# Introducción

## Motivación

Este es mi tío Julián Mateo

\*selfie con él\*

Julián tuvo un accidente…

Tiene movilidad, pero no fuerza en el agarre.

Según la onu, le población envejecida blablaba…

## Objetivos

El exoesqueleto para la mano propuesto en este tfg se orienta al alcance de una serie de objetivos (p.ej. articulaciones completamente actuadas), así como la elección y maximización de aspectos parcialmente incompatibles (p.ej. maxmizar naturalidad de uso, minimizando el peso).

* Coste reducido
* Usar tecnología accesible, excluyendo materiales nuevos y métodos de fabricación que requieren equipamiento específico y/o costoso
* Minimizar el estorbo sobre la mano
* Maximizar la sensación de naturalidad en el uso, lo que implica minimizar la interferencia con la sensación somática, así como evitar la necesidad de una interfaz solidaria a la mano.

Selección de funcionalidades

Control en posición y en fuerza, cambio de uno a otro mediante. En principio solo sería necesario ejercer presión, pero se sigue la mano para no parecer lobezno y tener un menor tiempo de respuesta, a costa de un mayor consumo energético y un ligero aumento en la complejidad del código.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Según [X] se define un agarre sano como uno con las capacidades de…

Una vez elegida la topología y método de actuación, tomamos los datos necesarios para el diseño. Estos se componen de tamaño del dedo, fuerza a ejercer sobre este, peso total del exoesqueleto y velocidad de respuesta. [][][][]. Tras esto, se comienza el diseño del prototipo.

Diseño electromecánico y control del sistema de actuación de un exoesqueleto para **la asistencia al agarre**, con el objetivo de llevar un agarre patológico a niveles equivalentes de funcionalidad en las tareas diarias de un agarre sano.

Mediante pruebas empíricas se estimó que una velocidad de cierre de la mano en 0.5s sería un resultado más que satisfactorio. Simplificando el rango de cierre de la mano a 90º por dedo, esto implica una velocidad angular necesaria de 90/0.5 = 180º/s o 30 rpm.

Mínimamente intrusivo en la somato sensación (sensibilidad de la mano).

Reducir el volumen y peso (encumbrance) de los actuadores

Reducir el coste

Accesibilidad de materiales y tecnología

Hacer un sistema completamente actuado, no infraactuarlo

Cubrir los mvtos de [tal cual y pascual]

## Resumen de caps

this paper is organized as follows, in ch. 1…

# Estado del arte

La mano es un sistema extremadamente complejo, con un gran número de grados de libertad en un espacio significativamente reducido. (Chen Chen, y otros, 2011)

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. (Noronha & Accoto, 2021)

**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 (Tran, Jeong, Herrin, & Desai, 2021), (Plessis, Djouani, & Oosthuizen, 2021), (Noronha & Accoto, 2021), (Favetto, Chen, Ambrosio, Manfredi, & Calafiore, 2010), (Ferguson, Shen, & Rosen, 2020), (Shahid, Gouwanda, Nurzaman, & Gopalai, 2018), (Meng, Xiang, & Yu, 2017), (Heo, Gu, Lee, Rhee, & Kim, 2012), (Foumashi, Troncossi, & Castelli, 2011), 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(Noronha & Accoto, 2021). Entre estos métodos de clasificación, los más comunes son según finalidad (Ferguson, Shen, & Rosen, 2020), según topología (Heo, Gu, Lee, Rhee, & Kim, 2012), que define el método por el cual el exoesqueleto resuelve el problema de los ejes coincidentes (expuesto más adelante) y según método de actuación (Shahid, Gouwanda, Nurzaman, & Gopalai, 2018), (Meng, Xiang, & Yu, 2017). 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 (Noronha & Accoto, 2021)

## 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** (Ferguson, Shen, & Rosen, 2020). 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 (Fang, Xie, & Liu, 2009).

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura .:interferencia mecánica por el problema de los ejes coincidentes (Nakagawara, Kajimoto, Kawakami, & Tachi, 2005)

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 (Heo, Gu, Lee, Rhee, & Kim, 2012)

### 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 (Birouas, Catalin, Dzitac, & Dzitac, 2020), (Marconi, y otros, 2019), (Li & Zhang, 2011). 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. (Birouas, Catalin, Dzitac, & Dzitac, 2020)

Figura .: exoesqueleto desarrollado en (Cempini, Cortese, & Nicola Vitiello, 2014) 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*) (Blumenkranz & Rosa, 2001).

