanzan un estado semi-sólido blando en aproximadamente dos (2) minutos, con un tiempo de moldeo efectivo de igual duración. Cuando las muestras se exponen a temperaturas de 70 °C, 80 °C y 100 °C, se observa un estado semi-blando, más maleable que a 60 °C, permitiendo el moldeo con mayor facilidad. Sin embargo, se presentan limitaciones al intentar el moldeo sobre puntos anatómicos debido a la rápida rigidización del material y su consistencia pegajosa.

En posteriores ciclos de calentamiento y conformado, el material presenta una consistencia aún más pegajosa. Que, al retirarlo del agua, aunque puede ser moldeado, se observan imperfecciones que hacen necesaria su reinmersión, lo que incrementa su viscosidad y genera transparencias que dificultan la creación de formas complejas. Si bien el material muestra una resistencia adecuada, buena adherencia a sí mismo y a elementos externos, su comportamiento frente al corte con tijeras no es favorable, tanto en húmedo como en seco. El acabado de las superficies son lisas, sin embargo, debido a la viscosidad del material estas no son estéticamente buenas, además, presenta marcas de los dígitos por el moldeo y la manipulación.

En la Tabla 9 se visualizan las temperaturas y tiempos de este material.

Tabla 9: tiempo de activación y moldeo según espesor del material termoplástico con proceso de tratamiento térmico.

		Temperatura de calentamiento máxima a la que se realiza la prueba	TIEMPOS SEGUN ESPESORES	
			Tiempo de activación	Tiempo de moldeo
Material utilizado en la práctica de TO en la actualidad	ORFIT©	60 °C -70 °C	< 1 minuto	3,5 minutos
			3 mm	3 mm
Material termoplástico con proceso de tratamiento térmico		60 °C	2 minutos	2 minutos
		70 °C		
		80 °C		
		100 °C		

10.5 Quinta Parte: utilización de los materiales termoplásticos de baja temperatura para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior

Descripción del procedimiento de utilización de los materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina que cumplen con las propiedades requeridas para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

En este capítulo se describe un posible proceso de utilización de tres (3) termoplásticos de baja temperatura, surgen a partir de las pruebas realizadas en la cuarta parte del Capítulo 4, los mismos son: PLA, TPU y GEKKO FORM©. Debido a que cumplen con las características y propiedades físicas mínimas establecidas en la segunda parte del Capítulo 4, las cuales corresponden a una Tg menor a 100 °C al exponerlas al agua caliente, presentan un tiempo de activación entre uno (1) y cuatro (4) minutos, además de presentar buena resistencia en seco y húmedo, cortado en seco y húmedo, y realización de formas simples en comienzo, que dan cuenta de su potencial para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

Para mejorar el análisis de cada uno de los materiales, se utilizan muestras de mayor tamaño, de 20 cm x 20 cm de 2 mm de espesor, en el caso del PLA y TPU, con micro perforaciones. A continuación, se describe el procedimiento de utilización de los tres materiales mencionados:

Ácido poliláctico (PLA)

Con respecto a este material hay que tener en cuenta que es de fácil adquisición, en variedad de colores y económico. En cuanto al diseño y fabricación de órtesis, permite aquellas que sean simples, donde su estructura sea en un sólo plano y no requiera adherencias a sí mismo.

Para comenzar, la temperatura del agua debe estar aproximadamente a 80 °C, con tiempos de ablandamiento de entre dos (2) y tres (3) minutos. Al retirarlo, el mismo permite el conformado in situ sin provocar quemaduras, como así también cortarse (tanto en seco como húmedo).

Debido a que el tiempo de moldeo es corto, de un (1) minuto, puede sumergirse tantas veces como sea necesario. Por otra parte, el moldeo de la órtesis no es exacto, por ende, hay porciones dónde su adaptabilidad a las zonas anatómicas tanto cóncavas o convexas no es precisa, como en eminencias óseas, generando en consecuencia puntos de presión y posibles lesiones. Como alternativa, puede utilizarse una malla tubular o bien, un revestimiento de la cara interna de la férula, como, por ejemplo, con goma eva.

Con respecto a las superficies, presenta una rugosa al tacto y otra lisa, debido a esto se debe diseñar y fabricar la órtesis procurando que al contacto con la piel sea la lisa, o en caso contrario tener la precaución de colocar un revestimiento en toda la cara interna. En cuanto a las terminaciones de bordes, se pueden redondear puntas, mediante la exposición ante fuentes de calor como lo es el encendedor. Así mismo, no se dejan marcas de huellas digitales, ni se alteran las perforaciones, por el moldeo.

El material permite la adherencia de abrojos cómo elementos para sujeción al segmento corporal, mediante la utilización de pegamento de contacto. Es de fácil higienización, liviano, resistente tanto en seco como en húmedo y con acabados estéticamente aceptables.

Como desventajas o limitaciones, se destaca que sólo permite el diseño y fabricación de órtesis en un plano, presenta corto tiempo de moldeo entre uno (1) y dos (2) minutos y este no es exacto, requiere del revestimiento de superficies y no se adhiere a sí mismo. Cabe mencionar que el material no permite el moldeo en dos sentidos, por lo cual se sugiere que primero se trabaje en la longitud y luego los bordes laterales o viceversa.

Como sugerencia, se propone en base a la información obtenida el diseño y fabricación de órtesis como, Cock up, teja palmares o dorsales, estas pueden diseñarse tanto con o sin bordes laterales como se observa en la Figura 12.



