

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

EXOESQUELETO POTENCIADOR DE FUERZA PARA LA MANO

**VALIDACIÓN CINEMÁTICA FUNCIONAL DEL PROTOTIPO DE EXO-
ESQUELETO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO
COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO.**

TIGASI TIPÁN DARWIN SANTIAGO

darwin.tigasi@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO. PhD

william.venegas@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, DARWIN SANTIAGO TIGASI TIPAN declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Tigasi Darwin

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por DARWIN SANTIAGO TIGASI TIPAN declaro bajo mi supervisión.

ING. WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	III
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Alcance.....	3
1.5 Marco Teórico.....	3
1.5.1 Estado del Arte.....	3
1.5.2 Estudio de patologías.....	7
1.5.3 Biomecánica.....	12
1.5.4 Exoesqueleto.....	12
1.5.5 Rehabilitación optimizando las habilidades manipulativas.....	18
1.5.6 Conceptos de Ergonomía.....	19
2 METODOLOGÍA.....	20
2.1 Consideraciones Generales.....	20
2.2 Pruebas de ejercicios con el Prototipo Exoesqueleto.....	22
2.3 Software Matlab.....	24
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
3.1 Resultados.....	25
3.2 Conclusiones.....	32
3.3 Recomendaciones.....	33
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
5 ANEXOS.....	36

5.1	Sensor Kiev Especificaciones.....	36
5.2	ANEXO Registro de Movimiento y Fuerza con el sensor K-Force.....	38
5.3	Anexo Protocolo de Pruebas.....	40
5.4	Anexo Fotos Pruebas con el exoesqueleto	43

RESUMEN

En este trabajo de integración el objetivo primordial es validar la cinemática funcional del prototipo exo-esqueleto el cual es diseñado para la parte del miembro superior específicamente la mano, consta de un diseño de un material ligero y comerciable el cual permita ejecutar movimientos con facilidad para realizar ejercicios de agarre, mano abierta, y empuñamiento, las pruebas de cinemática funcional (Movilidad) se realiza en el laboratorio de Bioingeniería de la facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN, se obtiene mediante un sensor un registro de datos tanto para la posición inicial como para la posición final con la aplicación K-force, posterior a la obtención se realiza un análisis estadístico de variables de los datos obtenidos de los ejercicios estas variables se procede analizar en el software Matlab mediante un algoritmo que permite obtener graficas de movimiento y posición la cual permitirá validar su cinemática funcional utilizando criterios de coeficientes de correlación Pearson, CMC(correlación múltiple) y SEM(Error estándar de la media) para el rango de movilidad del exoesqueleto prototipo para la mano.

PALABRAS CLAVE: Validar, Cinemática-funcional, K-force, Matlab, Pearson, CMC, SEM.

ABSTRACT

In this integration work, the primary objective is to validate the functional kinematics of the exoskeleton prototype, which is designed for the part of the upper limb, specifically the hand. It consists of a design made of a lightweight material and marketable which allows executing movements with ease to perform grip, open hand, and grasping exercises, the functional kinematics tests (Mobility) are carried out in the Bioengineering laboratory of the Faculty of Mechanical Engineering of the EPN, a data record is obtained by means of a sensor for both the initial position and the final position with the K-force application, after obtaining a statistical analysis of variables from the data obtained from the exercises, these variables are analyzed in the Matlab software by means of an algorithm that allows obtaining graphs of movement and position, which will allow validating their functional kinematics using, Pearson correlation coefficients, CMC (multiple correlations) and SEM (Standard Error of the Mean) criteria for the range of motion of the prototype exoskeleton for the hand.

KEYWORDS: Validate, Functional-kinematics, K-force, Matlab, Pearson, CMC, and SEM.

1 INTRODUCCIÓN

Los humanos revelan especializados y complejos algoritmos naturales de control que tienen como objetivo ejecutar actividades complicadas en un extenso rango de condiciones y con inmediatos tiempos de respuesta. En este apartado se revisa el desarrollo de exoesqueletos ya que es un foco de investigación la cual esta aplicada a la Bioingeniería como ortesis activa consisten en un mecanismo estructural externo que llega hacer acoplado a la persona teniendo en cuenta, eslabones y juntas a la parte del cuerpo humano ya que estos emulan sus movimientos, se tiene como característica fundamental Humano-Maquina producir un contacto entre el usuario y el prototipo exoesqueleto mediante la cual se puede realizar movilidad para transmitir potencia mecánica y señales de información estos prototipos están enfocados en la rehabilitación, velocidad, rendimiento, e incremento de la fuerza mediante el prototipo exoesqueleto.

En la labor de las actividades cotidianas se tiene que una persona tiene la básica costumbre del uso de las manos la cual es un uso común siendo una de las funciones fundamentales el uso de las extremidades superiores para poder alzar o soportar un peso, es ahí que cuando se genera un problema de equilibrio nace un interés en programas de restablecimiento de una posición de equilibrio y rehabilitación de músculos para tratar de evitar que el daño sea de una consideración alta.

En este documento se presenta la validación de la cinemática funcional del prototipo exoesqueleto el cual busca facilitar el movimiento de la mano portando un prototipo exoesqueleto de forma enguantada mediante análisis de datos, los exoesqueletos con el pasar del tiempo su desarrollo ha sido fructífero es así que llega a ocupar un campo notable en las Universidades, Institutos de Investigación, Empresas Industriales, existe el desarrollo de varios sistemas de Prototipos Exo-esqueletos algunos se mencionara a continuación:

- Exoesqueletos de las extremidades superiores.
- Exoesqueletos de las extremidades inferiores, de cuerpo completo y articulaciones específicas.
- Exoesqueletos de apoyo.

Este apartado está más relacionado con la primera clasificación Exoesqueletos de las extremidades superiores el diseño que se validara se tomara en cuenta criterios de movilidad, y grados de libertad se analizara el rango de movimiento permisible con el prototipo

exoesqueleto el cual realizara pruebas para obtener un registro datos, que se obtendrá con el instrumento sensor de movimiento K-Force en el Laboratorio de Bioingeniería de la Facultad de Ingeniería Mecánica el mismo que permitirá realizar un análisis de datos mediante el software Matlab para obtener graficas de movilidad y posicionamiento finalmente se procederá a validar el rango de movilidad del prototipo con una correlación de variables y el uso de comandos Pearson, CMC, SEM.

1.1 Objetivo general

Validación cinemática funcional del prototipo exoesqueleto para la mano.

1.2 Objetivos específicos

1. Describir un estudio bibliográfico de patologías y rehabilitación del agarre de la mano.
2. Obtener un diseño del par de rodadura del prototipo exoesqueleto para la mano.
3. Ejecutar pruebas de movilidad de empuñamiento con el prototipo exoesqueleto en contrastes con sujetos sanos.
4. Realizar un análisis estadístico de variables cinemáticas.

1.3 Justificación

La tecnología de hoy en día se ha involucrado en varios campos laborales de trabajo llegando a ser el más favorecido el área de la medicina debido a que impulsa a desarrollo de herramientas especializadas que buscan facilitar la recuperación de los usuarios tienen como objetivo las herramientas mejorar la calidad de vida de las personas, debido a que existen problemas de manipulación en tareas cotidianas y actualmente un incremento en tareas de teletrabajo, por ese motivo ya no depende de interés ergonómico sino también de interés clínico donde las afectaciones que se genera por el agarre y la manipulación conlleva a una perdida funcional que tiene que ver con las patologías traumatológicas, reumatológicas y neurológicas es por ello que se busca herramientas que permitan optimizar la calidad de vida de los seres humanos, es ahí donde los exoesqueletos tienen una gran variedad de aplicaciones.

En estos últimos años ha sido un foco de investigación sistemas de movilización estos se pueden relacionar con los prototipos exoesqueletos que aún están en fase de investigación,

tienen como primordial función asistir apoyo y brindar movimientos para aumentar las capacidades de las extremidades inferiores como superiores estas estructuras pueden ser denominadas activas o pasivas, varios prototipos de exoesqueletos están diseñados con sistemas inteligentes de sensado y procesamiento que permita tomar decisiones de ejecución de alguna función mediante distintos parámetros con el fin de ejecutar actividades previamente definidas.

El diseño del prototipo exoesqueleto para potenciar la fuerza de la mano se va a realizar mediante una forma de guante cual va a permitir la sujeción con la mano del usuario, de esta manera se estará asegurando un buen contacto Usuario-Exoesqueleto, este diseño consta de partes simples que faciliten el ensamblaje y se pueda ajustar a las características antropométricas de los usuarios.

1.4 Alcance

Los prototipos exoesqueletos se han enfocado en resolver inconvenientes relacionados con las extremidades superiores e inferiores del cuerpo humano, en base a un análisis biomecánico y tomando en cuenta parámetros de diseño y soluciones bajo criterios enfocados en una valoración experimental de un registro de datos de ejercicios de agarre, mano abierta y empuñamiento en usuarios sanos, realizados en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Mecánica en este documento se analizara el prototipo exoesqueleto para las extremidades superiores específicamente para la mano, este prototipo es diseñado para encajar de forma enguantada y poder generar ejercicios de movilidad y de empuñamiento mediante los cuales se permita obtener datos de posiciones para posterior proceder a realizar un análisis de variables y bajo criterios de coeficientes de correlación y con el uso del software Matlab obtener la validación cinemática funcional del prototipo exoesqueleto para la mano

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Estado del Arte

En la actualidad existen varios prototipos de exoesqueletos, los cuales han sido realizados mediante equipos de investigación y empresas privadas, se presenta a continuación unos ejemplos que se puede encontrar en el mercado.

La Empresa Rehab Robotics con ayuda de la Universidad Politécnica de Hong Kong y con la visión de expertos en rehabilitación en el área de terapia física en rehabilitación neuromuscular 'Hand of Hope'. El Robot se aprecia en la siguiente figura.

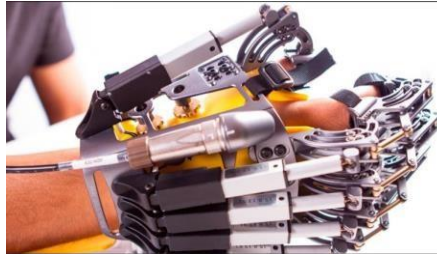


Fig.1.1. Hand Of Hope. [2].

Este robot actúa en proporcionar ayuda a la apertura y cierre de la mano en usuarios que presentan inconvenientes de movilidad, opera mediante cortos videojuegos interactivos el usuario debe guiarse en la pantalla como se indica en la siguiente figura.



Fig.1.2. Interfaz Gráfica Hand of Hope. [2].

Su funcionamiento se da por elementos mecánicos y actuadores lineales que permiten transmitir movimiento para la apertura y cierre de la mano. Como desventaja de este prototipo se tiene un soporte anclado a la mesa, y el cual limita algunos movimientos que pueda realizar el brazo.

Otro ejemplo relacionado al anterior es un dispositivo diseñado por una Empresa de Austria Tyromotion Amadeo, su funcionamiento es similar al anterior ya que consta de un componente visual que se relaciona a un videojuego.

