

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO EXO-ESQUELETO PARA REHABILITACIÓN DE LA MANO

MANUFACTURA DE IMPRESIÓN 3D DEL EXO-ESQUELETO DE LA MANO Y VALORACIÓN FUNCIONAL EN LA CAPACIDAD DE FUERZA DE AGARRE

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

JEFFERSON ESTALIN QUILLUPANGUI COLLAGUAZO

jefferson.quillupangui@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO

william.venegas@epn.edu.ec

Quito, febrero 2023

CERTIFICACIONES

Yo, JEFFERSON ESTALIN QUILLUPANGUI COLLAGUAZO 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.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jefferson Estalin Quillupangui', written over a horizontal line.

QUILLUPANGUI COLLAGUAZO JEFFERSON ESTALIN

ESTUDIANTE

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JEFFERSON ESTALIN QUILLUPANGUI COLLAGUAZO, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'William Ricardo Venegas Toro', written over a horizontal line.

WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) productos(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.



JEFFERSON ESLAIN QUILLUPANGUI COLLAGUAZO

ESTUDIANTE



WILLIAN RICARDO VENEGAS TORO PhD

DIRECTO

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	1
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	2
ÍNDICE DE CONTENIDO	3
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3. ALCANCE	2
1.4. MARCO TEÓRICO.....	3
1.4.1. Introducción a la manufactura aditiva (Impresión 3D).	3
1.4.1.1. Métodos de impresión 3D	4
1.4.1.1.1.Estereolitografía (SLA)	4
1.4.1.1.2.Sinterización Selectiva por Láser (SLS).....	5
1.4.1.1.3 Inyección	6
1.4.1.1.4.Impresión por deposición de material fundido (FDM).....	6
1.4.1.1.4.1.Principio de funcionamiento.....	7
1.4.1.1.4.2.Tipos de filamentos	8
1.4.1.2. Patrones de impresión	10
1.4.1.2.1.Relleno de líneas	11
1.4.1.2.2.Relleno tipo panal (hexagonal).....	11
1.4.1.2.3.Relleno de cuadrícula	11
1.4.1.2.4.Relleno de tres hexágonos.....	11
1.4.1.2.5.Relleno cúbico.....	11
1.4.1.3. Soportes en impresiones 3D.....	12
1.1.1. Rehabilitación de movimiento de mano previo a la intervención por cirugía o traumatología.....	12
1.1.2. Rehabilitación en capacidad de agarre y fuerza.....	13
1.1.3. Técnicas de valoración Biomecánica.....	14
1.1.3.1. Fotogrametría.....	15
1.1.3.2. Bioseñales EMG.....	15
1.1.3.3. Dinamómetro.....	16

1.1.4. Aplicaciones en ergonomía, deporte (enfocado a factores de riesgo musculo esqueletos).....	17
2 METODOLOGÍA	18
2.1. PARTES DEL PROTOTIPO (EXO-ESQUELETO)	20
2.2. PARÁMETROS DE IMPRESIÓN 3D	21
2.3.1. Selección de material	22
2.3. AJUSTES DE IMPRESIÓN	22
2.4. ENSAMBLE DEL EXOESQUELETO	27
2.5. LEVANTAMIENTO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS	28
2.5.1. Determinar la ubicación y movimiento que activan a los músculos superficiales del antebrazo en el agarre.	28
2.5.2. Posicionamiento de los sensores EMG	31
2.5.3. Posicionamiento de relajamiento para la iniciación del experimento.....	31
2.5.4. Calibración.....	32
2.5.5. Movimiento de agarre funcional.....	33
2.5.5.1. Agarre de oposición terminal.	33
2.5.5.2. Agarre de oposición subterminal.....	33
2.5.5.3. Agarre de oposición subterminolateral.....	34
2.5.5.4. Agarre de oposición digitopalmar.....	34
2.5.5.5. Agarre palmar con toda la mano.....	35
2.5.5.6. Agarre con el puño.	36
2.5.5.7. Agarre interdigital laterolateral	36
2.5.5.8. Agarre especial con tijera.	36
2.5.5.9. Agarre especial con desarmador.	37
2.6. PROCESAMIENTO DE RESULTADOS	38
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
3.1. RESULTADOS	40
3.2. CONCLUSIONES	54
3.3. RECOMENDACIONES	55
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
5 ANEXOS.....	58
ANEXO I. EXOESQUELETO MANO	58
ANEXO II. CONJUNTO RADIO/CUBITO.....	59
ANEXO III. SISTEMA FALANGE PROXIMAL Y MEDIAL.....	60
ANEXO IV. SOPORTE RADIO/CUBITO	61

ANEXO V. DORSO DE LA MANO.....	62
ANEXO VI. ESLABÓN SIMPLE/ARCO CONECTOR	63
ANEXO VII. JUNTA ESTÁTICA PUESTA AL DORSO DE LA MANO.....	64
ANEXO VIII. ESLABÓN SIMPLE.	65
ANEXO IX. PASADOR DORSO DE LA MANO.	66
ANEXO X. CUBO, JUNTA UNIVERSAL.	67
ANEXO XI. ESLABÓN SIMPLE FALANGE PROXIMAL.....	68
ANEXO XII. ESLABÓN SIMPLE FALANGE MEDIAL.	69
ANEXO XIII. ANILLO FALANGE DISTAL MENIQUE.	70
ANEXO XIV. PASADOR DORSO FALANGE PROXIMAL.	71
ANEXO XV. ANILLO FALANGE DISTA PULGAR	72
ANEXO XVI. ANILLO FALANGE DISTAL ANULAR DEL MEDIO ÍNDICE.....	73
ANEXO XVII. PROTOCOLO DE PRUEBA.....	74
ANEXO XVIII. RESULTADOS CÍCLICOS.....	76
ANEXO XIX. RESULTADOS ESTÁTICOS.....	77
ANEXO XX. TABLA DE RESULTADOS P10, P50, P90 Y RANGOS DE LOS SUJETOS SOMETIDO AL PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	78

RESUMEN

En la actualidad, el proceso de manufactura aditiva es uno de los métodos utilizados para la elaboración de componentes complejos en menor tiempo posible. El presente trabajo de titulación tiene como punto primordial, la valoración funcional de agarre de un prototipo de exo-esqueleto construido mediante manufactura aditiva.

La construcción del prototipo se basa en los planos realizado en el proyecto de titulación del compañero Josué Ariel Garzón. Se rediseño los planos para construir un prototipo personalizado, cambiando medidas y en otros casos diseñar nuevas piezas completamente diferentes. El proceso de impresión del objeto tiene que ir de forma consecutiva, teniendo como en primer instante el diseño del objeto en SolidWorks. Segundo definir los parámetros de impresión en Cura Ultimaker donde se establece el espesor, relleno, soporte, velocidad, tipo de adherencia, etc. Tercero se decodifica los parámetros y se procede a imprimir.

Para el levantamiento del protocolo se establece parámetros de movilidad, para ello se hizo una investigación de los músculos del antebrazo y el movimiento que se debe de realizar para que dichos músculos se activen, esta activación de los músculos se los puede registrar mediante bioseñales mediante sensores EMG. Las personas de prueba están sujeto a una serie de actividades para la obtención de datos. Los resultados se procesan en MATLAB para tener obtener gráficas y una mayor comprensión para identificar la funcionalidad del exo esqueleto.

PALABRAS CLAVE: Manufactura aditiva, SolidWorks, Cura Ultimaker, Exo-esqueleto, sensores EMG, MATLAB.

ABSTRACT

Currently, additive manufacturing process is one of the methods used to make complex components in the shortest possible time. The main point of this degree work is the functional evaluation of the grip of an exoskeleton prototype built by additive manufacturing.

Construction of the prototype is based on the plans made in the degree project of fellow Josué Ariel Garzón. The plans were redrawing to build a custom prototype, changing measurements and in other cases designing completely different new parts. The printing process of the object must go consecutively, starting with the design of the object in SolidWorks. Second, define the printing parameters in Cura Ultimaker where the thickness, filling, support, speed, type of adhesion, etc. are established. Third, the parameters are decoded, and we proceed to print.

For the lifting of the protocol, mobility parameters are established, for this an investigation of the forearm muscles is carried out and the movement that must be carried out for these muscles to activate, this activation of the muscles can be registered by means of bio signals using sensors EMG. Test persons are subject to several data collection activities. These results are processed in MATLAB to have a better understanding and identify the functionality of the exoskeleton.

KEYWORDS: Additive manufacturing, SolidWorks, Cura Ultimaker, Exo-skeleton, EMG sensors, MATLAB.

1 INTRODUCCIÓN

El trabajo de titulación es la elaboración de un exoesqueleto mediante manufactura aditiva para determinar la valoración funcional del agarre de dicho exoesqueleto, esto se lo realizará mediante registros de bioseñales con sensores pasivo EMG delsys, para ello se presentará un estudio del proceso de manufactura aditiva (impresión 3D) y la implementación de un protocolo de prueba para determinar la funcionalidad del exo-esqueleto.

Este procedimiento de investigación y construcción nos servirá para determinar patrones evolutivos de funcionalidad del exo-esqueleto para la rehabilitación e identificar características de movimiento del antebrazo para la rehabilitación.

Esto permitirá tomar decisiones sobre el seguimiento, tratamiento y valoración funcional de los pacientes. Además, que ayudaran en la planificación de tratamientos de rehabilitación y aportar información para la toma de decisiones en tratamiento del paciente.

El desarrollo del proyecto se enfoca en dos etapas. La primera etapa se enfoca en la manufactura aditiva (impresión 3D) del prototipo, en donde se establecerá criterios y recomendaciones de procesado de los elementos del exo-esqueleto, estableciendo una metodología del proceso de manufactura aditiva (impresión 3D). La segunda etapa se enfoca en la valoración funcional del prototipo exo-esqueleto mediante el registro de bioseñal (dinamómetro y EMG) de agarre de la mano.

Esta propuesta de proyecto de titulación es parte del proyecto de investigación PIS-20-04, aprobado en la convocatoria EPN-2020, razón que complementa la justificación de realizar este trabajo.

1.1. Objetivo general

Desarrollar una metodología a la manufactura de impresión 3D del exo-esqueleto de la mano y valoración funcional de la fuerza de agarre.

1.2. Objetivos específicos

- Levantar un estudio del estado del arte en manufactura aditiva de impresión 3D en aplicaciones de rehabilitación de la mano
- Analizar las características de materiales (filamentos) que existen en el mercado y permiten la utilización de la tecnología FDM
- Fabricar y ensamblar el exo-esqueleto de la mano con la utilización de una impresora 3D con sus respectivas especificaciones, planos de ensamble e instructivos.
- Levantar el protocolo experimental: Análisis de fuerza de empañamiento en voluntarios sanos, con el exoesqueleto para determinar patrones de funcionalidad dinámico de bioseñal EMG

1.3. Alcance

El estudio de una nueva técnica de valoración ergonómica se enfoca en el análisis de variables funcionales cinemáticas y dinámicas, que evalúa la postura y fuerza en factores de riesgo musculoesquelética de fuerza activa y fuerza externa.

a) Fase de revisión del estado del arte

Revisión bibliográfica de señales bio-fisiológicas y movimientos para la valoración de desórdenes musculo esqueléticos en riesgos laborales, deporte, rehabilitación, etc.

b) Fase de Manufactura 3D

Fabricación del prototipo exo-esqueleto, metodologías y procedimientos.

c) Fase experimental

Desarrollo del protocolo de pruebas y definición del movimiento del gesto en pruebas piloto de señales de electromiografía y fuerza en la actividad muscular del antebrazo y agarre de la mano.

d) Análisis de resultados y conclusiones

Procesamiento de datos y normalización del comportamiento característico de la movilidad y capacidad de fuerza del miembro superior.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Introducción a la manufactura aditiva (Impresión 3D).

En el campo industrial la manufactura aditiva es una de las tecnologías que se han ido revolucionando recientemente, a pesar de que la primera impresora 3D fue creada en 1984, esto fue realizado por la empresa 3D Systems Corporation, la cual se encuentra ubicada en Estados Unidos. En la actualidad esta tecnología se encuentra en varios sectores de la industria como en la aeroespacial, civil, electrónica, dental, automotriz, y en el campo de la medicina.

La manufactura aditiva o también conocida como impresión 3D es un método de producción, el cual conlleva la implementación digitalizada de un objeto para ser impreso, es decir, es una tecnología que imprime objetos tridimensionales previamente modelados en programas CAD, la impresión se la realiza añadiendo material capa por capa hasta obtener el objeto deseado.

La manufactura aditiva se rige por 3 características fundamentales las cuales son series cortas, geometrías complejas, y personalización. Para que su aplicación sea viable y tenga ventajas a comparación con otros métodos (torneados, fresado, función, etc.) se debe de cumplir al menos una de estas 3 características para tener en cuenta a la manufactura aditiva como un método de fabricación. [1]

- **Geometrías complejas:** Imprimir piezas complejas en 3D es un método más factible que los métodos tradicionales, en este caso imprimirlo en 3D será lo más recomendable ya que no aumentará el costo de construcción y se garantizará un ahorro de tiempo en la construcción. [1]

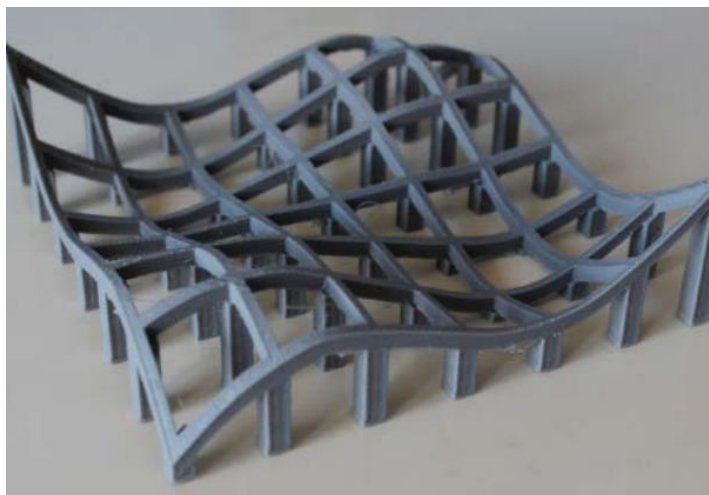


Figura 1. Geometría compleja. [2]

- **Series cortas:** Esta característica es un método que facilita la construcción de piezas en series respecto a métodos tradicional los cuales se requería moldes para su fabricación.
[1]



Figura 2. Ejemplo de serie corta

Personalización: Se personaliza cada pieza a imprimir, al contrario de métodos antiguos que todo era realizado por moldes y estandarizados.



Figura 3. Ejemplo de personalización

1.4.1.1. Métodos de impresión 3D

En el mercado internacional se encuentra una gran variedad de métodos para una impresión 3D como: Modelado por deposición fundida (FDM), Sinterizado selectivo por calor (SHS), etc., cada uno de los métodos tienen ventajas y desventajas en la construcción del objeto a imprimir, la elección del método depende de la función que se le va a dar al objeto, en este punto el método a elegir depende de la persona y de su función.

1.4.1.1.1. Estereolitografía (SLA)

Es una tecnología de manufactura aditiva la cual tiene una gran calidad, y es que este método ofrece un gran acabado superficial al objeto impreso, esto se logra gracias a su principio de funcionamiento.

Para este método se tiene una base la cual está compuesto por resina líquida fotosensible, la función de esta base es polimerizar cuando entra en contacto con un haz de luz UV la cual va solidificando a la resina capa por capa hasta terminar el objeto deseado. Una de sus principales desventajas es que la resina sobrante después de la impresión ya no se puede reutilizar.

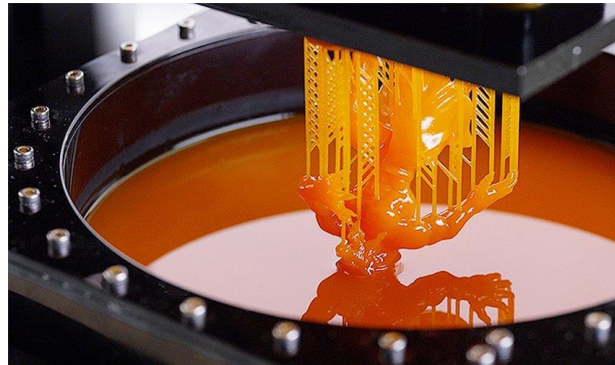


Figura 4. Impresión 3D por Estereolitografía

1.4.1.1.2. Sinterización Selectiva por Láser (SLS)

Este método de impresión se basa en un láser para imprimir objetos tridimensionales, la ventaja de este método ante su predecesor la Estereolitografía (SLA) es que nos da un gran campo respecto a los materiales en polvo, por ejemplo:

- Cerámica
- Cristal
- Nylon
- Poliestireno, etc.,

El principio de funcionamiento es sencillo, el láser impacta al polvo donde se funde para luego endurecerlo, esto se lo realiza capa por capa hasta que el objeto tome forma, Una de las ventajas de este método es que el material sobrante, después de la impresión es que le podemos reutilizar. Tomando en cuenta estos dos métodos de manufactura aditiva (Estereolitografía (SLA), Sinterización selectiva por láser (SLS)) se obtiene una impresión tridimensional mucha precisión y a una velocidad de impresión rápida.

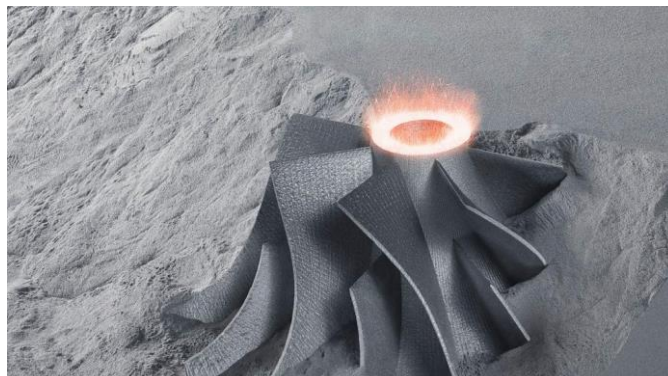


Figura 5. Impresión 3D por Sinterización Selectiva por Láser

1.4.1.1.3. Inyección

Este método de manufactura es el más parecido que existe a una impresora convencional la cual inyecta gotas de tinta, en este caso se inyecta capas de ftopolímoro líquido el cual es curado en el mismo sitio en donde se hace la impresión.



Figura 6. Impresión 3D por inyección

1.4.1.1.4. Impresión por deposición de material fundido (FDM)

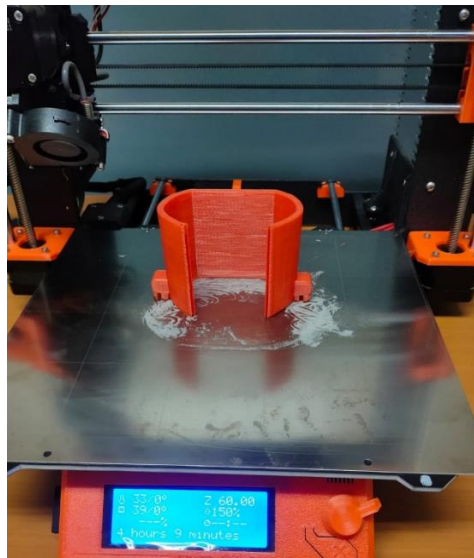


Figura 7. Impresión 3D por impresión por deposición de material [Fuente Propia]

Este método de producción de manufactura aditiva es la más utilizada en la mayoría de las industrias, en esta parte se describirá el procedimiento para la utilización del (FDM).

Primero se comienza con el diseño del objeto a ser impreso para ello se utiliza cualquier software CAD, en general los programas más utilizados son el Autodesk, FreeCAD o Inventor, después de tener el diseño en cualquier de estos programas se lo debe de transformar a un formato “.stl”, esta extensión nos ayudara a convertir el diseño en instrucciones específicas para que pueda ser impresa, esto se lo hace con la finalidad de que el diseño sea entendible al momento de imprimir. Slic3r o Cura son programas que son más utilizables para dar

especificación, como la temperatura que se debe de calentar el filamento o la base, la velocidad que deseamos que se imprima, etc., Finalmente cumpliendo los procedimientos anterior se puede obtener el archivo “.gcode”. Este código será procesado por la impresora.

