# Introducción

## Motivación

## Objetivos

# Estado del arte

La mano es un sistema extremadamente complejo, con un gran número de grados de libertad en un espacio significativamente reducido. (1)

Las capacidades de la mano se pueden ver afectadas por patologías neurológicas (p.ej. secuelas de un infarto), musculo-esqueletales (p.ej. lesiones por traumatismo) o trastornos musculares (p.ej. atrofia muscular). Las personas que han perdido la movilidad en las manos o la capacidad de controlarlas adecuadamente se ven **impedidas o limitadas para realizar gran parte de las actividades de su vida diaria**. Por ello, continúan aumentando los esfuerzos para **proveer rehabilitación y/o asistencia a estas personas utilizando dispositivos robóticos** como exoesqueletos. (2)

**Un exoesqueleto es una estructura que funciona conjuntamente con el cuerpo del usuario para asistir o aumentar sus capacidades** [[Iberdrola](https://www.iberdrola.com/innovation/what-are-exoskeletons#:~:text=Humans%20have%20limited%20physical%20capabilities,or%20augment%20their%20physical%20capabilities.)] , [[exoskeleton report](https://exoskeletonreport.com/what-is-an-exoskeleton/)]

Existe una cantidad considerable **de publicaciones que reúnen el estado del arte**, tendencias y retos sobre los exoesqueletos para la mano (3), (4), (2), (5), (6), (7), (8), (9), (10), así como breves **estudios incluidos en publicaciones específicas en forma de apartado inicial** para aportar contexto, al igual que se hace en esta memoria de tfg.

En la literatura, esta tecnología se clasifica aludiendo a distintas características, tal y como se puede observar en la Figura 2.1 (2). Entre estos métodos de clasificación, los más comunes son según finalidad (6), según topología (9), que define el método por el cual el exoesqueleto resuelve el problema de los ejes coincidentes (expuesto más adelante) y según método de actuación (7), (8). El resto de las características por las que se pueden clasificar los exoesqueletos para la mano se han considerado secundarias para el desarrollo de este tfg y, por tanto, no se exponen en detalle.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura .: clasificaciones aludiendo a distintas características de un exoesqueleto para la mano (2)

## Finalidades

Las **finalidades identificadas** son las siguientes:

* **Potenciación**: proporcionar capacidades mayores.
* **Rehabilitación**: asistir en la recuperación de capacidades perdidas.
* **Asistencia**: proporcionar externamente ciertas capacidades para compensar una pérdida total o parcial de estas.
* **Sensoria háptica**: simular sensaciones.
* **Tele operación**: tomar inputs.

## Topología

Se define como topología de un exoesqueleto para la mano como el **tipo de estructura adoptada para trabajar adecuadamente junto al cuerpo**. En este apartado se propone una breve clasificación en cuatro tipos que engloba todos los casos identificados en la literatura.

Para que un exoesqueleto controle adecuadamente los grados de libertad sobre los que actúa **debe provocar rotaciones predecibles en las articulaciones** (6). Cuando el mecanismo del exoesqueleto no gira respecto a los mismos ejes que las articulaciones de la mano, aparece el fenómeno conocido como **problema de los ejes coincidentes**. Este fenómeno se debe resolver para evitar interferencias mecánicas entre el exoesqueleto y la mano como la que se muestra en la Figura 2.2, evitando así posibles lesiones y otros efectos no deseados (11).

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura .:interferencia mecánica por el problema de los ejes coincidentes (12)

En esta revisión de la literatura se han identificado cuatro formas distintas formas de lidiar con el problema de los ejes coincidentes:

* Ejes de rotación del mecanismo **directamente coincidentes** con los de la mano. Figura 2.3 (a)
* Ejes de rotación del mecanismo coincidentes mediante mecanismos de **centro remoto** (MCRs). Figura 2.3 (b)
* Uso de las propias articulaciones de la **mano como parte del mecanismo**. Figura 2.3(c) y (f)
* Aplicación de fuerza mediante **mecanismos flexibles,** permitiendo a la mano y mecanismo **adaptarse a la forma necesaria** (*compliant mechanisms*). Figura 2.3 (d) y (e)

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura .: ejemplos de mecanismos de exoesqueleto y distintas topologías (9)

### Mecanismos directamente coincidentes

Imagen que contiene esquiando, aire, hombre, vistiendo

Descripción generada automáticamenteEn esta solución se hacen coincidir los ejes de rotación del mecanismo del exoesqueleto con los de la mano colocándolos paralelos a las articulaciones, tal y como se puede apreciar en la Figura 2.4.