En la siguiente figura se puede visualizar que el dispositivo se compone de una plataforma en donde se encuentra un apoyo para el brazo y está unida a la mesa, la cual ya está posicionada en una pantalla la misma que permitirá realizar los ejercicios de movilidad.



Fig.1.3. Amadeo. [3].

Se especializa en la rehabilitación para los dedos como se puede apreciar en la figura omitiendo los movimientos de apertura y cierre de la mano. Tiene una ventaja la cual es que se puede acoplarse al tamaño de la mano del usuario permitiendo una variedad de usuarios que puedan hacer uso del dispositivo.

HEXORR es un dispositivo que tiene un diseño para la rehabilitación de la mano busca una recuperación funcional de la movilidad y la fuerza, este dispositivo mantiene los dedos juntos para ejecutar movimientos de pinza completa, y necesita de otros ejercicios de rehabilitación para obtener una rehabilitación más precisa, presenta como desventaja el volumen del dispositivo que puede ser un inconveniente.

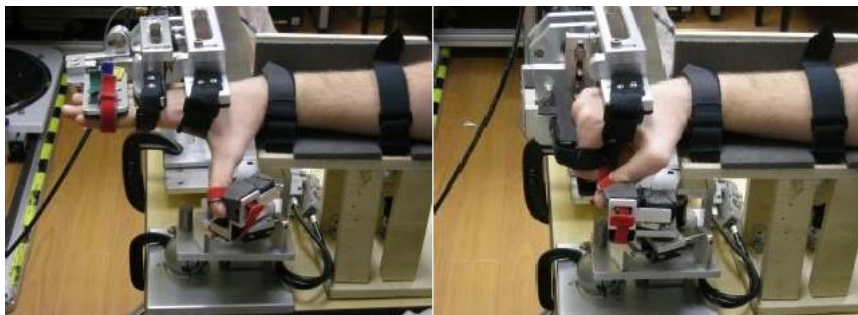


Fig.1.4. Dispositivo HEXORR. [4].

Proyecto SCRIPT fue realizado por investigadores de University at Hertfordshire es diseñado para que los usuarios realicen varios ejercicios de rehabilitación en casa, se basa en la ayuda de videojuegos, la fuerza ejercida es única del usuario por lo que ayuda a una recuperación de la fuerza de los dedos, como ventaja en comparación a los dispositivos anteriores presenta una mayor movilidad en el espacio permitiendo realizar distintos tipos de ejercicios de rehabilitación.



Fig.1.5. Proyecto SCRIPT. [5].

Se ha estudiado la efectividad del 'Arameo Spring' un exoesqueleto que consta con juegos de realidad virtual se utiliza para la rehabilitación a usuarios que presentan lesiones neurológicas mismas que intervienen en la funcionalidad de los brazos.

El dispositivo es utilizado para rehabilitar partes del miembro superior después de sufrir patologías neurológicas, dicho dispositivo consta con un equipo de sensores que evalúan el movimiento del brazo afectado además permite elaborar un plan de ejercicios terapéuticos de múltiples esfuerzos y mediante juegos de realidad virtual que se presentan a la persona estimula las neuronas cerebrales.



Fig.1.6. Arameo Spring.[6]

1.5.2 Estudio de patologías

El término patología conlleva raíces en la ciencia médica y se puede mencionar que las patologías tienen diversas causas las cuales pueden ser de origen genético, funcional o accidental, y a la vez puede indicar alteraciones ocasionadas por objetos de estudio de distintas disciplinas técnicas o científicas, en sí es un estudio de la alteración que se produce un alejamiento de la normalidad llegando a convertir al objeto en otro.

Se analizará la lesión como una unidad conceptual para lograr entender de mejor manera los propósitos en general de la patología humana en particular. Las lesiones son alteraciones de la trama tisular.

Se analiza el proceso patológico de la lesión (L) que son producidas por una serie de causas (C) conocidas también como agentes etiológicos o noxas y agentes causales. Si en el proceso patológico son varias causas que producen las lesiones esta se la conoce como constelación etiológica.

Una lesión determina una serie de manifestaciones objetivas al organismo, los Signos (S), así como un conjunto de manifestaciones subjetivas que los sujetos afectados refieren de sus dolencias y que se conoce con el nombre de síntomas (s).

Cuando se produce un conjunto de síntomas y signos originados por la lesión se denomina síndrome lesional (SL) desencadenando una reacción (R) o respuesta del organismo, causante de nuevos signos y síntomas que en conjunto forman el síndrome reaccional (SR) como a continuación se indica en la figura.

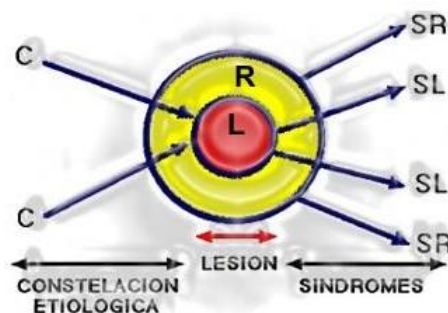


Fig.1.7. Síndrome reaccional y Síndrome Lesional. [9]

Donde:

L = Lesión.

R = Reacción del organismo.

C = Causas de la lesión.

S = signos.

s = síntomas de la lesión.

Dentro de las patologías que relacionan la disfunción y el deterioro del sistema óseo articular del cuerpo humano, con la afectación de sus estructuras adyacentes e internas como tejidos blandos o cartílago se encuentra el grupo de enfermedades denominadas reumatológicas, estos trastornos osteoarticulares son enfermedades comunes en la actualidad caracterizados por dos síntomas que son la impotencia funcional y el dolor de alguna parte del aparato locomotor específicamente de las articulaciones, es importante dar a conocer este grupo de patologías y dar un espacio en promoción de la salud y las campañas de prevención, por el motivo que estas enfermedades son las que más producen disfuncionalidad en la vida del ser humano.

Las cinco dolencias que más se presentan en la mano::

- Tendinitis del pulgar o de De Quervain.
- Artrosis del Pulgar o rizartrrosis.
- Artrosis de la mano o de la muñeca.
- Esguince de la muñeca
- Síndrome del túnel Carpio.

El síndrome del túnel Carpio o pulgar atascado, afecta más a la población adulta esto se da por un uso excesivo de la tecnología en la actualidad, otras dolencias están enfocadas en afectar más a personas de la tercera edad, puede ser la artrosis o rizartrrosis de la mano, a causa del desgaste producido en las articulaciones a medida que aumenta la edad, estos síntomas deben ser tratados y evitar que se agrave los síntomas.



Fig.1.8. Dolencias que se presentan en la mano.[12].

Síndrome del túnel carpiano (STC)

Es una patología que nace por la compresión del nervio mediano en el túnel carpiano que se encuentra ubicado en la muñeca.

Presenta síntomas de hormigueo y dolor en los dedos índice, medio y pulgar que está relacionado con el antebrazo y codo produciendo debilidad en los dedos y la mano, sus causas puede ser por personas que realizan trabajos manuales donde entran en contacto con herramientas vibratorias, teclados y dispositivos electrónicos al igual que un entorno deportivo, mencionando a quien hace uso de raquetas.



Fig.1.9. Síndrome del túnel carpiano (STC) [12].

Esguince de muñeca

Una lesión de ligamentos que unen los huesos del carpo se encuentran ubicados en la mano entre sí, en la siguiente figura se aprecia que el carpo está unido a otros huesos como el cúbito, radio. Existen tres grados de esguince I, II, III, estos dependen de cuan grave es la lesión. Los síntomas que se presentan son de hinchazón y pérdida de fuerza no suelen incapacitar al ser vivo pero si dificulta la actividad cotidiana. Algunas de las causas son caídas, golpes, movimientos bruscos y sobrecarga al momento de hacer movimientos repetitivos

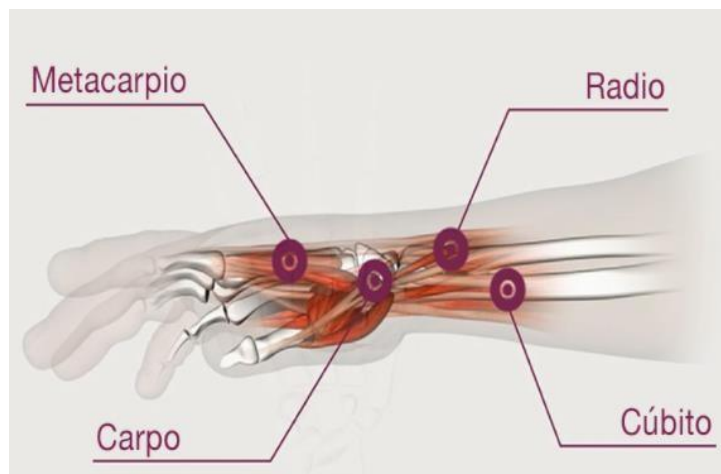


Fig.1.10. Esguince de muñeca [12].

Tendinitis del pulgar o tendinitis de De Quervain.

Es una inflamación del recubrimiento de los tendones que se encuentran alrededor de la mano misma que ejecutan el movimiento de extender y separar el pulgar. Tiene síntomas de inflamación y dolor del pulgar conjunto con la muñeca la misma que puede extenderse hacia el antebrazo puede causar crepitación al mover el pulgar e inflamación en la muñeca. Algunas de sus causas son por movimientos repetitivos, practicar deportes con el uso de palos, raquetas al igual que el uso de dispositivos móviles.

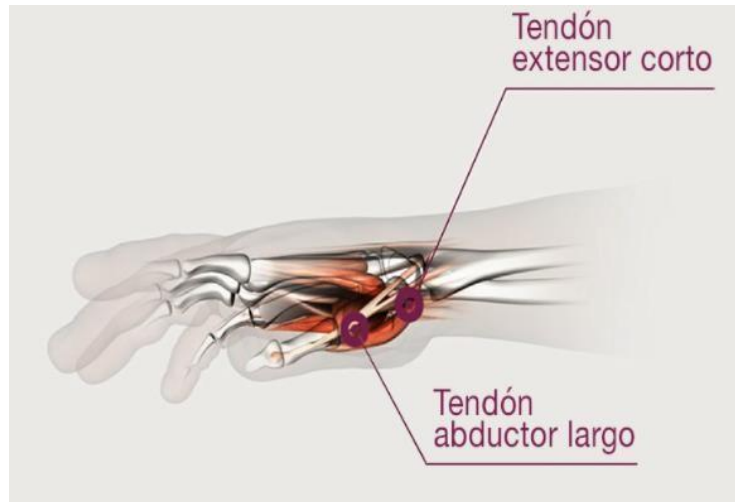


Fig.1.11. Tendinitis del pulgar o tendinitis de De Quervain. [12].

Artrosis del pulgar o Rizartrosis.

Es una degeneración del cartílago que recubre la articulación del dedo pulgar y el mismo que facilita a que se deslice con suavidad, sus síntomas de dolor es la base del dedo pulgar, produciendo limitación del movimiento con pérdida de fuerza, inflamación, sus causas repetición del movimiento pinza aún más si existe fuerza o soportando pesos inadecuados en las actividades cotidianas al igual que el uso excesivo de dispositivos electrónicos.