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 (Zong, Pei, Yu, & Bi, 2008), 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 (Nakagawara, Kajimoto, Kawakami, & Tachi, 2005) como “*circuitous joint”.* Figura 2.7

Un dibujo de una persona

Descripción generada automáticamente con confianza baja

Figura .: MCR de raíl curvo (Zong, Pei, Yu, & Bi, 2008)

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura .: MCR de doble paralelogramo, adaptado de (Fang, Xie, & Liu, 2009)

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura .: MCR de piñón cremallera paralelo (Nakagawara, Kajimoto, Kawakami, & Tachi, 2005)

### 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

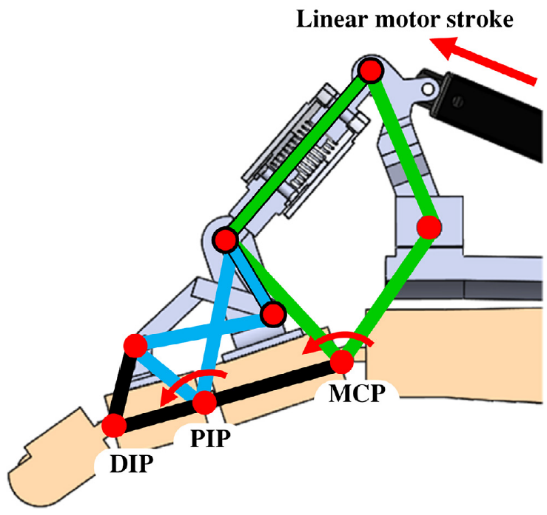
Descripción generada automáticamenteEsta topología es común entre los diseños infra actuados de barras, así como los diseños base-distal como el presentado en la Figura 2.8.

Figura .: exoesqueleto con topología base-distal (Sarakoglou, Brygo, Mazzanti, & Garcia-Hernandez, 2016)

Figura .: mecanismo de barras incluyendo dedos en el diseño (Jo, Park, Lee, & Bae, 2019)

### 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 (Polygerinos, Wang, Galloway, Wooda, & Walsh, 2015)

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 (Li, y otros, 2019), (Li & Cheng, 2017) y (Yap, Lim, Nasrallah, & Yeow, 2017)

### 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 (Bützer, Lambercy, Arata, & Gassert, 2020)

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 (Arata, y otros, 2013), ganando popularidad en los últimos años, con ejemplos recientes como (Bützer, Lambercy, Arata, & Gassert, 2020), (Lin, Zhang, & Fu, 2021), (Nycz, y otros, 2016) y modificaciones en el diseño como (Li, y otros, 2019).

Figura .: exoesqueleto por deslizamiento constreñido y mochila con actuadores encontrado en (Bützer, Lambercy, Arata, & Gassert, 2020)

### 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 (Cui, Phan, & Allison, 2015)

Esta tecnología se suele orientar rehabilitación aprovechando sus trayectorias predefinidas y por su elevado estorbo. Es con diferencia la más abundante en la literatura (Noronha & Accoto, 2021), contando con ejemplos en los últimos años como (Moreno-SanJuan, Cisnal, Fraile, Pérez-Turiel, & de-la-Fuente, 2021), (Cisnal, y otros, 2018) y (Jo, Park, Lee, & Bae, 2019).

### 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 (Yun, Agarwal, Fox, Madden, & Deshpande, 2016)

Como ejemplos de esta tecnología se encuentran (Li & Zhang, 2011), (Marconi, y otros, 2019) y (Yun, Agarwal, Fox, Madden, & Deshpande, 2016)

### 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 (Sarakoglou, Brygo, Mazzanti, & Garcia-Hernandez, 2016), (Iqbal & Tsagarakis, 2010) y (Iqbal, Khan, Tsagarakis, & Caldwell, 2014).

### 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 (Randazzo, Iturrate, Perdikis, & Millán, 2017)

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 (Randazzo, Iturrate, Perdikis, & Millán, 2017), (Ghassemi & Kamper, 2019) y se observan nuevas técnicas de fabricación como la desarrollada en (Araujo, Silva, Netto, Morya, & Brasil, 626).