A continuación, se mostrará un esquema del proceso mediante FDM.

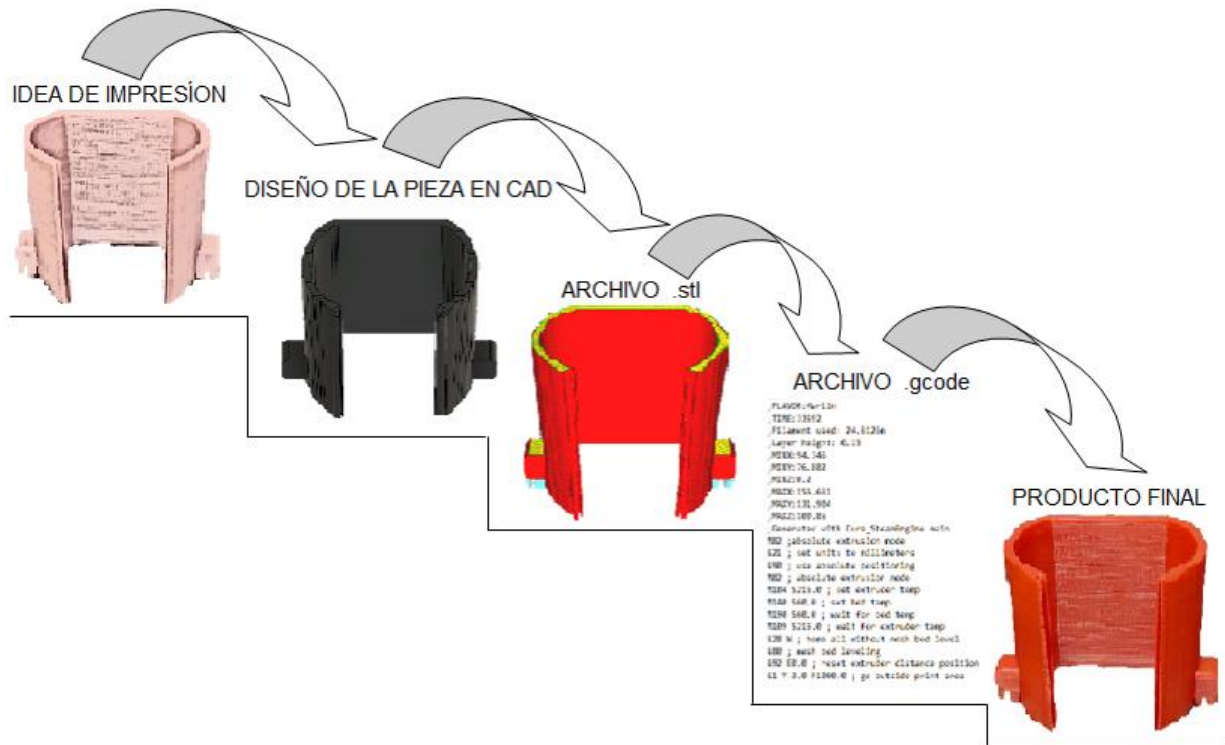


Figura 8.Esquema de proceso mediante FDM.

1.4.1.1.4.1. Principio de funcionamiento

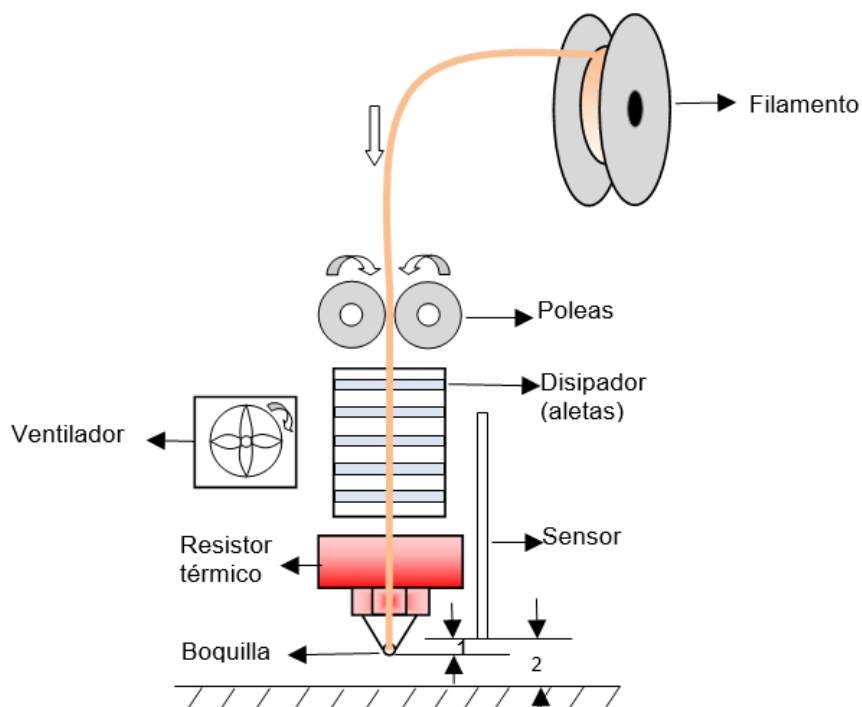


Figura 9. Principio de funcionamiento de una impresora 3D [Fuente propia]

Esta técnica consiste en poner el material capa por capa, para ello se utiliza un filamento polimérico el cual sigue circulando a través del extrusor gracias a un par de motores los cuales tiene una polea cada uno que ayuda al filamento seguir circulando, este extrusor se mueve en el plano X y Y para que la impresión salga uniforme en toda la base. Debido a que el filamento pasa por el extrusor el material tiende a calentarse antes de llegar al resistor térmico, esto puede ocasionar que el filamento se enrede en el mecanismo de la impresora, para evitar aquello la impresora viene con un ventilador y un disipador tipo aletas para que el filamento esté a una temperatura constante y no llegue a su punto de fundición.

La boquilla de la impresora se puede variar dependiendo del diámetro en la cual queremos que salga el filamento fundido, este diámetro se lo modifica de 0.2, 0.4 y a 0.6. La colocación del filamento en la impresora se lo debe de colocar al principio del filamento en forma en punta para que no exista extrusión al momento que los rodillos comienzan a rodar. Se tiene una distancia de separación del sensor a la punta de la boquilla y otra desde el sensor a la mesa. La función del sensor y su distancia es que el sensor da la orden de imprimir cuando la boquilla ya está encima de la mesa, sin este sensor tendríamos problemas al imprimir porque podría comenzar a imprimir en el aire, perdiendo tiempo y material.

1.4.1.1.4.2. Tipos de filamentos

A continuación, analizaremos las características de los tipos de material (filamento) que existe en el mercado ecuatoriano y que permitan la utilización de la tecnología FDM.

1.4.1.1.4.2.1. Nylon

La impresión con el nylon o también conocido como poliamida (PA) es un polímero denominado termoplásticos semicristalinos, es uno de los más recomendable debido a que tiene varias propiedades mecánicas a su favor como una gran resistencia química y térmica.

La temperatura de trabajo del procesado varía dependiendo de las propiedades que tenga el nylon pues este se divide en dos tipos, el primero que está compuesto con el 30% de fibra de vidrio y el segundo que este compuesto con el 15% de fibra de carbono. Una de sus principales características es que tiene una resistencia a la tracción de 102 MPa con una temperatura de restablecimiento de 124°C



Figura 10. Filamento tipo nylon

1.4.1.1.4.2.2. Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS)

La implementación de este filamento a la impresora es más compleja respecto al PLA porque requiere un control de temperatura en el área de impresión (cámara), y la mesa debe de estar a una temperatura de 90 °C conjuntamente la extrusión del material debe de estar a 240°C, una característica importante de imprimir con este filamento es que ofrece mayor resistencia mecánica con una temperatura de reblandecimiento de 103°C, otra característica importante es que después de haber impreso en este material se puede maquinar por ejemplo: Taladrar, cilindrar, etc.,

1.4.1.1.4.2.3. Ácido poliláctico (PLA)

En la impresión con el PLA, da un punto importante el cual es que es muy amigable con el medio ambiente porque no tiene un recurso limitado como el petróleo. Con el PLA se tiene una buena combinación entre la velocidad de impresión y detalles del objeto a imprimir bien definidos. El almacenamiento de este tipo de filamento tiene un almacenamiento especial, estos filamentos debe de almacenarse entre 15 y 25 grados. La característica al imprimir con este material es que se tiene piezas con buena resistencia y flexibles. Su campo de aplicación lo lleva más en la industria alimenticia y automovilísticas.

1.4.1.1.4.2.4. Poliéster de Glicol (PETG)

La impresión con PETG tiene la propiedad que produce piezas menos quebradizo una de sus características de tiene una alta durabilidad y los costos son bajos, la temperatura de impresión de alrededor de 210 – 250 grados centígrados, teniendo en cuenta su alta durabilidad este tipo de filamentos se lo utiliza para realizar herramientas medicas o para contenedores de alimento, en sus propiedades mecánica tenemos que es resistente a altas tenciones es resistente a

temperaturas altas e impactos fuertes. Para imprimir este tipo de filamento tenemos que utilizar un ventilador como refrigeración para que las retracciones del material sean normales.

1.4.1.1.4.2.5. Poliuretano termoplástico (TPU)

Este material es un termoplástico que tiene una gran flexibilidad y una resistencia a la abrasión, puede soportar grandes impactos, tiene una gran resistencia a químicos. Su aplicación es amplia este filamento se lo utiliza tanto en la industria alimentaria como en la industria metálica. Este tipo de filamento se clasifican en Poliéter Poliuretano y Poliéster Poliuretano teniendo cada una sus respectivas características y especificaciones, La temperatura de impresión es de 220 – 250 grados centígrados.

Tabla 1. Propiedades y características importantes de los distintos filamentos

Filamento	Tº impresión	Pros	Contras	Aplicaciones
Nylon	280 °C	Resistente a la tracción, Resistencia química y térmica	Necesita alta temperatura	Engranajes, Modelos funcionales, Herramientas industriales
ABS	240 -250 °C	Resistente	Necesita alta temperatura y cama caliente, toxico	Micro dispositivos Biomedicina
PLA	220 °C	Biodegradable, no toxico, bajo costo	No muy resistente	ingeniería tisular biosensores
PETG	210 - 250 °C	Flexible, resistente a temperatura e impactos, Alta tensión mecánica	Su superficie es muy brillante lo que causa que se raye	Sector de alimentos y bebidas Sector de la medicina
TPU	220-250°C	Resistente a la abrasión, flexible, elásticos	-----	Calzado deportivo, Aeroespacial

1.4.1.2. Patrones de impresión

Los patrones de impresión se dan de forma interna, estos patrones se lo determinan dependiendo de que uso se va a ser sometido la pieza 3D. Dependiendo del patrón que se elija se determinara la cantidad del material que se va a ocupar, el tiempo de demora de la impresora, la densidad de la pieza aumentara, etc. por consecuente el costo de impresión también se verá afectado entiendo a subir este precio

1.4.1.2.1. Relleno de líneas

Este tipo de relleno es el más ocupado en la mayoría de las impresiones 3D la ventaja de este relleno que su tiempo de impresión es rápido, en el interior de la pieza este relleno se verá como líneas rectas. Este tipo de relleno se recomienda en utilizarla en modelos ligeros y que sean pequeños.

1.4.1.2.2. Relleno tipo panal (hexagonal)

La estructura interior se forma como un panal de abejas de allí el nombre, este tipo de relleno ofrece una resistencia alta a la pieza. con esta estructura se utilizará menos filamentos que lo es idóneo para imprimirlo porque no incrementará el costo, su utilización se da para soportes gracias a su estructura y resistencia por que servirá un soporte idóneo

1.4.1.2.3. Relleno de cuadrícula

La cualidad de este relleno es que se forma perpendicularmente entre dos líneas cruzadas cuadradas aportando una suavidad en el diseño y aporta fuerza a la estructura interna. Los ángulos que forma son de 90°, a comparación con el relleno en línea este relleno ofrece mayor resistencia y tiene una mejor adherencia a la capa. Este relleno cuadrículado presenta una gran desventaja la cual es que ofrece menor resistencia diagonal, y como la geometría de la estructura interna es cruzado la boquilla se podría obstruir. Su utilización más se enfoca para modelos de exhibición ya que presenta una superficie con mejor acabado.

1.4.1.2.4. Relleno de tres hexágonos

Este tipo de relleno ofrece una resistencia mucho mejor a las anteriores y tiene una densidad muy alta debido a su geometría, este tipo de geometría ofrece una mejor resistencia a cualquier lado donde se aplique fuerza. El patrón de relleno es trihexagonal el cual es la combinación de un hexágono y un triángulo, por su geometría muy compleja la impresión lleva demasiado tiempo, y en media impresión la impresora se puede quedar sin filamento.

1.4.1.2.5. Relleno cúbico

Tiene un relleno cubico el cual da la característica que tenga fuerza a todos los lados, debido a si diseño entre el material se forma varios espacios de aire el cual función como aislante térmico, en este relleno no existe problemas en la boquilla al momento de imprimir, es bastante utilizados para imprimir piezas de tamaño mediano.

1.4.1.3. Soportes en impresiones 3D

Los soportes sirven como estructura o base para que la impresión siga su imprimiendo, ya que la impresión no puede imprimir en el aire, a continuación, se verá una representación de como se ve una estructura con soporte y sin soporte.

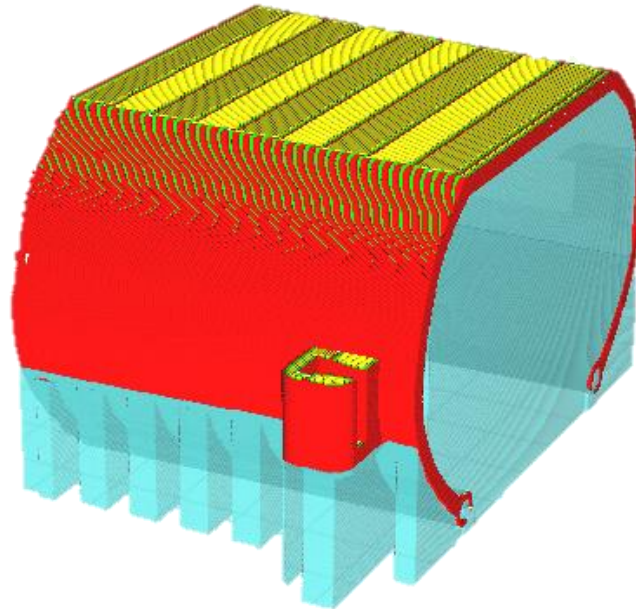


Figura 11. Soporte de impresión [Fuente propia]

Como se observa en la imagen, la estructura tiene detalles que están en el aire por ende la impresión saldría defectuosa si no se establece un soporte a esta impresión. El diseño de los soportes lo que se puede realizar en cualquier programa CAD, pero en la actualidad los soportes ya vienen determinados por el programa.

Entonces los soportes se utilizan cuando se tiene una estructura en el aire o cuando tiene un ángulo de inclinación de 45 grados esto también depende del material con el que se va a imprimir pues para algunos materiales cuando tienen un ángulo de 50 a 60 grados no necesariamente se necesita material de apoyo. Una característica de este material de apoyo es que se disuelve en el agua, pero que pasaría si no ponemos soportes pues como primero y en los mejores casos la pieza saldría mal impreso y tendría defectos como hilos saliendo de la pieza a este defecto se lo conoce como voladizos.

1.1.1. Rehabilitación de movimiento de mano previo a la intervención por cirugía o traumatología.

La rehabilitación previa a la intervención por cirugía o traumatología permite que la persona que va a ser sometido a una cirugía este en mejor condición es decir que tenga buena movilidad, circulación y por último elasticidad.

El enfoque se dará a la rehabilitación del movimiento de la mano, teniendo que la mejor opción es la utilización de órtesis hasta el día de la cirugía. Estos ejercicios deben de realizarse diariamente y que estén relacionados con aparatos ortopédicos. El proceso de rehabilitación previo a la intervención por cirugía depende del caso por el cual se va a operar.

- **Férula palmar:** El principal ejercicio que se hace es tener los dedos y puño en extensión esto sirve para que la musculosa flexores se elongue.
- **Yeso circular digital:** Su función es que los tejidos periarticulares se eluenguen para que la Inter falange proximal se posiciones en la extensión.
- **Yeso circular para el primer espacio Inter metacarpiano:** Los tejidos blandos se deben de elongar para que el pulgar se posicione en la abducción palmar.

Como las ortesis estáticas son hechas de yeso podemos cambiarla diariamente o cada tiempo corto.

1.1.2. Rehabilitación en capacidad de agarre y fuerza.

La capacidad de agarre y fuerza entendemos por la habilidad que tiene la mano para sujetar cualquier objeto y suspenderlo, en el enfoque de la rehabilitación se debe de estimular sus habilidades motrices que le ayuden a mejorar su capacidad de agarre y fuerza. [3]

Algunas enfermedades que requieren rehabilitación son: la tendinitis, lesiones en el hombro o codo y lesiones nerviosas El objetivo de la rehabilitación es mejorar la función y movilidad de las manos, reducir dolor, inflamación y prevenir enfermedades. Algunos ejercicios para fortalecer este los músculos y mejorar su coordinación son:

- **Ejercicios de pinza:** Este tipo de ejercicio se utiliza pelotas de tenis o de juguete para fortalecer la capacidad de agarre.
- **Ejercicios de estiramiento:** Realización de estiramientos leves de las manos y brazos para la menoración de la flexibilidad
- **Ejercicio de fortalecimiento:** Este tipo de ejercicio es para el fortalecimiento del musculo y para prevenir lesiones futuras.

Prensiones palmares se basa en la capacidad que los dedos y la palma de la mano para mover objetos pesados y muy voluminosos. El cual se divide en presión palmar

cilíndrica y prensión palmar esférica. [3]

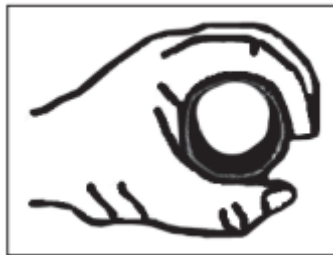


Figura 12. Prensión palmar cilíndrica [3]



Figura 13. Prensión Palmar esférica [3]

- Prensiones digitales: en este método se usa una pinza bidigital, su función es de tomar los objetos con precisión solo utilizando el pulgar y el índice de la mano. [3]

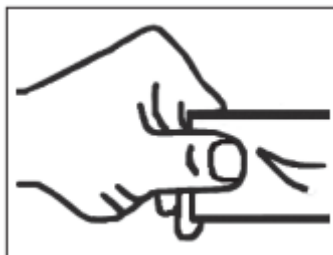


Figura 14. Prensión de pinza [3]

Algunas enfermedades que requieren rehabilitación son: la tendinitis, lesiones en el hombro o codo y lesiones nerviosas. El objetivo de la rehabilitación es mejorar la función y movilidad de las manos, reducir dolor, inflamación y prevenir enfermedades.

1.1.3. Técnicas de valoración Biomecánica.

Consiste en evaluar la movilidad y la realización de tareas que realiza el humano cotidianamente con la finalidad de identificar si existe un problema de movimiento o si se puede producir una lesión en el futuro. Existen varias valoraciones biomecánicas en las cuales tenemos:

- **Análisis cinemático:** Tiene como propósito captar el movimiento de la persona mediante cámaras de videos para el análisis del movimiento de la persona en tiempo real.

- **Análisis dinámico:** Tiene como propósito medir la fuerza de la persona y el movimiento juntamente con el análisis cinemático para visualizar el rendimiento de la persona.
- **Valoración:** Tiene como propósito la evaluación de la postura, alineación, reposo y movimiento de la persona, para identificar problemas de control motor y del equilibrio de la persona.
- **Pruebas de la marcha:** Tiene como propósito evaluar la forma de caminar, incluyendo la frecuencia, longitud, y simetría de los pasos de la persona, así como el equilibrio y la postura.
- **Pruebas de fuerza y movilidad:** Tiene como propósito evaluar la fuerza, resistencia y movilidad de los músculos y las articulaciones, mediante pruebas estáticas y cíclicas.