Fig.1.12. Artrosis del pulgar o Rizartrosis. [12].

Artrosis de la mano o de la muñeca:

Se identifica por la degeneración del cartílago que recubre la articulación de la mano, presenta síntomas como dolor, crepitación al mover el pulgar y en casos de artrosis de la muñeca avanzada esta produce deformación algunas causas desgaste por envejecimiento y lesiones traumáticas en la articulación, así mismo desgaste en la articulación por actividades donde

hacen uso excesivo de la fuerza o también soportar pesos de consideración.



Fig.1.13. Artrosis de la mano o de la muñeca. [12].

1.5.3 Biomecánica

La Biomecánica se presenta como un estudio de la mecánica continua, donde estudia las cargas el estrés, el movimiento, tensión de los fluidos y solidos de sistemas biológicos y los efectos mecánicos sobre el tamaño, forma, estructura y movimiento del cuerpo.

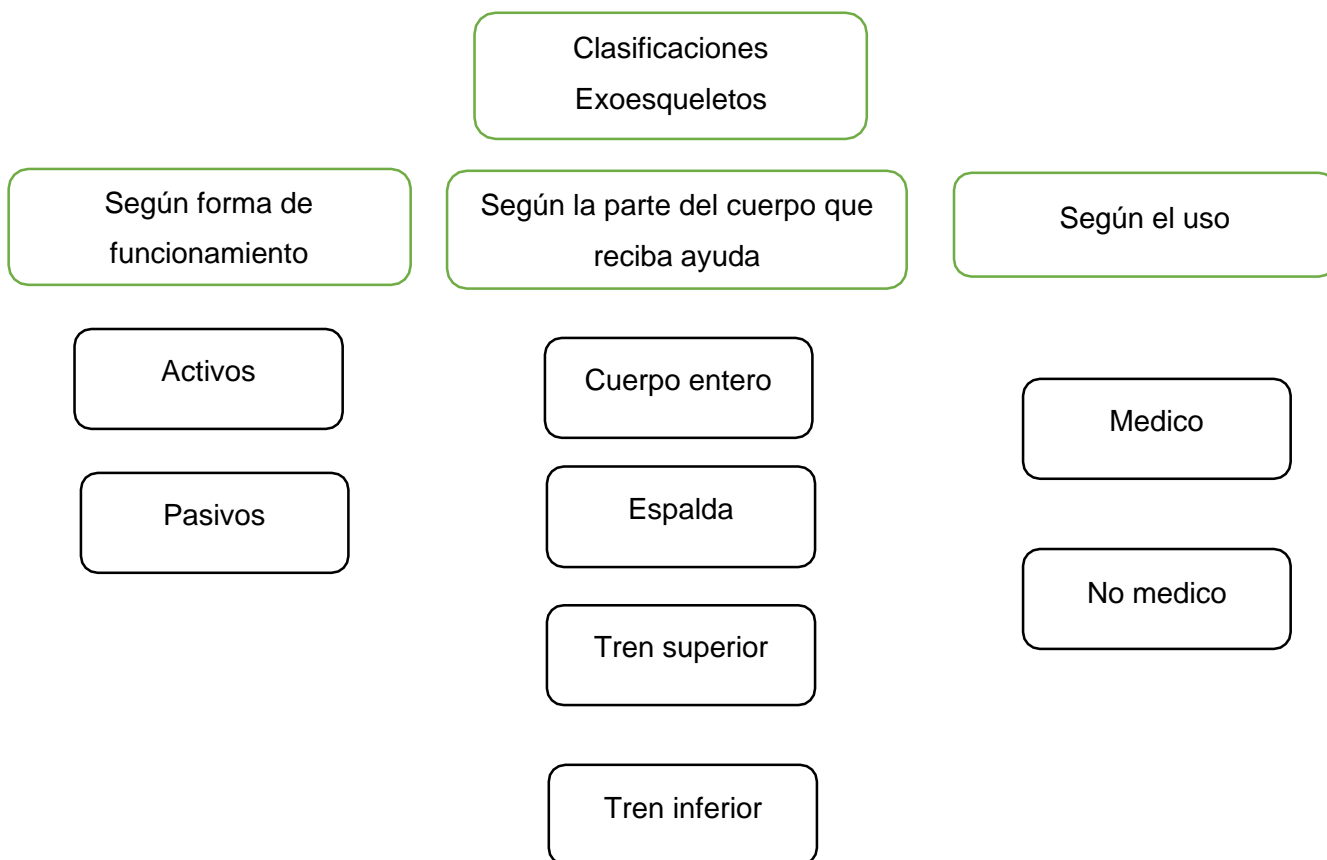
Biomecánica del ser humano

“La biomecánica del movimiento humano, puede definirse como la interdisciplina que describe, analiza y evalúa el movimiento humano. Una amplia variedad de los movimientos físicos están involucrados, desde el paso de los discapacitados físicos, hasta el levantamiento de una carga por parte de un obrero de la fábrica, hasta el desempeño de un atleta superior. Los principios físicos y biológicos que se aplican son los mismos en todos los casos, lo que cambia de caso a caso es el movimiento específico, tareas y la complejidad de cada movimiento”. [4]

1.5.4 Exoesqueleto.

Es una herramienta de mejora supone una extensa categoría donde se encuentran una aplica gama de dispositivos también se define como ‘Dispositivos externos portátiles’ ya que se colocan sobre el cuerpo, con el objetivo de incrementar las capacidades del usuario. Su evolución es rápida lo que hace que en la actualidad día a día se diseñen y utilicen nuevos

modelos con capacidades amplias y mejoradas, a continuación se expone una clasificación que permitirá conocer los grupos y aplicaciones principales de los exoesqueletos.



Esquema. 1.1. Clasificación Exoesqueletos [Fuente propia].

Exoesqueletos Pasivos

No cuentan con un aporte externo de energía que mueva partes del equipo, estos utilizan la misma energía producida por el movimiento del usuario.

Exoesqueletos Activos

Disponen de componentes con partes móviles accionadas a motores eléctricos, para ayudar en los movimientos que lleva cabo el usuario

Exoesqueletos tren superior

Actúan y ayudan a soportar el peso de herramientas y brazos.

Exoesqueletos tren inferior

Mejoran el desempeño de las piernas y permiten un apoyo continuo durante las actividades cotidianas.

Exoesqueleto de cuerpo entero

Optimiza las capacidades del tren superior e inferior.

Exoesqueletos de espalda

Ayuda a proteger la misma.

Uso medico

Los exoesqueletos son los más desarrollados para el campo médico, ya que ayudan a la recuperación de funcionalidades perdidas o para reemplazarlas.

Uso no medico

Se aplica en el área militar donde se busca mejorar el rendimiento de las personas y disminuir la fatiga.

Exoesqueletos desarrollados para miembro superior.

El desarrollo de plataformas robóticas para aplicaciones que necesitan rehabilitación en la actualidad es un punto importante en la investigación a nivel mundial, entre los principales avances están los sistemas exoesqueléticos aplicados a bioingeniería como ortesis activa, consisten en un mecanismo estructural se conoce que gran parte de los exoesqueletos están concentrados en solucionar problemas con extremidades inferiores, pero sin duda alguna no deja de existir los esfuerzos que se concentran en las extremidades superiores, manos y brazos, la rehabilitación de estas extremidades es un tema de interés lo cual deriva a un desarrollado de varias propuestas que buscan ayudar al tema y el cual está enfocado este documento.

Exoesqueletos de mano

‘Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación’ un artículo de la revista Ingeniería Biomédica, escrito por Chávez et, al. (2010) Que consistió en la revisión de bibliografías de diferentes diseños de exoesqueletos, y apreciar diferentes aplicaciones que podían ser ejecutadas en la vida humana, con una categorización de diferentes diseños exoesqueléticos y recopilación de información se mencionó que los exoesqueletos son categorizados en extremidades superiores e inferiores y subcategorizados en exoesqueletos de la mano, exoesqueletos del brazo y exoesqueletos del antebrazo.

Algunos exoesqueletos que se puede mencionar a continuación relacionados con la mano es el diseño realizado por Wang (2009) que es diseñado para el dedo índice, presento un exoesqueleto de cuatro grados de libertad el cual genera movimiento bidireccional (extensión-flexión) para todas las articulaciones del dedo llegando a ser adaptable para distinto tamaños de la mano recibe la información de los sensores de fuerza el cual se utiliza para ejecutar un

control del exoesqueleto mismo que permita analizar y evaluar los efectos de rehabilitación, relacionado a este existe un diseño de Wege (2005) que consiste en el control de movimiento de un exoesqueleto de rehabilitación para la mano y diseño mecánico.

Una investigación que se realizó en Madrid, España, Santoja (2012) sobre diseñar un exoesqueleto para rehabilitación de la mano, consistía en tener un sistema de control de movimiento apto para poder asistir y poder resistir esfuerzos generados por el usuario, en lo que cabe del diseño se pudo lograr controlar la magnitud de la fuerza sin depender de un sensor específico.



Fig.1.14. Extensión de dedos en el Exoesqueleto. [12].

En Bolonia, Italia, Fomashi (2013) desarrollo un exoesqueleto de mano para la rehabilitación enfocado en un análisis del estado de arte, su desarrollo fue basado en tres puntos claves, Numero de conexiones mecánicas con las falanges humanas, arquitectura mecánica de los exoesqueletos de mano y números de grados de libertad (DOF), el estudio fue desarrollado bajo el nombre de Bologna Hand Orthosis, basado en 1 DOF por dedo, se realizó pruebas electromiografía para un entrenamiento activo de agarre y también sin pruebas de electromiografía para rehabilitación motora de agarre y movimiento de alcance de la mano estas pruebas se realizó en pacientes que han sufrido un paro, llegando a la conclusión que hay una relación cercana entre los tres puntos clave antes ya mencionados obteniendo un análisis y clasificación sistemática este exoesqueleto arrojó resultados muy prometedores en lo que confiere para entrenamiento en actividades de agarre.



Fig.1.15. Bologna Hand Orthosis. [11].

Movimiento de la mano

Consta con ángulos de rotación respecto a cada una de las articulaciones como se puede apreciar en la siguiente figura, sus cuatro ángulos son: aducción, abducción o desviación radial, extensión o dorsiflexión, y flexión o flexión volar, su rango de amplitud de movimiento (ROM) de la mano desde la muñeca es de 15° de abducción a 45° de aducción y 85° de flexión y de extensión pero se debe tomar en cuenta que los rangos de amplitud de movimiento difieren de las articulaciones que se tomen como referencia, un caso específico del dedo índice el ángulo de flexión máximo es cercano a 90° medido desde la articulación metacarpofalángica e incrementa gradualmente por dedo hasta ser próximo a 95° para el dedo meñique, en lo que se refiere a los ángulos de aducción y abducción máximos para el dedo índice son de 30° siendo la aducción y abducción del dedo índice el máximo de los dedos en la figura a continuación se presenta el ROM de rotación respecto a la muñeca: **A** Aducción, **B** Abducción, **C** Extensión, y **D** Flexión.

