



Diseño y Desarrollo de un Kit de Herramientas Impresas en 3D para la Prevención y Rehabilitación de Lesiones por Uso Repetitivo del Teclado y Ratón

Trabajo Fin de Máster

Máster en Fabricación Aditiva

Autor: Doralys Torriente Aguilar

Tutores: Ana Isabel Ares Pernas
Florian Michaud

Índice

- 1 El problema y la oportunidad
- 2 Objetivos y alcance
- 3 Diseño del kit y decisiones DfAM
- 4 Fabricación
- 5 Validación con personas usuarias
- 6 Coste
- 7 Limitaciones y conclusiones

¿Qué son las LER?

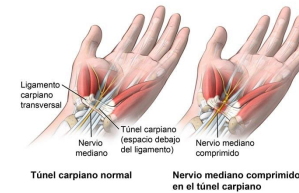
Las **Lesiones por Esfuerzo Repetitivo (LER)** son afecciones que se desarrollan de forma progresiva por la repetición continuada de movimientos, posturas mantenidas o esfuerzos reiterados sobre una misma zona del cuerpo.

Su **origen es acumulativo**: los microtraumatismos en músculos, tendones y nervios se suman con el tiempo.

Por eso son determinantes

la prevención y la intervención temprana, pausas activas, estiramiento y fortalecimiento para frenar su progresión.

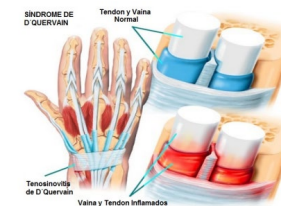
Las más frecuentes en mano, muñeca y antebrazo



Síndrome del túnel carpiano



Epicondilitis lateral



Tenosinovitis de De Quervain



Las LER son frecuentes y tienden a cronificarse

78%

de las enfermedades profesionales notificadas en España (2024) son trastornos musculoesqueléticos

Fuente: INSST (2025)

29%

de los accidentes de trabajo con baja se deben a sobreesfuerzos

Fuente: INSST (2025)

10–20%

de las epicondilitis laterales persisten más de un año

Fuente: De Smedt et al. (2007)



Si ya existen productos similares, ¿por qué diseñar uno nuevo?

Dispositivos comerciales



CanDo Digi-Flex



Digi-Extend



CanDo TheraPutty



FLEXBAR

Imágenes: Performance Health, 3B Scientific, CanDo, ABABO

A pesar de la amplia oferta de dispositivos comerciales, ninguno se adapta por completo a las necesidades de la persona usuaria.

- ✗ Talla única o pocas tallas
- ✗ La mayoría son elementos aislados
- ✗ Progresión estandarizada
- ✗ Precio elevado por unidad