1.1.3.1. Fotogrametría.

Este tipo de valoración se enfoca en la obtención de variables cinemáticas las cuales se deben de cuantificarlas, mediante videos bidimensionales obtenemos las coordenadas espaciales del sujeto sometido a prueba, este tipo de valoración biomecánica se la utiliza en el campo deportiva debía a su libertad de toma de datos. Al conocer las coordenadas se calcula los parámetros como velocidad, aceleración y distancia y así saber cuánta carga soporta el sujeto sometido a prueba. El principio de funcionamiento se filma con varias cámaras al sujeto de prueba para que la digitalización se realice de forma individual esto se consigue ya que se hace un seguimiento a la línea imaginaria que se forma al unir los dos pies. [4]

El análisis se lo puede hacer en dos o en tres dimensiones esto dependerá del movimiento y de las variables a estudiar. Si en un plano se puede obtener el movimiento y variables que debemos de analizar se realiza un análisis bidimensional, lo cual lo podemos realizar con una sola cámara con un plano de referencia en dos dimensiones. [5]

1.1.3.2. Bioseñales EMG

Como es de saber, cada nervio o musculo que existe en nuestro organismo genera un campo eléctrico con lo cual sabemos el comportamiento de cada órgano a lo cual lo llamaremos bioseñales las cuales se clasifica en tres componentes donde nos enfocaremos en la electromiografía (EMG), estos bioseñales han ayudado en el campo de las prótesis y de los exoesqueletos [6]

Básicamente la electromiografía EMG recoge la información producida por el movimiento de las extremidades la cual lo interpreta en un campo eléctrico cuando el musculo se contrae, estas señales eléctricas son medibles cuando se contrae el musculo o cuando exista fatiga. Su campo de aplicación se a enfocado en:

- Rehabilitación física
- Identificación de patologías
- Control de sistemas mecatrónicas

Para la utilización de este método debemos de tener en cuenta algunos inconvenientes. Como las señales de electromiografías las cuales son controladas por el sistema nervioso y son dependiente de la anatomía y de las propiedades fisiológicas del musculo presentan diversos inconvenientes que afectan a la medición como:

- Artefactos en movimientos
- Interferencia de la línea
- Saturación del amplificador
- Interferencia fisiológica
- Ruido gaussiano blanco aditivo

1.1.3.3. Dinamómetro

El dinamómetro realizar una valoración de fuerza mediante fuerza de la mano máxima y de resistencia a la fatiga, utilizando diferentes posiciones como pinza distal, empuñamiento, pinza lateral. [7]

El protocolo de estas pruebas se divide en 3 partes

- **Valoración de la Fuerza:** el dinamómetro se coloca en la mano al sujeto de prueba, el sujeto de prueba debe de tomar al dinamómetro en 3 diferentes formas para su validación: pinza lateral y pinza distal, valoración de empuñamiento y de arriba abajo, y completar en esta prueba una contracción del movimiento para que este pueda ser evaluado, para tener una buena valoración el proceso se debe de repetir entre 3 a 6 veces y no debe de diferir más del 20% según AMA (American Medical Association), si en un caso el proceso de validación supera el 20% el sujeto de prueba será descartado. [7]

- **Valoración de la Fatiga:** En este campo se analiza que la fuerza aplicada sea isométrica, este proceso se lo debe de realizar en 60 segundos. [7]
- **Prueba de cambio rápido:** Se rige según protocolo en donde se hace una valoración de fuerza de empuñamiento, este procedimiento se lo repite entre 5 a 6 de manera sistemática y cambiando de mano en cada repetición [7]

1.1.4. Aplicaciones en ergonomía, deporte (enfocado a factores de riesgo musculo esqueléticos).

Desde la llegada de la manufactura aditiva, la ergonomía se a adaptado a este método para dar soluciones medicas a ciertos problemas, hoy en día se diseña sillas específicas para cada persona quien tenga problemas lumbares, se diseña plantilla de zapatos, zapatos, etc. [8]

Para un deportista el riesgo de lesiones musculoesqueléticas depende de varios factores como la vestimenta para la práctica deportiva, el aumento de la masa corporal, que tiempo dura el calentamiento, flexibilidad y su resistencia. Para prevenir las lesiones musculoesqueléticas se debe de regir en un calentamiento específico, como hacer ejercicio de salto, carrea y flexibilidad bajan el porcentaje de una lesión musculoesqueléticas. [8]

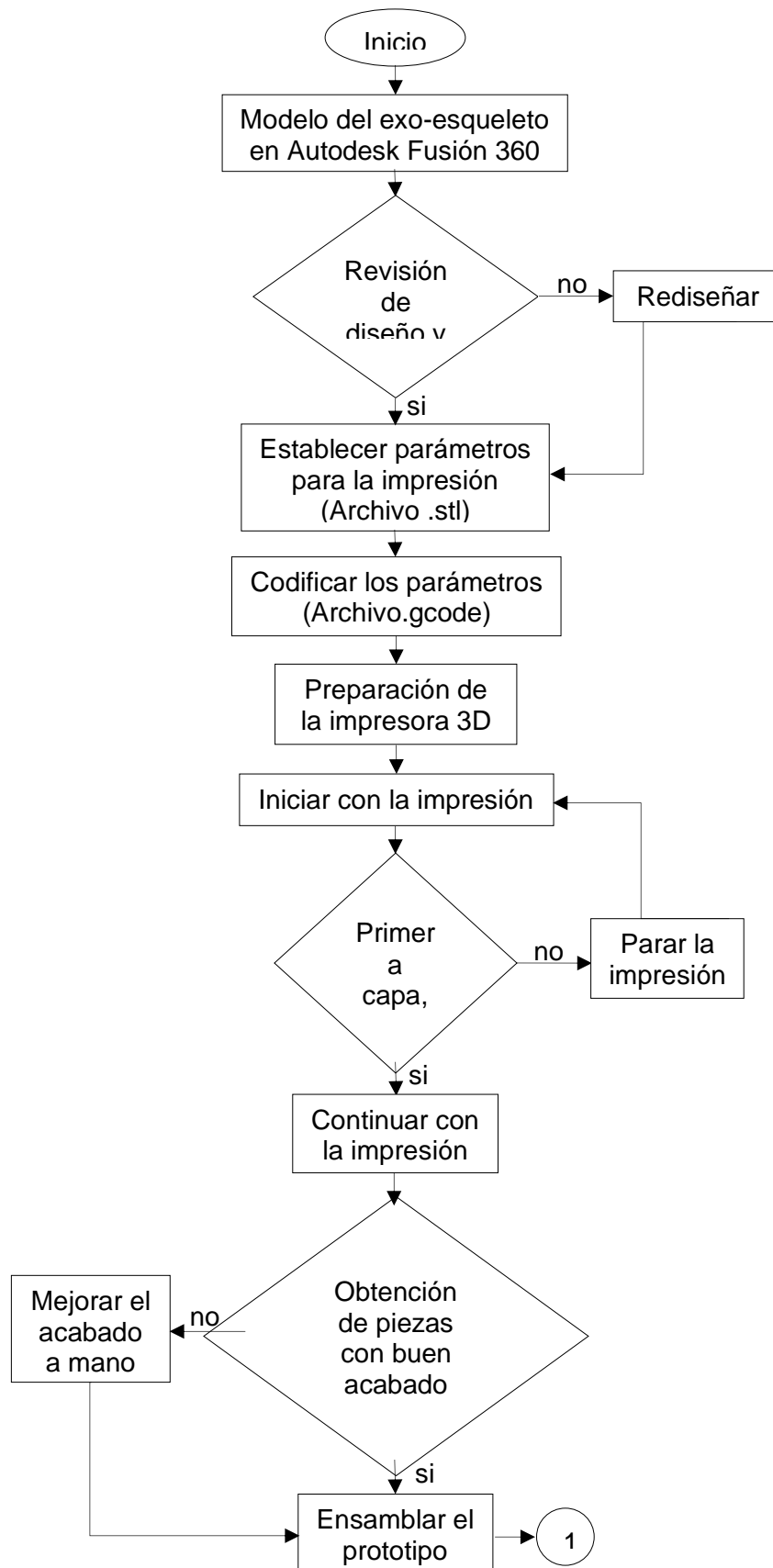
Para ello se necesita un equipamiento adecuado con un diseño ergonómico para que la actividad de calentamiento sea efectiva y así evitando lesiones.

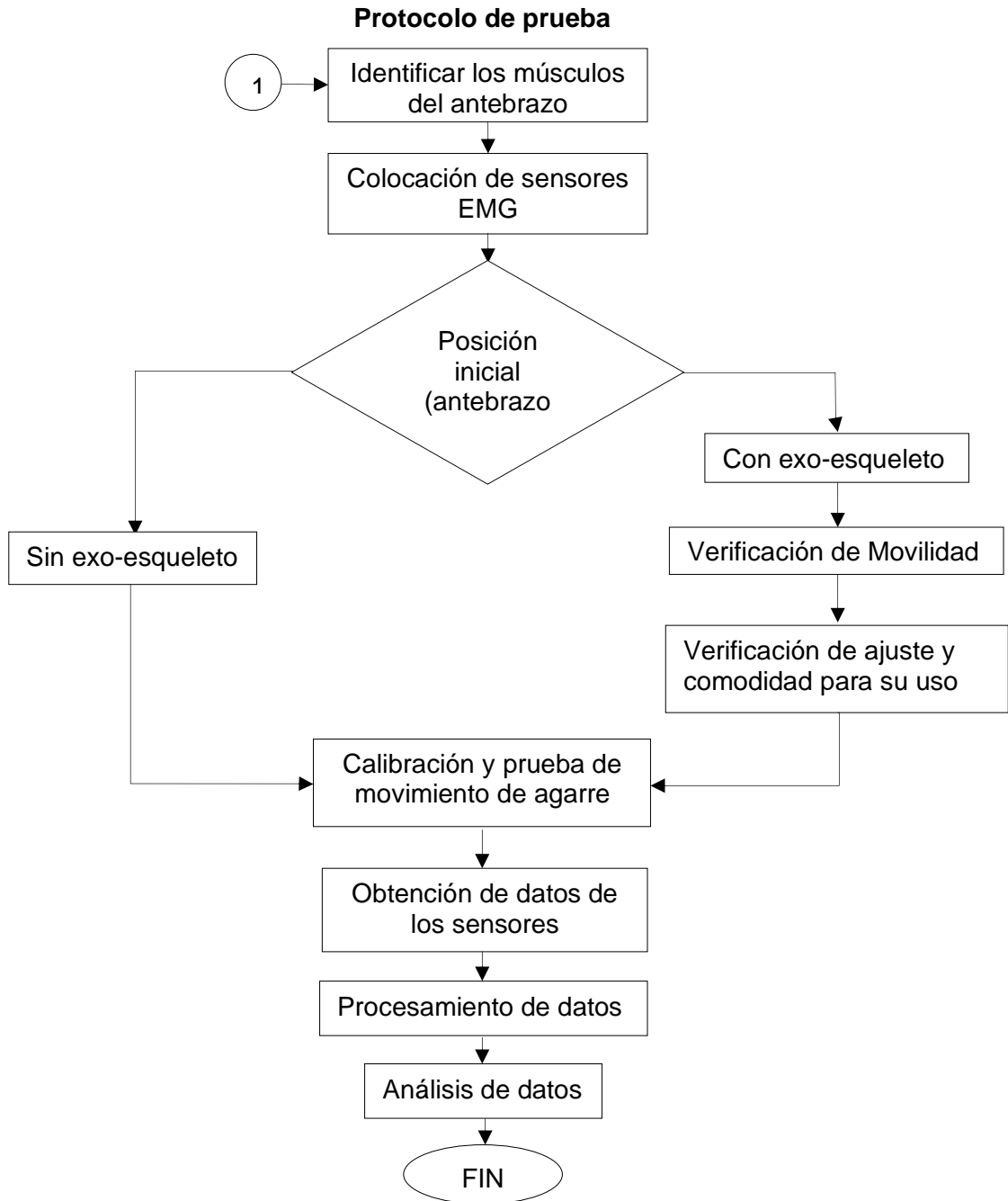
Gracias a la tecnología de la manufactura aditiva podemos solucionar este problema ya que contamos con más de 100 materiales que ofrecen unas amplias opciones de propiedades física, los materiales de Poly replican con perfección las propiedades elásticas que son muy parecidos al caucho termoplásticos son termoestables.

Al combinar estos materiales en una solo pieza como por ejemplo una zapatilla en una impresora 3D tendremos una prenda de diseño ergonómico y de mayor calidad.

2 METODOLOGÍA

Impresión exo-esqueleto





2.1. Partes del prototipo (exo-esqueleto)

El enfoque de la elaboración del exo-esqueleto mediante manufactura aditiva se lo realiza para la obtención de piezas más complejas en el menor tiempo posible y con un mejor acabado, para lo cual determinaremos la posición de la pieza a imprimir, cantidad de material a utilizar, el acabado de cada pieza a hacer impresadas, etc. La denominación se la realizara con un nombre y código a cada parte del exo-esqueleto.

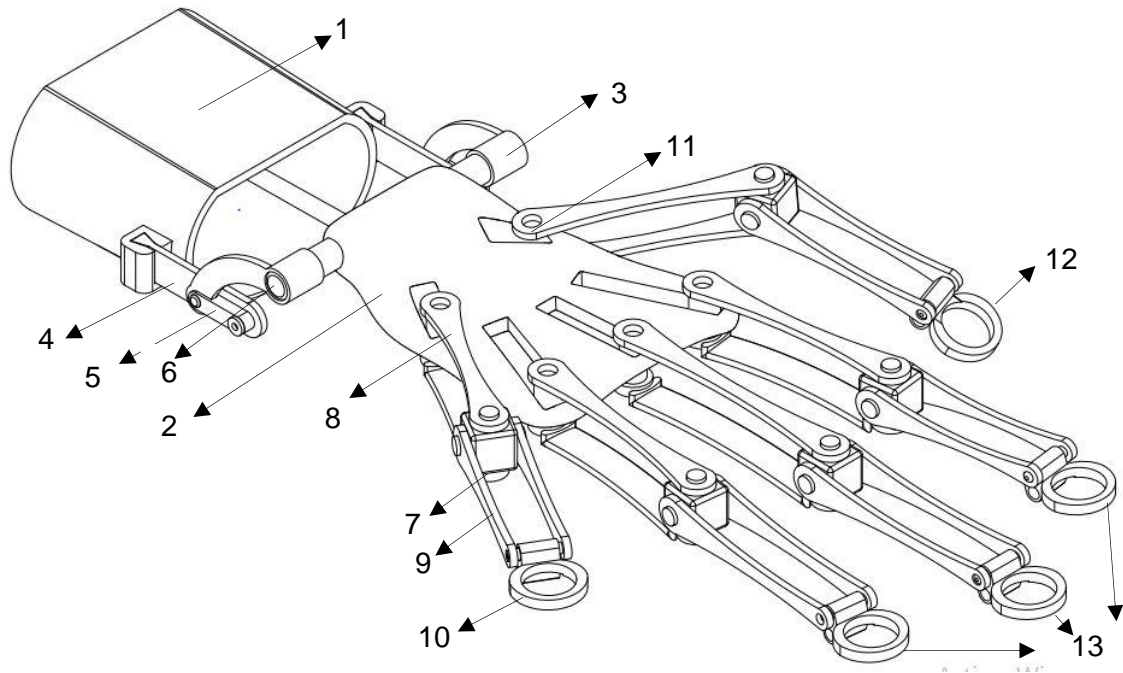


Tabla 2. Partes del exo-esqueleto de la mano

Partes del exo-esqueleto de la mano		
Numero	Nombre	Anexo
1	Soporte Cúbito/Radio	IV
2	Dorso de la mano	V
3	Eslabón simple/Arco conector	VI
4	Junta estática puesta al dorso de la mano	VII
5	Eslabón simple	VIII
6	Pasador dorso de la mano	IX
7	Cubo, junta universidad	X
8	Eslabón simple Falange Proximal	XI
9	Eslabón simple Falange Medial	XII
10	Anillo Falange Distal Menique	XII
11	Pasador entre dorso de la mano y Eslabón simple Falange Proximal	XIV
12	Anillo Falange Distal Pulgar	XV
13	Anillo Falange Distal Anular, del Medio, Índice	XVI

La construcción del prototipo se tiene en cuenta el coste, el tiempo y la calidad de cada piza. Estos ítems son determinados por las dimensiones, complejidad, material en el cual se va a construir y el acabado superficial.

Como nos sugiere el libro de diseño concurrente del profesor Carles Riba estableceremos varios aspectos a considerar como:

- El tipo de proceso de fabricación necesario
- Las máquinas, los útiles y los instrumentos de medida utilizados
- Los requerimientos de manipulación, transporte interior y almacenamiento
- La elección entre fabricación propia y subcontratación
- La posibilidad de utilizar productos semielaborados
- Los procedimientos de control

2.2. Parámetros de impresión 3D

Se establece una guía de referencia para conocer los pros y los contras de la fabricación de cada parte del exo-esqueleto donde tendremos las denominaciones de la siguiente manera (D=diseño; U=utillaje; P=proceso; M=mecanizado posterior) mientras (C=coste; Q=calidad) con los efectos que tienen mayor repercusión.

Tabla 3. Guía de referencia para la obtención de piezas por manufactura aditiva

Recomendaciones	Etapas	Efecto
Fijación de pieza en la placa de impresión debe de ser lo más estable posible para la generación de la impresión.	D, P	C, Q
Evitar la generación de soportes en las piezas.	P	Q
Procurar colocar un relleno de 50 % para que la pieza no sea muy pesada, pero tenga buena resistencia.	D	C, Q
Procurar que la velocidad de avance de la impresión sea considerable para tener un buen acabado en el menor tiempo posible.	P	C, Q
Procurar poner un pegamento en la placa de impresión cuando la pieza sea de dimensiones relativamente pequeñas.	D, P	C
Preocupar de mantener la temperatura de la mesa y del filamento dependiendo del material con el cual se valla a imprimir.	U, P	C
Evitar ángulos de inclinación mayor a los 50° al momento de imprimir.	D, P	C, Q
Mejor acabado, altura de capa fina	U	C, Q

2.3.1. Selección de material

La elección de materiales se ha hecho una investigación previa donde establecimos los pros y los contras de cada filamento en donde se determinó que el filamento PLA es el más acorde a nuestras necesidades ya que se necesita un exo-esqueleto que tenga buena resistencia y liviano a la vez. A continuación, se realizará un cuadro de las propiedades del filamento PLA

Tabla 4. Propiedades del PLA

Filamento	PLA
Módulo de Young	3.83 Gpa
Resistencia a la fatiga a 10^7 ciclos	18 Mpa
Precio	21 dólares americanos
Punto de fusión	180 °C
Densidad	1.25e3 kg/m ³

2.3. Ajustes de impresión

Se detalla la configuración de cada pieza, para ello se tomará en cuenta las dimensiones, el ángulo de inclinación de la pieza respecto a la mesa de impresión, etc.

Se coloca una adherencia tipo balsa a algunas piezas debido a sus dimensiones relativamente pequeñas. El posicionamiento de las piezas se las ajusta está dispuesta para que la mayor superficie posible tenga contacto con la placa de impresión.