Figura 12: tejas palmares y Cock Up diseñadas y fabricadas con termoplástico de baja temperatura PLA.

Poliuretano Termoplástico (TPU)

Al igual que el termoplástico de baja temperatura PLA, el TPU, también es fácil de adquisición, en variedad de colores y económico.

Para dar inicio al proceso, la temperatura del agua debe estar aproximadamente a 70 °C o más, presentando tiempos de ablandamiento de dos (2) minutos. Al retirarlo, el mismo permanece con las mismas propiedades físicas que adquirió al momento de la activación, debido a que la estructura del material es semi-blanda elástica de manera permanente.

Al retirarlo del agua caliente, permite el conformado in situ sin provocar quemaduras, como así también cortarse (tanto en seco como húmedo). Es de fácil higienización, resistente tanto en seco como en húmedo, con acabados estéticamente aceptables y superficies lisas y suaves, no existiendo riesgos de generar zonas de presión sobre la piel. Como sucede con el PLA, este material permite la adherencia de abrojos como elementos para sujeción al segmento corporal, mediante la utilización de pegamento de contacto.

Como ventaja, al contar el material con gran flexibilidad y resistencia, permite que se adapte a aquellas zonas anatómicas donde se requiera el diseño y fabricación de órtesis para la abducción o apertura de espacios, como lo son los interdigitales (véase Figura 13), presenta una estructura semi-blanda elástica de manera permanente luego de activarse al sumergirse en agua, y no se adhiere a sí mismo.



Figura 13: órtesis para la apertura o abducción de espacios interdigitales diseñada y fabricada con termoplástico de baja temperatura TPU.

Pellets GEKKO FORM© (nombre comercial)

En relación al GEKKO FORM©, se sugiere que para conseguir una plancha de 5 cm x 5 cm con espesor de dos (2) mm, se requieren aproximadamente veinticinco (25) gramos de pellets, lo cual posibilita el diseño y fabricación de órtesis digitales con estructuras simples, con la ventaja que es el único material de los analizados, que permite la adherencia a sí mismo y a materiales externos.

Para la activación del material, debe sumergirse en agua caliente a temperatura de 80 °C, junto con una mínima cantidad de detergente, para evitar que el mismo se adhiera a la base de la batea. El tiempo de ablandamiento es de dos (2) minutos.

Pasado ese tiempo, el material está listo para extraer del agua, el mismo presenta un color transparente y luego al endurecerse blanco, una textura pegajosa y notable drapeabilidad, lo cual lleva a que su manipulación y moldeo sea dificultoso, la colocación sobre un plano de apoyo liso y limpio permite diseñar una plancha con mayor facilidad.

Así mismo, debido a sus características mecánicas, se observa que, si se coloca un elemento que brinde soporte y estructura en ambas caras facilita dicha tarea, un material que puede utilizarse para tal fin es una cinta tramada autoadhesiva de fibra de vidrio, que puede ser obtenida en cualquier ferretería.

Una vez rígido el material, se retira de forma sencilla del plano de apoyo, siendo posible realizar las inmersiones en agua que sean necesarias, es importante que luego de la primera inmersión, las siguientes se lleven a cabo con una temperatura del agua a menos de 80 °C y en tiempos menores a un (1) minuto, para evitar que el material pase de un estado sólido a completamente blando, como se evidencia el proceso en la Figura 14. Ante esto, en reiteradas pruebas la cinta permanece adherida al material.

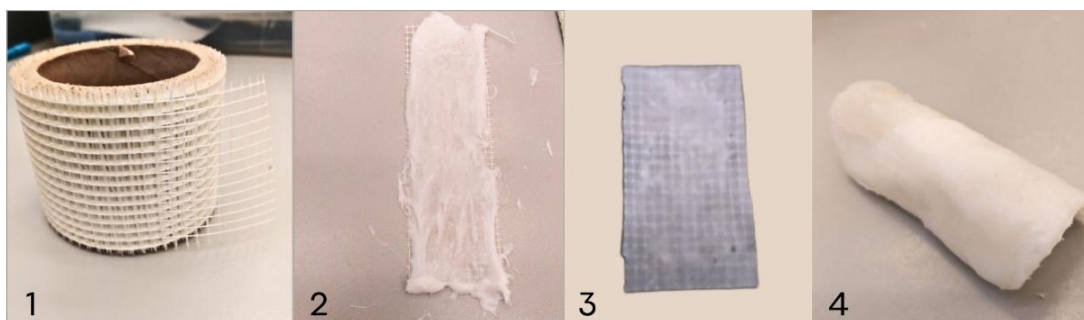


Figura 14: cinta tramada autoadhesiva de fibra de vidrio (1), material retirado del agua caliente y colocados sobre la cinta tramada autoadhesiva de fibra de vidrio (2), luego de unos minutos de secado y colocado de la cinta en la otra cara (3) y, por último, los resultados finales del proceso (4).

El material permite la adherencia de abrojos como elementos de sujeción al segmento corporal, mediante la utilización de pegamento de contacto, además de la incorporación de otros elementos como alambre, siempre que las dimensiones de la órtesis lo permitan, mediante la añadidura del mismo material para la fijación en el lugar (véase Figura 15). La higiene es sencilla, pero ante el uso y la manipulación el material tiende a percutir. Es resistente tanto en seco como en húmedo y con buenos acabados estéticos.