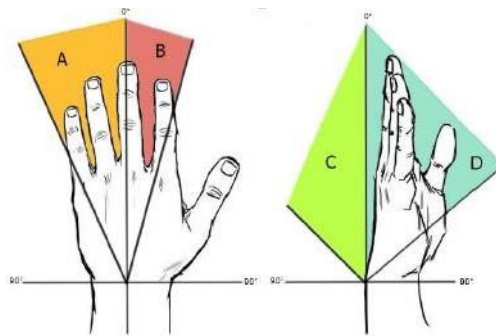


Fig.1.16. ROM de rotación respecto a la muñeca. [12]

En lo que se refiere a las articulaciones metacarpofalángicas constan con 2GDL entonces se entiende que estas articulaciones cuentan con ángulos de extensión, flexión, abducción, y aducción y en donde las articulaciones interfalángicas, interfalángicas proximales y distales solamente tienen 1 GDL flexión y extensión, para las articulaciones interfalángicas proximales el ángulo máximo de flexión sobrepasa ligeramente los 90°, en cambio el ángulo de extensión es cerca de los 5°, para las articulaciones interfalángicas distales el ángulo máximo de flexión se aproxima a los 90°. Cuando se realiza los movimientos de extensión o flexión de las articulaciones interfalángicas distales necesariamente existirá movimientos de las articulaciones interfalángicas proximales.

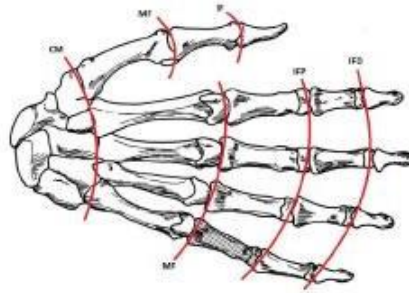


Fig.1.17. Articulaciones de la mano.[13]

Cinemática de la mano.

Se debe tener en cuenta que para poder ejecutar un buen prototipo exoesqueleto hay que conocer la cinemática de la mano, como se indica en la siguiente figura el modelo ósea de la mano tiene una estructura la cual se puede definir como una cadena cinemática que en si contempla 28 grados de libertad, y por la misma se entiende como la unión de eslabones articulados que al momento de sentir un estímulo de entrada produce en los demás eslabones un movimiento controlado de salida.



Fig.1.18. Esquema óseo de la mano.[13]

Mediante una consulta bibliográfica se obtiene la siguiente tabla que consta de los ángulos de las articulaciones de la mano, en si son necesarios conocerlos para tener una buena rehabilitación, en este caso el ángulo de rehabilitación de la muñeca se aprecia que es de 60° esto facilitara el movimiento de los dedos y el posicionamiento de la mano en las que los movimientos de agarre se suelen ejecutar.

Dedo	Flexión	Extensión	Abducción
Pulgar			
Carpometacarpiana	50°-90°	15°	45°-60°
Metacarpofalángica	75°-80°	0°	5°
Interfalángica	75°-80°	5°-10°	5°
Índice			
Carpometacarpiana	5°	0°	0°
Metacarpofalángica	90°	30°-40°	60°
Interfalángica proximal	110°	0°	0°
Interfalángica distal	80°-90°	5°	0°
Medio			
Carpometacarpiana	5°	0°	0°
Metacarpofalángica	90°	30°-40°	45°
Interfalángica proximal	110°	0°	0°
Interfalángica distal	80°-90°	5°	0°
Anular			
Carpometacarpiana	10°	0°	0°
Metacarpofalángica	90°	30°-40°	45°
Interfalángica proximal	120°	0°	0°
Interfalángica distal	80°-90°	5°	0°
Meñique			
Carpometacarpiana	15°	0°	0°
Metacarpofalángica	90°	30°-40°	50°
Interfalángica proximal	135°	0°	0°
Interfalángica distal	90°	5°	0°

Tabla.1.1. Ángulos de las articulaciones de la mano.[13]

Es así que en el campo de rehabilitación se ha desarrollado varios exoesqueletos con un objetivo en común, realizar una repetición de movimientos programados o movimientos aprendidos, los mismos que cuentan con tres grados de libertad y es controlado a través de una interfaz del usuario y es programada trayectorias deseadas por el doctor, es así que el exoesqueleto aprende un movimiento realizado por el fisioterapeuta para después repetirlos las veces que sean necesarias para una rehabilitación óptima.

1.5.5 Rehabilitación optimizando las habilidades manipulativas.

Se puede mejorar habilidades manipulativas tras una lesión de componentes afectados que son analizados por terapeutas también se puede recuperar e intervenir en la funcionalidad en la medida de lo posible del miembro superior afectado.

Capacidades necesarias para que se ejecute una manipulación y ejecución correcta de las habilidades manipulativas:

Diferentes tipos de pinzas y agarres

Se debe tener presente que existen distintos tipos de agarres y pinzas que se ejerce durante el transcurso del día, de esta forma se puede analizar:

Pinza por oposición terminal: Se utiliza para coger objetos muy pequeños, oposición de la zona terminal del pulgar con la punta de los demás dedos restantes.

Pinza por oposición subterminal: Sirven para manejar objetos de mediano tamaño monedas, lápiz, agujas tienen la oposición del pulgar con cualquiera de los demás dedos restantes.

Pinza por oposición subterminolateral: Es una pinza fuerte y eficaz. Tiene la cara lateral radial del dedo índice y zona del pulpejo del dedo pulgar.

Pinza interdigitales laterolateral: Utilizada para tomar objetos entre los dedos, por lo general entre el dedo índice y corazón.

Agarre tetradigitales: Utilizada para manipular o coger objetos gruesos.

Agarre pentadigitales: Hace uso de todos los dedos.

Agarres digitopalmar: Utiliza todos los dedos en oposición a la palma de la mano, excepto el pulgar.

Agarre centrado: Se usa para sujetar un tenedor o un destornillador. Necesita de la extensión del índice con una flexión de los tres dedos últimos y oposición del pulgar.

1.5.6 Conceptos de Ergonomía

Estos conceptos tienen como finalidad que las seres humanos y la tecnología funcionen en armonía, es ahí donde se realiza un diseño de objetos apropiados para puestos de trabajo, dispositivos de rehabilitación, herramientas con características apropiadas que conlleven a satisfacer las necesidades de los seres humanos y suplir sus limitaciones teniendo como objetivo reducir enfermedades y lesiones del ser humano vinculadas con el uso de la tecnología y sus entornos artificiales, entonces aquel objeto ergonómico debe ofrecer comodidad para el usuario.

La ergonomía tiene en consideración una serie de elementos para conseguir comodidad, eficacia y efectividad para los usuarios entonces se debe considerar lo siguiente:

- Características métricas del dispositivo.
- Características biomecánicas y antropométricas del usuario.
- Carga física.
- Niveles de esfuerzos.
- Carga física adicional por condiciones climáticas.

La ergonomía trata las capacidades, necesidades y características de los seres humanos y es notorio que se debe tomar en cuenta en este proyecto.

2 METODOLOGÍA

2.1 Consideraciones Generales

La metodología de diseño integra diferentes dominios de la ingeniería con el fin de aprovechar las relaciones existentes entre las diversas perspectivas de diseño para optimizar así un modelo representativo del sistema en interés.

Como clave principal para dar validez a la cinemática funcional del prototipo exoesqueleto se tiene un análisis de variables que son obtenidos de un registro de datos de ejercicios realizados mediante un sensor en sujetos sanos, posterior a esto se desarrolla un algoritmo en Matlab el cual permite visualizar las relaciones que existen entre la posición y la movilidad mismos que permitan evaluar las respuestas ante diversos criterios y condiciones de funcionamiento.

En este documento se presenta un exoesqueleto para potenciar la fuerza de la mano que busca potenciar los movimientos de una mano, partiendo del patrón generado por un registro de datos de una mano sana.

El sistema se enfoca en asistir los movimientos de flexibilidad de la mano para la fabricación del prototipo exoesqueleto se debe tener en cuenta algunas consideraciones:

Debe realizar los siguientes ejercicios de rehabilitación:

- **Movimiento de pinza completa.**

Es un movimiento donde entra en contacto todos los dedos dando una apertura al abrirse e inmediatamente cerrarse al mismo tiempo.

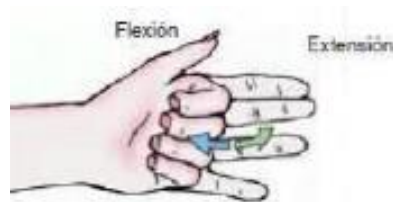


Fig.2.1. Movimiento de la mano. [14].

- **Movimiento de pinza simple.**

Es un movimiento donde solo actúa el dedo pulgar e índice y el resto de los dedos se encuentran flexionados.

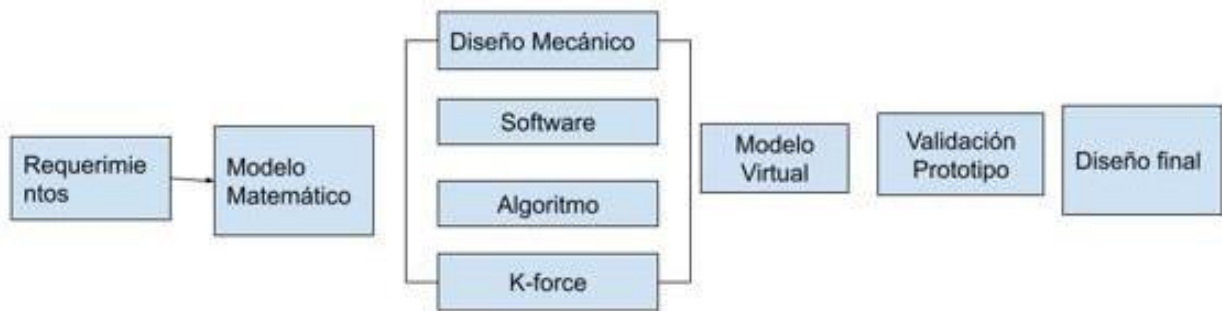
- **Pinza simple**

El exoesqueleto debe tener un peso ligero y no causar esfuerzo alguno en el usuario al momento de levantarlo debe permitir libertad para realizar movimientos en conjunto mano- brazo.

Además el exoesqueleto debe ser cómodo para el usuario donde al momento de hacer uso del exoesqueleto se pueda poner y quitar en un tiempo reducido, algunos requerimientos que se establecieron son:

Poder registrar el movimiento ejecutado en una mano sana, específicamente en los movimientos de mano abierta y de agarre para que el exoesqueleto tenga un movimiento repetitivo

- Reproducir el movimiento capturado de la mano sana en un entorno gráfico de validación para luego inducirlo en un sistema.
- El sistema debe ser flexible y permitir cambios en el patrón de movimientos para lograr un entrenamiento eficiente.



Esquema.2.1. Metodología para el exoesqueleto. [Fuente Propia].