Aunque sencilla, esta solución crea la necesidad de un espacio entre los dedos para colocar estas articulaciones, normalmente bisagras (13), (14), (15). Limitar este espacio es crucial para la aceptación del exoesqueleto por parte del usuario y varía dependiendo de la incomodidad que pueda causar en cada persona, afectando en mayor medida a aquellas con poco espacio entre los dedos. (13)

Figura .: exoesqueleto desarrollado en (39) con ejes coincidentes.

### Mecanismos de centro remoto

Dado un cierto mecanismo, si una de sus partes puede rotar alrededor de un punto fijo distante del mecanismo sin una articulación física presente en dicho punto, el mecanismo se puede considerar de centro remoto (MCR o en inglés, RCM de *Remote Center Mechanism*) (16).

En esta solución se hacen coincidir los ejes de rotación del mecanismo con los de la mano sin necesidad de un espacio al lado de las articulaciones. Este tipo de mecanismos se colocan encima de los dedos, lo que implica la necesidad de un espacio en ese lugar. Cabe destacar que el tamaño de un mecanismo de centro remoto es considerablemente superior al de uno de centro coincidente.

Existen distintos tipos de MCRs (17), siendo los más populares para esta aplicación los siguientes:

* Raíl curvo. Figura 2.5
* Doble paralelogramo (no confundir con paralelogramo articulado), también conocido en la literatura como MCR de 6 barras, MCR de 4 barras (cuando no se tiene en cuenta la bancada ni la pieza a rotar), o simplemente MCR de paralelogramo. Figura 2.6
* Piñón cremallera simétrico, al que se refieren en (12) como “*circuitous joint”.* Figura 2.7

Un dibujo de una persona

Descripción generada automáticamente con confianza baja

Figura .: MCR de raíl curvo (17)

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura .: MCR de doble paralelogramo, adaptado de (11)

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura .: MCR de piñón cremallera paralelo (12)

### Articulaciones de la mano como parte del mecanismo

En esta solución se diseña un mecanismo considerando las falanges como barras conectadas por articulaciones rotativas que pertenecen al propio mecanismo en lugar de intentar actuar sobre ellas como agente externo, tal y como se ve en la Figura 2.9. El resto de componentes del mecanismo se dimensionan de tal forma que las falanges sigan una cierta trayectoria.

Imagen que contiene persona, hombre, sostener, moto

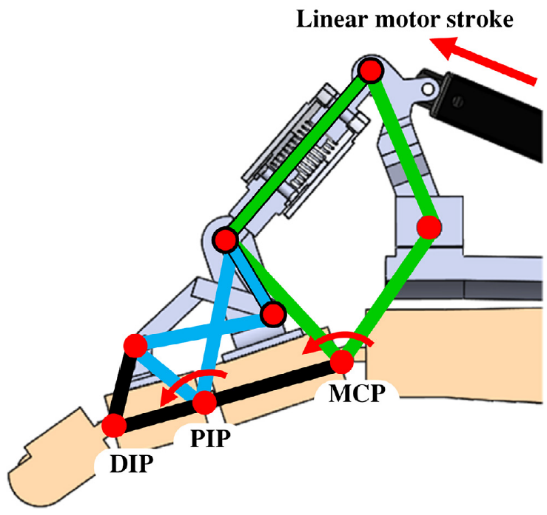
Descripción generada automáticamenteEsta topología es común entre los diseños infra actuados de barras, así como los diseños base-distal como el presentado en la Figura 2.8.

Figura .: exoesqueleto con topología base-distal (29)

Figura .: mecanismo de barras incluyendo dedos en el diseño (27)

### Mecanismos flexibles

Imagen que contiene tabla, hombre, puesto, sostener

Descripción generada automáticamenteDel inglés *compliant mechanism*. Esta solución se basa en el uso de mecanismos parcial o totalmente flexibles que se deforman para ejercer una fuerza sobre la mano sin restringir totalmente la forma que esta adopta como en la Figura 2.10 (a), siendo capaces de adaptarse a las geometrías resultantes de distintos patrones de agarre, tal y como se muestra en la Figura 2.10 (b). Este posicionamiento laxo, en comparación con el riguroso de los mecanismos rígidos evita el problema de los ejes coincidentes y aporta una seguridad inherente a cambio de un control poco preciso. Cabe destacar que, para aprovechar sus ventajas, el mecanismo flexible debe estar conectado solidariamente a la mano.

Figura .: exoesqueleto con topología flexible. Adaptado de (49)

Este tipo de mecanismo incluye la actuación por cables, tanto tendones artificiales como bowden a tracción, así como actuadores de deslizamiento constreñido e inflables.

## Actuación

Se define el **método de actuación de un exoesqueleto para la mano como la manera física de modificar, potenciar o limitar una cierta capacidad de la mano**. P.ej. mover un dedo para que realice una trayectoria determinada. Limitar el movimiento para simular la sensación de agarrar un objeto que realmente no se encuentra en ese espacio o ejercer fuerza sobre la mano para asegurar un agarre firme.