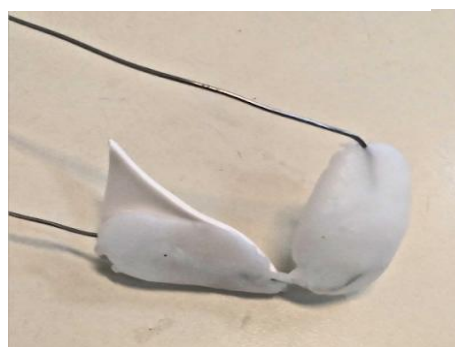


Figura 15: muestra de adhesión de termoplástico de baja temperatura GEKKO FORM© al alambre de acero inoxidable y termoplástico de baja temperatura ORFIT©.

También es viable, la utilización del material sin la cinta tramada autoadhesiva correspondiente, requiriendo para su conformado in situ de la aplicación de detergente tanto en las manos como en la zona anatómica a tratar. Debido a la gran posibilidad de moldeo, su aplicación puede ser variada, según que sea necesario.

Cabe destacar que, una vez utilizado el material tanto sea en una órtesis o en retazos del mismo, pueden ser sumergidos todos juntos en agua caliente y lograr la unificación de las distintas porciones de éste, y posteriormente ser reutilizado para el diseño y fabricación de otra férula. Como desventaja o limitación, no permite realizar órtesis grandes, ya que presenta una importante drapeabilidad y un prolongado período de tiempo de endurecimiento, siendo complejo mantener el moldeo con precisión en la zona anatómica y la inmovilización del segmento corporal en dicha posición. Por ende, como sugerencia, se propone el diseño y fabricación de órtesis como, órtesis para la abducción o apertura de espacios interdigitales, y sindactilia como se observa en la Figura 16.



Figura 16: posibles órtesis diseñadas y fabricadas con el termoplástico de baja temperatura GEKKO FORM®. Órtesis para abducción y apertura de espacios interdigitales (1 y 2), órtesis sindactilia (3).

En la Tabla 10, se observan de forma comparativa la información recolectada hasta el momento, del material ORFIT®, PLA, TPU Y GEKKO FORM®, con las temperaturas de ablandamiento, tiempo de moldeo, posibles órtesis, y cualidades y propiedades destacadas de los mismos y por último, la comparación de precios correspondiente.

11 Conclusiones

En este trabajo final de grado, se ha analizado el termoplástico de baja temperatura, perteneciente a la familia de los polímeros. De acuerdo con García Hernández y Martínez Utrera (2015), es un tipo de “plástico termoconformable a bajas temperaturas, ampliamente utilizado en la práctica de TO, para la confección de órtesis. Este permite el moldeo y manipulación a temperaturas de entre 50 °C – 80 °C” (p. 222), posibilitando el conformado y moldeo in situ sobre la piel sin riesgo de producir quemaduras, con acabado estético, brindando confort y varios ciclos de conformado, como parte de un proceso de rehabilitación enfocado en alcanzar los objetivos terapéuticos establecidos.

Este material es fundamental para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en TO. Sin embargo, su uso presenta limitaciones importantes, como la escasa disponibilidad en el mercado local y el alto costo, tanto en Argentina como en América Latina. Actualmente, como se verificó con un gran número de proveedores, ORFIT® es el único material importado disponible en el país, con características de innovación que lo hacen óptimo para el diseño y fabricación de órtesis, con procedimientos sencillos de aplicar en consultorios de TO.

Esta situación restringe su aplicación clínica y dificulta la implementación de dispositivos ortésicos como parte integral del tratamiento de rehabilitación. Repercutiendo directamente en la calidad de vida, la equidad en el acceso a recursos terapéuticos y la posibilidad de alcanzar objetivos centrados en la funcionalidad y sobre todo, la independencia en las actividades de la vida diaria.

En respuesta a esto, se llevó a cabo un trabajo de investigación con enfoque cuantitativo y alcance explicativo, con el objetivo general de, analizar el potencial de materiales termoplásticos de baja temperatura más económicos y disponibles en Argentina que cumplan con las propiedades requeridas para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior en la práctica de TO.

En este sentido, los resultados obtenidos aportan contribuciones significativas al campo de la TO, destacando indudablemente que el material ORFIT®, presenta un notable desarrollo, observable tanto en la información proporcionada en su sitio web, en sus catálogos de productos y conocimientos teóricos disponibles desde TO. Distinguiendo cualidades y atributos como: memoria, resistencia, tiempo de trabajo, grosor, perforación y revestimiento (García Hernández y Martínez Utrera, 2015), como así también otros autores mencionan, maleabilidad, confort, simple proceso de conformado in situ y durabilidad.

Sin embargo, se identificaron en la información provista por la marca, vacíos significativos con relación al origen, la composición química y las propiedades térmicas

del material, lo cual dificulta la comprensión integral de sus cualidades y atributos físicos, así como la identificación de potenciales materiales candidatos. En línea con lo que sostiene autora Kroll Lindemayer (2004), para la TO es fundamental comprender la composición química, estructura molecular y sus propiedades asociadas a las particularidades que estipulan el diseño y fabricación de órtesis.