2.2 Pruebas de ejercicios con el Prototipo Exoesqueleto

El exoesqueleto que se analizó consta de un diseño liviano y de fácil adaptación mediante el cual se busca realizar movimientos ligeros con ciclos repetitivos y con el uso de marcadores en los dedos índice, pulgar y meñique, se registró datos de fácil obtención por la forma del exoesqueleto que es enguantada no presento ningún inconveniente al momento de realizar los diferentes tipos de ejercicios.



Fig.2.3. Exoesqueleto. [Fuente Propia].

Para la ejecución de este ejercicio se basó en el movimiento de pinza completa el cual se realizó con una duración de ocho segundos y diez ciclos repetitivos este ejercicio permite captar la posición estática y dinámica de los marcadores, mediante estos y un sensor de fuerza se registra datos el cual nos permitirá obtener gráficas y validar la funcionalidad del exoesqueleto.

Se usó un tiempo en el cual el exoesqueleto tenía que moverse con ejercicio pinza completa una vez establecido y cumplido ese tiempo se comprobó la posición de los marcadores que estaban puestos en el exoesqueleto el programa registraba sus posiciones hasta que se cumpla el tiempo de restricción.

Después de un número de iteraciones los valores se van almacenando en una serie de valores denominados archivos.cvc



Fig.2.4. Movimiento pinza completa. [Fuente Propia].

El segundo movimiento que cabe mencionar es el ejercicio de agarre, en este ejercicio lo que se desea conseguir es que el prototipo exoesqueleto consiga ayudar al usuario a realizar agarre de objetos presentando una mayor facilidad al estar en contacto con el exoesqueleto.



Fig.2.5. Movimiento de agarre. [Fuente Propia].

Posterior a la obtención de los datos es necesario hacer el uso de un análisis utilizando herramientas matemáticas que permitan obtener relaciones, gráficas y variables para posterior poder analizar con distintos criterios si los resultados obtenidos permiten concluir la validación cinemática funcional del prototipo exoesqueleto para la mano.

2.3 Software Matlab.

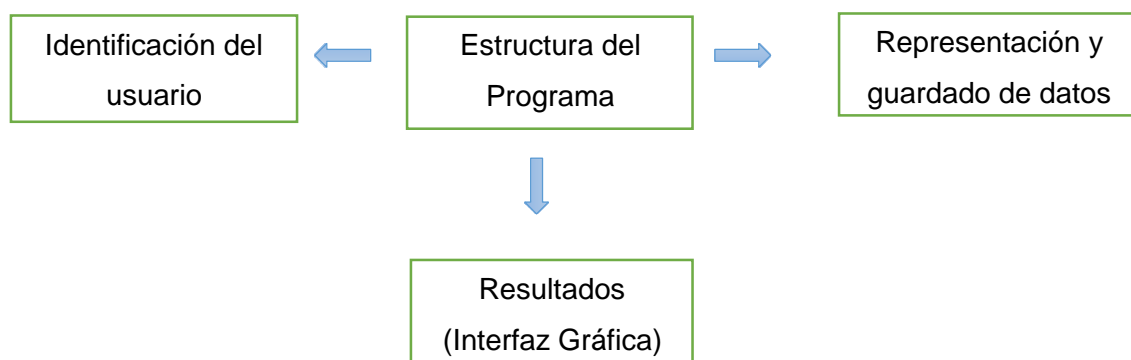
Matlab es una herramienta matemática que ofrece un desarrollo integrado (IDE) con lenguaje de programación propio este lenguaje es denominado Lenguaje M. Se eligió programar por Matlab ya que se tiene una previa de conocimientos en un rango más amplio al manejar la plataforma.

Los pasos que se tienen en cuenta a seguir son los siguientes:

1. Exportar datos de la aplicación K-force.
2. Programar y compilar un código con los datos de registros exportados.
3. Ejecutar el código de programación con los datos y obtener gráficas.
4. Uso de comandos Pearson, CMC, SEM.
5. Exportar los resultados para un Análisis.

Estructura del software

Se tiene tres bloques principales en la estructura del programa:



Esquema.2.2. Estructura del Software. [Fuente Propia].

Identificación del usuario: Es necesario una identificación específica debido a que el uso del exoesqueleto será por varios usuarios, es ahí donde se ira reconociendo y guardando los registros de datos por los usuarios que hagan uso de el para posterior tener una carpeta propia para un análisis único.

Estructura del Programa: Consta de un algoritmo con varios subprogramas en donde se toma en consideración la mano abierta, mano agarre y coeficientes de correlación CMC y SEM.

Representación y guardado de datos: Los valores que se desea representar y guardar son los valores de la posiciones de los marcadores sobrepuestos en el exoesqueleto. Los ejes de dicha representación son las posiciones y el número de iteraciones que se están guardando en una carpeta.

Una vez obtenidos los resultados del software MATLAB se exporta para un análisis previo.

Interfaz Gráfica:

Después de realizar las pruebas y compilar los algoritmos de programación se obtiene los resultados finales, pero hay que tomar en cuenta que la interfaz gráfica debe cumplir con algunos objetivos:

- Deber ser intuitiva.
- De fácil elección entre las diferentes tareas con sencillez.
- Realizar un feedback de algún tipo para poder entender mejor los resultados.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

Posterior de compilar el código en el software Matlab se obtiene variables como resultados los mismos que se pueden analizar en comparación mediante correlaciones e interpretar la interfaz gráfica que se obtiene para cada ejercicio ejecutado con el prototipo exoesqueleto.

Se analiza este movimiento en donde se aprecia las líneas entrecortadas es decir libre del exoesqueleto y la línea continua portando el exoesqueleto su posición angular del dedo índice portando el exoesqueleto tiene una menor posición angular en comparación con el índice que no porta el exoesqueleto esta diferencia de 10° es la de mayor valor, en comparación al dedo meñique que tiene una diferencia 8° esto es por el prototipo que tiene encima unos marcadores, con respecto a la movilidad se observa en la gráfica que tiene una aceptación en el rango de 40 a 60° la gráfica da entender una aceptación de las líneas analizadas tanto en el rango de posición angular como en el rango de movilidad por lo que se puede decir el prototipo exoesqueleto en la mano no causa ningún tipo de distorsión en la movilidad de los dedos analizados.

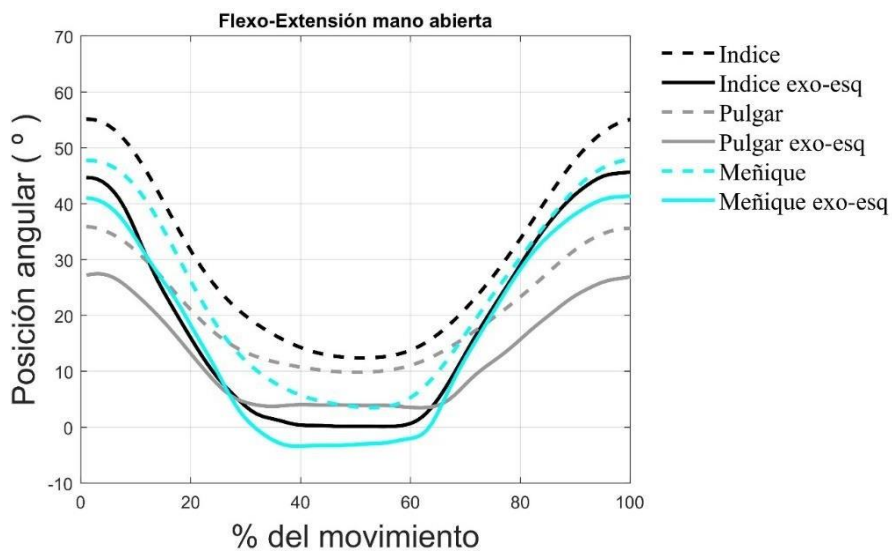


Fig.3.2. Flexo-extensión Mano Abierta. [Fuente Propia].

Dedo	Variación posición angular
Índice-Índice Exoesqueleto	10°
Pulgar-Pulgar Exoesqueleto	8°
Meñique-Meñique Exoesqueleto	6°

Tabla.3.1. Variación de posición de los dedos flexo-extensión. [Fuente Propia].

En el análisis de la abducción mano agarre la posición angular tiene una variación de los ángulos siendo la mayor diferencia la del dedo meñique con un valor de 28° , seguido del dedo

índice con una diferencia de 25° y por último el dedo pulgar con una diferencia de 20° estas diferencias de posiciones angulares permite evidenciar que al momento de realizar los ejercicios el exoesqueleto permite una aceptable posición, en cuanto a la movilidad se puede apreciar que en abducción-agarre tampoco existe ningún tipo de distorsión o impedimento que pueda causar el prototipo exoesqueleto al realizar el ejercicio su movilidad va a la par consiguiendo una movilidad aceptable en el rango de 40 a 80 en el eje de movilidad es decir al aumentar el movimiento la posición angular va decreciendo hasta alcanzar el 40% de movilidad posterior se mantiene sin mayor variación de posición angular hasta el rango de 60, entonces es ahí donde al aumentar la movilidad aumenta la posición angular yendo de forma creciente hasta alcanzar el 100% de su movilidad la cual permite el prototipo exoesqueleto.

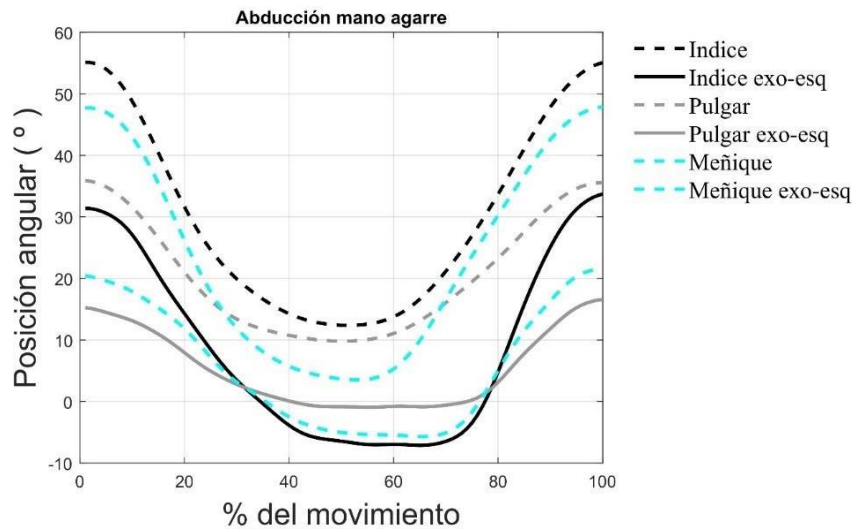


Fig.3.2. Aducción mano agarre. [Fuente Propia].

Dedo	Variación posición angular
Índice-Índice Exoesqueleto	25°
Pulgar-Pulgar Exoesqueleto	20°
Meñique-Meñique Exoesqueleto	28°

Tabla.3.2. Variación de posición de los dedos Aducción mano agarre. [Fuente Propia].