La oportunidad

Fabricación aditiva

01

Geometría ajustada a la mano real

02

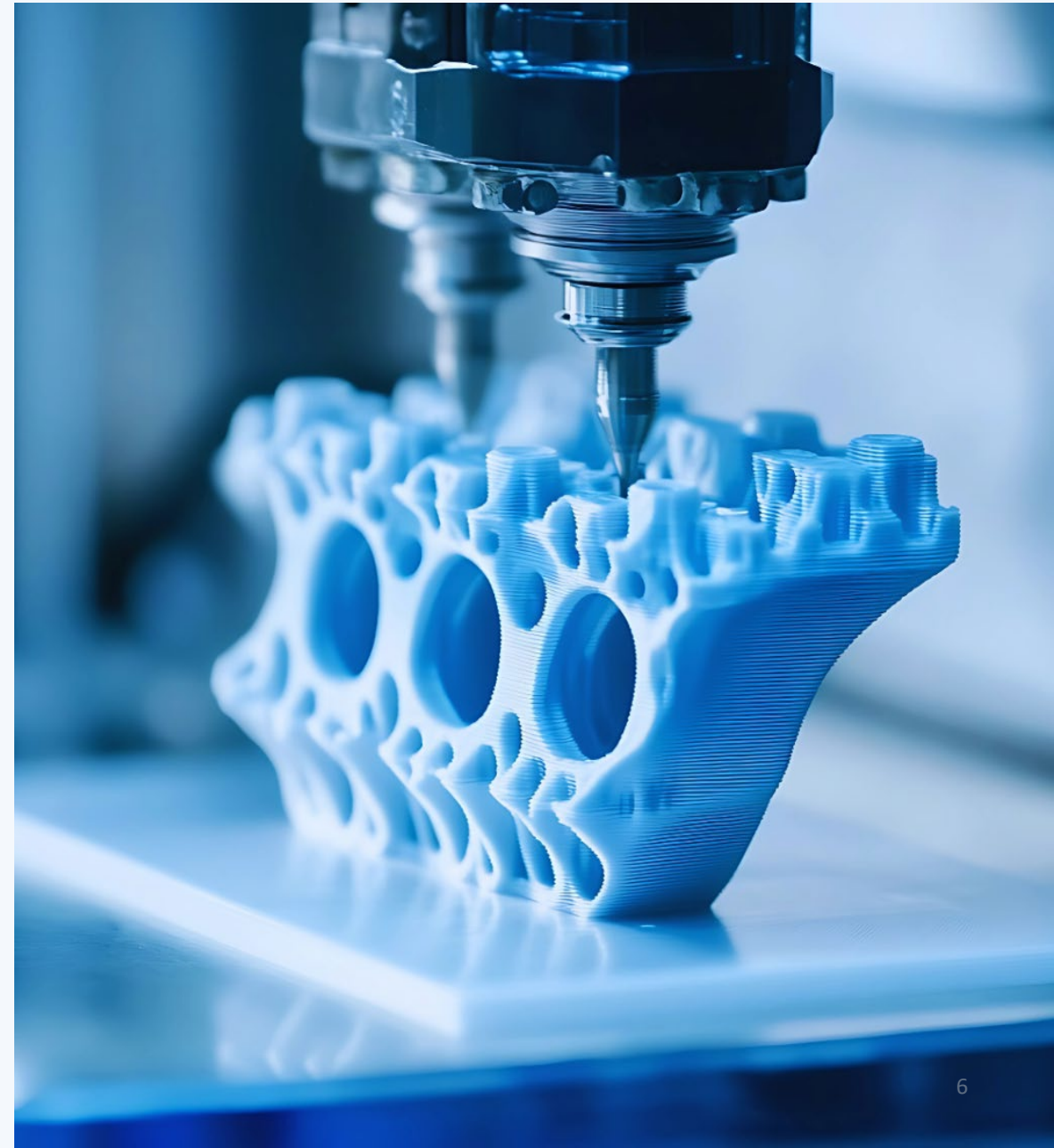
Piezas intercambiables, modulares

03

Coste de fabricación reducido

04

Libertad geométrica en el diseño



Objetivos del trabajo

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y desarrollar un kit de herramientas ergonómicas impresas en 3D para la prevención y rehabilitación de lesiones musculoesqueléticas derivadas del uso repetitivo del teclado y el ratón.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1

Identificar necesidades terapéuticas mediante revisión bibliográfica

2

Diseñar dispositivos adaptados a distintos niveles de recuperación, optimizando material y parámetros de impresión

3

Evaluar la usabilidad y aceptación del kit mediante pruebas piloto

Alcance



Qué permite hacer el kit



Prevención y rehabilitación leve-moderada de LER.



Ejercicios de estiramiento, movilización y fortalecimiento.



Uso responsable en entornos laborales y domésticos.



Qué queda descartado



Dispositivo médico certificado.



Tratamiento de lesiones severas con intervención clínica.



Evaluación clínica de la eficacia terapéutica.