Las características elegidas para clasificar los métodos de actuación son las siguientes:

* **Generación de fuerza o movimiento**: creación de la fuerza o movimiento con un transductor y desplazamiento hasta el punto de aplicación mediante una transmisión.
* **Aplicación de fuerza o movimiento**: tirando (a tracción) o empujando (a compresión).
* **Grados de libertad** (GdLs): actuación sobre una articulación específica o sobre varias a la vez, simplificando el sistema a cambio de perder capacidades (infra actuación).
* **Interfaz mano-exoesqueleto**: un exoesqueleto puede ser o no solidario a la parte de la mano sobre la que actúa.
* **Estorbo**: del inglés *encumbrance*. Indicación de la molestia resultante de utilizar el dispositivo, ya sea por volumen, peso o interferir en otras actividades del usuario.

Los **métodos de actuación identificados** son:

* Inflables (*bladders*)
* Deslizamiento constreñido (*constrained sliding*)
* Mecanismo infra actuado
* Mecanismo completamente actuado
* Base-distal
* Cable a compresión (*bowden*)
* Cable a tracción

Esta revisión de la literatura **se centra en presenta**r las distintas tecnologías de **exoesqueletos para la mano desde el punto de su método de actuación**. A continuación, se expone en detalle el funcionamiento de cada tipo de actuación, así como ejemplos recientes y/o relevantes de la aplicación de cada una de estas tecnologías.

### Inflables

Se basan en **cámaras colocadas encima de los dedos que al inflarse con aire u otro fluido, modifican su forma** tal que aparece una curvatura como se observa en Figura 2.10. Esto empuja al dedo, creando un movimiento y asistiendo al agarre.

Esta tecnología es de las más populares en la literatura gracias al poco estorbo sobre los dedos, una inherente seguridad y una capacidad de adaptación la geometría del dedo, a cambio de un control poco preciso y la necesidad de válvulas y un fluido, ya sea aire comprimido o fluido hidráulico. Esta necesidad trae consigo la necesidad de un depósito o un compresor, lo que aumenta el estorbo en gran medida, aunque no necesariamente sobre la mano. Como ejemplos recientes se encuentran (18), (19) y (20)

### Diagrama Descripción generada automáticamenteDeslizamiento constreñido

Considerada como una actuación híbrida entre tecnología blanda y dura, la actuación por deslizamiento constreñido consiste en dos **láminas flexibles que se mantienen paralelas con el uso de guías y se unen solidariamente en uno de los extremos** a través de una tercera pieza. **Al deslizar una se las láminas y mantener la otra fija ambas se curvan** debido a la diferencia de longitud que aparece en una respecto a la otra. Una explicación más visual sobre el funcionamiento del mecanismo se puede encontrar en la Figura 2.11.

Figura .: diagrama del funcionamiento del mecanismo de deslizamiento constreñido (22)

Imagen que contiene persona, hombre, exterior, sostener

Descripción generada automáticamenteEsta solución presenta un estorbo mínimo en la mano ya que permite colocar los actuadores en otra parte del cuerpo y utilizar una por cables o similar, lo que implica la aparición de estorbo en otra parte del cuerpo, además de los cables entre los actuadores y la mano, como se aprecia en la Figura 2.12.

Esta tecnología lleva en desarrollo al menos desde 2013 (21), ganando popularidad en los últimos años, con ejemplos recientes como (22), (23), (24) y modificaciones en el diseño como (18).

Figura .: exoesqueleto por deslizamiento constreñido y mochila con actuadores encontrado en (22)

### Mecanismo infra actuado

Imagen que contiene luz, tabla, computadora, remoto

Descripción generada automáticamenteEl mecanismo infra actuado aporta un solo grado de libertad a un conjunto de articulaciones, desde un dedo hasta la mano entera. **Sus componentes se dimensionan de tal forma que la trayectoria se asemeja a la del dedo en ciertos tipos de agarre**. Su estorbo es elevado debido a la transmisión, que debe transmitir distintos movimientos desde un único transductor hasta varias partes de la mano. Estos mecanismos pueden incluir el dedo (Figura 2.9) o ser completamente independientes, empujando sobre este (Figura 2.13).

Figura .: exoesqueleto infra actuado con mecanismo independiente de los dedos (50)

Esta tecnología se suele orientar rehabilitación aprovechando sus trayectorias predefinidas y por su elevado estorbo. Es con diferencia la más abundante en la literatura (2), contando con ejemplos en los últimos años como (25), (26) y (27).