En el siguiente análisis de la figura se puede apreciar una discontinuidad tanto en posición angular como en movilidad este caso se presenta en la abducción mano agarre produciendo una fuerza, se tiene valores negativos de posición angular algo no deseado para este trabajo, pero se debe hacer mención a que este análisis puede ser estudiado en otro trabajo posterior

tomando en cuenta la fuerza aplicable que no sea variable y que los datos que se registren sean por lo mínimo de una muestra de 6 personas, en esta figura se puede mencionar que con los resultados obtenidos que el exoesqueleto no es factible para producir una fuerza.

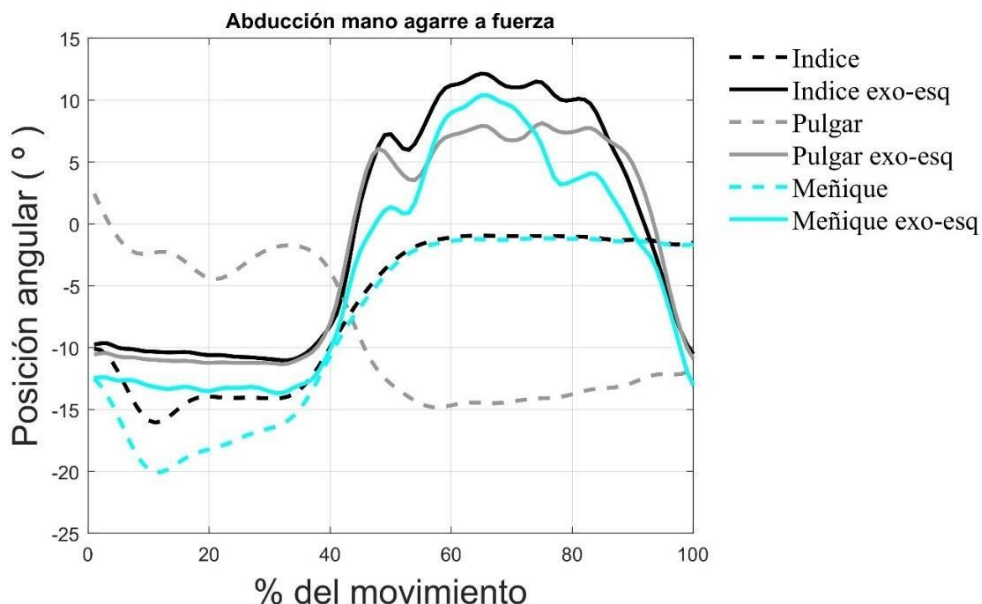


Fig.3.3. Abducción mano agarre fuerza. [Fuente Propia].

Después de analizar los rangos de posiciones y movilidad en el exoesqueleto y al ver que presenta una factibilidad se procede a utilizar correlaciones entre las dos figuras expuestas considerando una matriz transpuesta, permutaciones y coeficientes de correlación Pearson, CMC, SEM, para dar validez a la cinemática funcional del prototipo exoesqueleto para la mano.

Pearson.

Se obtuvo los siguientes valores que se indican en las tablas a continuación evaluados en los dedos tanto en posición abierta como en agarre:

Dedo	Coeficiente Pearson	
	Índice	1.0000
Pulgar	0.9757	1.0000
	1.0000	0.9586
Meñique	0.9586	1.0000
	1.0000	0.9753
	0.9573	1.0000

Tabla.3.3 Correlación en mano abierta. [Fuente Propia].

Dedo	Coefficiente Pearson	
Índice	1.0000	0.7194
	0.7194	1.0000
Pulgar	1.0000	0.7507
	0.7507	1.0000
Meñique	1.0000	0.8020
	0.8020	1.0000

Tabla.3.4. Correlación en mano agarre. [Fuente Propia].

En siguiente análisis se puede apreciar que presenta una correlación positiva para cada estudio esto indica que las variables están asociadas en el mismo sentido, al observar los valores de la correlación de la mano abierta se puede decir que su correlación es muy significativa por los datos expuestos que están en el rango de 0.9 a 1 es decir los datos del movimiento exoesqueleto-mano se ubican muy cerca uno del otro permitiendo un movimiento fluido.

En la correlación mano agarre se aprecia un rango de 0.7 a 1.0 en los dedos índice y pulgar se puede decir que no es tan significativa pero se debe tomar en cuenta sus valores extremos, por lo que un solo valor distinto en las pruebas de movimiento puede variar el coeficiente de Pearson se puede mencionar que este coeficiente disminuye en comparación a mano abierta ya sea por el ejercicio de agarre que se está realizando y por el diseño mismo del prototipo cabe hacer mención que el portador del dedo pulgar del exoesqueleto era rugosa su movilidad.

Al comparar sus correlaciones mano abierta obteniendo un coeficiente Pearson de 0.9 a 1 se puede decir que el exoesqueleto en este ejercicio no presenta inconveniente alguno y su movilidad será fluida, al evaluar mano agarre con un coeficiente de correlación de 0.7 a 1, se hace mención que está en el rango de aceptación pero se debe realizar correctamente los ejercicios de agarre, una evaluación en conjunto Mano abierta – Mano agarre, portando el exoesqueleto por los valores obtenidos su movilidad en los usuarios no presentara ningún inconveniente.

CMC (Coeficiente de Correlación Múltiple)

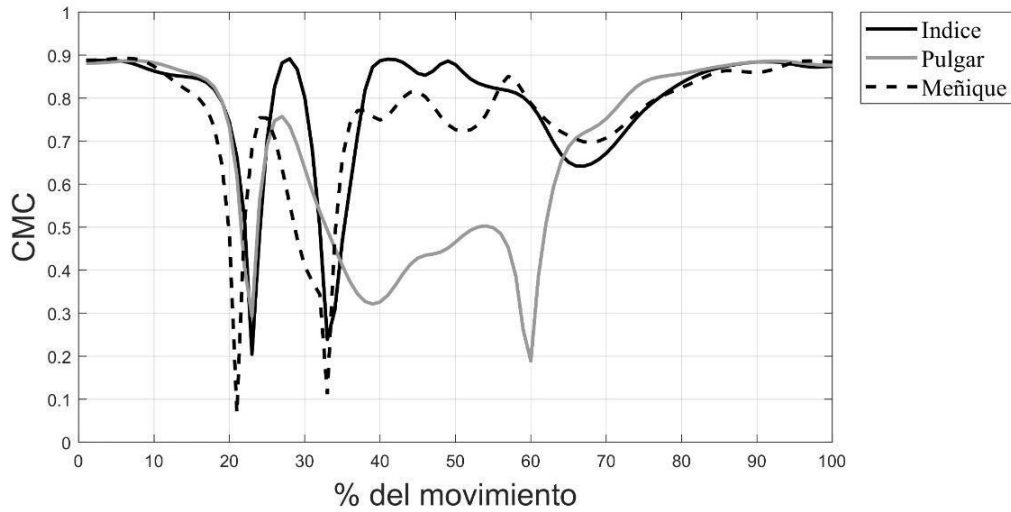


Fig.3.4. CMC en mano abierta. [Fuente Propia].

El coeficiente de correlación es mejor en los rangos de movilidad de [0-20] % y en el rango de [60-100] %, claramente llegando a un valor máximo de 0.9, en lo que respecta al rango de movilidad de [20-60] % presenta picos y variaciones siendo la de menor valor 0.1 y máximo valor 0.9, en este rango de movilidad es donde el prototipo busca establecerse por ende presenta estos cambios variables en su comportamiento de movilidad.

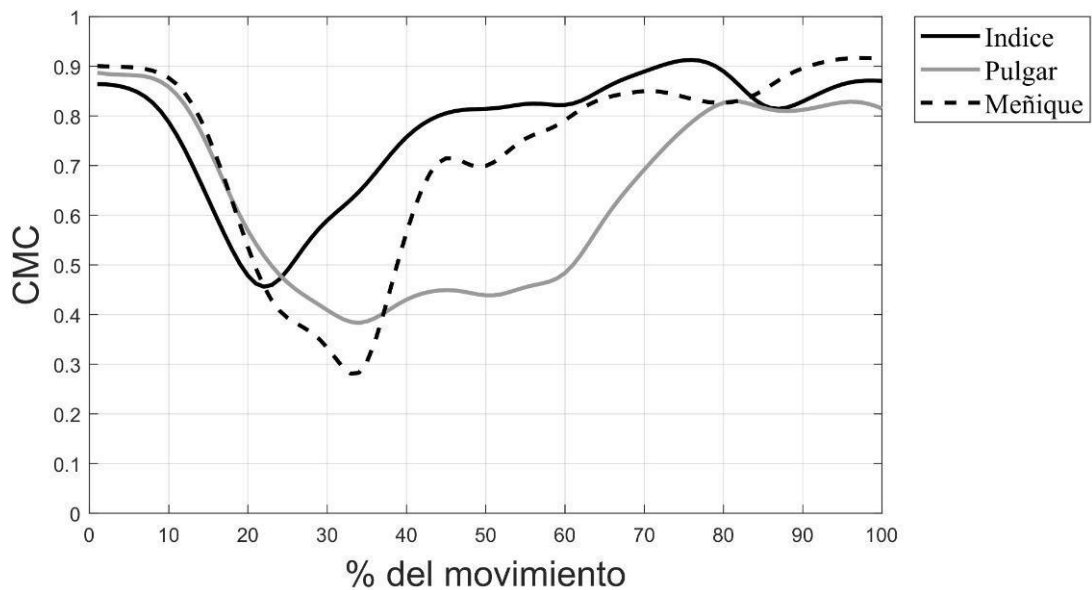


Fig.3.5. CMC en mano agarre. [Fuente Propia].

El CMC en el agarre indica una clara aceptación de movilidad del exoesqueleto en todo su rango, obteniendo un valor mínimos de 0.3 y un máximo de 0.91, a la vez considerando el rango de movilidad que presenta picos no de consideración en el rango de [30 a 60] % de movilidad esto se debe al diseño propio del exoesqueleto.

SEM (Error Estándar de la Media)

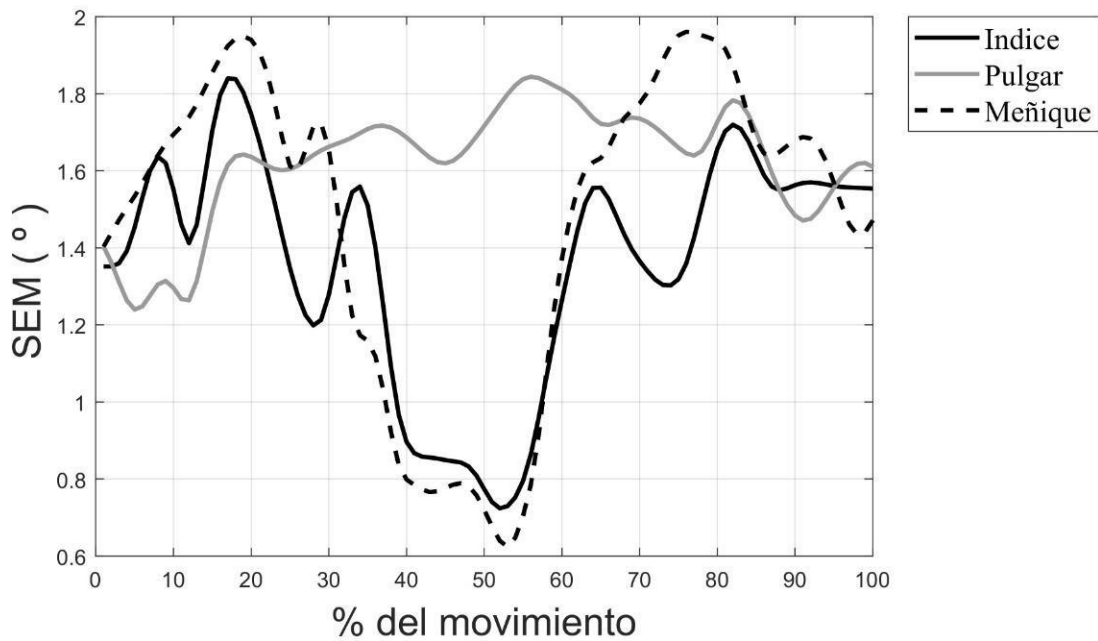


Fig.3.6. SEM en mano abierta. [Fuente Propia].