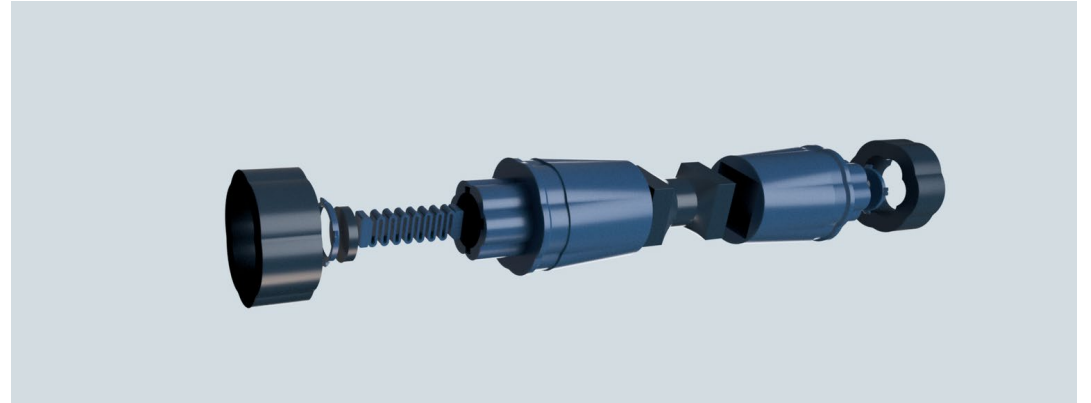


Prototipo con fines comerciales.

Un kit modular de piezas intercambiables que se adapta al nivel de cada persona usuaria



Kit ensamblado



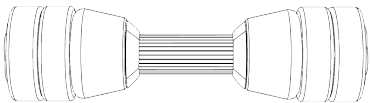
Vista explosionada

Iteraciones de diseño

1

Versión 1

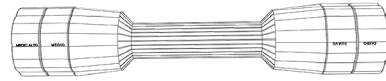
Cilindro facetado con relieve (función masajeadora) y anillos más curvados.



2

Versión 2

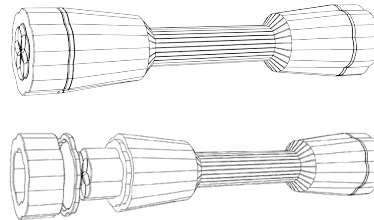
Eliminación de las curvaturas.



3

Versión 3

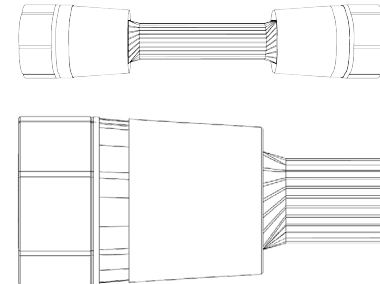
Sustitución de los anillos de agarre por bandas finas.



4

Versión 4

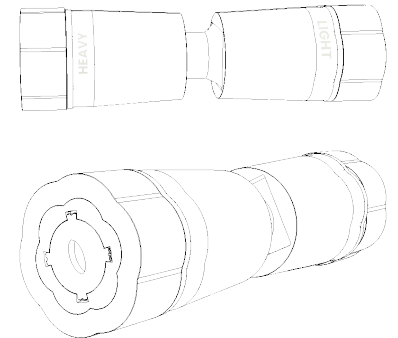
Hendidura para banda comercial, tras fallar la banda impresa en TPU.



★

Versión final

Extremos adaptados a la anchura de la mano y cilindro de TPU más corto y simple.