### 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 (Burns, Orden, Patel, & Vinjamuri, 2017), (Liu, y otros, 2018) y (Rudd, Dal, Jovanovic, & Cuckov, 2019)

Figura .: exoesqueleto actuado por tendones artificiales (Liu, y otros, 2018)

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 (Chiri, y otros, 2011) y (Cempini, Cortese, & Nicola Vitiello, 2014)

## Casos en detalle

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

Imagen que contiene persona, foto, mano, secadora

Descripción generada automáticamenteA 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 (Hernández-Santos, y otros, 2021)

### Hérnández-Santos y otros, 2021 (Hernández-Santos, y otros, 2021)

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 (Hernández-Santos, y otros, 2021)

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

(Sandison, y otros, 2020)

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 (Sandison, y otros, 2020)

### Birouas y otros, 2020

Figura .: exoesqueleto desarrollado en (Birouas, Catalin, Dzitac, & Dzitac, 2020)

(Birouas, Catalin, Dzitac, & Dzitac, 2020)

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

(Zhang, Lin, Yang, & Fu, 2019)

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 (Zhang, Lin, Yang, & Fu, 2019)

### Battezzato, 2014

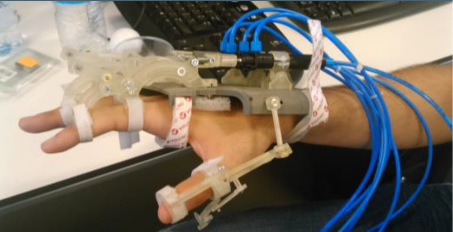
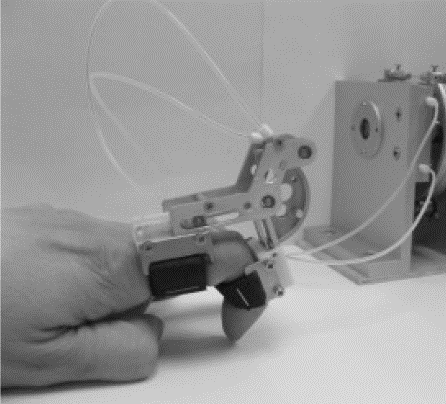
(Battezzato, 2014)

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 (Battezzato, 2014)

### Enríquez y otros, 2014

(Enriquez, Narváez, & Vivas, 2014)

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 (Wang, Li, Zhang, & Wang, 2009)

Figura .: exoesqueleto desarrollado en (Fontana, Fabio, Marcheschi, & Bergamasco, 2013)

Figura .: diseño (arriba) y prototipo (abajo) del exoesqueleto desarrollado en (Enriquez, Narváez, & Vivas, 2014)

Figura .: exoesqueleto desarrollado en (Fang, Xie, & Liu, 2009)

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

(Fontana, Fabio, Marcheschi, & Bergamasco, 2013)

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

(Wang, Li, Zhang, & Wang, 2009)

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

(Fang, Xie, & Liu, 2009)

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 (Nakagawara, Kajimoto, Kawakami, & Tachi, 2005)

(Nakagawara, Kajimoto, Kawakami, & Tachi, 2005)

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

(Shields, Main, Peterson, & Strauss, 1997)

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 (Shields, Main, Peterson, & Strauss, 1997)