Tabla 5. Ajuste de impresión y posicionamiento de la pieza

Perfil					
Fine	0.15	mm	-		
Calidad					
Altura de capa	0.15	mm	Altura de capa inicial	0.15	mm
Ancho de línea	0.4	mm	Ancho de línea de pared	0.4	mm
Ancho de línea de la pared exterior	0.4	mm	Ancho de líneas de paredes internas	0.4	mm
Ancho de líneas de soporte	0.4	mm	Ancho de línea de la capa inicial	100	%
Paredes					
Grosor de la pared	0.8	mm	Recuento de líneas de pared	2	
Superior o Inferior					
Grosor superior	0.8	mm	Capas superiores	6	
Grosor inferior	0.8	mm	Capas inferiores	6	
Capas inferiores iniciales	6		Patrón superior/inferior	Líneas	
Relleno					
Densidad de relleno	50	%	Patrón de relleno	Líneas	
Material					
Temperatura de impresión	215	°C	Temperatura de impresión de la capa inicial	215	°C
Temperatura de impresión	215	°C	Temperatura de impresión	215	°C

inicial.			final		
Temperatura de la placa de impresión	60	°C	Temperatura de la placa de impresión en la capa inicial	60	°C
Velocidad					
Velocidad de impresión	50	mm/s	Velocidad de capa inicial	25	mm/s
Soporte					
Colocación del soporte	En todos sitios		Ángulo de voladizo del soporte	50	°
Densidad del soporte	10	%	-		

POSICIONAMIENTO DE CADA PIEZA

Soporte cúbito/ radio

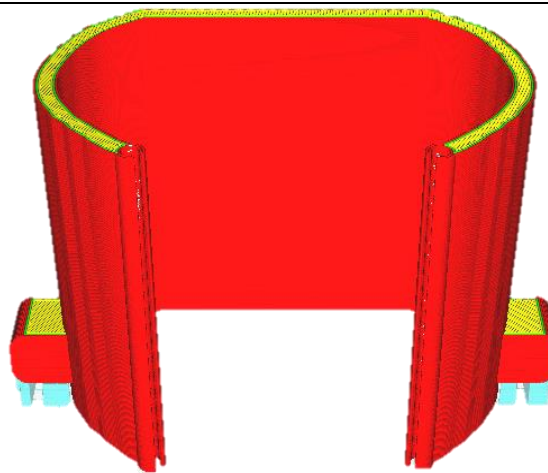


Figura 15. Soporte Cúbito/Radio [Fuente propia]

Tiempo aproximado de impresión

5 horas y 5 minutos

Numero de pieza a imprimir: 1

Dorso de la mano

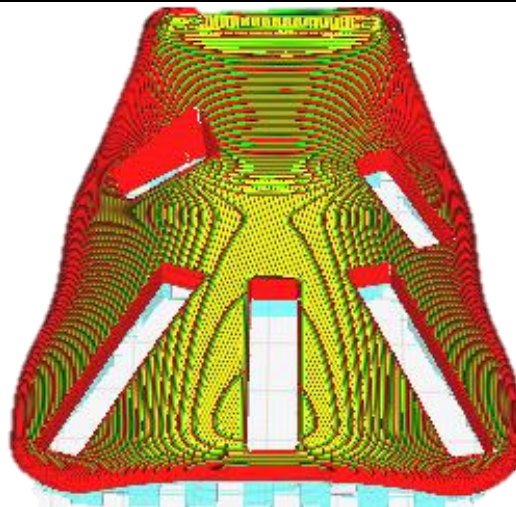


Figura 16. Dorso de la mano [Fuente propia]

Tiempo aproximado de impresión

3 horas y 32 minutos

Numero de pieza a imprimir: 1

Eslabón simple/Arco conector

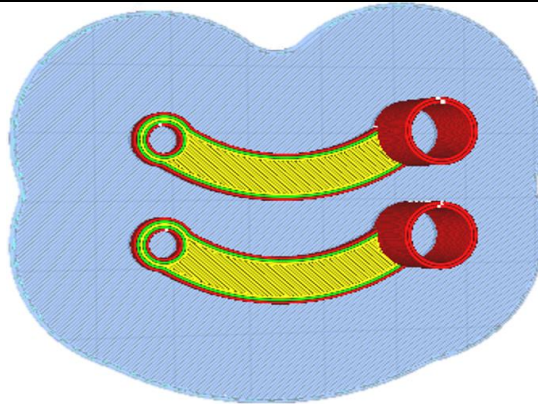


Figura 17. Eslabón simple / Arco conector [Fuente propia]

Tiempo aproximado de impresión

35 minutos

Numero de pieza a imprimir: 2

Adherencia a la placa de impresión: Balsa

Junta estática puesta al dorso de la mano

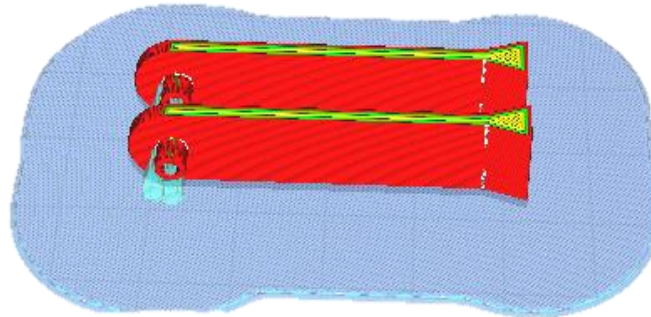


Figura 18. Junta estática puesta al dorso de la mano [Fuente propia]

Tiempo aproximado de impresión

36 minutos

Numero de pieza a imprimir: 2

Adherencia a la placa de impresión: Balsa

Eslabón simple

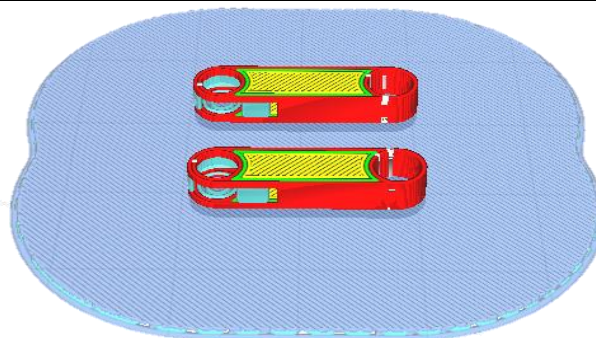


Figura 19. Eslabón simple [Fuente propia]

Tiempo aproximado de impresión

15 minutos

Numero de pieza a imprimir: 2

Adherencia a la placa de impresión: Balsa

Pasador dorso de la mano



Figura 20. Pasador dorso de la mano [Fuente propia]

Tiempo aproximado de impresión

29 minutos

Numero de pieza a imprimir: 2

Cubo, junta universal

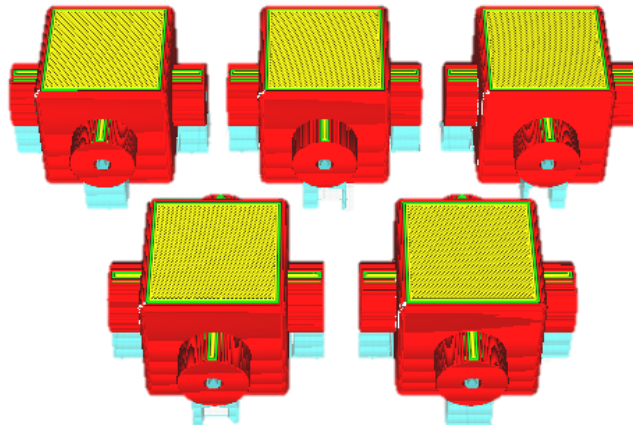


Figura 21. Cubo, junta universal [Fuente propia]

Nota: Posicionamiento del Cubo, junta universal para impresión en serie corta.

Tiempo aproximado de impresión

5 horas y 23 minutos

Numero de pieza a imprimir: 5

Eslabón simple Falange Proximal

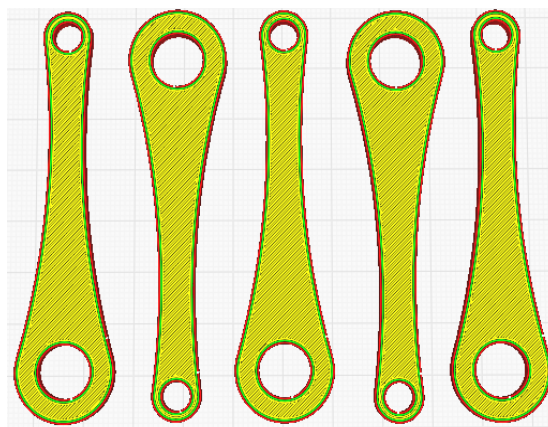


Figura 22. Eslabón simple Falange Proximal [Fuente propia]

Nota: Posicionamiento del Eslabón simple Falange Proximal para impresión en serie corta.

Tiempo aproximado de impresión

2 horas y 10 minutos

Numero de pieza a imprimir: 10

Eslabón simple Falange Medial

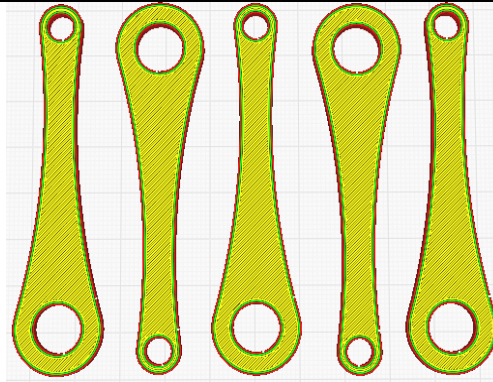


Figura 23. Eslabón simple Falange Medial [Fuente propia]

Nota: Posicionamiento del Eslabón simple Falange Medial para impresión en serie corta.

Tiempo aproximado de impresión

1 horas y 52 minutos

Numero de pieza a imprimir: 10

Anillo Falange Distal Menique

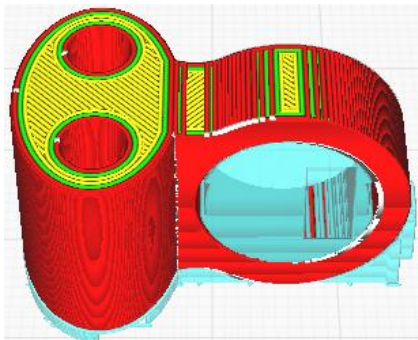


Figura 24. Anillo Falange Distal Menique [Fuente propia]

Tiempo aproximado de impresión

41 minutos

Numero de pieza a imprimir: 1

Pasador entre el dorso de la mano y el Eslabón simple Falange Proximal

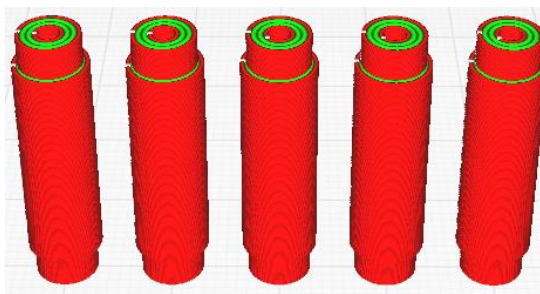


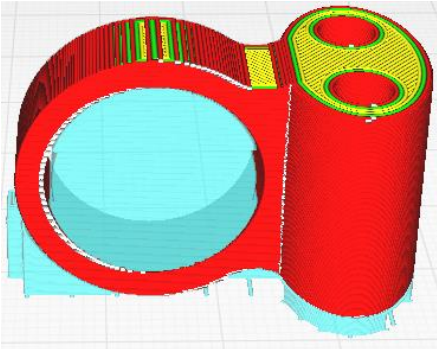
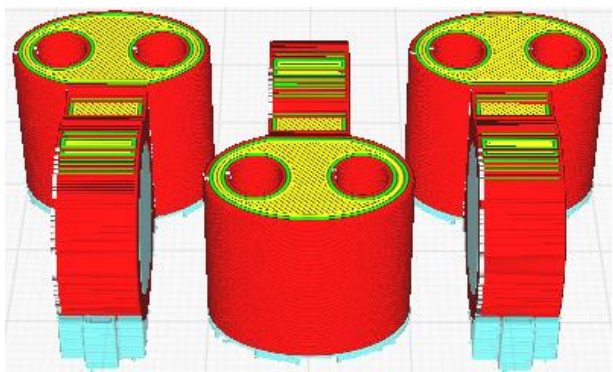
Figura 25. Pasador entre el dorso de la mano y el Eslabón simple Falange Proximal [Fuente propia]

Nota: Posicionamiento de piezas para impresión en serie corta.

Tiempo aproximado de impresión

44 minutos

Numero de pieza a imprimir: 5

Anillo Falange distal pulgar	
	
Figura 26. Anillo Falange dista pulgar [Fuente propia]	
Tiempo aproximado de impresión 54 minutos	Numero de pieza a imprimir: 1
Anillo Falange Distal Anular, del Medio y Índice.	
	
Figura 27. Anillo Falange Distal Anular, del Medio e Índice [Fuente propia]	
Nota: Posicionamiento del Anillo Falange Distal Anular, del Medio e Índice para impresión en serie corta.	
Tiempo aproximado de impresión 2 horas y 18 minutos	Numero de pieza a imprimir: 3

2.4. Ensamble del exoesqueleto

El ensamblaje del exoesqueleto se lo realiza mediante tornillos y eslabones realizados en la impresora 3D, estos eslabones son construidos con la finalidad de juntar las piezas de diferentes partes del exo-esqueleto. El ensamblado se encuentra en el **ANEXO I, II, III.**

- **Acabado superficial:** este aspecto influye en el ensamble del exoesqueleto, las piezas que tienen una mayor área de impresión con apoyo tienden a dejar grumos e irregularidades en la superficie después de retirar el apoyo, por ello se lo deje de lijar con abundante agua, por estética y comodidad.



Figura 28. Ensamble del exo-esqueleto [Fuente propia]

2.5. Levantamiento del protocolo de pruebas

Los músculos del antebrazo están divididos en 3 grupos: anterior, lateral y posterior los cuales son los encargados de dar movimiento de agarre de la mano. El grupo anterior son los flexores los encargados de la flexión. El grupo lateral y el grupo posterior son los extensores el encargado de la tensión de la mano.

Se localiza los músculos asociados al movimiento de agarre para determinar la posición de los sensores EMG, se hace con la finalidad para determinar que movimientos o gestos que se debe de realizar para el levantamiento de un protocolo de pruebas.

2.5.1. Determinar la ubicación y movimiento que activan a los músculos superficiales del antebrazo en el agarre.

- **Musculo Braquiorradial:** El origen de este musculo se encuentra en la zona proximal de la cresta supracondílea lateral del húmero y tabique intermuscular adyacente. Su intercesión se localiza en la superficie lateral del extremo distal del radio, formando el borde lateral de la fosa cubital, este musculo atraviesa el codo por lo que sus acciones ocurrirán sobre las articulaciones humero radial o radio cubital.

Funcionalidad: Cuando el brazo y el antebrazo está en 90° grados este musculo actúa como flexor, teniendo una leve reacción del musculo respecto a su estado de descanso. Por otro lado, este musculo también reacciona cuando la muñeca de la mano gira a 90° grados respecto al codo. [9]

Nota: Este musculo se ve afectado mayormente cuando el sujeto de prueba se coloca en posicionamiento de reposo para el inicio del experimento.

- **Musculo Flexor de los carpos del radio:** Este musculo se encuentra en el compartimento anterior del antebrazo, el origen de este musculo esta desde el Epicóndilo medial del húmero y su intersección en la base del segundo metacarpiano.

Funcionalidad: Hace que la muñeca de la mano se flexione al nivel del carpo formando un ángulo de 90 grados entre este musculo y la palma de la mano. Su otra funcionalidad también es la abducción de la mano. [9]



Figura 29. Músculos superficiales mayores de la superficie anterior del antebrazo. [10]

- **Musculo Extensor largo de los carpos del radio:** Este musculo comienza en la inserción de la cresta supracondílea lateral del humero y llega hasta el segundo metacarpiano.

Funcionalidad: este músculo tiene la misma característica del flexor de los carpos del radio, pero como en su contraparte este musculo en vez de flexionar se estira, por ello tiene la funcionalidad de extender y abducir la mano de la articulación de la muñeca. [9]

- **Musculo Flexor de los carpos del cúbito:** Se encuentra en el compartimento anterior del antebrazo, este musculo comienza en la cabeza humeral y cubital haciendo una intersección en el hueso pisiforme, gancho, base de quinto metacarpiano.

Funcionalidad: Flexiona la mano a nivel de carpo y abduce la mano. [9]

- **Musculo Extensor de los carpos del cúbito:** Se localiza en el compartimiento posterior de antebrazo este musculo se origina en el epicóndilo lateral del humero y borde posterior del cúbito y su inserción se localiza en el dorso de la base del quinto metacarpiano.

Funcionalidad: Este musculo tiene la funcionalidad de extender la mano a nivel del carpo, y abduce la mano. [9]

- **Musculo Extensor de los dedos:** Este musculo se encuentra en el dorso del antebrazo de la mano este musculo comienza en el epicóndilo lateral humeral y su inserción se localiza en las bases intermedias del índice, del dedo medio, del anular y del meñique.

Funcionamiento: este musculo permite la extensión del metacarpo falángicas de los dedos de segundo al quinto y produce la extensión de los falanges proximales y distales de estos dedos. [9]

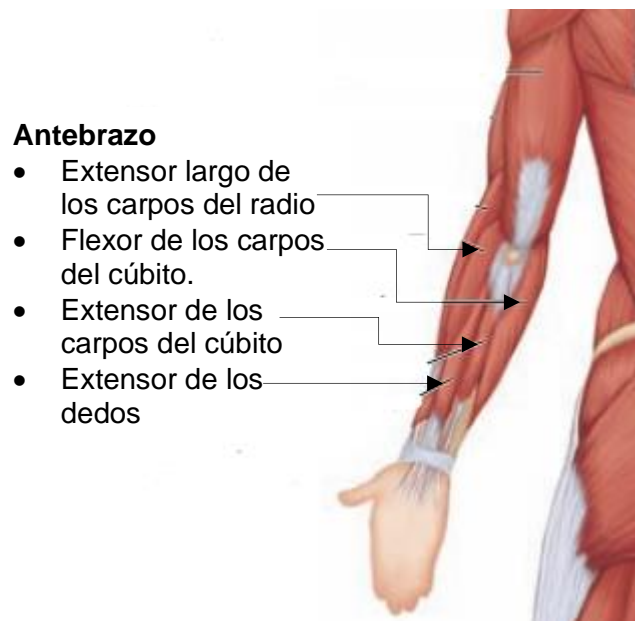


Figura 30. Músculos superficiales mayores de la superficie posterior del brazo. [10]

El estudio de la localización y funcionalidad de los musculo del antebrazo es con la finalidad de determinar la ubicación de estos músculos para el posicionamiento de los sensores EMG y su funcionalidad es para determinar el tipo de movimientos o gestos que se debe de realizar para que estos músculos reaccionen y así levantar un protocolo de pruebas adecuados.

2.5.2. Posicionamiento de los sensores EMG

Estos sensores EMG son sensores superficiales los cuales captan la señal en voltios la reacción del musculo por ello la zona en donde se colocan estos sensores debe de estar libre de vello para que no interfiera con la señal.



Figura 31. Zona de colocación de los sensores [Fuente Propia]

Los sensores tienen una numeración del 1 al 6, esta será una referencia para la colocación de cada sensor en un determinado musculo y así poder repetir la prueba en varios sujetos y poder comparar las mismas señales de este musculo. Para facilitar encontrar el musculo en el sujeto de prueba, este sujeto debe de extender y contraer la mano mientras que el ayudante localice el musculo y coloque el sensor. Los sensores se los debe de colocar en el medio de las fibras musculares para tener un resultado optimo en el proceso de análisis.

Tabla 6: Emparejamiento de los sensores con un musculo.

Sensor	Musculo
1	Braquiorradial
2	Flexor de los carpos del radio
3	Extensor largo de los carpos del radio
4	Extensor de los dedos
5	Extensor de los carpos del cúbito
6	Flexor del carpo del cúbito

2.5.3. Posicionamiento de relajamiento para la iniciación del experimento.

El sujeto de prueba se debe de colocarse en una silla donde la espalda este arrimado hacia el espaldar donde la espalda debe de permanecer recta y encubarse. La espalda y los muslos deben de formar 90 grados. En esta posición el sujeto de prueba debe de poner el codo apegado a la costilla y el brazo y el antebrazo debe de estar a 90º grados, esta posición se la llamara posición de inicio de experimento porque es una posición donde el antebrazo no reacciona a ningún estimulo.



Figura 32. Posición inicial (antebrazo relajado). [11]

2.5.4. Calibración

En el proceso de calibración el sujeto de prueba se debe realizar dos tipos de ejercicio, uno cíclico y el otro estático.