En este contexto, la consultoría con un ingeniero en materiales permitió ampliar el conocimiento técnico sobre el material y propiedades intrínsecas que pudieran acercarse a lo descrito por ORFIT®, sentando las bases sobre la composición y comportamiento de los termoplásticos de baja temperatura. Se arribó a un error en la comprensión de un concepto clave, para la búsqueda de materiales candidatos, que es el de memoria, entendida desde la TO, como la capacidad de recuperar su forma original en frío, tantas veces como se sumerge en el agua y llega a su temperatura óptima de moldeo. No obstante, la definición adecuada desde la ciencia en materiales, es que el SME, es una capacidad que poseen algunos materiales (principalmente metales) de recuperar una geometría de una pieza bajo ciertas condiciones térmicas.

A partir de dicha consultoría, se seleccionaron las principales propiedades que debe poseer un termoplástico de baja temperatura para cumplir con los requerimientos mínimos apropiados para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior, que son: temperatura de transición vítrea (T_g) que permita su ablandamiento en un rango de temperatura entre $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, tiempo de activación menor a 1 minuto y de moldeo de 3.5 minutos aproximadamente, y conformabilidad, resistencia en seco y húmedo, cortado en seco y húmedo, acabado superficial, exposición a fuentes de calor térmico y adherencia del material a sí mismo o a otros materiales.

Con estos parámetros definidos, una búsqueda web permitió identificar otros materiales termoplásticos de baja temperatura, que son utilizados en aplicaciones distintas a la TO, disponibles en Argentina y más económicos, con costos entre 21.420 - 28.624 pesos, en comparación de una plancha de 2,4 mm y 45 cm por 60 cm de Orfit Eco a 117.000 pesos. Tales materiales son, PLA, ABS, TPU, PET-G, HIPS y GEKKO FORM®. Se realizaron pruebas experimentales en laboratorio, replicando las condiciones propias de la práctica en consultorio de TO, Para hallar que PLA, TPU y GEKKO FORM®, mostraron propiedades físicas mínimas para el diseño y la fabricación de órtesis.

Los resultados de las pruebas a estos termoplásticos de baja temperatura indicaron que, aunque presentan ciertas limitaciones en términos de moldeabilidad (por el tiempo, adherencia entre sí y a otros materiales), ofrecen ventajas en cuanto al ablandamiento ante temperaturas entre $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, resistencia, conformado in situ sobre la piel sin producir quemaduras, peso reducido, fácil higienización, adherencia

de abrojos mediante pegamento de contacto y exposición ante fuentes de calor natural (rayos ultravioletas) y artificial (encendedor). Además, estos materiales pueden adquirirse en Argentina a un costo significativamente menor que ORFIT© y su disponibilidad es amplia pues existen numerosos proveedores.

Con respecto a cada uno de ellos se destaca lo siguiente:

PLA: es un material económico, de fácil adquisición y en variedad de colores. En cuanto al diseño y fabricación de órtesis, permite aquellas que en las que su estructura sea en un sólo plano y no requiera adherencias a sí mismo. Con una Tg 60 °C, tiempos de ablandamiento de entre 2 - 3 minutos expuesto a temperatura de 80 °C y tiempos de moldeo de 1 - 2 minutos. Como ventaja permite el conformado in situ sin provocar quemaduras, como así también cortarse (tanto en seco como húmedo), adherencia de abrojos, de fácil higienización, liviano, resistente tanto en seco como en húmedo y con acabados estéticamente aceptables. Por otra parte, como desventajas el material no permite la adherencia a sí mismo, el moldeo de la órtesis no es exacto, por ende, su adaptabilidad a las zonas anatómicas tanto cóncavas o convexas no es precisa, como en eminencias óseas, generando en consecuencia puntos de presión y posibles lesiones, además presenta una superficie rugosa al tacto.

TPU: es fácil de adquirir, en variedad de colores y económico. Se caracteriza por su flexibilidad y resistencia, permitiendo adaptarse a aquellas zonas anatómicas donde se requiera el diseño y fabricación de órtesis para la abducción o apertura de espacios interdigitales. Presenta una Tg de 60 °C, tiempos de ablandamiento de 2 minutos a temperatura de 70 °C. Al retirarlo, no presenta un tiempo de moldeo específico, ya que permanece con las mismas propiedades físicas que adquirió al momento de la activación, debido a que la estructura del material es semi-blanda elástica de manera permanente. Este puede colocarse sobre la piel sin provocar quemaduras, la resistencia y el corte es favorable en seco y húmedo, con buen acabado superficial en sus caras y bordes, permite la adherencia de abrojos como elementos para sujeción al segmento corporal, mediante la utilización de pegamento de contacto, sin embargo, no se adhiere a sí mismo.

GEKKO FORM©: su presentación es en pellets y posibilita el diseño y fabricación de órtesis para la abducción o apertura de espacios interdigitales y sindactilia. Con respecto a la Tg del material no es de conocimiento público, pero la temperatura de activación es de 80 °C y el tiempo de ablandamiento de 2 minutos, pasado ese tiempo, el mismo presenta una textura pegajosa y notable drapeabilidad, lo cual lleva a que su manipulación y moldeo sea dificultoso (puede colocarse sobre un plano de apoyo y retirarse una vez endurecido), siendo posible realizar las inmersiones en agua que sean necesarias, también puede ser expuesto a los rayos ultravioleta y

no presentar alteraciones en su estructura. Además, permite el corte, tanto en estado semi-blando húmedo y seco y es el único material de los analizados, que permite la adherencia a sí mismo y a materiales externos. Como desventaja, el material presenta prolongado tiempo de secado y endurecimiento, lo cual es complejo mantener el moldeado con precisión en la zona anatómica y la inmovilización del segmento corporal en dicha posición, y pueden observarse en su superficie marcas de los dígitos por el moldeado.