Tabla .: comparativa de exoesqueletos con MCR

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Referencia** | **GdLs** | **Interfaz** | **Coincidencia de ejes** | **Transductor** | **Estorbo (FWs\*)** | **Notas** |
| (Hernández-Santos, y otros, 2021) | 1/dedo | Solidaria | Raíl curvo | Lineal | 4 | -- |
| (Sandison, y otros, 2020) | 1/dedo | Solidaria | Doble paralelogramo | Lineal | 3 | 1/3 del estorbo por la conexión entre actuador lineal y RCM |
| (Birouas, Catalin, Dzitac, & Dzitac, 2020) | 1/dedo | Libre | Doble paralelogramo, coincidencia directa | Cable con polea + bowden | 4 | -- |
| (Zhang, Lin, Yang, & Fu, 2019) | 1/articulación | Solidaria | Piñón cremallera simétrico | bowden | 2 | -- |
| (Díez, y otros, 2018) | 1/dedo | Solidaria | Dedo como parte del mecanismo | Servomotor | 4 | -- |
| (Battezzato, 2014) | 1/ 2 articulaciones (MCP, PIP) | N/A | Doble paralelogramo | N/A | 2,5 | Optimización del mecanismo |
| (Enriquez, Narváez, & Vivas, 2014) | 1/ 2 articulaciones (MCP, PIP) | Solidaria | Raíl curvo | Neumático | 2,5 | -- |
| (Wang, Li, Zhang, & Wang, 2009) | 1/ articulación () | Solidaria | Dedo como parte del mecanismo | Cabestrante | 3 | -- |
| (Fang, Xie, & Liu, 2009) | 1/dedo | Libre | Doble paralelogramo | Motor DC con transmisión trapezoidal | 2 | -- |
| (Nakagawara, Kajimoto, Kawakami, & Tachi, 2005) | 1/dedo | Libre | Piñón cremallera simétrico | Cable + muelle | 2,5 | -- |
| (Shields, Main, Peterson, & Strauss, 1997) | 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 (Lo q necesitaré saber para el desarrollo)

## Biomecánica de la mano

De dentro a fuera

* Huesos
* Músculos y tendones
* Piel
* Tipos de agarre y + comunes

## Microcontrolador

* Por ahora un Arduino, más adelante un st en placa custom

Se hará uso de

* PWM
* ADC

## Entorno

IDE de arduino

Matlab-simulink

## Mecánica

Mecanismos de barras en general

Mecanismo de centro remoto

Principios de funcionamiento

Síntesis

El diseño básico del mecanismo de doble paralelogramo se puede modelar a nivel cinemático como una transmisión 1:1 entre la entrada y el centro remoto de rotación []. A nivel cinemático el modelado complica debido al cambio de geometría que sufre el mecanismo al girar sobre el centro remoto, lo que modifica su centro de masas. Teniendo en cuenta su ligero peso, en este tfg se consideran despreciables las posibles variaciones dinámicas provocadas por este fenómeno.

Configuración singular de un emcqanismo de barras

Presión mdoelada como fuerza en un punto concreto

Electrónica

Puente H

Potenciómetro

# Desarrollo

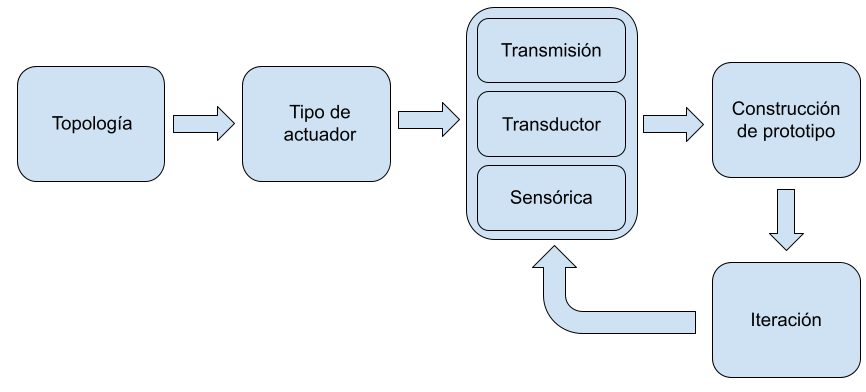
Para diseñar un exoesqueleto que cumpla los objetivos presentados en el apartado de Objetivos se ha optado por definir primero los aspectos generales del exoesqueleto, lo que se puede entender como el “qué es”, siendo estos su topología y tipo de actuación, y después los aspectos específicos, lo que se entender como el “cómo es”, siendo estos los sensores, actuadores y control a utilizar. Una vez escogidos estos aspectos del diseño, se construye un prototipo, iterando sobre los aspectos específicos, modificando características como la geometría de las piezas, materiales o modelos de componentes electrónicos hasta que se obtiene un resultado satisfactorio. Un diagrama de esta metodología de diseño se muestra en la Figura 4.1.

Figura .: diagrama de flujo del diseño y desarrollo del prototipo

## Elección de topología

Diagrama

Descripción generada automáticamenteEn este apartado se comparan las topologías identificadas en el capítulo Estado del arte frente a los objetivos definidos en el capítulo Objetivos del tfg para escoger la solución óptima.