- **Ejercicio estático:** El sujeto de prueba debe de empuñar durante 10 segundos tratando de mantener la misma fuerza, este ejercicio se lo realiza con el exo-esqueleto y sin el exo-esqueleto. Para hacer este experimento se lo hizo con la ayuda de un sensor Kiev el cual mide la fuerza que se realiza en newton. **ANEXO XIX**
- **Ejercicio cíclico:** El sujeto de prueba debe de empuñar al sensor Kiev cíclicamente por 60 segundos tratando de que encada siclo su fuerza sea constante. **ANEXO XVIII**



Figura 33. Posicionamiento del sensor Kiev para calibración con exo-esqueleto. [Fuente propia]

2.5.5. Movimiento de agarre funcional

El movimiento de agarre funcional de la mano no tiene limitaciones, relativamente, debido a que puede hacer infinidad de actividades por ello estos movimientos tienen su propia clasificación.

2.5.5.1. Agarre de oposición terminal.

Consiste en el agarre a objetos finos como una mina de esfero, cerillas, pelos, etc. En este agarre interviene con mayor fuerza el dedo pulgar y el dedo índice, este tipo de agarre trata de colocar el objeto mencionado entre las uñas de estos dedos. [12]

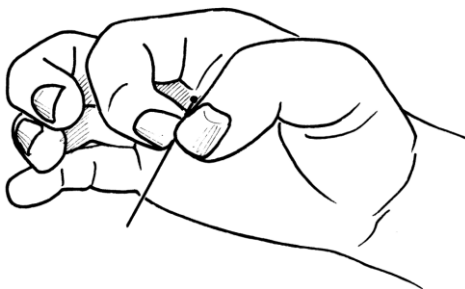


Figura 34. Agarre de oposición terminal [12]

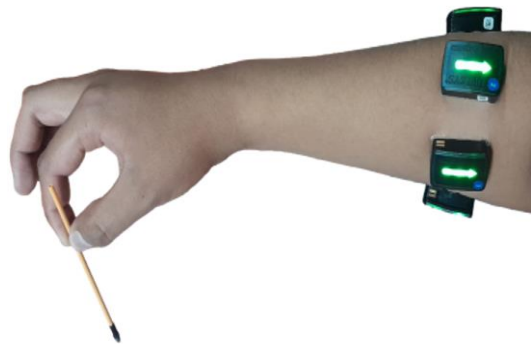


Figura 35. Agarre de oposición terminal. [Fuente propia]



Figura 36. Agarre de oposición terminal con exoesqueleto. [Fuente propia]

2.5.5.2. Agarre de oposición subterminal

Este tipo de agarre interviene el dedo índice y el pulgar con mayor prioridad, el índice tiene una extensión pasiva y el pulgar tiene un flexor corto estos dos tipos de extensión y flexor permite agarrar los objetos con la yema teniendo un mejor agarre al objeto. Los objetos que se evaluará con este tipo de agarre será una hoja de papel, lápiz, etc. [12]

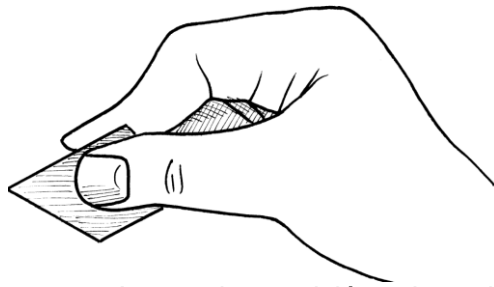


Figura 37. Agarre de oposición subterminal. [12]

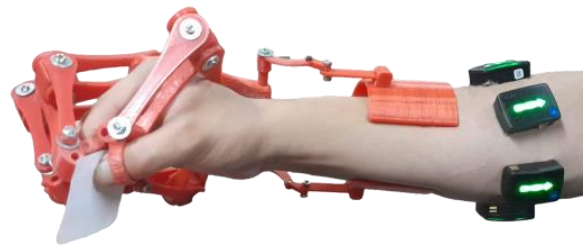


Figura 38. Agarre de oposición subterminal exo esqueleto. [Fuente propia]

2.5.5.3. Agarre de oposición subterminolateral.

El dedo índice está apoyado sobre los 3 dedos, el dedo pulgar tiene la función de apretar con mayor fuerza el objeto contra la cara lateral del dedo índice. Este tipo de agarre sirve para agarrar objetos finos y ligeros como papel bon, billetes, etc. [12]

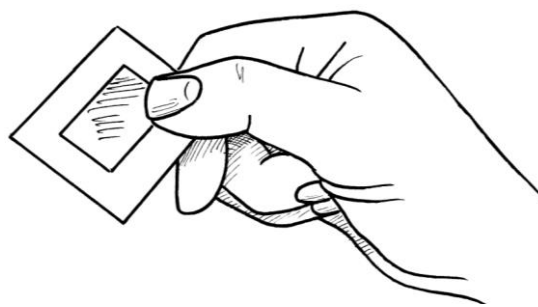


Figura 39. Agarre de oposición subterminolateral. [12]



Figura 40. Agarre de oposición subterminolateral con exo-esqueleto. [Fuente propia]

2.5.5.4. Agarre de oposición digitopalmar

Permite la sujeción de objetos relativamente grandes, este agarre se lo hacer las falanges contra el palmar los cuales actúan todos los flexores de los dedos, el dedo pulgar se extiende perpendicular al palmar sin intervenir en el agarre. Este tipo de agarre se hace a objetos de relativo tamaño como manguera, marcador, etc. [12]



Figura 41.Agarre de oposición digitopalmar.
[12]



Figura 42.Agarre de oposición digitopalmar.
[Fuente propia]

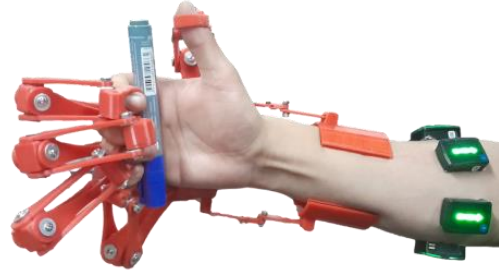


Figura 43. Agarre de oposición digitopalmar con exo-esqueleto. [Fuente propia]

2.5.5.5. Agarre palmar con toda la mano.

Permite la sujeción de objetos con todo el palmar y dedos de la mano incluyendo el pulgar, este tipo de agarre es el más potente, esto nos permite la sujeción de objetos cilíndricos como espray, tasa, etc. [12]



Figura 44 Agarre palmar con toda la mano.
[12]



Figura 45. Agarre palmar con toda la mano.
[Fuente propia]



Figura 46. Agarre palmar con toda la mano con exo-esqueleto. [Fuente propia]

2.5.5.6. Agarre con el puño.

Permite la sujeción de objetos volúmenes pequeños como, esferos lápiz, etc. La función de este agarre interviene todo los flexores de los dedos donde interactúan todos los dedos. [12]

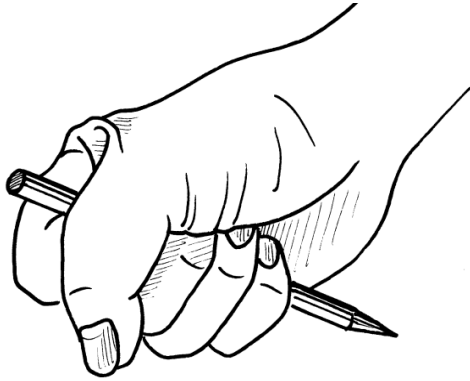


Figura 47. Agarre con el puño. [12]

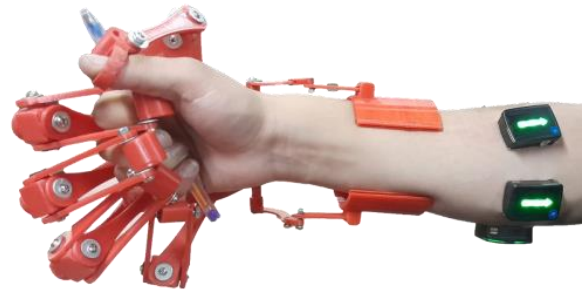


Figura 48. Agarre con el puño con exoesqueleto. [Fuente propia]

2.5.5.7. Agarre interdigital laterolateral

Permite la interacción del dedo índice y del medio, la fuerza que se debe de ejercer entre los dos dedos debe de ser lo suficientemente necesaria para mantener apretados a objetos como minas, cigarrros, etc. [12]

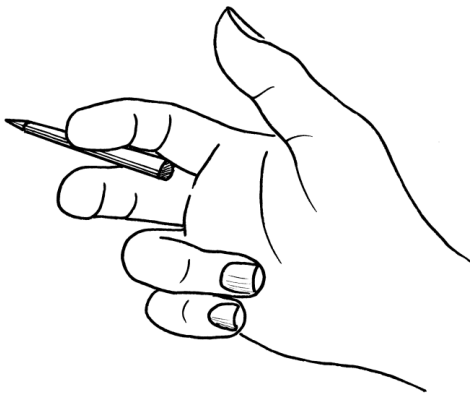


Figura 49. Agarre interdigital laterolateral. [12]



Figura 50. Agarre interdigital laterolateral. [Fuente propia]



Figura 51. Agarre interdigital laterolateral con exoesqueleto. [Fuente propia]

2.5.5.8. Agarre especial con tijera.

Permite la sujeción de una tijera mediante el dedo pulgar en la parte superior de la tijera y el índice y el dedo del medio en la parte inferior de la tijera. La función es de cortar objetos de espesor alto como cartón, cartón prensado, etc. [12]



Figura 52. Agarre especial con tijera. [12]



Figura 53. Agarre especial con tijera. [Fuente propia]



Figura 54. Agarre especial con tijera con exoesqueleto. [Fuente propia]

2.5.5.9. Agarre especial con desarmador.

Permite la sujeción de un desarmado donde el índice funciona con extensor y el pulgar como flexor para el agarre de esta herramienta, los dedos restantes funciona como sujeción base del desarmador. [12]



Figura 55. Agarre especial con desarmador. [12]



Figura 56. Agarre especial con desarmador. [Fuente propia]



Figura 57. Agarre especial con desarmador exo-esqueleto. [Fuente propia]

La realización del protocolo de prueba con y sin exo-esqueleto es con el propósito de determinar la funcionalidad de este, a pesar de que el exo-esqueleto no tenga un actuador (mecánico, hidráulico o electrónico) los resultados de las dos pruebas varían. En el análisis entre estos dos resultados se analizará la funcionalidad del prototipo.

Protocolo de pruebas **ANEXO XVII**

2.6. Procesamiento de resultados

Matlab es un software que es utilizado para interpretar resultados de formas diferentes como; la visualización de datos, cálculos numéricos, análisis estadísticos. Matlab es utilizado ampliamente en el campo de la física, finanzas, estadísticas, ingeniería o otras áreas que requieran cálculos matemáticos.

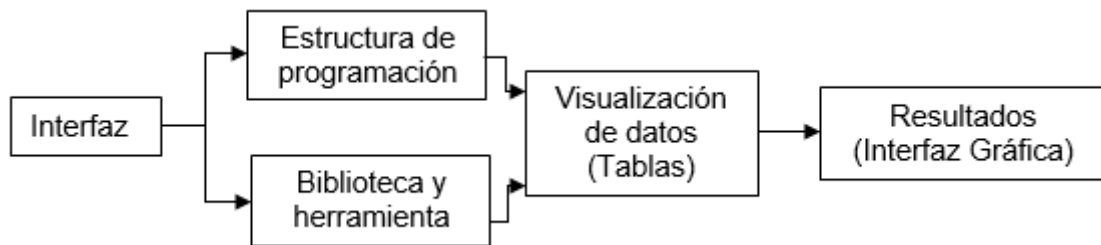


Figura 58. Estructura del software

Procedimiento de obtención de datos

1. Procesamiento de las señales de los sensores EMG que son recopilados previamente archivos .xlsx para la actividad de calibración (postura estática y cíclicos)
2. Separar las señales de tiempo, señal en bruto, y señal rectificada filtrada con RMS (Root Mean Square)
3. Plotear las señales EMG para saber que sensor estaba funcionando en la toma de datos.
4. Ajustar el tiempo para sincronizar las señales de EMG y IMU
5. Se calcula las señales RMS y EMG a partir de los datos de entrada 'emg_rms_cal' y 'time_EMG'
6. Clasificar los ciclos registrados para los movimientos cíclicos en 6 grupos diferentes (ciclosLR_1, ciclosLR_2, ciclosLR_3, ciclosLR_4, ciclosLR_5, ciclosLR_6)
7. Obtención de valores medios y medianos de cada grupo.
8. Ensamble de una matriz de valores medianos las 6 señales EMG de cada grupo.
9. Cálculo de la señal de reposo y señal de referencia para cada de las 6 señales EMG utilizando la función 'Reposo_Referencia'.
10. Cálculo de la señal EMG en porcentaje ('EMGP') utilizando las señales de reposo y referencia obtenidas.
11. Obtención de los resultados de la calibración de las 6 señales EMG.

12. Cargar los datos de las señales EMG a la matriz 'datos_emg'
13. Se elimina las filas donde el valor es cero 'datos_emg' par filtrar las señales EMG
14. Separar los datos de la señaan EMG en bruto y RMS
15. Linealizar el tiempo y normalizar la señal EMG mediante porcentaje de referencia que son calculados en función de reposo y referencia.
16. Filtrar las filas con ceros para la señal del tiempo, señal de sensores EMG sin procesar.
17. Utilizar el algoritmo APDF (método de densidad de probabilidad adaptativa) para normalizar la señal EMG mediante frecuencias acumuladas.
18. Calcular los valores de fondo (10%), mediano (50%) y máximo (90%) de la señal normalizada
19. Graficar los resultados en un diagrama de frecuencia acumulada.
20. APDF (método de densidad de probabilidad adaptativa) se lo realiza para determinar la distribución de frecuencia de la señal EMG. Es utilizado para determinar la distribución de frecuencias de la señal EMG de la señal normalizada por FPI
21. Los valores FPI Y APDF son calculados para cada señal EMG y se los almacena en una estructura llamada "Actividad funcional curvas.mat" con los códigos de asunto y gesto correspondiente y otro archivo "Resultados.mat"
22. El propósito se cargar los datos del archivo "Resultados.mat" es procesar los resultados y exportarlos en un archivo en Excel. **ANEXO XX.**
23. Generación de un gráfico APDF para cada señal EMG que se guarda como archivo jpeg.
24. Realizar un análisis estadístico de señales EMG correspondiente a la actividad muscular de diferentes sujetos.
25. Cargar el archivo "Actividad funcional curvas.mat" y realizar un filtro para seleccionar los datos que cumplan una determinada función
26. Realizar un análisis estadístico descriptivo de los datos utilizados medidas como la media y la desviación estándar y se grafica las curvas EMG.
27. Realizar un análisis de varianza (ANOVA) para investigar la posible influencia de dos factores (el uso o no de un exoesqueleto y el tipo de gesto realizado) en la actividad muscular.
28. Obtención de grafica frecuencia acumulada vs % EMG del musculo

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Resultados

- Dorso de la mano

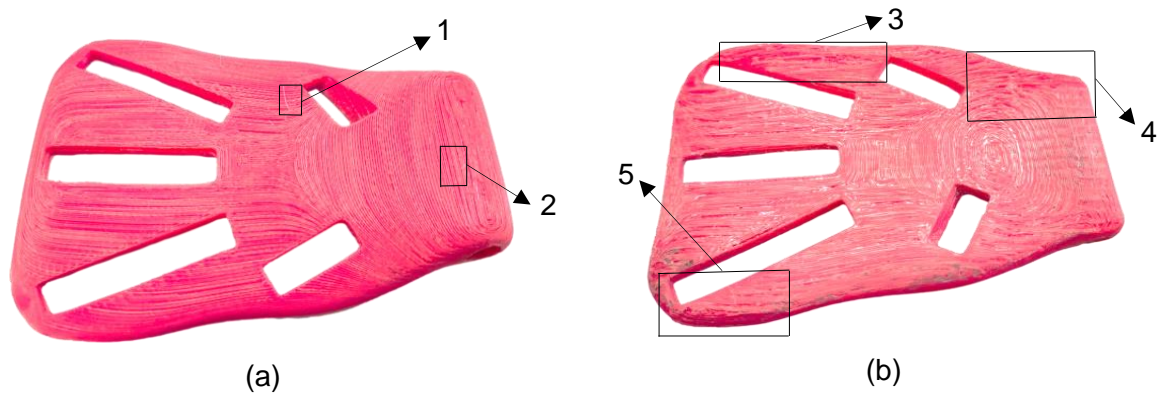


Figura 59. Dorso de la mano (a) vista superior, (b) vista posterior

El acabado superficial en la vista superior del dorso de la mano es pobre, en la zona del punto 1 se nota la generación de rebabas, esto se debe a una mala fijación del material en el proceso de impresión, se asumía que este error era producido por una incorrecta temperatura de la boquilla de impresión o por un mala velocidad de impresión pero era una mala calibración de la boquilla respecto a la mesa de impresión y a que existía un tambaleo de la boquilla de impresión, este error de la boquilla arrastra a la mala impresión de varias piezas, por otro lado en el punto 2 se nota un interlineado de la superficie es decir que se nota claramente la inyección de capa por capa es error se debe a un mal diseño de la pieza desde el CAD.

El acabado de la superficie de la parte posterior de la pieza en las zonas 3,4 y 5 se presenta socavones estos socavones son producidos por la mala impresión de la pieza el material no se fijaba a la pieza y quedaba como cascara que se desprendía fácilmente, las primeras capas de la impresión no se fijaban a la mesa y ni se adhería a la pieza impresa este error se debe al balanceo de la boquilla de impresión. El resto de la superficie tiene un color blanquecino, este color se forma después de quitar el soporte de la pieza.

- Junta estática puesta al dorso de la mano.



Figura 60. Junta estática puesta al dorso de la mano

La zona que es fijado a la mesa de impresión presenta irregularidades y un mal acabado, en la zona 1, 2 presenta un socavón, esto se debe a una mala fijación de la pieza, las primeras capas no se adhieren a la mesa de impresión, imprime de forma irregular en forma de telaraña, sin que tome la forma de la pieza que fue diseñado en Fusion 360.

El error de las primeras impresiones presenta el mismo error por la boquilla de impresión que se tambalea. A pesar de poner un tipo de adherencia tipo balsa, la adherencia se imprimía bien, pero la base de la pieza seguía teniendo el mismo error.

- **Anillo Falange Distal del menique**

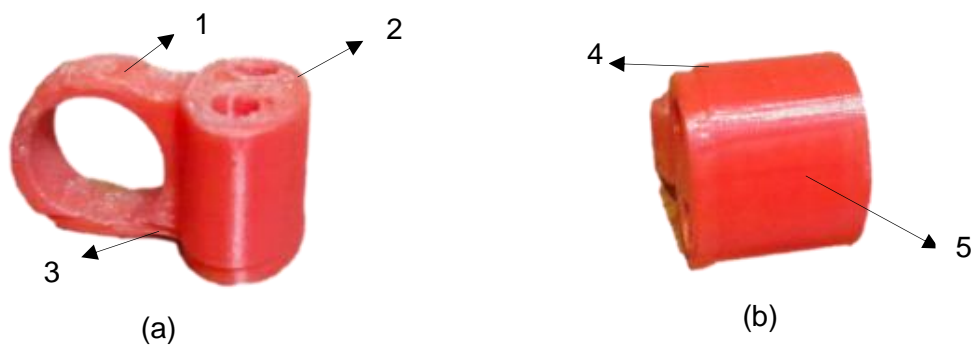


Figura 61. Anillo Falange Distal Menique

Zona 1 errores de fijación a la mesa de impresión, zona 2 la adherencia del apoyo es demasiada dura al momento de retirar el apoyo.

Debido a la aparición de rebabas se subió la temperatura de impresión, pero debido a esto en la zona 3 la impresión es incompleta ya que existió un sobrecalentamiento en la boquilla la cual paro la impresión automáticamente teniendo una pieza inconclusa pero funcional.

Zona 4 debido a la mala fijación de la pieza en media impresión la base se movió y comenzó a imprimir de diferente posición teniendo una especie de grada al final de la impresión. En la zona 5 debido al aumento de temperatura el acabado mejoro considerablemente.

- **Eslabón simple**



Figura 62. Eslabón simple

Debido a errores de las primeras piezas se toma la decisión de calibrar y por cuestión de tiempo se opta por otra impresora que se encuentra en los laboratorios de la Institución, en la zona 1

presenta una obstrucción, como la pieza es relativamente pequeña se realiza con una velocidad baja y presenta un mejor acabado tanto en la superficie superior y posterior.