Si bien ORFIT© sigue siendo el más adecuado en cuanto a rendimiento integral, los materiales analizados, al cumplir con las propiedades físicas mínimas, permiten una reducción de costos, sin comprometer los requerimientos mínimos para el diseño y fabricación de órtesis. En este sentido, Herrera (2023) sostiene que los materiales alternativos, si bien no fueron desarrollados específicamente para la fabricación de órtesis, pueden cumplir adecuadamente esta función cuando su selección se realiza con criterio clínico y técnico, atendiendo tanto a las características del tratamiento como a las posibilidades reales de acceso.

Para concluir, la investigación tiene gran relevancia, por tratarse de un trabajo interdisciplinario con profesionales de la Ingeniería en Materiales y Mecánica, por ser la única de su tipo en trabajar con un polímero que está tan ligado en la práctica diaria, por responder a una necesidad no sólo de la TO, sino lo que es más importante, de las personas quienes necesitan para su proceso de tratamiento un material de calidad para una órtesis; también por la magnitud del conocimiento que se desarrolla y presenta. Esta constituye una base sólida para futuras investigaciones en el área, abriendo nuevas perspectivas para el desarrollo de soluciones más accesibles y económicas en el ámbito de la rehabilitación.

Se sugiere y convoca a quienes demuestren interés en continuar este trabajo, en llevar a cabo un análisis más profundo sobre todas las propiedades del material, si estas pueden ser modificadas para su adaptación y optimización en el uso efectivo para el diseño y fabricación de órtesis de miembro superior.

12 Bibliografía

- Ashby, M. F. (2011). *Materials selection in mechanical design* (4th ed.). Elsevier.
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2011). *Ciencia e ingeniería de materiales* (6.ª ed.). Cengage Learning.
- Barbosa F. D. S. y Mendes P. V. B. (2020). Indicaciones y materiales para la realización del cock-up volar: una revisión integrativa de la literatura. *Revista Interinstitucional Brasileira de Terapia Ocupacional*, 4 (1), 127-148.
- Barrios A. A., Avedaño Jimenez M. F., Cardona Martínez, C. y Cuervo de Oviedo, L. M. (2007). *Evaluación del T.O FORM como nuevo material en la elaboración de férulas estáticas en lesiones de nervio periférico para usuarios del Servicio de Salud del Ejército Nacional* [Tesis de grado, Institución Universitaria Fundación Escuela Colombiana de Rehabilitación Facultad de Fisioterapia]. Repositorio ECR.
- Cabral, B. M. R., Amaral, D. S., Cabral, A. K. P. S., Farias, F. C., De Paula, A. R., Silva, L. P. y Silva, B. N. (2019). Entraves na utilização de órteses para membros superiores por terapeutas ocupacionais do Recife. *Revista Interinstitucional Brasileira de Terapia Ocupacional*, 3 (3), 397-408.
- Campos França, D., Diniz Morais, D., Barros Bezerra, E., Araújo, E. M. y Ramos Wellenb, R. M. (2018). Photodegradation Mechanisms on Poly(ϵ -caprolactone) (PCL). *Materials Research*, 21 (5), 1-8.
- Carmas Composites. (2024, marzo 9). *Gekko Form Plástico termo moldeable*. <https://www.carmascomposites.com/productos/gekkoform-plastico-termo-moldeable/>
- Dussán, M. A., Muñoz Prieto, S. L., Sánchez Bacca, Y. L. y Vanegas Daza, D. M. (2003). Material sustituto al orthoplast para la fabricación de férulas dinámicas. *Umbral Científico*, 3, 57-65.
- García Hernández, V. E. y Martínez Utrera, E. (2015). Capítulo 12: Tratamiento ortésico en terapia ocupacional en B. Polonio (Ed.). *Terapia Ocupacional en Disfunciones Físicas*. (pp. 211-225). Editorial médica panamericana.
- Giesbrecht, E. (2013). Application of the Human Activity Assistive Technology model for occupational therapy research. *Journal Australian Occupational Therapy*, 60, 230–240.
- Gómez, G. E. (2015). Caracterización de la tecnología de asistencia en pacientes adultos con lesiones de mano. *Revista de la Facultad de Medicina*, 64 (1), 67-74.