Tiene un error estándar de la media bajo que empieza en 0.61 y termina en 1.9 este valor está en grados, esta diferencia es permisible además se debe tener en cuenta los rangos en donde presenta picos, como se mencionó antes esto corresponde al diseño propio del prototipo.

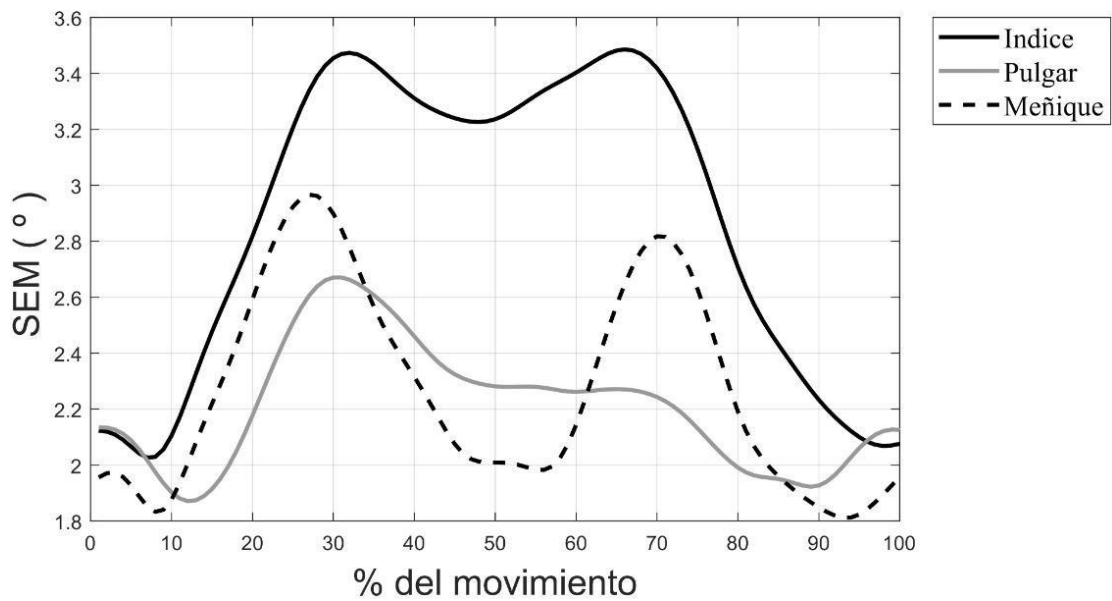


Fig.3.6. SEM en mano agarre. [Fuente Propia].

El SEM para mano agarre indica un porcentaje de error que se encuentra de $[1.8 - 3.5]^\circ$ existiendo picos en su rango de movilidad, tener en cuenta que este valor de error de 3° es permisible por lo que este desfase en el exoesqueleto – usuario no interfiere en su movilidad funcional.

3.2 Conclusiones

- El diseño del prototipo exoesqueleto realizado es capaz de ajustarse a la talla del usuario permitiendo realizar ejercicios de mano abierta, agarre y empuñamiento, su diseño de forma enguantada permite un movimiento continuo usuario-prototipo.
- Se estableció tres principales ejercicios de movilidad para proceder dar la validación, mano abierta, mano agarre, empuñamiento con fuerza, realizando un análisis de correlación de los dos primeros movimientos y mencionando que para la fuerza se puede realizar un estudio más enfocado en otro apartado a futuro.
- El uso del Software Matlab permitió realizar un proceso de monitoreo de los movimientos que se está desarrollando mediante herramientas de correlación y una interfaz gráfica con una versatilidad idónea para la interpretación de resultados.
- Las diferencias de posición angular vs movimiento, prototipo- usuario en mano abierta tiene una diferencia máxima de 10° , mientras que en mano agarre de 28° , estas diferencias se da por el tipo de ejercicio que se está realizando siendo la del agarre la que mayor movilidad producida en el exoesqueleto.
- Pearson y sus resultados obtenidos de los movimientos Mano abierta y Mano agarre,

presentan una correlación admisible obteniendo valores mínimos de 0.7 y máximos de 0.9 valores próximos a 1, mediante el cual se puede interpretar que el prototipo no presenta inconvenientes al momento de realizar los ejercicios de rehabilitación.

- El análisis del error estándar de la media SEM es bajo, y la correlación múltiple CMC presenta una mayor asociación entre las variables.
- Pearson, CMC, SEM, permitió validar la cinemática funcional del prototipo exoesqueleto afirmando que el prototipo proporcionara una adecuada movilidad para los usuarios.

3.3 Recomendaciones

- Realizar otro diseño para la mano izquierda y poder evaluar el comportamiento de movilidad, mediante las pruebas de rehabilitación propuestas.
- En la revisión bibliográfica algunos autores de exoesqueletos se basan en el uso de videojuegos virtuales, para el prototipo estudiado considerar el uso de programas virtuales, o hacer el uso de actuadores o sensores los mismos que permitan tener un prototipo más sofisticado.
- Considerar las pruebas en sujetos con alteraciones de las articulaciones para poder analizar el rango de movilidad del prototipo.
- Este prototipo ha sido el estudio de una primera aproximación para alcanzar los objetivos propuestos, si bien se logró validar la funcionalidad cinemática, también se puede realizar mejoras e integrar otros componentes de estudio ya sea piezas para una transmisión de fuerza.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Wang J., Li J., Zhang Y., Wang S. Design of an exoskeleton for index finger rehabilitation. Proceedings of the 31st Annual International Conference of the IEEE-EMBS, Minneapolis, USA, September 2009.

[2] J. Lauren Banks, Design and Control of an Anthropomorphic Robotic Finger with Multi-point Tactile Sensation. Tesis Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts 2011

[3] P. Heo, G. M. Gu, S. Lee, K. Rhee y J. Kim, «Current Hand Exoskeleton Technologies for Rehabilitation and Assistive Engineering,» International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, vol. XIII, nº 5, pp. 807-824, 2012

- [4] L. Tung-Wu y C. Chu-Fen, «Biomechanics of human movement and its clinical,» Kaohsiung Journal of Medical Sciences, 2012.
- [5] D. A. WINTER, BIOMECHANICS AND MOTOR CONTROL OF HUMAN MOVEMENT, Waterloo, Ontario, Canada: JOHN WILEY & SONS, 2009.
- [6] Flores-Caballero, A. "Sistema Avanzado de Prototipado Rápido para Control en Exoesqueletos y dispositivos Mecatronicos", Tesis Doctoral, Universidad Carlos III de Madrid. 2014.
- [7] Nordin, M., and Frankel, V. H. "Basic Biomechanics of the musculoskeletal system", Fourth, North American Edition 2001.
- [8] A. A. Almagià Flores y P. J. Lizana Arce, PRINCIPIOS DE ANATOMÍA HUMANA APARATO LOCOMOTOR, Descripción Muscular Apendicular-Miembro Superior, Valparaíso, 2012.
- [9] Rodriguez-Prunotto, L. et al. "Terapia Robótica para la rehabilitación del miembro superior en patología neurológica".
- [10] J. F. Ayala Lozano, «Diseño Mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior,» Instituto politécnico nacional, México, 2012.
- [11] Urdaniz M.V., Ortiz M.A., Bonardi A.A., Gentiletti G.G. Diseño y Simulación de una Ortesis Robótica para Rehabilitación de la Marcha. XVII Congreso Argentino de Bioingeniería, Rosario, 2009.
- [12] Activa Salud Articular Font, Jordi (traumatólogo especializado en lesiones deportivas, traumatológicas y ortopédicas de la mano, la muñeca y el codo). Tenosinovitis de De Quervain. Recuperado de <http://drjordifont.com/tenosinovitis-de-de-quervain/>
- [13] Blanco Lahuerta, J. L. (2017). Prototipo de robot de rehabilitación de mano tipo “agarre terminal”. Universidad de Valladolid.

5 ANEXOS

5.1 Sensor Kiev Especificaciones



Especificaciones para este producto


Color	negro
Material	metalúrgico
Nombre de la marca	KINVENT
Número de artículos	1
Número de pieza	G18
Peso del producto	1.00 kilogramos
Talla	45 x 55 x 160 mm



5.2 ANEXO Registro de Movimiento y Fuerza con el sensor K-Force



Informe - 12 enero 2022

 <p>Nombre: Santiago Apellido: Tiguasi Masculino, 25 años</p>	<p>Comentarios :</p>
<p>V.A.S - -</p>	