### Ejes directamente coincidentes

Los ejes directamente coincidentes **se descartan** debido a la escasez de espacio en los laterales de los dedos, dificultando la conexión del transductor más allá del alcance de este tfg, lo que implicaría el uso de un mecanismo adicional, como se puede observar en la Figura 4.2. Con la necesidad de este mecanismo adicional, se opta por otra topología que ya lo incluya de por sí y no necesite espacio en el lateral de los dedos.

Figura .: exoesqueleto con ejes coincidentes. El movimiento se efectúa con un mecanismo encima del dedo (Li & Zhang, 2011).

### Mano como parte del mecanismo

La mano como parte del mecanismo **se descarta** por su limitación en la realización de trayectorias, así como limitación de cualquier movimiento de la mano a la hora de moverla sin actuación del exoesqueleto debido a una interfaz inherentemente solidaria. Además de esto, los cálculos requeridos para la dinámica y cinemática, tanto directa como indirecta son extensos, altamente no lineales y computacionalmente pesados.

### Mecanismos flexibles

Los mecanismos flexibles **se descartan** debido, de nuevo, a la limitación de cualquier movimiento de la mano a la hora de moverla sin actuación del exoesqueleto provocada por una interfaz inherentemente solidaria. Además de esto, el modelado de este tipo de mecanismos escapa a los alcances de este tfg y su control es poco preciso.

### Mecanismos de centro remoto

Los mecanismos de centro remoto **presentan la mejor opción** en cuanto a objetivos y alcance de este tfg se refiere.

A diferencia de la mano como parte del mecanismo o los mecanismos flexibles, la interfaz con este tipo de mecanismo no debe ser solidaria a la mano, permitiendo así el uso libre de la mano y, a diferencia de los ejes coincidentes, no necesita espacio al lado de los dedos, sino encima de ellos, lo que permite una conexión más sencilla o incluso directa con el transductor.

## Elección de método de actuación

**Se descartan los métodos de actuación inflables, de deslizamiento constreñido y bowden** por implicar una topología flexible, descartada en el apartado anterior. También se descarta **cable a tracción** por su alta interferencia en la sensación somática y los mecanismos **infra actuados y de base-distal** por su gran estorbo e infra actuación, que impediría la realización de ciertos patrones de agarre.

**Se adopta un mecanismo completamente actuado**, que no limita el tipo de agarre a realizar y es aplicable con la topología escogida.

## Emplazamiento de los transductores

Junto a la elección del método de actuación se debe elegir otra característica más: el emplazamiento de los transductores.

En este diseño, se ha optado por **colocar los transductores directamente la estructura del exoesqueleto** para evitar la transmisión desde otras partes del cuerpo, como una mochila, riñonera, cinturón o brazalete que contenga los actuadores. De esta forma se evitan juegos y rozamientos indeseados y se reduce el número de piezas, reduciendo el coste y aumentando la fiabilidad y robustez del diseño.

## Características finales del exoesqueleto

La solución resultante es un exoesqueleto **completamente actuado basado en mecanismos de centro remoto movidos por transductores eléctricos en la propia mano**. Nótese que, en este contexto, el término “completamente actuado” no se refiere a que se actúen todos los grados de libertad de la mano, sino que para cada grado de libertad de la mano sobre el que se decida actuar, se dedique un grado de libertad del exoesqueleto. En otras palabras, no infra actuar las articulaciones de la mano, aunque no se actúen todas y cada una de ellas.

## Elección del MCR

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamenteEl diseño del actuador comienza eligiendo el mecanismo de centro remoto. Tras una breve comparación de los distintos MCRs encontrados en el capítulo de Estado del arte basada en la complejidad del mecanismo frente a utilidad en esta aplicación, las opciones se reducen a dos: el raíl curvo y el doble paralelogramo. Se puede ver una comparación rápida de ambos mecanismos en la Figura 4.5 (E) y (F) y en la Figura 4.3.

Figura .: comparación entre raíl curvo y doble paralelogramo. (A) Raíl curvo contraído (B) Raíl curvo extendido (C) Doble paralelogramo contraído (D) Doble paralelogramo extendido (E) Ambos contraídos (F) Ambos extendidos

### Raíl curvo

Imagen que contiene juguete, lego

Descripción generada automáticamenteEste tipo de articulación cuenta con dos piezas: el raíl y el bloque deslizante. Considerando el raíl como la bancada, esta opción tiene una sola pieza móvil. Este mecanismo, aunque interesante por su simplicidad y efectividad, **presenta un aumento de estorbo según va girando**, como se puede apreciar en el paso de la Figura 4.4 (A) a (B), dado que el bloque deslizante emerge del raíl, dando paso a la aparición de material en zonas donde antes no lo había.