- **Cubo, junta universal (mecanizado)**

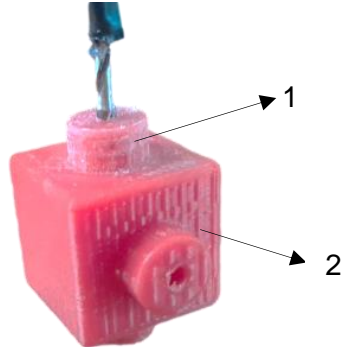


Figura 63. Cubo, junta universal.

Zona 2 presenta mejor acabado después de retirar el apoyo, como esta junta es universal los conectores deben tener mayor libertad de movimiento por ello en la zona 1 se lija para reducir el radio con el objetivo que el conector tenga un juego al momento de ensamblar. Ensanchamiento del diámetro para la colocación de tornillos con sus respectivas rodela.

- **Cubo, junta universal**

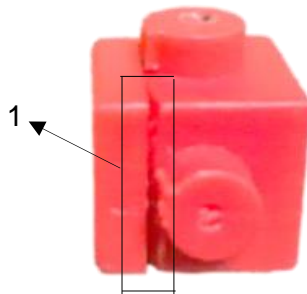


Figura 64. Cubo, junta universal.

Este cubo fue impreso en una serie corta, pero lo peculiar de esto es que es el único cubo que presento una abertura en la zona 1 este error se debe a diferentes causas, por la adherencia de la base de este cubo, la base pudo haberse movido en algún momento de la impresión, las impresiones en este punto ya se realizaban en serie, dando como resultados, buenos cavados más piezas en menor tiempo.

Las siguientes graficas frecuencia acumulada vs % EMG del musculo se las realizo con el objetivo de observar la distribución de la actividad eléctrica del musculo a diferentes niveles de contracción durante la actividad de prueba. La frecuencia acumulada muestra el tiempo en el cual el musculo estuvo activo durante la contracción por el ejercicio y el %EMG del musculo representa el porcentaje de la actividad máxima del musculo.

Para el análisis de este resultado se debe de considerar los ejercicios realizados durante el protocolo de prueba, con ello determinar que tanto influye la realización de las pruebas con y sin exoesqueleto

En esta representación gráfica de la frecuencia acumulada vs el %EMG del musculo, en esta grafica se obtiene una zona estática y una zona dinámica. Debemos considerar que para la zona estática algunos músculos superficiales del antebrazo ya se encuentran activado por la posición de reposo.

- **Musculo Braquiorradial**

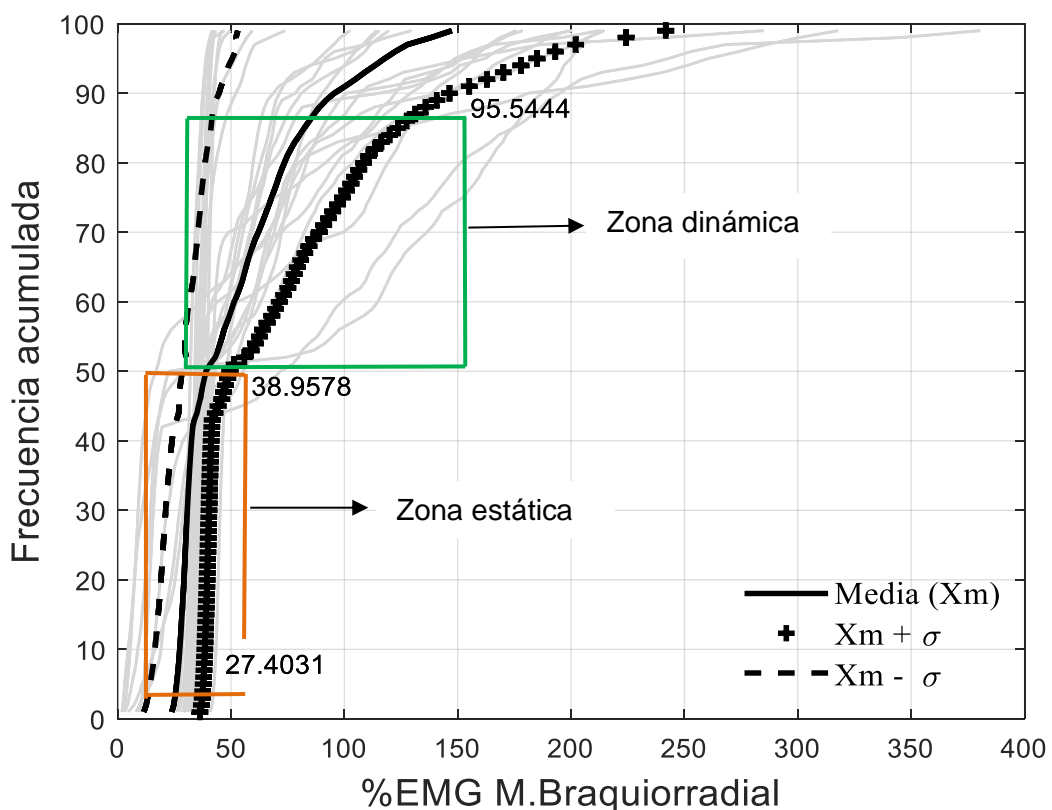


Figura 65. Frecuencia acumulada vs % EMG M. Braquiorradial

Se presenta una gráfica donde tenemos una media y una desviación estándar, teniendo una zona estática y una zona dinámica. Se observa que en la zona estática el percentil 10 tiene 27,4031 % esto significa que tiene una mayor actividad muscular en esta zona. Este valor se consideraría descartable ya que está es la zona estática y no se hace ningún ejercicio para que se active el musculo por lo que debería darnos un porcentaje menor al percentil 10, pero el musculo braquiorradial en esta zona ya comienza a ejercer una actividad eléctrica, debido a la posición de reposo, esta posición hace que el musculo se active a pesar de no realizar ningún ejercicio establecido.

Considerando el porcentaje de 27.4031 % obtenido es aceptable como un dato valido para esta prueba. En la transición de la zona estática a la zona dinámica se tiene un valor de 38.9578%

en el percentil 50 este porcentaje indica la activación del musculo braquiorradial en la mitad del tiempo, como este porcentaje es bajo se indica que el musculo braquiorradial se activa con menos frecuencia en comparación a otros músculos que están sometidos al mismo ejercicio. En la zona dinámica se presenta un porcentaje de 95.5444 % en el percentil 90 como es mayor a este percentil se dice que la actividad muscular es mayor por ende existe una gran variabilidad de dispersión de datos respecto a la activación del musculo braquiorradial.

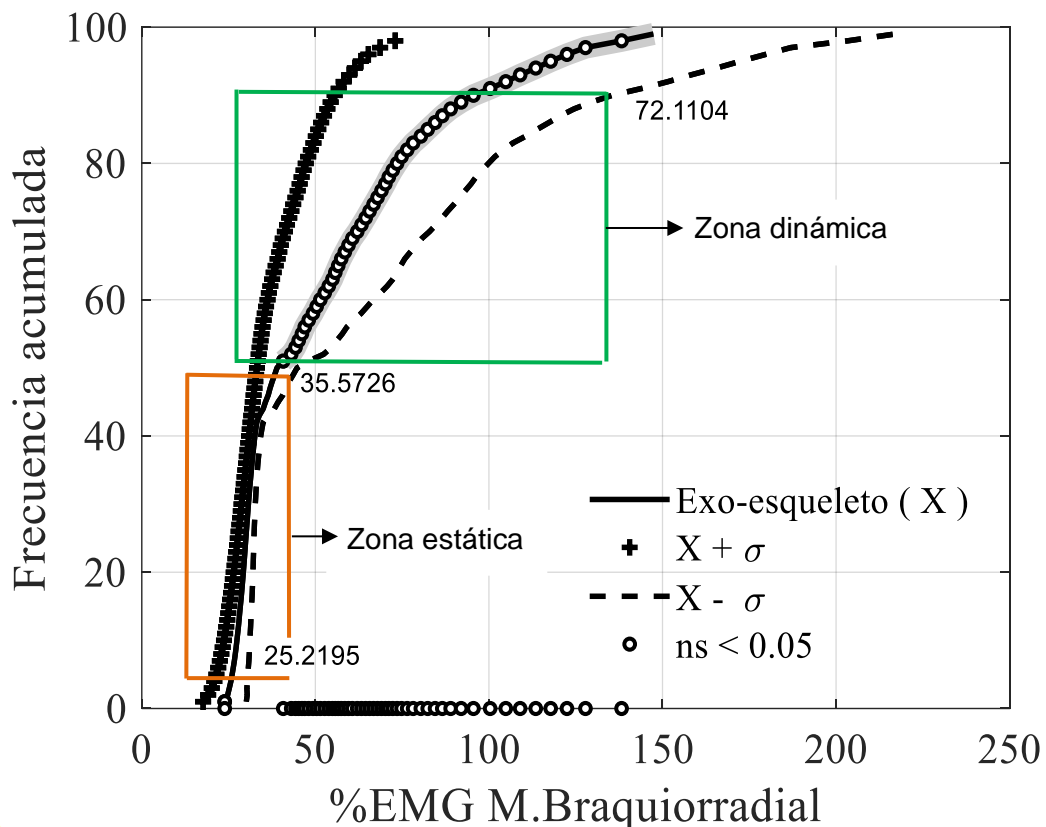


Figura 66. Frecuencia acumulada vs % EMG M. Braquiorradial con exo-esqueleto

Se tiene una gráfica con una media (Exo-esqueleto), desviación estándar y un valor p. Presenta una zona estática y una zona dinámica. En la zona estática se obtiene 25,2195 %, y una zona dinámica del 72,1104%, se presenta que en la zona dinámica tiene un descenso del porcentaje respecto al percentil 90 esto sugiere que la actividad del musculo braquiorradial disminuye considerablemente cuando se encuentra con el exoesqueleto, el exo-esqueleto influye del 50 % a un 150 % en la actividad muscular, en este aspecto se debe considerar la comodidad, y la funcionalidad del exoesqueleto.

Pero el factor principal es debido al diseño del exo-esqueleto ya que este diseño para diferente sujeto de prueba debe de ser personalizado, este factor afecta al agarre y a los resultados en la zona dinámica. En comparación de la gráfica de sin exo-esqueleto y con el exo-esqueleto, el rango cambia considerablemente, teniendo un rango de 68.1413 y 46,8909 respectivamente, con el rango se determina que en el rango mayor existe una mayor actividad muscular mayor

(más fuerza) cuando el sujeto sometido aprueba no lleva el exo-esqueleto. Pues esto es razonable ya que cuando se utiliza el exo-esqueleto el agarre se vuelve incomodo y inestable, permitiendo que se genere menos fuerza en las pruebas establecidas.

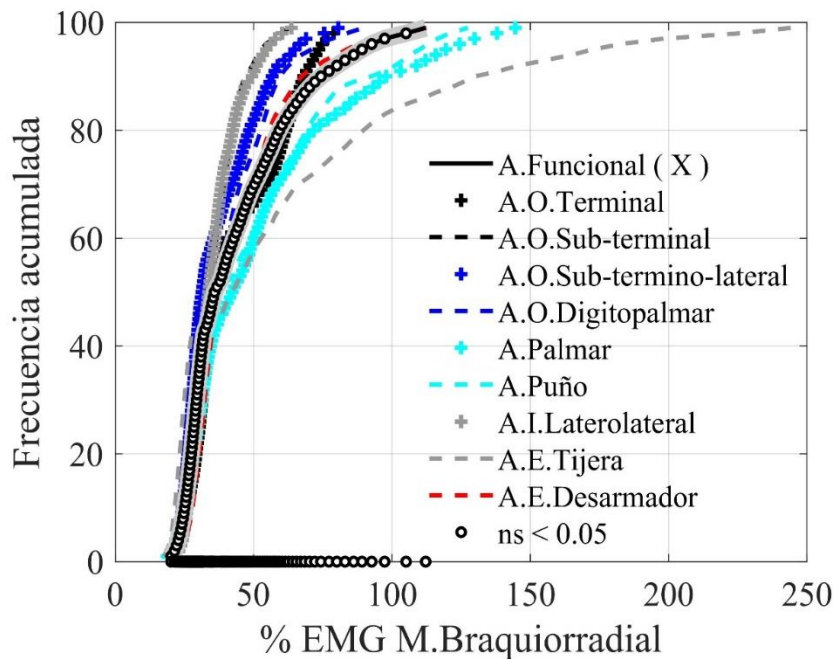


Figura 67. Frecuencia acumulada vs % EMG M. Braquiorradial (Tipos de Agarre)

La presente grafica abarca los tipos de agarre que se realizaron en el protocolo de prueba, esto nos ayuda a ver la variabilidad entre todos los gestos, teniendo una media (A. funcional(X)) y un valor p a lo largo de todo el tiempo de la realización de la prueba de agarre, el porcentaje de activación del musculo braquiorradial es desde un 20% hasta un 110 %, se observa que en la zona estática todos los tipos de agarre se encuentra en el rango permitido y es lógico ya que todos los ejercicios de prueba parten de la misma posición, pero en la zona dinámica tiene una dispersión muy visible marcando una diferencia entre ellos, pero el agarre especial de tijera tiene un porcentaje de actividad del musculo braquiorradial de 250 %, el hecho que exista una gran diferencia de porcentaje respecto a los otros tipos de agarre es por las condiciones que se realizó la prueba de agarre especial de tijera.

- **Musculo Flexor de los carpos del radio**

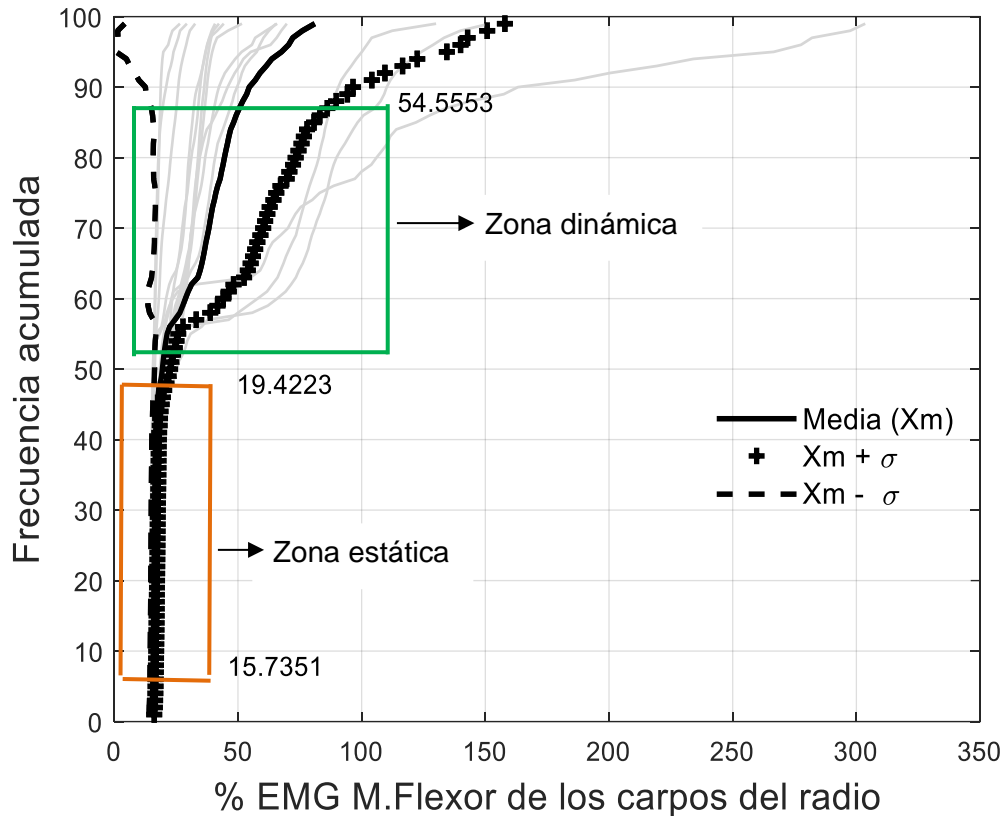


Figura 68. Frecuencia acumulada vs %EMG M. Flexor de los carpos del radio.

Se tiene una zona estática y una zona dinámica, en la cual la zona estática nos presenta un valor de 15.7351 % en el percentil 10, teniendo que el musculo Flexor de los carpos del radio no influye en la posición estática que se toma inicialmente para la prueba, pero presenta una leve activación de este musculo, en el percentil 50 tenemos un 19.4223% este nos indica que la activación del musculo en un tiempo promedio es mínimo.

En la zona dinámica se tiene un valor de 54.5553% en un percentil 90, el valor es relativamente bajo lo que sugiere que en este aspecto la activación de este musculo no influye mucho en la realización de estas pruebas.

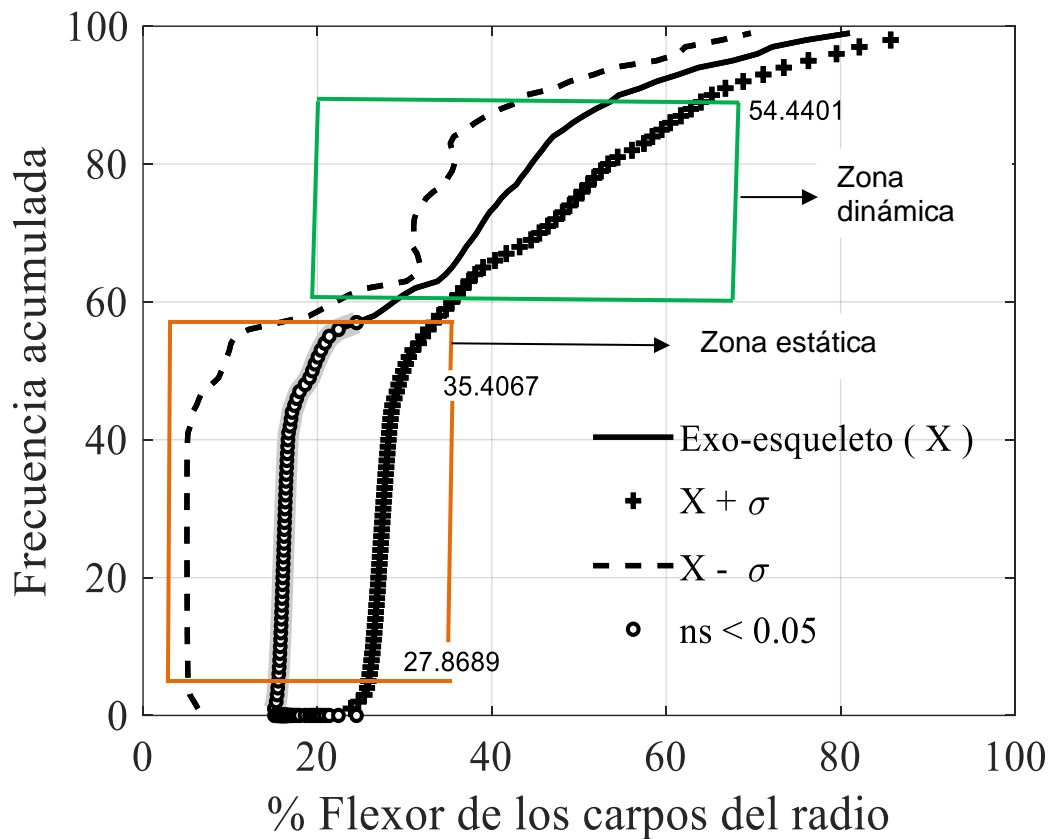


Figura 69. Frecuencia acumulada vs % EMG M. Flexor de los carpos del radio con exoesqueleto.

En la presente grafica tenemos dos zonas una estática y una dinámica respectivamente, lo peculiar de este grafico es que el exo esqueleto influye en la zona estática y el percentil 10 tiene un valor de 27.8689% es decir la activación de este musculo se activa desde el reposo y la precedente a que se active este musculo en reposo es el peso del exo-esqueleto, se tiene un porcentaje de actividad de este musculo de un 17 % a un 22 %. En la zona dinámica la influencia del exo-esqueleto es nula.