Grip

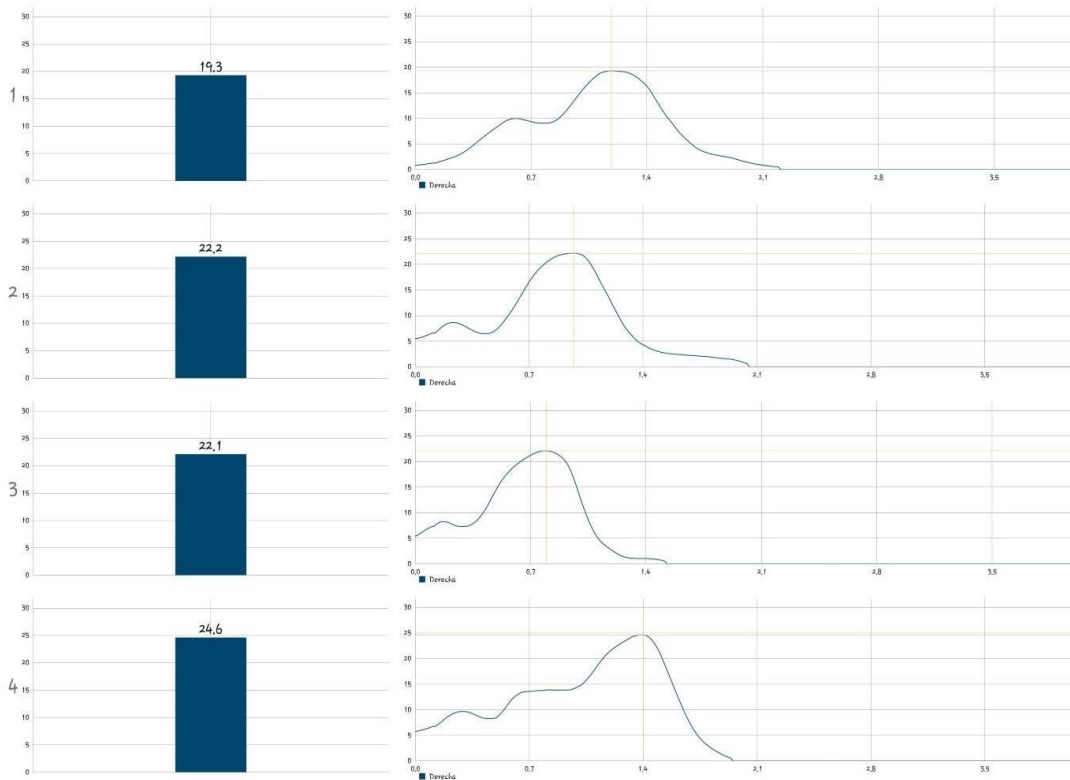
Configuración

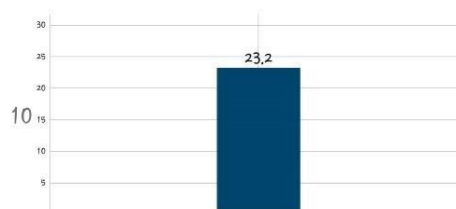
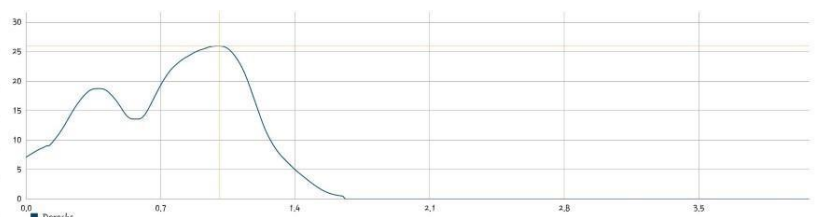
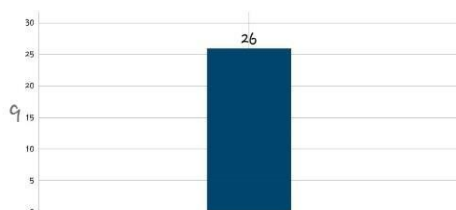
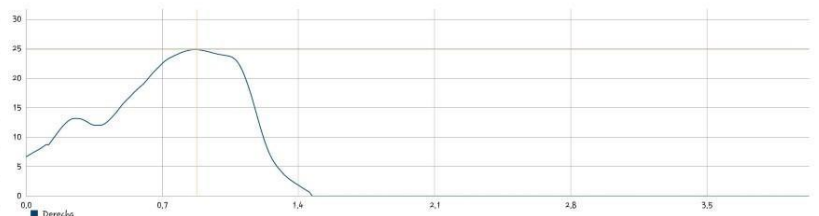
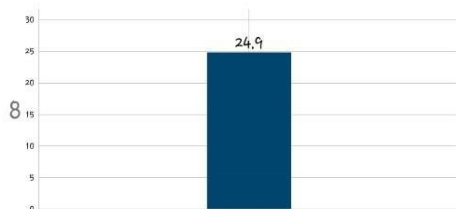
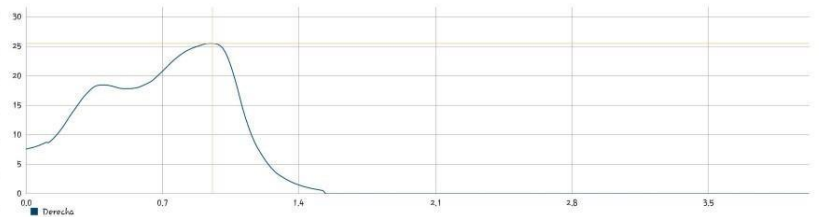
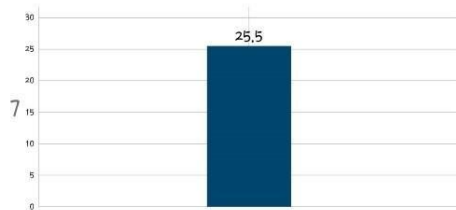
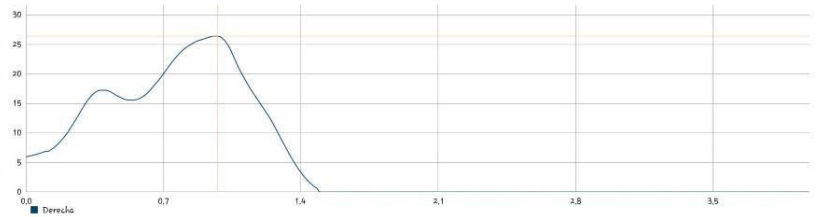
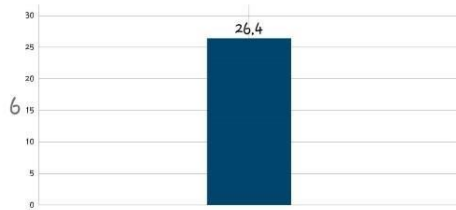
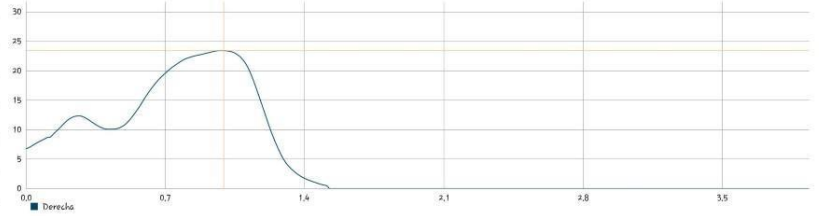
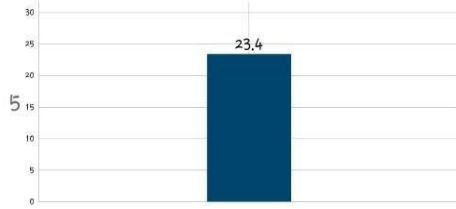
☰ 10 reps of 4 sec, 1s rest

→ Derecha 21.7 Kg



Análisis de repeticiones para la fuerza máxima en Kg



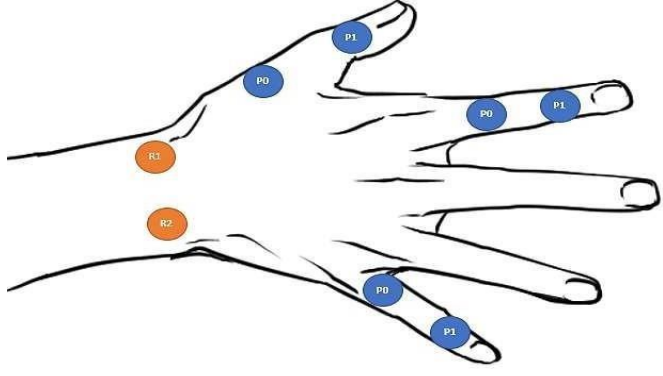




Tel : e-mail :	Tigasi Darwin Fisioterapeuta Firma
-------------------	---



5.3 Anexo Protocolo de Pruebas

		PROTOCOLO DE PRUEBAS																																		
TIPO DE PRUEBA:		Mano Agarre				N°	1																													
PRODUCTO:		Exoesqueleto para mano		FECHA:		12/01/2022																														
NOMBRE PARTICIPANTE:		Santiago Tigasi																																		
EDAD:		27		MANO																																
SEXO:		Masculino		DOMINANTE		NO DOMINANTE																														
PESO:		85 kg		MEDIDA DEDOS		PLGR																														
ALTURA:		1.71 m		CM		INDC																														
						MED																														
						ANUL																														
						MEÑQ																														
Sufre de afectaciones en la función motora de la mano?				SI		NO																														
						x																														
MARCADORES																																				
Sistema de marcadores de acuerdo con las recomendaciones ISB del IBV.																																				
Marcadores técnicos				Marcadores Anatómicos				8																												
LOCALIZACIÓN																																				
Ocho marcadores anatómicos se ubican en las zonas falange media y proximal de los dedos: pulgar, índice y meñique. Dos marcadores ubicados en la zona carpiana se utilizan como puntos de referencia para los demás marcadores. Las localizaciones de las marcas son las mismas para las pruebas con y sin el exoesqueleto.																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="5">Número de marcas técnicas en dedos</th> </tr> <tr> <th>PLGR</th> <th>INDC</th> <th>MED</th> <th>ANUL</th> <th>MEÑQ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Flange media</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Falange proximal</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Zona carpiana</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>									Número de marcas técnicas en dedos					PLGR	INDC	MED	ANUL	MEÑQ	Flange media	1	1			1	Falange proximal	1	1			1	Zona carpiana			2		
	Número de marcas técnicas en dedos																																			
	PLGR	INDC	MED	ANUL	MEÑQ																															
Flange media	1	1			1																															
Falange proximal	1	1			1																															
Zona carpiana			2																																	
IMAGEN																																				
																																				
CÁMARA DE GRABACIÓN																																				

Se utilizará el sistema de fotogrametría disponible en el laboratorio de bioingeniería de la Escuela Politécnica Nacional y de respaldo el video mediante un dispositivo celular Samsung A32.

REGISTRO DE PROCEDIMIENTO						
1. INSPECCIÓN VISUAL EXOESQUELETO - Integridad en elementos estructurales - Integridad en conexiones de elementos	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	Confirme:	Confirme:			
2. INSPECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN - Encendido del sensor KFORCE Grip - Carga del sensor KFORCE Grip - Conexión entre sensor KFORCE Grip y KFORCE app - Comprobación de registro de presión de agarre		Confirme:	Confirme:			
3. IMPLEMENTACIÓN DEL EXOESQUELETO - Sujeción en dedos y muñeca - Comprobación de movilidad		Confirme:	Confirme:			
4. POSTURA CORPORAL - Posición de sentado con espalda recta - Hombro en abducción y rotación neutra - Codo en flexión de 90° - Antebrazo en prono-supinación media - Muñeca con flexión dorsal de 0 - 30° - Desviación cubita de 0 -15°		Confirme:	Confirme:	Confirme:	Confirme:	Confirme:
5. EJECUCIÓN DEL MOVIMIENTO - Movimiento controlado de flexo/extensión de dedos - Pausas de 3 a 4 segundos en la presión de agarre		Confirme:	Confirme:			
NÚMERO DE SET:						
NÚMERO DE REPETICIONES:						
		10				
OBSERVACIONES						
Al momento de realizar las pruebas con el exosqueleto, presento un poco de rugosidad en el movimiento la parte donde encaja el dedo pulgar.						
REALIZADO POR:	SANTIAGO TIGASI					
SUPERVIZADO POR:	ING. WILLIAN VENEGAS					

5.4 Anexo Fotos Pruebas con el exoesqueleto.