- Hermida, E. (2011). Capítulo 9: Polímeros. En *Materiales y materias primas* (pp. 7–51). Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología – Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET).
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.).
- McGraw-Hill.Herrera P. P. (2023). Ortótica, una mirada desde la Terapia Ocupacional. *Revista ContexTO*, 10, pp. 13-29.
- Hsu, J. D., Michael, J. W. y Fisk, J. R (2009). AAOS. *Atlas de órtesis y dispositivos de ayuda*. (4.ª ed.). Elsevier España.
- Huang, W. M., Ding, Z., Wang, C. C., Wei, J., Zhao, Y. y Purnawali, H. (2010). Shape memory materials. *Materials Today*, 13, (7 - 8), 54 - 61.
- International Organization for Standardization (1989). ISO 8549-3: *Prosthetic and Orthotics - Vocabulary. Terms relating to external orthoses*.
- International Organization for Standardization (2012). ISO 9999: *Productos de apoyo para personas con discapacidad. Clasificación y terminología*. España.
- Kroll Lindemayer, C. (2004). *Estudo e avaliação de termoplásticos utilizados na fabricação órtese* [Tesis de maestría, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba]. Repositório Institucional da Universidade do Vale do Paraíba.
- Martinez L. B. A., Elui A. M. C., Martinez R. A. y Agnelli J. A. M. (2017). Elaboração de instrumento padronizado para o teste de materiais termoplásticos para órteses. *Revista Interinstitucional Brasileira de Terapia Ocupacional*, 1 (4), 518-525.
- Mayor, J. E. (2012). *Diseño y elaboración de una férula tipo tenodesis fabricada en termoplástico de alta resistencia policloruro de vinilo (P.V.C.) para la promoción de agarre de pinza trípode en personas con secuelas de trauma raquimedular*. *Revista Chilena de Terapia Ocupacional*, 12 (2), 3-21.
- Morin, E (1998). *Sobre la interdiscipliniedad*. Boletín nº 2, Centre International de Recherches et Etudes Transdisciplinaires (CIRET), pp. 4-15.
- Ocello, M., y Lovotti, V. (2014). *Órtesis y prótesis: Herramientas para la rehabilitación* (1ª ed.). Ediciones UNL.
- Orfit Industries. (2014). *Materiales para férulas, mejorando la calidad de la vida cotidiana*. [Catálogo] Orfit Industries.
- Orfit Industries. (2023). *Catálogo de productos, ajustes personalizados*. [Catálogo] Orfit Industries.
- Orfit Industries. (2024). *Catálogo de productos: Ajustes personalizados*. [Catálogo] Orfit Industries.

Organización Mundial de la Salud. (2023, 23 de agosto). Definición de tecnología de asistencia. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>

Regulación de la actividad profesional en Terapia Ocupacional. Ley N.º 10.911. (2023, 6 de septiembre). Boletín Oficial de la Provincia de Córdoba, 12 de octubre de 2023.

Trombly, C. A. (2008). *Terapia ocupacional para enfermos incapacitados físicamente* (2.ª ed.). Ediciones Científicas La Prensa Médica Mexicana.

Zambudio Periago, R. (2009). *Prótesis, órtesis y ayudas técnicas* (1.ª ed.). Elsevier Masson.

13 Anexos

13.1 Anexo 1

Tabla 11: disponibilidad de termoplástico de baja temperatura en ortopedias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y La Pampa. Bonis, L. I.; Burgos, B. A.; Gómez Sánchez A. V.; Negrini, I. J. y Virgino Tasca, F. M., (2024).

Termoplásticos disponibles en Argentina (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y La Pampa)							
Nombre de Ortopedia	Provincia	Dirección	Contacto	¿Tiene termoplástico?		Características: Marca Dimensión	Precio
Ortopedia Gullone	Buenos Aires	Pres. Luis Sáenz Peña 839, Cdad. Autónoma de Buenos Aires	(011) 2833-1230	SI	NO	ORFIT® Eco No perforada. 45x60 cm 2.4mm	\$ 76.800
						3.2mm	\$ 88.600
						Miniperforada. 45x60 cm 2.4mm	\$ 86.400
						3.2mm	\$ 96.900
Ortopedia Banfield		Av. Adolfo Alsina 370, Provincia de Buenos Aires.	(011) 1538695943	SI	NO	LENOX 60X90 cm	\$554.000
Ortopedia Simoyan		Cnel. Ramón L. Falcón 2380, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 4611-8741		NO		
Heling, venta de materiales plasticos.		Cnel. Niceto Vega 5331, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 4778-7000		NO		
Farmacia Rex		Av. Córdoba 2401, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 4961-0338/0339	SI		AQUAPLAST® 10x10 cm.	\$20.000
Ortopedia Lamic SRL		Av. Cabildo 1179, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 15-6281-5738		NO		
Ortopedia Rahavita		Dr. Pedro I. Rivera 3405, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 5365-8080		NO		
Ortopedia Sudamericana		Solís 2183, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 4304-8648		NO		
Ortopedia Fernandez		Av. Raúl Scalabrini Ortiz 966, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 5608-3603		NO		
Ortopedia White Salud		Av. Sta. Fe 1692, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 3036-7133		NO		
Ortopedia CABA		Galicia 670, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 4195-7247		NO		
Ortopedia Oplas		Francisco Acuña de Figueroa 400, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 5163-8631	SI	NO	ORFIT® Eco 45x60 cm 2.4 mm y 3.2 mm No perforada Mini perforada	No revende el material. Directamente confeccionan el molde de órtesis requerida según receta médica, y de acuerdo al diseño varía el precio.
Ortopedia Belgrano		Av. Monroe 3552, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 4541-3714		NO		