Figura .: exoesqueleto con mecanismo de rail curvo como piñón cremallera (Fu, Wang, & Wang, 2008).

Otra dificultad es la transmisión de movimiento al raíl. Una forma sencilla es hacer del raíl una cremallera curva y colocar una rueda dentada que transmita el movimiento desde el transductor Figura 4.4, sin embargo, sería preferible una conexión directa.

Por último, este mecanismo cuenta con una limitación adicional: **la porción de circunferencia que compone el raíl curvo debe tener suficiente recorrido** como para alcanzar al dedo en todo el rango de movimiento angular. **Esto hace imposible minimizar el mecanismo** para estar lo más pegado al dedo posible, ya que cabe la posibilidad de que la posición del raíl curvo completamente extendido sea insuficiente. Por tanto, se debe diseñar como parte de una circunferencia considerablemente amplia. Este factor hace que el raíl curvo presente un estorbo inherente relativamente elevado.

### Doble paralelogramo

Mano sosteniendo una cámara fotográfica

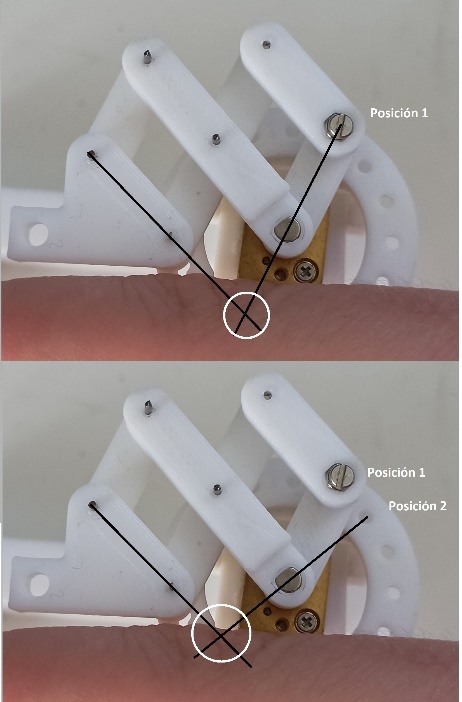
Descripción generada automáticamente con confianza mediaEste tipo de articulación cuenta con 6 barras. Tomando una como bancada, tiene 5 piezas móviles, que es un número relativamente elevado de piezas móviles, sin contar rodamientos o cojinetes y otras partes auxiliares.

La principal ventaja es que, al extenderse, este mecanismo se “aplana”, modificando su geometría a una más compacta que **reduce su estorbo cuanto mayor es su ángulo de rotación**, tal y como se puede apreciar en el paso de la Figura 4.4 (C) y (D), siendo este comportamiento el contrario que el del raíl curvo.

Otra de sus características es la posibilidad de **acoplar transductor directamente** a una de sus articulaciones para proporcionar el movimiento y par de entrada, evitando así la necesidad de transmisiones adicionales.

Dado que la caracterización, optimización y síntesis en función de las dimensiones de este mecanismo escapan a los alcances de este tfg, se utiliza el diseño encontrado en (Shields, Main, Peterson, & Strauss, 1997).

Figura .: comparación de estorbo entre exoesqueletos con Raíl curvo (arriba) y doble paralelogramo (abajo)

Cabe destacar que cuanto más alejado está este mecanismo de su configuración singular, momento en el que el mecanismo deja de funcionar adecuadamente, mayor es el estorbo. A su vez, el estorbo es mínimo cuando se alinean todas las barras y el mecanismo queda completamente “plano” o doblado sobre sí mismo. Esto presenta un ***tradeoff* entre margen de seguridad hasta la configuración singular y el estorbo del mecanismo**. Este margen determina por la posición de la barra superior conectada a la bancada, que no solo determina la posición del centro remoto de rotación, sino también el recorrido del mecanismo.

Esta posición inicial se eligió empíricamente utilizando una pieza específica como se muestra en la Figura 4.6, permitiendo al dedo moverse libremente en todo su rango de movimiento y a su vez maximizando la distancia hasta la configuración singular.