### Mecanismo completamente actuado

Imagen que contiene interior, gato, tabla, juguete

Descripción generada automáticamenteEsta tecnología proporciona **un grado de libertad para cada articulación**. Como resultante, se pueden realizar una amplia variedad de movimientos y se tiene un gran control sobre el dedo. El estorbo general aumenta por un mayor número de transductores, sus respectivas transmisiones, como se puede apreciar en la Figura 2.14, y su mayor demanda energética, que se traduce en una mayor fuente de alimentación.

En este acercamiento se utilizan tanto MCRs como ejes coincidentes con piezas tiradas por cable bowden o mecanismos redundantes que incluyen al dedo y se suelen aplicar a rehabilitación por a su precisión y nivel de estorbo.

Figura .: exoesqueleto con los dedos completamente actuados (28)

Como ejemplos de esta tecnología se encuentran (15), (14) y (28)

### Base-distal

En la actuación base-distal, el mecanismo de transmisión suele ir anclado al reverso de la mano o antebrazo y **actúa solamente sobre la punta del dedo**, es decir, la falange distal, de ahí su nombre. Aunque su estorbo es elevado, como se puede apreciar en la Figura 2.8, es efectivo a la hora de limitar el movimiento de los dedos y simular una sensación se agarre, lo que lo hace popular entre las aplicaciones de sensórica háptica, donde el estorbo no es de tanta importancia. Se encuentran ejemplos de esta tecnología en (29), (30) y (31).

### Cable a compresión (*bowden*)

Imagen que contiene persona, hombre, interior, ventana

Descripción generada automáticamenteEl mecanismo bowden consiste en un cable guiado a través de un tubo flexible. Aplicado al caso del exoesqueleto para la mano, la actuación mediante bowden se utiliza para **guiar un cable rígido para empujar** una falange, como se muestra en la Figura 2.15, proporcionando fuerza y confiando en que el dedo se adaptará a la forma necesaria para el agarre.

Figura .: exoesqueleto actuado mediante cable bowden (32)

Las ventajas y limitaciones del bowden son muy similares a las del deslizamiento constreñido, añadiendo que no es necesario transformar el tipo de movimiento generado por los motores si se usa el propio bowden como transmisión desde un principio. Presenta un diseño robusto gracias al reducido número de piezas móviles y resistencia de los cables frente a golpes y zarandeos. El estorbo sobre el dedo varía según el diseño.

Esta tecnología se aplica en exoesqueletos como (32), (33) y se observan nuevas técnicas de fabricación como la desarrollada en (34).

### Zapatos deportivos negros Descripción generada automáticamenteCable a tracción

Esta tecnología utiliza cables para **tirar del extremo de las falanges**, ejerciendo de tendones artificiales como se muestra en la Figura 2.16. El estorbo en la mano es reducido, pero Interfiere en gran medida con la sensación somática, ya que deben ir anclados a la palma. Como ejemplos recientes de esta tecnología encontramos (35), (36) y (37)

Figura .: exoesqueleto actuado por tendones artificiales (36)

El cable también puede **tirar de una pieza colocada encima de la falange** para que esta ejerza fuerza sobre la falange. Para utilizar este método de actuación se debe guiar al cable hasta la conexión de la pieza. Dado que la tensión del cable debe pasar por debajo del eje de rotación para que la pieza empuje hacia abajo, se debe guiar el cable por la palma, interfiriendo con la sensación somática, o por el lado, ensanchando el espacio necesario entre los dedos, tal y como se aprecia en la Figura 2.4.

Como ejemplos recientes de esta tecnología encontramos (38) y (39)

## Casos en detalle

Tras una evaluación de los distintos sistemas en el Capítulo 3, se decidió utilizar uno completamente actuado con MCR.

A continuación, se presentan los exoesqueletos encontrados en la literatura similares a la solución mecánica implementada en este tfg, independientemente de su finalidad. Un resumen de sus características se puede encontrar en la Tabla 2.1.

Figura .: diseño del exoesqueleto desarrollado en (40)

### Imagen que contiene persona, foto, mano, secadora Descripción generada automáticamenteHérnández-Santos y otros, 2021 (40)

Exoesqueleto de dedo para rehabilitación después de un trauma neurológico, como un accidente cerebrovascular. Consta de un mecanismo de un grado de libertad que genera el movimiento de flexión y extensión de las falanges proximal, medial y distal (Figura 2.17). Se tomaron medidas anatómicas y antropométricas de la mano para definir el diseño del mecanismo. Se obtienen las ecuaciones representativas para el análisis cinemático directo e inverso de los dedos, también se presenta un análisis dinámico. Se desarrolló el análisis estructural y se fabricó un prototipo con ABS mediante fabricación aditiva (Figura 2.18).