Entonces se establece un rango desglosado solo en la zona estática ya que en esta zona la influencia del exoesqueleto influye, a pesar de que en el presente grafico se tiene un porcentaje elevado en el percentil 10 se establece un rango entre el percentil 10 y percentil 50 sin o con el exo-esqueleto teniendo un rango de 3.6872 y 7,5378 respectivamente a pesar que no existe una gran diferencia de rango, en la zona estática con el exo esqueleto se tiene una mayor generación de fuerza, como se dijo anteriormente esto se debe al peso del exo-esqueleto.

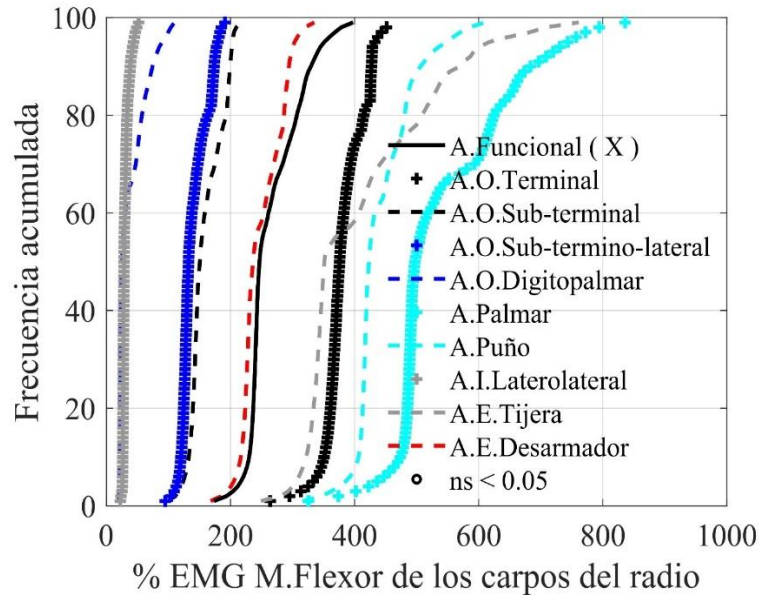


Figura 70. Frecuencia Acumulada vs %EMG M. Flexor de los carpos del radio

En este gráfico se ve la diferencia entre los tipos de agarre, pero en este caso la influencia del exo-esqueleto no influye en la mediana, el porcentaje de la actividad del músculo no presenta significancia al momento de realizar los ejercicios establecidos pero para el agarre tipo, puño y especial de tijera, este porcentaje de actividad tiende a aumentar esto se debe a la posición de reposo y al ejercicio realiza ya que para estos dos tipos de agarre hace que flexione la mano al nivel del carpo haciendo que se active este músculo.

- **Musculo Extensor largo de los carpos del radio**

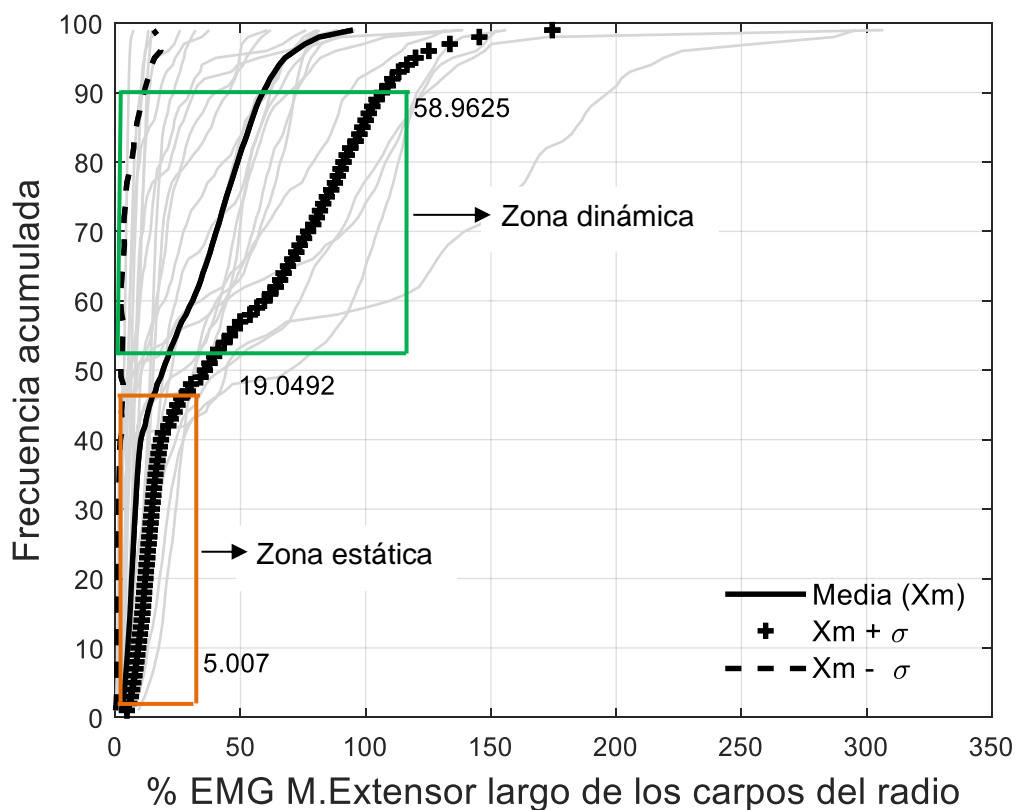


Figura 71. Frecuencia acumulada vs %EMG M. Extensor largo de los carpos del radio

Se obtiene una zona estática y una zona dinámica. En la zona estática se encuentra el percentil 10 con un valor de 5,007 % como este valor esta debajo al percentil 10 se interpreta que cuando está en reposo este musculo no genera una actividad muscular significativa.

En cambio, en la zona dinámica en el percentil 90 se tiene un valor del 58.9625 % este valor es bajo al percentil 90 teniendo que la activación del musculo en estos ejercicios de agarre no influye mucho a comparación de los demás músculos.

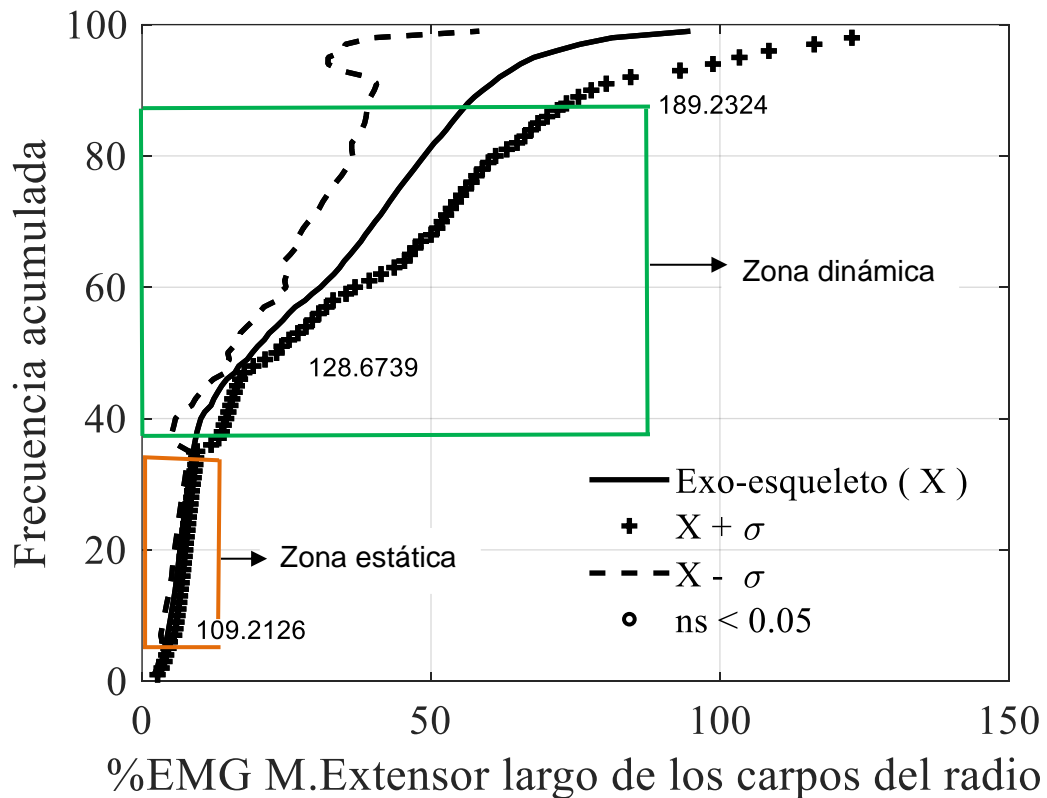


Figura 72. Frecuencia acumulada vs %EMG M. Extensor largo de los carpos del radio con exoesqueleto

Los diferentes percentiles en este grafico no son equivalentes esto se debe a la relación técnica de movimiento se lo hace con la calibración estática afectando al resultado, por ello se trabajará con los rangos.

En esta grafica se tiene que, tanto la zona estática como en la zona dinámica el exo-esqueleto no influye con los movimientos ni con el peso de este mismo.

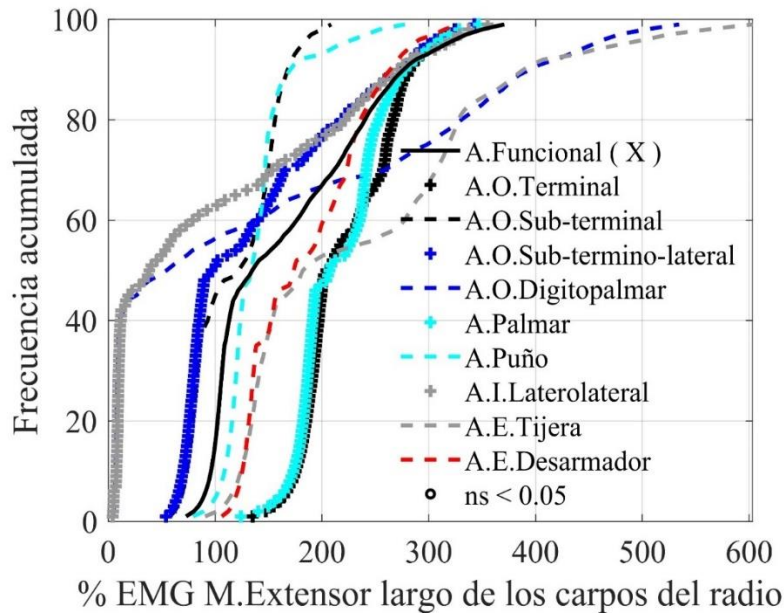


Figura 73. Frecuencia acumulada vs %EMG M. Extensor largo de los carpos del radio (Tipos de agarre)

En esta grafica se nota que en la zona dinámica el agarre dígito palmar, especial de tijera, se extiende un mayor rango respecto a los otros tipos de agarre, pero la influencia del exoesqueleto no existe en este grafico teniendo que una representación sin fundamentos para comparación.

- **Musculo Extensor de los dedos**

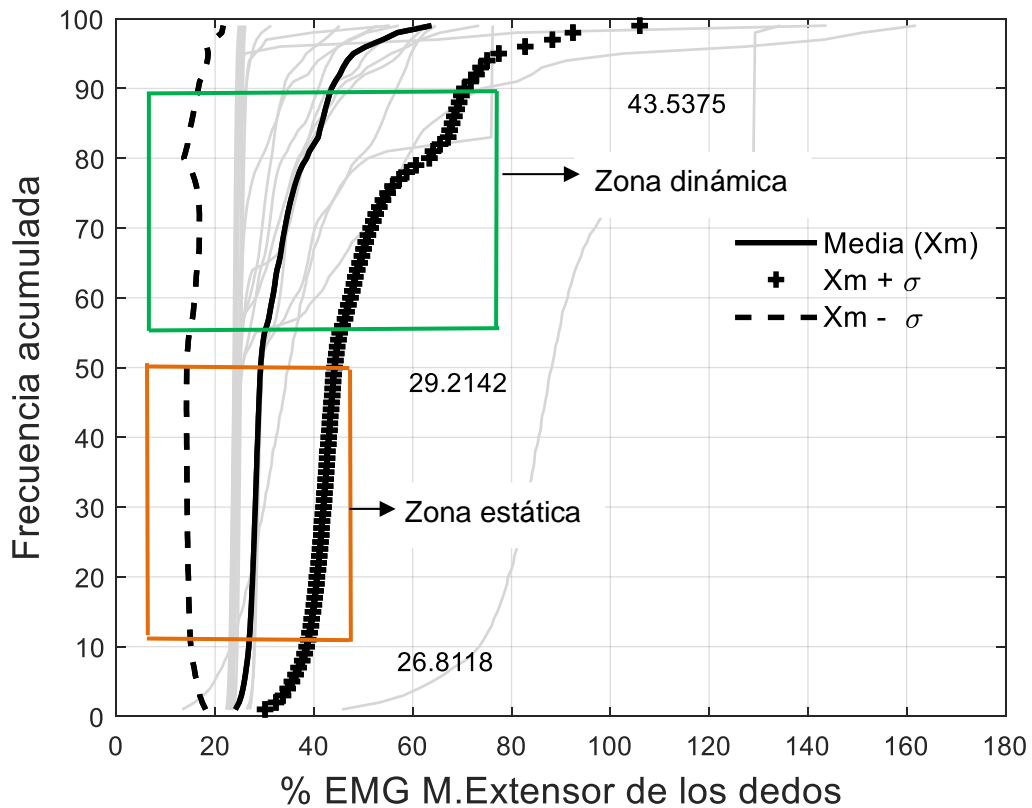


Figura 74. Frecuencia acumulada vs %EMG M. Extensor de los dedos

Se tienen una zona estática y una zona dinámica, en la zona estática en el percentil 10 tiene un valor de 26.8118 % es un valor elevado, entonces este musculo se activa cuando el sujeto de

prueba topa la posición de reposo, pero en la zona dinámica en el percentil 90 tiene un valor de 43,5375 % un valor bajo respecto a lo los anteriores musculo esto sugiere que la activación del musculo al realizar los ejercicios es mínima. Esto se debe a que este musculo solo se activa cuando existe un movimiento de extensión de la muñeca dando que la mayoría de los ejercicios propuestos no conlleva ninguno ejercicio con esta característica, haciendo que el musculo no trabaje en su totalidad en la zona dinámica.

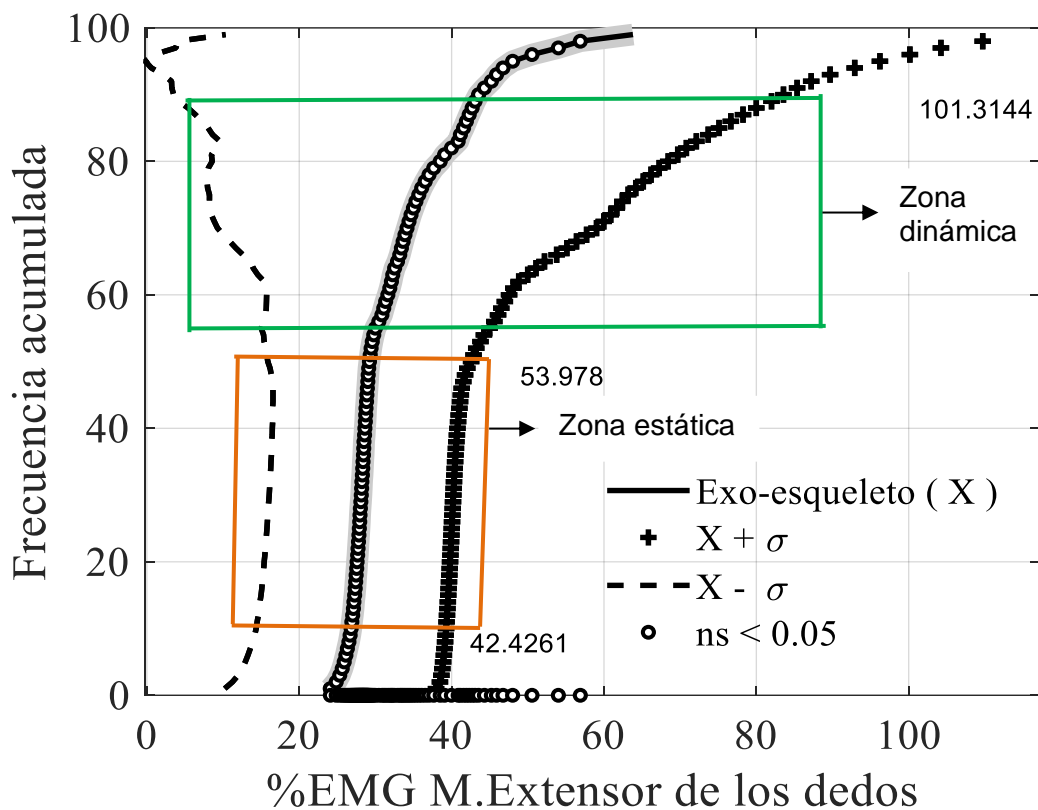


Figura 75. Frecuencia acumulada vs % EMG M. Extensor de los dedos con exo-esqueleto

En la presente grafica se tiene que el exo esqueleto influye tanto en la zona estática y en la zona dinámica, en la zona estática en el percentil 10 se tiene un valor de 42.4271 % un valor elevado respecto a cuando no se usa el eso esqueleto, entonces los rangos en la zona estática sin y con exo-esqueleto es de 2,4924 y de 12,5519 respectivamente, se considera que existe una mayor actividad en le musculo cuando se encuentra en reposo con el exo-esqueleto, este resultado se debe al peso del del exoesqueleto ya que la mayoría del exo-esqueleto tiene apoyo en la inervación de este musculo y en la zona dinámica sin y con exoesqueleto se tiene un rango de 14,323 y 47,3364 respectivamente, como se nota la activación del musculo en la zona dinámica con el exo-esqueleto es mucho mayor, este valor es influenciado por los tipos de movimiento que se hacía para activar este musculo y la funcionalidad del mismo es decidir si no existe ningún inconveniente al momento de realizar estos tipos de agarre con el exo-esqueleto. En esta grafica también se representa el porcentaje de la activación de este musculo que va de un 25% a un 60 % de actividad.

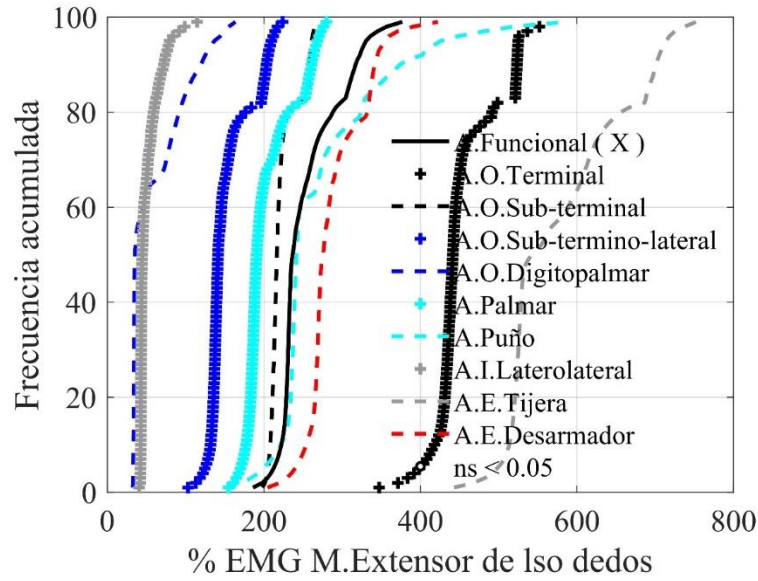


Figura 76. Frecuencia acumulada vs %EMG M. Extensor de los tres dedos (tipos de agarre)

Se tiene una gráfica constante no existe una variedad de datos en los diferentes tipos de agarre, pero el principal punto es que el exo-esqueleto no influye en su totalidad, teniendo una gráfica sin motivo de análisis.