El mecanismo se simuló a escala en SAM, obteniendo los resultados mostrados en la Figura 4.7. Como se puede apreciar, para ejercer una presión constante en una parte de la barra de salida, modelada como una fuerza puntual en el centro de la superficie de aplicación, el motor debe proporcionar un par constante a lo largo de todo el rango de movimiento, exceptuando el momento en el que se llega a la configuración singular. Momento en el que el mecanismo pierde la capacidad de ejercer fuerza. A su vez, también se observa que la relación entre el ángulo de entrada y salida es una recta de 45 grados de inclinación. Estos dos resultados confirman que se trata de una transmisión 1:1.

Figura .: comparación de la posición del centro remoto de rotación en función de la posición de la barra superior derecha.

Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

Figura .: resultados de la simulación del mecanismo en el programa SAM. Par (línea roja) y ángulo de salida (línea azul)

### Síntesis del doble paralelogramo

Explicación del doble paralelogramo

Síntesis del doble paralelogramo en función de las distintas dimensiones

## Elección de transductor

Como transductor se eligió un **motor eléctrico de corriente continua con escobillas**. Esta opción es económica, de reducido estorbo, de modelado sencillo y fácil de alimentar. Además, los modelos suelen contar con una gran variedad de reductoras disponibles, incluyendo de salida perpendicular, lo que en este caso resulta ventajoso, así como modelos con sensores integrados.

Un circuito electrónico

Descripción generada automáticamente con confianza mediaEvaluando las distintas opciones de motores se disponía de 2 características a la hora de elegir el modelo específico: reductora y velocidad angular máxima a la tensión nominal de funcionamiento. Dado que se disponía de una fuente de tensión de 12V o 5v, se encontró una opción de aproximadamente 30 rpm a 12v, una que cumple la velocidad tanto a 5V como a 12V y otra que cumple a 5V. Dado que estos tres modelos de motores eran contiguos en cuanto a modelos de reductora, se eligió el modelo intermedio por proporcionar una mayor versatilidad.

## Elección de sensores

### Sensor de posición para el MCR

Como sensor de posición se escogió un **potenciómetro rotatorio** *trimmer* o de calibrado utilizado a modo de divisor de tensión. Estos potenciómetros son comúnmente utilizados para ajustar una resistencia variable en un circuito. En este caso, se usan para medir la posición angular del MCR.

### Sensor de posición para las falanges

Imagen que contiene ropa, mujer, tabla, par

Descripción generada automáticamentePara la obtención de la consigna de posición se creó un guante sensorizado a partir de **sensores de flexión resistivos**, acondicionadas mediante un divisor de tensión. El sensor de flexión se coloca en los bolsillos cosidos en el guante de tela para medir el ángulo de giro de las distintas falanges de los dedos, tal y como se muestra en la Figura 4.8.

Figura .: guante sensorizado con sensores de flexión

### Sensor para detección de la intencionalidad

La detección de intencionalidad del agarre se obtiene mediante una medida de **EMG superficial** colocada como se muestra en la Figura 4.9. Esta medida es un valor analógico relacionado con la señal nerviosa de flexión de los dedos. La señal obtenida se compara con un valor de calibración del usuario, considerando que existe una intención de agarre cuando el valor supera dicho umbral.

### Sensor de intensidad

Se utiliza una **resistencia de drenado (*shunt resistor*)**, leyendo la caída de tensión en la resistencia través del ADC de 10 bits del microcontrolador y obteniendo la intensidad mediante la ley de ohm.

Figura .: colocación de los electrodos del sensor de electromiografía superficial (Atzori, Gijsberts, Elsig, & Hager, 2012)

### Desacoplo de etapa de potencia y sensores

Imagen que contiene papel, tabla, joven, cuarto

Descripción generada automáticamentePara evitar ruido en los sensores debido a las intensidades elevadas (en comparación) a las que trabaja la etapa de potencia, **los circuitos de retorno a tierra se separaron**, uniéndose en un solo punto para asegurar la conexión eléctrica, manteniendo así una mínima interferencia provocada los armónicos y los consumos de intensidad erráticos de los motores de escobillas escogidos.