Figura .: mecanismo del exoesqueleto desarrollado en (40)

### Un arma de fuego Descripción generada automáticamente con confianza mediaSandison y otros, 2020

(41)

Imagen que contiene lego, juguete, tabla, pieza

Descripción generada automáticamenteHandMATE (Figura 2.19), acrónimo de *Hand Movement Assisting Therapy Exoeskeleton*; para terapia en el hogar después de un accidente cerebrovascular. El cada dedo es actuado por un único actuador lineal que proporciona flexión y asistencia de extensión. Utiliza resistencias sensibles a la fuerza para medir durante el agarre y extensión. Proporciona asistencia basada en control de admitancias y su rango de error en fuerza es <1%; comparable a una mano sana. Se comunica de forma inalámbrica con una tableta Android que cuenta con ejercicios guiados, juegos terapéuticos y retroalimentación del desempeño.

Figura .: HandMATE. Exoesqueleto desarrollado en (41)

### Birouas y otros, 2020

Figura .: exoesqueleto desarrollado en (13)

(13)

Diagrama, Dibujo de ingeniería

Descripción generada automáticamenteExoesqueleto Infra actuado que confía en la capacidad natural de adaptación del cuerpo para el posicionamiento adecuado de las falanges. Orientado a rehabilitación con un diseño asimétrico de par, posición y trayectoria. Prototipo impreso en 3D (Figura 2.20).

### Zhang y otros, 2019

(42)

Imagen que contiene tabla

Descripción generada automáticamenteEste exoesqueleto programado en FPGA cuenta con modos de control activo y pasivo para rehabilitación neuronal (). Cuneta con un control PD para rehabilitación pasiva basada en cinemática inversa y control de impedancias para rehabilitación activa, cambiando de modo con un sensor en la punta del dedo. Se comunica con una app de Android.

Figura .: exoesqueleto desarrollado en (42)

### Battezzato, 2014

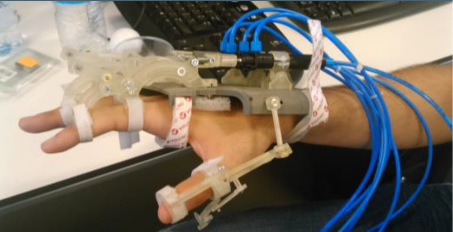
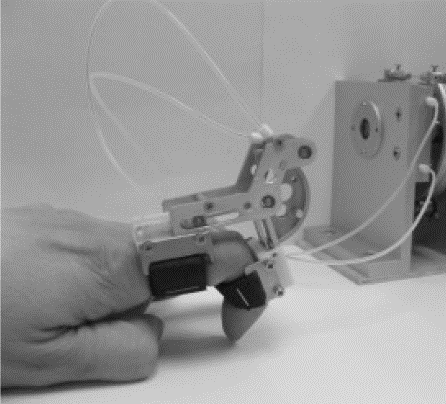
(43)

Análisis kineoestático y optimización estocástica de un mecanismo infra actuado basado en dos dobles paralelogramos para el aumento de la fuerza orientado a actividades extra vehiculares (EVAs).

Figura .: propuesta de mecanismo para exoesqueleto desarrollada en (43)

### Enríquez y otros, 2014

(44)

Imagen que contiene moto, tabla, cuarto, hombre

Descripción generada automáticamenteImagen que contiene motor

Descripción generada automáticamenteExoesqueleto para rehabilitación de la mano (Figura 2.23) en personas que hayan sufrido un accidente cerebrovascular, en el cual la movilidad de la mano haya sido afectada, impidiendo la realización de actividades de la vida cotidiana.

Figura .: mecanismo del exoesqueleto desaroolado en (46)

Figura .: exoesqueleto desarrollado en (45)

Figura .: diseño (arriba) y prototipo (abajo) del exoesqueleto desarrollado en (44)

Figura .: exoesqueleto desarrollado en (11)

Mecanismo infra actuado, con un grado de libertad activo en la articulación metacarpo falángica (MCP) y un grado de libertad pasivo en la articulación interfalángica distal (PIP) y en la articulación MCP para cada uno de los dedos. Se utilizan transductores neumáticos.

### Fontana y otros, 2013

(45)

Diseño y caracterización experimental de un exoesqueleto para interacción háptica en el contexto de la realidad virtual y la tele operación (Figura 2.24). El dispositivo permite ejercer fuerzas controladas sobre las yemas de los dedos del índice y pulgar del operador. Optimiza la precisión y resolución de la fuerza. Mejora de la transmisión gracias a la integración de la reducción de velocidad en las articulaciones MCR. Utiliza un sensor de fuerza diseñado a medida y electrónica integrada.

### Wang y otros 2009

(46)

Exoesqueleto completamente actuado, con 4 grados de libertad para actuar el dedo índice (Figura 2.25). Consta de un movimiento bidireccional para cada articulación mediante transmisión por cable. Utiliza dos juntas prismáticas y una rotativa para la coincidencia de ejes de rotación del dedo y exoesqueleto.