Lenox SA	Río Limay 1531, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 4302-3232	SI	NO	ORFIT® 2,4 mm No perforada 45x60 cm Microperforada 45x60 cm No perforada 90x60 cm Microperforada 90x60 cm 3,2 No perforada 45x60 cm Microperforada 45x60 cm No perforada 90x60 cm Microperforada 90x60 cm	U\$S 86,00 U\$S 92,00 U\$S 170,00 U\$S 180,00 U\$S 97,00 U\$S 103,00 U\$S 191,00 U\$S 203,00 Dólar oficial Banco Central del día de facturación.	
SP Ortopedia	Juan Ramírez de Velasco 599, Cdad. Autónoma de Buenos Aires.	(011) 3366-2195	SI	NO			
Ortopedia B+	Pueyrredón 1072, Rosario.	(0341) 664-4879	SI	NO			
Ortopedia Mediterranea	Urquiza 1212, Rosario.	(0340) 645-3220	SI	NO			
Ortopedia Kinen	Santa Fe	Ruperto Godoy 1375, Santa Fe de la Vera Cruz.	(0342) 9460-1871	SI	NO	ORFIT® Eco No perforada. 45x60 cm 2.4 mm	\$181.350
						ORFIT® Eco Miniperforada. 45x60 cm 3.2 mm	\$201.670
Ortopedia Tessio	R. Casabella 162, Rafaela.	(0349) 243-1231	SI	NO			
Ortopedia Aguilar	1° de Mayo 2317, Santa Fe.	(0342) 453-9084	SI	NO			
Ortopedia Integral SRL	Suipacha 2763, Santa Fe de la Vera Cruz.	(0342) 455-3266		NO			
Ortopedia Schneider	Rioja 1483, Rosario.	(0341) 421-3773	SI	NO			
Ortopedia Río Cuarto	Sobremonte 1285, Río Cuarto	(358) 4641155	SI	NO			
Ortopedia A.G.	Sta. Rosa 279, Córdoba	(351) 2158884	SI	NO			
Ortopedia GMRS SA	Mitre 772, Río Cuarto	(358) 4627986	SI	NO			
Química y Ortopedia dos 36	Centro, Alberdi 236, Río Cuarto	(358) 4209539	SI	NO			
Ortopedia Del Gaudio	Av. Rufino Varela Ortiz 2781, Córdoba	(351) 8063164	SI	NO			
Ortopedia Medimed	José Antonio de Sucre 2590, Córdoba	(351) 7045163	SI	NO			
Ortopedia Aquiles	Obispo Trejo 758, Córdoba	(351) 4215245	SI	NO	ORFIT® 15X15 cm	\$15.000	
Ortopedia Guerra	Sta Rosa 300, Córdoba	(351) 3594487	SI	NO			
Ortopedia Santa Lucía	Rosario de Santa Fe 420, Córdoba	(351) 4265157	SI	NO			
Ortopedia Universal	27 de Abril 245, Córdoba	(351) 4229588	SI	NO			
Ortopedia Intermed	Av. Colón 4233, Córdoba	(351) 8156107	SI	NO	ORFIT® 30x15 cm 45x60 cm 60x90 cm	\$58.000 \$230.000 \$459.070	
Ortopedia Navarro	José Antonio de Sucre Centro 85, Córdoba	(351) 4239799	SI	NO			
Ortopedia MC Electromedicina S.R.L.	Sta Rosa 501, Córdoba	(351) 423687	SI	NO			
Ortopedia Arena	Av. Duarte Quirós 2999, Córdoba	(351) 4895384	SI	NO			

Ortopedia Chiavassa		Av. 24 de Septiembre 1027, Córdoba	(351) 4214155	SI	NO		
Ortopedia Care Medical		Belgrano 1476, Córdoba	(351) 4687738	SI	NO		
Ortopedia Vei		Av. Emilio Caraffa 2471, Córdoba	(351) 2555666	SI	NO		
Ortopedia Eukana		Av. Vélez Sarsfield 960, Córdoba	(351) 4600040	SI	NO	ORFIT® 45x60 cm 3.2 mm No perforada Perforada	\$128.600 \$140.600
Ortopedia Bilbao	Entre Ríos	Enrique Carbó 658, Entre Ríos	(343) 4557752	SI	NO		
Ortopedia Escobar		Corrientes 118, Paraná	(343) 4231015	SI	NO		
Ortopedia Concordia SRL		Urquiza 546, Concordia	(345) 4217268	SI	NO		
Ortopedia Crespo		French 1658, Crespo	(343) 4953747	SI	NO		
Ortopedia Colón		Gral. Urquiza 293, Colón	(344) 7501414	SI	NO		
Ortopedia Cirugía Gualeguaychú		C. Pellegrini 35, Gualeguaychú	(344) 6621955	SI	NO		
Ortopedia Tecnoconfort		Chalup 14, Entre Ríos	(344) 6649618	SI	NO		
Ortopedia Con el Pie Derecho		Libertador 44, Gral. Ramírez	(343) 5344404	SI	NO		Sólo utiliza el de alta temperatura
Ortopedia Uruguay		Bld. los Constituyentes 27, Concepcion del Uruguay	(344) 2547455	SI	NO		
Ortopedia Mediplus SRL		San Juan 81, Paraná	(343) 4233371	SI	NO		
Ortopedia Entrerriana		Saavedra 314, Concordia	(345) 4230720	SI	NO		
Ortopedia Neo	La Pampa	T. Edison 994, Santa Rosa	(295) 4454654	SI	NO		
Ortopedia Santa Rosa SA		Bartolomé Mitre 222, Santa Rosa	(295) 4426741	SI	NO		
Ortopedia El Tic Tac Cirugía y Salud		C. 20 727, Gral. Pico	(230) 2333111	SI	NO		
Ortopedia General Pico		C. 7 871, Gral. Pico	(230) 2435700	SI	NO		

13.2 Anexo 2

Con respecto al proceso de tratamiento del termoplástico ORFIT©, se expondrá el mismo con el propósito de dar cuenta de lo realizado desde la Ingeniería Mecánica y en Materiales. Para ello, se tomaron muestras de un termoplástico de baja temperatura ORFIT© classic perforado de 3,4 mm de espesor, con como mínimo 5 (cinco) años de antigüedad y algunos procesos de re-conformado de órtesis.