Componentes del kit

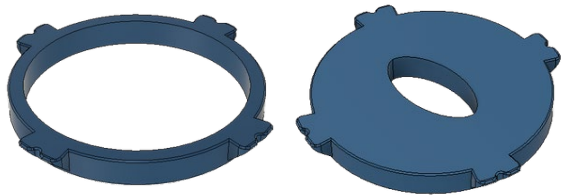
Piezas rígidas · PETG



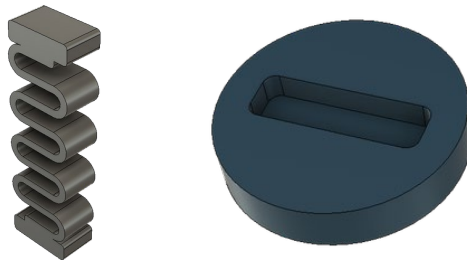
Pieza extremo 1



Pieza extremo 2

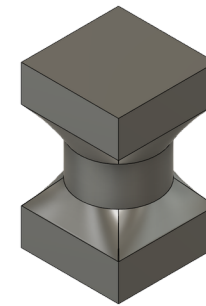


Tapas

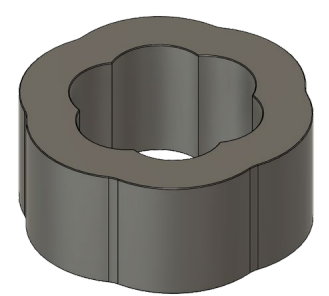


Resorte y botón

Piezas flexibles · TPU



Pieza central



Anillo de resistencia

Componente comercial



Bandas elásticas comerciales

Seis ejercicios con un único kit

EJERCICIO

QUÉ SE CONSIGUE



Cierre de mano
agarre global

Fuerza de prensión global de la mano



Flexión de un dedo
resorte y botón

Fuerza y control independiente de cada dedo, clave para teclear y hacer clic



Extensión de dedos
musculatura extensora

Compensa el predominio flexor que genera el uso del teclado y el ratón



Extensión de un dedo
banda en el extremo

Fortalecimiento extensor localizado de un solo dedo



Rodillo de muñeca
flexo-extensión

Fuerza y resistencia del antebrazo; trabaja los extensores del carpo implicados en la epicondilitis lateral



Torsión (towel twist)
pronosupinación

Movilidad y fuerza rotacional del antebrazo; análogo al Tyler Twist, con evidencia en epicondilitis lateral

Fabricación: dos impresoras, dos materiales

Tiempo total de impresión

20 h 51 min

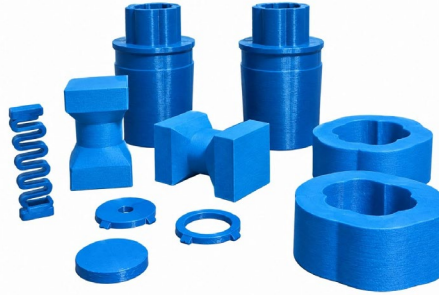
Material consumido

379,48 g

Reparto del tiempo de impresión

TPU 71 %

PETG 29 %



Kit completo impreso

Piezas flexibles en TPU FLEX 93A y piezas rígidas en R-PETG reciclado



Makergal GM55 (MakerGal)