### Fang y otros, 2009

(11)

Mano maestra para telepresencia programada en FPGA. Usa el MCR de doble paralelogramo para mantener una transmisión adecuada durante todo el rango de movimiento. Funciona en flexión y extensión. Consta de dos modos de operación: control de posición en modo sin contacto y control de posición en modo con contacto, dependiendo de si se desea un movimiento libre o limitado.

### Imagen que contiene interior, juguete, tabla, azul Descripción generada automáticamenteNakagawara y otros, 2005

Figura .: exoesqueleto desarrollado en (12)

(12)

Mano maestra para telepresencia (Figura 2.27). Utiliza MCR de piñón cremallera simétrico, refiriéndose a éste como “*circuitous joint*”. Cuenta con realimentación de fuerza por detección de contacto y una arquitectura maestro-esclavo experimetnal.

### Shields y otros, 1997

(47)

Imagen que contiene interior, tabla, pequeño, cuarto

Descripción generada automáticamenteExoesqueleto para actividades extra vehiculares reducido a 3 dedos, meñique y anular actuados en conjunto (Figura 2.28). Utiliza sensores de presión en los dedos como input. Caracteriza el MCR de doble paralelogramo.

Figura .: exoesqueleto desarrollado en (47)

Tabla .: comparativa de exoesqueletos con MCR

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Referencia** | **GdLs** | **Interfaz** | **Coincidencia de ejes** | **Transductor** | **Estorbo (FWs\*)** | **Notas** |
| (40) | 1/dedo | Solidaria | Raíl curvo | Lineal | 4 | -- |
| (41) | 1/dedo | Solidaria | Doble paralelogramo | Lineal | 3 | 1/3 del estorbo por la conexión entre actuador lineal y RCM |
| (13) | 1/dedo | Libre | Doble paralelogramo, coincidencia directa | Cable con polea + bowden | 4 | -- |
| (42) | 1/articulación | Solidaria | Piñón cremallera simétrico | bowden | 2 | -- |
| (48) | 1/dedo | Solidaria | Dedo como parte del mecanismo | Servomotor | 4 | -- |
| (43) | 1/ 2 articulaciones (MCP, PIP) | N/A | Doble paralelogramo | N/A | 2,5 | Optimización del mecanismo |
| (44) | 1/ 2 articulaciones (MCP, PIP) | Solidaria | Raíl curvo | Neumático | 2,5 | -- |
| (46) | 1/ articulación () | Solidaria | Dedo como parte del mecanismo | Cabestrante | 3 | -- |
| (11) | 1/dedo | Libre | Doble paralelogramo | Motor DC con transmisión trapezoidal | 2 | -- |
| (12) | 1/dedo | Libre | Piñón cremallera simétrico | Cable + muelle | 2,5 | -- |
| (47) | 1/ 2 articulaciones (MCP, PIP), reducido a 3 dedos | Solidario | Doble paralelogramo | Cable + muelle | 2 | -- |

\*FWs, del inglés *Finger Wides.* Medida propuesta del estorbo de un exoesqueleto para la mano. Espacio ocupado por el exoesqueleto encima de la mano, medido respecto al ancho aproximado del dedo sobre el que actúa. 1 FW equivale a un exoesqueleto del mismo ancho que un dedo, colocado encima de este. A menos FWs, menor es el estorbo.

# Fundamentos generales

## Biomecánica de la mano

## Microcontrolador

## Entorno de desarrollo

## Mecanismo del actuador

# Desarrollo

## Modelado y control

## Diseño y construcción de la maqueta

# Resultados

## Conclusiones

# Bibliografía

## Fuentes

1. *Human hand: kinematics, statics and dynamics.* **Chen Chen, Fai, y otros.** Torino, Italy : s.n., 2011. 41st International Conference on Environmental Systems. pág. 5249.

2. *Exoskeletal devices for hand assistance and rehabilitation: A comprehensive analysis of state-of-the-art technologies.* **Noronha, Bernardo y Accoto, Dino.** 2021, IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics, págs. 525-538.

3. *A Review: Hand Exoskeleton Systems, Clinical Rehabilitation Practices, and Future Prospects.* **Tran, P., y otros.** 2021, IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics.

4. *A review of active hand exoskeletons for rehabilitation and assistance.* **Plessis, Tiaan du, Djouani, Karim y Oosthuizen, Christiaan.** 2021, Robotics, págs. 10(1), 40.

5. *Towards a hand exoskeleton for a smart EVA glove.* **Favetto, Alain, y otros.** s.l. : IEEE, 2010. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. págs. 1293-1298.

6. *Upper limb exoskeleton systems—overview.* **Ferguson, Peter Walker, Shen, Yang y Rosen, Jacob.** 2020, Wearable Robotics, págs. 1-22.