Dichas muestras se colocaron en un recipiente abierto de vidrio, que se llevó a una mufla de un laboratorio. Tomando como referencia la investigación de las autoras Campos França D., Diniz Moraisa D., Barros Bezerra E., Araújo E. M. y Ramos Wellenb R. M. (2018), en la cual trabajaban con muestras que se exponían a temperaturas cercanas a la T_m (54 °C, 55 °C, etc.) mantenidas durante 24 (veinticuatro) horas. En este caso, al no disponer de la T_m exacta del polímero, se estimó en 60 °C. Otro motivo para elegir dicha temperatura, es que la mufla utilizada tiene una resolución de 10 °C, por lo que no se podrían utilizar temperaturas intermedias entre 50 °C y 60 °C.

Se estableció la temperatura de la mufla en 60 °C, midiendo con un multímetro provisto de una termocupla la temperatura para determinar el valor mínimo y máximo del ciclo del dispositivo. Descubriendo que por la inercia térmica del mismo la temperatura máxima es considerablemente superior a la T_m , llegando incluso hasta los 90 °C. Debido a esa temperatura máxima, se determina que la mufla no es un dispositivo muy adecuado para el tratamiento térmico, sin embargo, a falta de una opción superior se siguió adelante con el experimento, dejando las muestras durante veinticuatro (24) horas dentro del mismo. Cumplidas dichas horas, se apagó la mufla y se dejaron enfriar las muestras lentamente (sin abrir la tapa del equipo) hasta llegar a temperatura ambiente, dando por finalizado el proceso de tratamiento térmico (véase Figura 17). Posteriormente, las muestras fueron entregadas a las estudiantes de TO, para el análisis desarrollado en el Capítulo 4.



Figura 17: proceso de tratamiento térmico del termoplástico de baja temperatura ORFIT© en estado de vencimiento.

13.3 Anexo 3

A continuación, se detallan de forma esquemática las tablas de datos de cada material, la Tabla 4 con los respectivos tiempos de ablandamiento, según cada espesor y temperaturas de prueba. De igual manera, en la Tabla 5 en referencia al tiempo de moldeo.

Tabla 12: tiempos de activación de los distintos materiales según los espesores y temperaturas de prueba.

MATERIALES		Temperatura calentamiento máxima a la que se realiza la prueba	Tiempo de activación según los espesores		
			0.6 mm	1 mm	3 mm
Materia prima para impresión 3D con potencial para utilizarse en el diseño y fabricación de órtesis	PLA	60 °C	1 minuto	3 minutos	7 minutos
		70 °C			
		80 °C	< 1 minuto	2 minutos	
		100 °C		1 minuto	
	ABS	60 °C	Se descarta la prueba de los materiales en este espesor	4 minutos	
		70 °C			
		80 °C			
		100 °C			
	TPU	60 °C		2 minutos	3 minutos
		70 °C			
		80 °C		1 minuto	1 minuto
		100 °C			
	PET-G	60 °C		5 minutos	6 minutos
		70 °C			
		80 °C			
		100 °C			4 minutos
	HIPS	60 °C	2 minutos	No se observa ablandamiento	
		70 °C			
		80 °C	Se descartan la pruebas por la degradación	4 minutos	

		100 °C		del material	3 minutos
Material utilizado para el conformado de piezas artesanales	GEKKO FORM®	60 °C	No se observa ablandamiento		
		70 °C			
		80 °C	2 minutos		
		100 °C			
Termoplástico de baja temperatura con proceso de tratamiento térmico		60 °C	El material no presenta dichos espesores		2 minutos
		70 °C			

Tabla 13: tiempos de moldeo de los distintos materiales según los espesores y temperaturas de prueba.

MATERIALES		Temperatura calentamiento máxima a la que se realiza la prueba	Tiempo de moldeo según los espesores			
			0.6 mm	1 mm	3 mm	
Materia prima para impresión 3D con potencial para utilizarse en el diseño y fabricación de órtesis	PLA	60°	< 1 minuto	< 1 minuto	1 minuto	
		70°				
		80°				
		100°				
	ABS	60°	Este espesor fue descartado para estos materiales debido a su delgadez extrema, y por la alta susceptibilidad a romperse durante el proceso de moldeo con las manipulaciones.	< 1 minuto		
		70°				
		80°				
		100°				
	TPU	60°		Este espesor fue descartado para estos materiales debido a su delgadez extrema, y por la alta susceptibilidad a romperse durante el proceso de moldeo con las manipulaciones.	El tiempo de moldeo es ilimitado, porque la estructura del material (TPU) es semi-blanda elástica de manera permanente, permitiendo el libre moldeo.	
		70°				
		80°				
		100°				
	PET-G	60°			Este espesor fue descartado para estos materiales debido a su delgadez extrema, y por la alta susceptibilidad a romperse durante el proceso de moldeo con las manipulaciones.	< 1 minuto

		70°			
		80°			
		100°			
	HIPS	60°		< 1 minuto	
		70°		Se descarta la prueba de los materiales en este espesor	1 minuto
		80°			
		100°			
Material utilizado para el conformado de piezas artesanales	GEKKO FORM©	60°	No se puede realizar moldeo, porque a estas temperaturas aun no se observa ablandamiento		
		70°	4 minutos		
		80°			
		100°			
Termoplástico de baja temperatura con proceso de tratamiento térmico		60°	El material no presenta dichos espesores	2 minutos	
		70°			