Piezas flexibles: TPU FLEX 93A

14 h 54 min
de impresión

204,06 g
de material



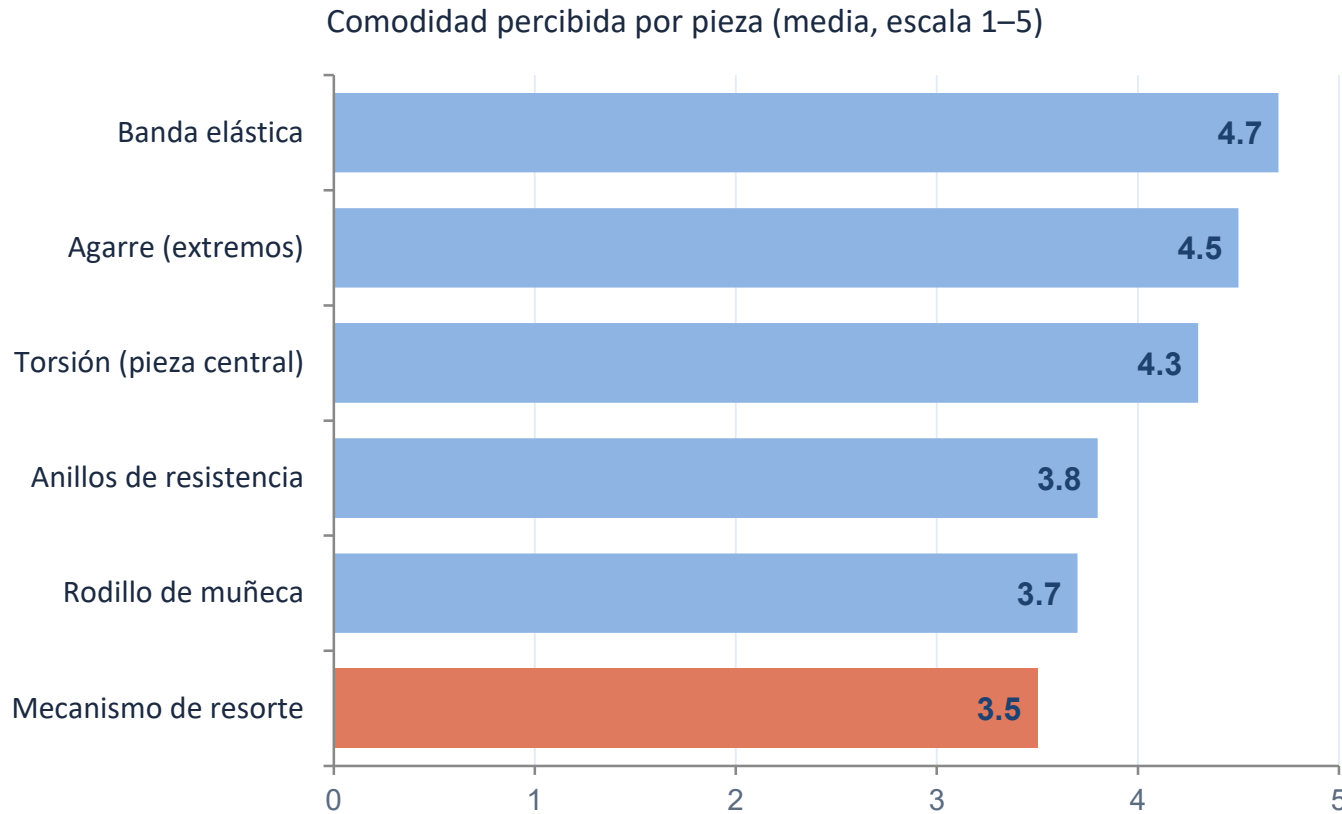
Bambu Lab X1 Carbon

Piezas rígidas: R-PETG reciclado

5 h 57 min
de impresión

175,42 g
de material

Diez participantes lo encuentran intuitivo; el resorte es el punto débil



4,8 / 5

Facilidad de uso sin instrucciones

3,8 / 5

Acabado al tacto: bordes de los anillos

5 sí · 3 tal vez · 2 no

Incorporación a su rutina: 7 en pausas

n = 10 participantes, 24–35 años; 7 con molestias previas. Cuestionario propio (Anexo 3.3).

Un 44 % más barato que las funciones por separado

Comprar por separado

62,24 €

Digi-Flex + FlexBar + TheraPutty

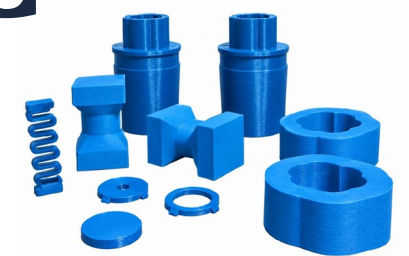


-44 %

Precio total del kit

35,16 €

PEM 24,42 € + GG + BI + IVA



Precio final comparable con IVA incluido (-61 % si se compara solo el coste de fabricación), con seis ejercicios en una sola estructura

Limitaciones y líneas futuras

Limitaciones

- Muestra pequeña ($n = 10$) y cuestionario propio
- Sin medida de eficacia terapéutica
- Prototipo demostrativo: acabado no optimizado
- No se podría comercializar sin licencia de producto sanitario

Líneas futuras

- Validación clínica con EVA y DASH/QuickDASH
- Bordes más redondeados y resorte extraíble
- Más tallas y ensayo a fatiga del TPU
- Definir la ruta regulatoria (Clase I)

Conclusiones

01

Kit modular en PETG + TPU que integra seis ejercicios en una sola estructura de fácil almacenamiento

02

Los criterios DfAM resolvieron voladizos, encajes y un resorte imprimible

03

Valoración positiva en el piloto exploratorio (facilidad de uso 4,8/5)

04

Un 44 % más barato que las alternativas comerciales



Un único kit, adaptable a la mano y al nivel de recuperación de cada persona usuaria.

Gracias por su atención

Diseño y Desarrollo de un Kit de Herramientas Impresas en 3D para la Prevención y Rehabilitación de Lesiones por Uso Repetitivo del Teclado y Ratón

Doralys Torriente Aguilar

Tutores: Ana Isabel Ares Pernas · Florian Michaud