7. *Moving toward Soft Robotics: A Decade Review.* **Shahid, Talha, y otros.** 2018, Biomimetics, págs. 3(3), 17.

8. *Soft robotic hand exoskeleton systems: review and challenges surrounding the technology.* **Meng, Qiaoling, Xiang, Shichuan y Yu, Hongliu.** s.l. : Atlantis Press, 2017. 2nd International Conference on Electrical, Automation and Mechanical Engineering (EAME 2017). págs. 186-190.

9. *Current hand exoskeleton technologies for rehabilitation and assistive engineering. .* **Heo, Pilwon, y otros.** 2012, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, págs. 13(5), 807-824.

10. *State-of-the-art of hand exoskeleton systems.* **Foumashi, Mohamamd Mozaffari, Troncossi, Marco y Castelli, Vincenzo Parenti.** 2011, Università di Bologna, Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni Meccaniche, Nucleari, Aeronautiche e di Metallurgia.

11. *An exoskeleton master hand for controlling DLR/HIT hand.* **Fang, Honggen, Xie, Zongwu y Liu, Hong.** s.l. : IEEE, 2009. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. págs. 3703-3708.

12. *An encounter-type multi-fingered master hand using circuitous joints.* **Nakagawara, Shuhei, y otros.** s.l. : IEEE, 2005. IEEE International Conference on Robotics and Automation. págs. 2667-2672.

13. *Preliminary Results in Testing of a Novel Asymmetric.* **Birouas, Flaviu Ionut, y otros.** 2020, Symmetry, págs. vol 12, no 9, p 1470.

14. *A novel hand exoskeleton with series elastic actuation for modulated torque transfer.* **Marconi, Dario, y otros.** 2019, Mechatronics, págs. 61, 69-82.

15. *iHandRehab: An interactive hand exoskeleton for active and passive rehabilitation.* **Li, Jiting y Zhang, Yuru.** s.l. : IEEE, 2011. IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics. págs. 1-6.

16. *Manipulator positioning linkage for robotic surgery.* **Blumenkranz, S.J. y Rosa, D.J.** 2001, U.S. Patent and Trademark Office, pág. 6246200.

17. *Classification and type synthesis of 1-DOF remote center of motion mechanisms.* **Zong, Guanghua, y otros.** 2008, Mechanism and machine theory, págs. 43(12), 1585-1595.

18. *An attention-controlled hand exoskeleton for the rehabilitation of finger extension and flexion using a rigid-soft combined mechanism.* **Li, Min, y otros.** 2019, Frontiers in neurorobotics, págs. 13, 34.

19. *Preliminary study on the design and control of a pneumatically-actuated hand rehabilitation device.* **Li, Houcheng y Cheng, Long.** s.l. : IEEE, 2017. Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC) . págs. 860-865.

20. *Design and preliminary feasibility study of a soft robotic glove for hand function assistance in stroke survivors.* **Yap, Hong Kai, y otros.** 2017, Frontiers in neuroscience, págs. 11, 547.

21. *A new hand exoskeleton device for rehabilitation using a three-layered sliding spring mechanism.* **Arata, Jumpei, y otros.** s.l. : IEEE, 2013. IEEE International Conference on Robotics and Automation. págs. 3902-3907.

22. *Fully wearable actuated soft exoskeleton for grasping assistance in everyday activities.* **Bützer, Tobias, y otros.** 2020, Soft robotics, págs. 8(2), 128-143.

23. *Design and modeling of a hybrid soft-rigid hand exoskeleton for poststroke rehabilitation.* **Lin, Legeng, Zhang, Fuhai y Fu, Lei YangYili.** 2021, International Journal of Mechanical Sciences, págs. 212, 106831.

24. *Design and characterization of a lightweight and fully portable remote actuation system for use with a hand exoskeleton.* **Nycz, Christopher J., y otros.** 2016, IEEE Robotics and Automation Letters, págs. 1(2), 976-983.

25. *Design and characterization of a lightweight underactuated RACA hand exoskeleton for neurorehabilitation.* **Moreno-SanJuan, Victor, y otros.** 2021, Robotics and Autonomous Systems, págs. 143, 103828.

26. *Robhand, un exoesqueleto de mano para la rehabilitación neuromotora aplicando terapias activas y pasivas.* **Cisnal, Ana, y otros.** s.l. : Área de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Extremadura, 2018. XXXIX Jornadas de Automática. págs. 34-41.

27. *A portable and spring-guided hand exoskeleton for exercising flexion/extension of the fingers.* **Jo, Inseong, y otros.** 2019, Mechanism and Machine Theory, págs. 135, 176-191.

28. *Accurate torque control of finger joints with UT hand exoskeleton through Bowden cable SEA.* **Yun, Youngmok, y otros.** s.l. : IEEE, 2016. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. págs. 390-397.