## Elección de etapa de potencia

Imagen que contiene tabla, par, remoto, juego

Descripción generada automáticamenteDado que se desea medir la intensidad del motor para realizar una media indirecta de la fuerza que se está ejerciendo sobre el dedo, la etapa de potencia debe facilitar la medición de la intensidad que atraviesa el motor, independientemente de la dirección, así como soportar la intensidad máxima del motor, en este caso, la intensidad en bloqueo.

Figura .: iteraciones de piezas de bancada (izquierda) y barras del mecanismo MCR (derecha) del actuador fabricado

Tras sopesar varias opciones se eligió un integrado de doble puente H que incluye la posibilidad de utilizar una resistencia de drenado para medir la intensidad que consume unos de los canales.

## Fabricación del actuador

Una vez elegidos los componentes del exoesqueleto, se sintetiza el mecanismo, se diseñan las piezas necesarias para el conjunto del actuador en CAD, se fabrica mediante fabricación aditiva con una impresora 3D en PLA y se itera varias veces para corregir juegos, fricciones, asegurar una robustez adecuada de las conexiones y otras características mecánicas. Tras varias iteraciones tanto de piezas de la bancada y zócalo para motor y sensor como de los segmentos en si del mecanismo (Figura 4.12) se obtiene el diseño mostrado en la Figura 4.11.

Figura .: actuador basado en MCR construido para el prototipo del tfg

## Base del exoesqueleto

Por último, para la colocación de los actuadores sobre el reverso de la mano, que hace a su vez de bancada a nivel mecánico para los MCRs, se diseña una base a partir de medidas antropométricas para una adecuada colocación y permitir la rotación necesaria para realizar los movimientos de abducción y aducción.

¿How 2 medidas antropométricas. []?

## Sistema completo

Sistema modular, posibilidad de concatenación, ligero y económico. Tamaño reducido aun siendo completamente actuado, solo superado por mecanismos flexibles. []

Figura .: Actuadores MCR modulares colocados en la base del prototipo sobre el reverso de la mano

# Modelado y control

Identificar motor

* Modelo teórico
* Banco de pruebas
* Tratamiento de resultados, razones etc…

Identificar potenciómetro

Aunque la expresión teórica que rige el comportamiento del potenciómetro es sencilla y lineal, el modelo elegido carecía de los parámetros necesarios en su hoja de especificaciones para calcular dicha expresión (véase, la resistencia en el ángulo máximo y el valor de dicho ángulo)

Por tanto, se identificaron empíricamente las características del potenciómetro. Para ello se creó un banco de pruebas [] que consiste en colocar el potenciómetro soliadario a una plataforma en el centro de una cuadrícula polar, y poner en la parte que gira un brazo. Mover ese brazo a una cierta posición y compararlo frente a la señal obtenida.

Como se puede observar en [], el comportamiento del potenciómetro es lineal, como cabía esperar, y se obtiene una relación con un coeficiente de correlación extremadamente cercano a 1.

Identificación del sensor de flexión

Estos sensores, al igual que el potenciómetro, carecían de una caracterización adecuada en su hoja de características, por tanto, de nuevo, se procedió a crear un banco de pruebas para obtener una relación entre señal y posición.

Este divisor se caracterizó comparando la señal obtenida con la posición en la que se colocaba. A su vez, esta posición se midió con un potenciómetro rotativo adecuadamente caracterizado.

Modelado del sistema: péndulo invertido gobernado por motor dc con reductora

Ecuaciones en el tiempo

Trabajo en movimiento libre alrededor de x angulo

Trabajo en bloqueo

Identificación empírica

Ñapa del lazo para controlar la posición y que converja en vez de trabajar en velocidad omg.

Control en posición

Diseño de reguladores: requisitos

* Overshoot mínimo, preferiblemente nulo
* Menor tiempo de reacción

Diseño por LDR

Diseño por ZN-Escalon

Chreswick

Todo/nada

Diseño a ojo sobre la maqueta: punto de separación en el LDR

Control de fuerza. Medida indirecta a través de la intensidad del motor

# Resultados

Resp. Transitoria ante escalón, ante rampa, en frecuencia, tolerancia a ruido, tolerancia ante cargas. Simulado VS empírico. Oof…

## Conclusiones

“se ha conseguido..:”

# Bibliografía

(numerada respecto a caps)

## Fuentes

## Figs

## Tablas

## Imgs

# Anexos

## Código

## Planos

## Glosario

…