29. *Hexotrac: A highly under-actuated hand exoskeleton for finger tracking and force feedback.* **Sarakoglou, Ioannis, y otros.** s.l. : IEEE, 2016. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). págs. 1033-1040.

30. *A portable rehabilitation device for the hand.* **Iqbal, Jamshed y Tsagarakis, Nikos G.** s.l. : IEEE, 2010. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology. págs. 3694-3697.

31. *A novel exoskeleton robotic system for hand rehabilitation – conceptualization to prototyping.* **Iqbal, Jamshed, y otros.** 2014, Biocybernetics and biomedical engineering, págs. 34(2), 79-89.

32. *mano: A wearable hand exoskeleton for activities of daily living and neurorehabilitation.* **Randazzo, Luca, y otros.** 2017, IEEE Robotics and Automation Letters, págs. 3(1), 500-507.

33. *A Hand Exoskeleton for Stroke Survivors’ Activities of Daily Life.* **Ghassemi, Mohammad y Kamper, Derek G.** s.l. : IEEE, 2019. 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society. págs. pp. 6734-6737.

34. *Development of a low-cost EEG-controlled hand exoskeleton 3D printed on textiles.* **Araujo, Rommel S., y otros.** 626, Frontiers in Neuroscience, pág. 2021.

35. *Towards a wearable hand exoskeleton with embedded synergies.* **Burns, Martin K, y otros.** s.l. : IEEE, 2017. 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. págs. 213-216.

36. *Wearable Bionic Soft Exoskeleton Glove for Stroke Patients.* **Liu, Ziwen, y otros.** s.l. : IEEE, 2018. IEEE 8th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems. págs. 932-937.

37. *A Low-Cost Soft Robotic Hand Exoskeleton for Use in.* **Rudd, Grant, y otros.** 2019, Applied Sciences, págs. 9(18), 3751.

38. *Mechatronic design and characterization of the index finger module of a hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation.* **Chiri, A., y otros.** s.l. : IEEE, 2011, IEEE/ASmE Transactions on mechatronics, págs. 17(5), 884-894.

39. *A powered finger–thumb wearable hand exoskeleton with self-aligning joint axes.* **Cempini, Marco, Cortese, Mario y Nicola Vitiello.** 2014, IEEE/ASME Transactions on mechatronics, págs. 20(2), 705-716.

40. *Development of aWearable Finger Exoskeleton for Rehabilitation.* **Hernández-Santos, Carlos, y otros.** 2021, Applied Sciences, pág. 4145.

41. *HandMATE: Wearable Robotic Hand Exoskeleton and Integrated.* **Sandison, Melissa, y otros.** s.l. : IEEE, 2020. 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society. págs. 4867-4872.

42. *Design of an active and passive control system of hand exoskeleton for rehabilitation.* **Zhang, Fuhai, y otros.** 2019, Applied Sciences, págs. vol. 9, no 11, p. 2291.

43. *Towards an underactuated finger exoskeleton: Anoptimization process of a two-phalange device based on kinetostatic analysis.* **Battezzato, Alessandro.** 2014, Mechanism and Machine theory, págs. vol. 78, p. 116-130.

44. *Sistema robótico de tipo exoesqueleto para rehabilitación de la mano.* **Enriquez, S.C., Narváez, Y. y Vivas, O.A.** s.l. : Comité Español de Automática de la IFAC, 2014. Jornadas de Automática. pág. vol 44.

45. *Haptic Hand Exoskeleton for.* **Fontana, Marco, y otros.** 2013, Journal of Mechanisms and Robotics, págs. vol. 5, no 4, p. 041014.

46. *Design of an Exoskeleton for Index Finger Rehabilitation.* **Wang, Ju, y otros.** s.l. : IEEE, 2009. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. págs. 5957-5960.

47. *An Anthropomorphic Hand Exoskeleton to Prevent Astronaut Hand Fatigue During Extravehicular Activities.* **Shields, Bobby L., y otros.** s.l. : IEEE, 1997, IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part A: systems and humans, págs. 27(5) 668-673.

48. *Mechanical design of a novel hand exoskeleton driven by linear actuators.* **Díez, Jorge A., y otros.** s.l. : Springer, 2018. Iberian Robotics Conference. págs. 557-568.

49. *Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation.* **Polygerinos, Panagiotis, y otros.** 2015, Robotics and Autonomous Systems, págs. 73, 135-143.

50. *Design and fabrication of a three dimensional printable non-assembly articulated hand exoskeleton for rehabilitation.* **Cui, Lei, Phan, Anthony y Allison, Garry.** s.l. : IEEE, 2015. 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). págs. 4627-4630.

## Figuras

## Tablas

## Imágenes

# Anexos