- **Musculo Flexor del carpo del cubito.**

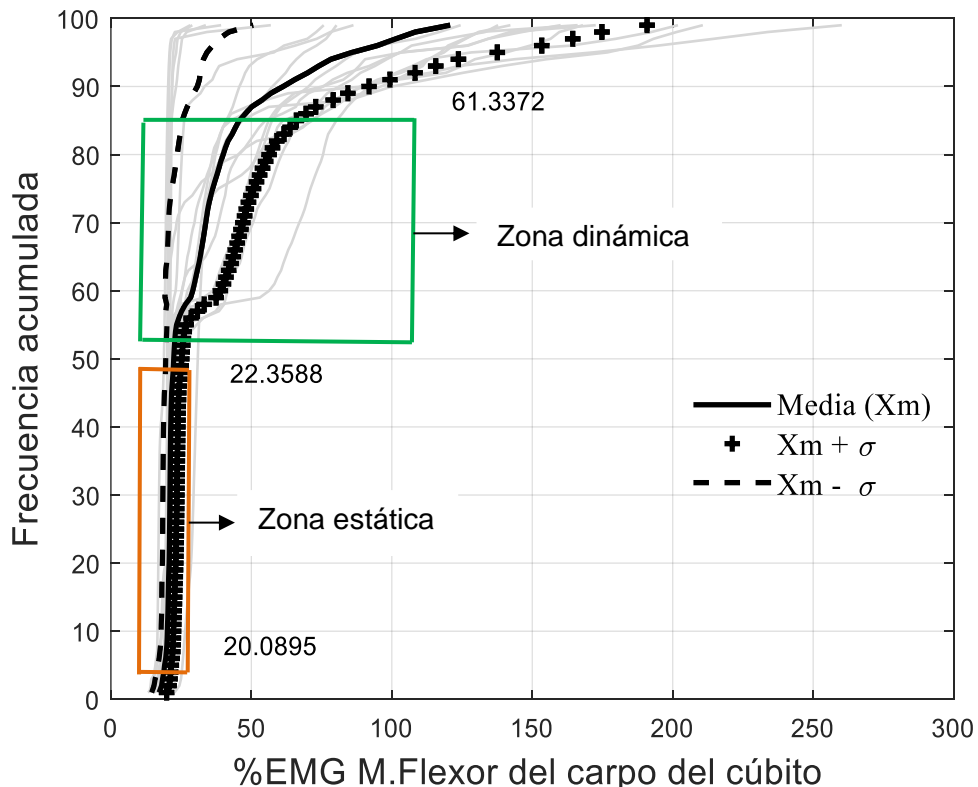


Figura 77. Frecuencia acumulada vs %EMG M. Flexor del carpo del cubito

Se tiene una zona estática donde el percentil 10 tiene un valor de 20.0895% es decir existe una leve activación de este musculo cuando se opta por la posición de reposo, además presenta valor constante es decir que esta activación permanece constante hasta la realización de los tipos de agarre, en la zona dinámica se tiene en el percentil 90 un valor de 61,3372 % es un

porcentaje menor que el percentil 90 por ello se dice que la activación de este musculo es mínima respecto a los anterior músculos esto se debe al tipo de movimiento que se debe de realizar para que este musculo se active como el movimiento de flexionar la muñeca a la altura de este musculo.

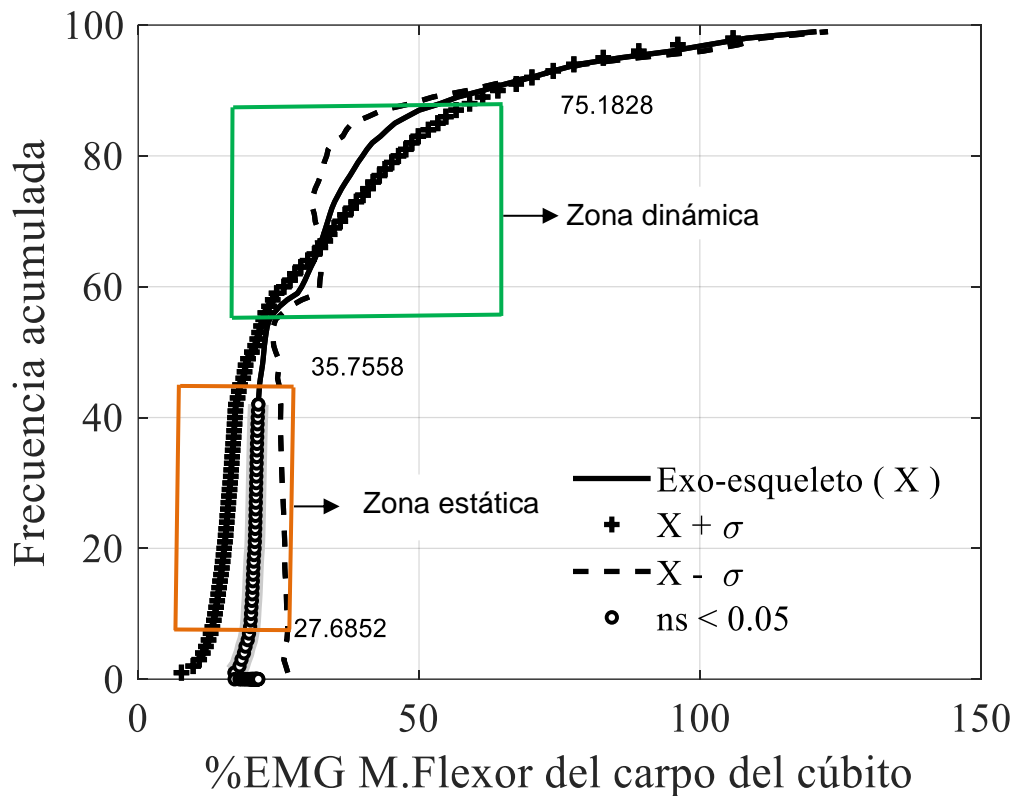


Figura 78. Frecuencia acumulada vs % EMG M. Flexor del carpo del cúbito con exo-esqueleto Comparando el percentil 10 se tiene un valor de 27,6852 % mayor a cuando se encontraba sin exo-esqueleto, esto se debe a la influencia del peso del exo-esqueleto teniendo un rango sin y con exo-esqueleto en la zona estática de 2,2693 y 8,0706 respectivamente teniendo una generación de fuerza mayor en el exoesqueleto.

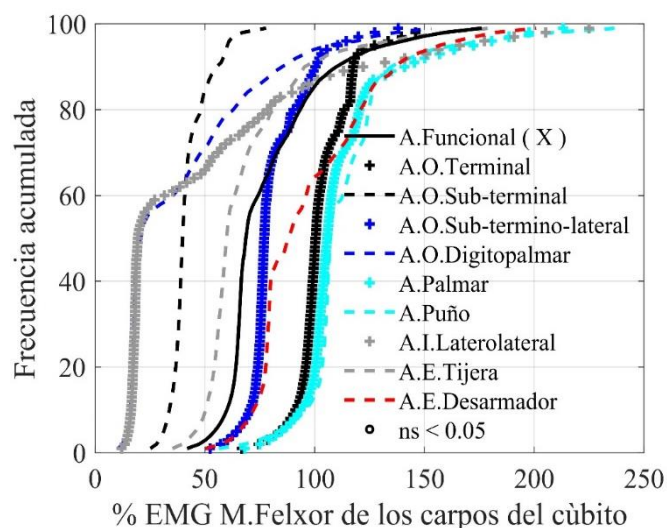


Figura 79. Frecuencia acumulada vs %EMG M. Flexor de los carpos del cúbito. (Tipo de agarre)

Se tiene las diferentes curvas de los tipos de agarre, pero la influencia del exo-esqueleto no existe, a pesar de esto se puede apreciar que en la zona dinámica para el agarre laterolateral tiene un elevado porcentaje de la actividad funcional a comparación de los otros tipos de agarre.

Analizando todos los gráficos en general se tiene que en la posición relajada la mayoría de musculo comienzan activados y que la generación de fuerza con el exo esqueleto incrementa tanto en la zona estática como en la zona dinámica debido a esto se establece que existe una funcionalidad del exo esqueleto optima, pero necesita de un actuador para su mejor funcionamiento

3.2. Conclusiones

- En el estudio de los diferentes métodos de impresión 3D la mejor opción es por la impresión por deposición de material fundido, esto se lo define por el coste de producción, tiempo de construcción y acabado final, debido a que el exo-esqueleto tiene vararías piezas complejas este método es óptimo para su construcción.
- Debido a una traumatología o a una fractura de la mano, su recuperación necesita una variedad de tratamiento, ya sea, de movimiento o de agarre, por ello la determinación de los tipos de movimientos es necesario para la realización de un protocolo de pruebas en donde el análisis de los movimientos de las muñecas es necesario para tener una noción de la recuperación de la mano que se necesita.
- La construcción y el ensamble de un prototipo ya realizado anteriormente por un compañero no pudo llevarse a cabo, debido a las medidas sobredimensionadas y al diseño de algunas piezas estético, por ello se rediseño algunas piezas y se omitieron otras como los conectores que fueron remplazado por tornillos, etc. Este cambio llevo a la realización de un prototipo del exo-esqueleto personalizado para un solo individuo. Este prototipo personalizado se acoplo perfectamente a la mano del individuo teniendo una mejor, flexibilidad, movimiento y agarre. Por otro lado, la comodidad al llevar este exo-esqueleto era excelente, pero cuando este mismo prototipo utilizaba otro sujeto de prueba presentaba inconveniente como la fijación del prototipo a la mano era mala, la flexibilidad en el momento de realizar algún gesto se atoraba o se necesitaba una mayor necesidad de fuerza. Por ello para la realización de pruebas se debe realizar un prototipo para cada sujeto de prueba o un exo-esqueleto ajustable para todo tipo de mano.
- El presente protocolo de prueba se la realizo enfocándose en los músculos del antebrazo, este estudio se lo realizo con la finalidad de determinar el movimiento que se debe realiza para que los músculos superficiales del antebrazo se activen y así poder establecer

movimientos de prueba. Se investigó el tipo de movimiento que es necesario para que cada musculo se active así, estableciendo los tipos de agarre para la realización de las pruebas, teniendo en cuenta que estas pruebas se las hacen con el exo esqueleto y sin el exo-esqueleto para establecer la funcionalidad de este. Según con el análisis realizado el exo esqueleto si afecta a la activación del musculo, teniendo que el exoesqueleto necesita un actuador (mecánico hidráulico, etc.) para el mejor funcionamiento del exoesqueleto. Pero debido a los rangos se establece que el exo esqueleto no influye en la movilidad es decir que el exo-esqueleto es funcional y cumple con el objetivo de este trabajo curricular integral. Se tiene el musculo extensor de los carpos del cúbito no se establece una gráfica debido a que a que la toma de valores en este musculo son erróneos, debido a esto se descartó del análisis, eso se debe a que el sensor no estuvo bien ubicado en este musculo, pero este error se obtiene en todos los sujetos sometidos a prueba entonces se debe a una mala localización del musculo. Para una mejor recopilación de datos en próximos trabajos de este tipo, el cambio de posición de relajación debería ser cambiado a uno en donde los músculos no se activen.

3.3. Recomendaciones

- Para el proceso de impresión continua se debe calibrar la impresora y conocer las limitaciones de esta. Puede presentar inconvenientes al momento de imprimir, una mala calibración desestabiliza la base de la impresión haciendo que las primeras capas de impresión no imprimas correctamente, un limitante es que algunas impresoras tienen un sensor de temperatura el cual nos limita en la selección de material de impresión ya que algunos filamentos necesitan altas temperaturas.
- Considerar el método fijado de la pieza a la placa de impresión, a pesar de que la placa de impresión tiene su propia temperatura para cada tipo de filamento esto no basta para la fijación de la pieza por eso se debe optar por una fijación ya sea con goma, cinta u otro tipo, el cual no debe afectar a la superficie y se adhiere a la placa.
- Tener en consideración las temperaturas de los filamentos al momento de imprimir. Si se eligió una temperatura más alta de la recomendada puede que el filamento se queme en la boquilla de impresión haciendo que este se obstruya y la impresión se detenga repentinamente.
- En el ensamble del prototipo se debe considerar las dimensiones de cada pieza para el ensamble del exoesqueleto, se lo realiza con el objetivo que el exo esqueleto este bien acoplado a la mano del sujeto de prueba.

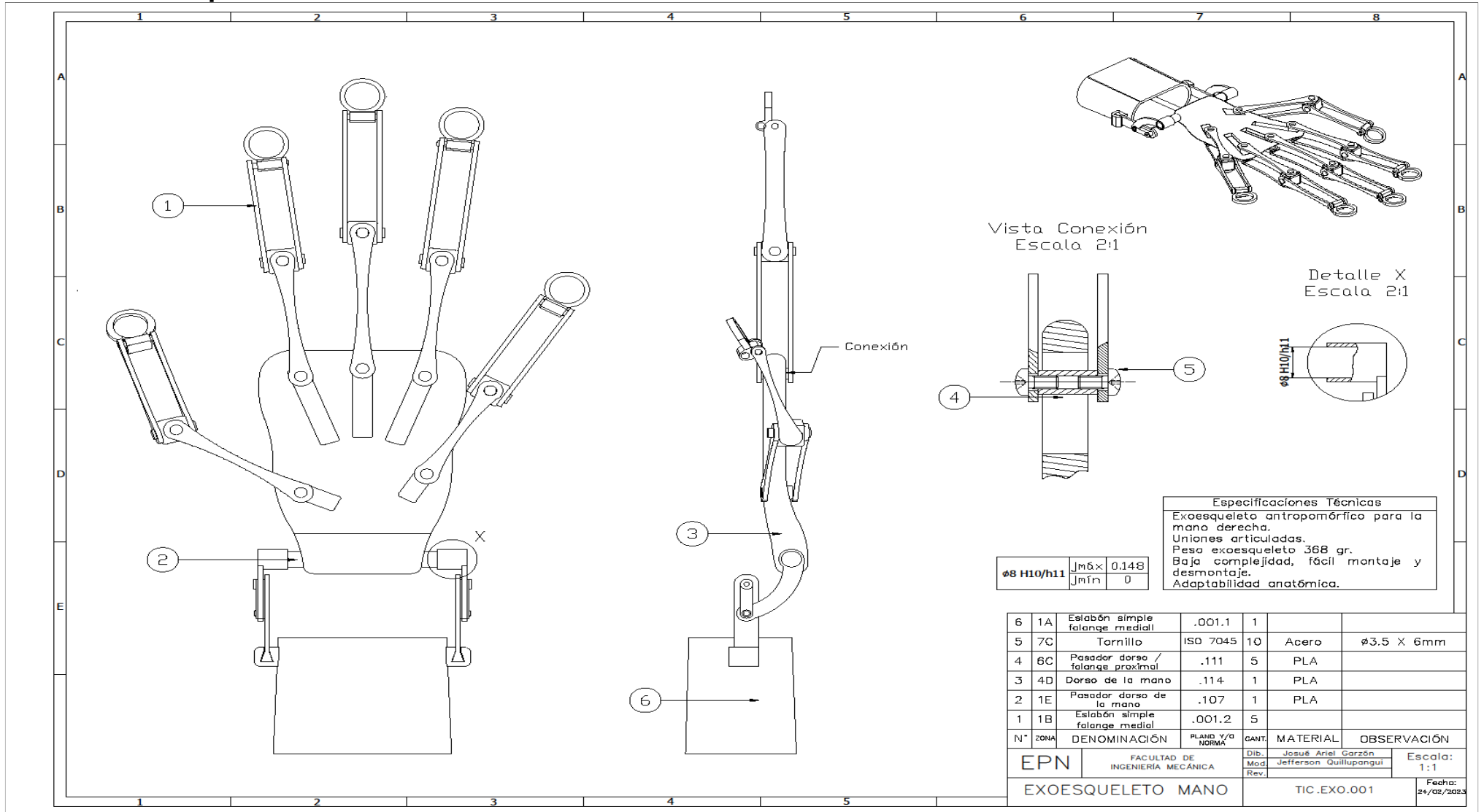
- La localización de los músculos del antebrazo el sujeto de prueba debe de realizar un empuñamiento cíclico hasta la localización del músculo. La puesta de sensores la superficie del antebrazo debe de ser rasurada en su totalidad.
- En cada realización de los ejercicios procurar que el sujeto de prueba siempre este en posición de reposo para la recopilación de datos correctos.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

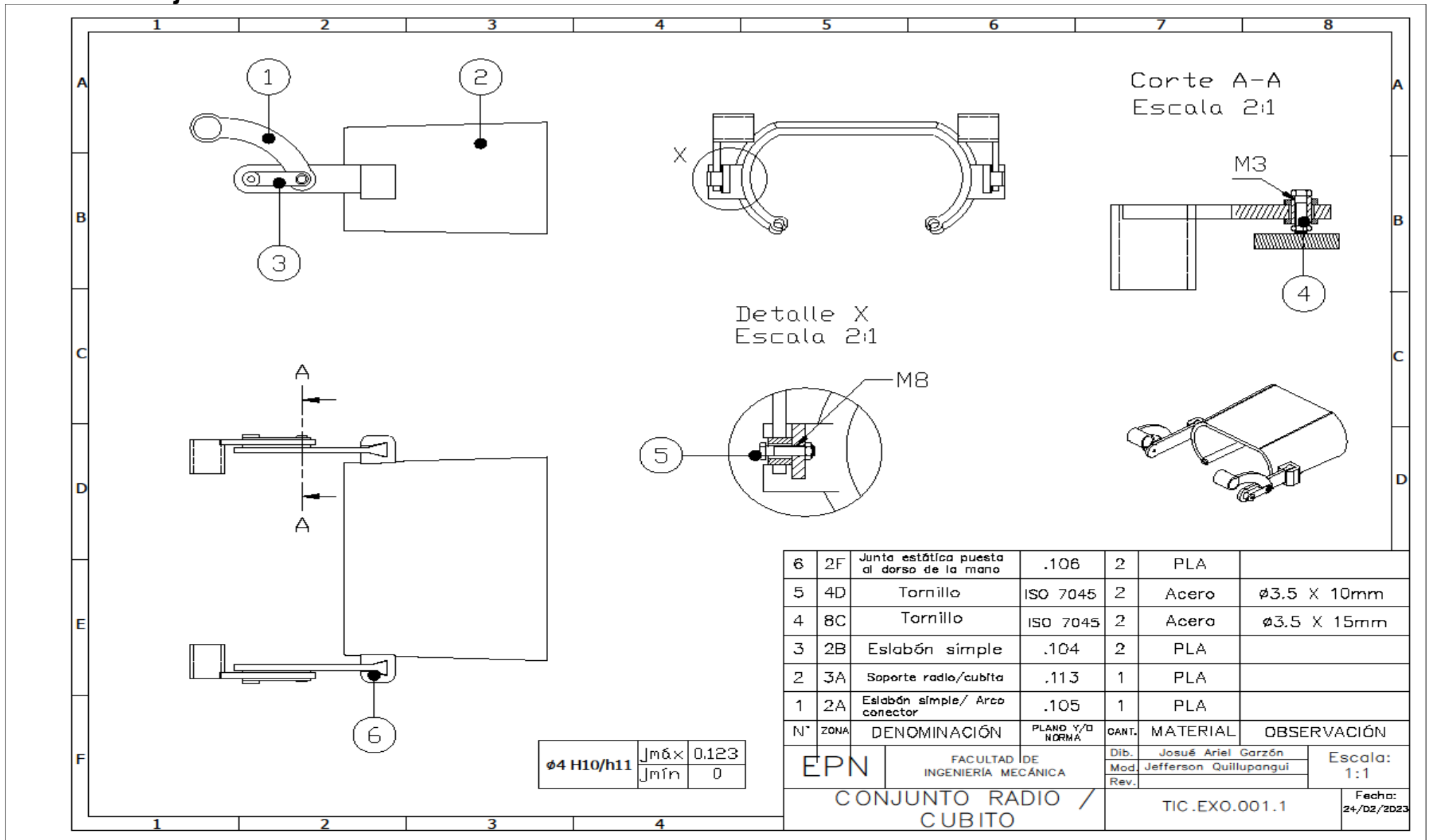
- [1] R. Rubio y M. Diaz, Introducció a la Fabricació Aditiva en la Industria, Madrid : FC EDITORIAL.
- [2] I. Gil Gil, LA IMPRESIÓN 3D y sus alcances en la arquitectura, Madrid : Universidad Politecnica de Madrid , 2015.
- [3] P. Escalona , J. Naranjo , V. Lagos y F. Solís , «Parametros de normalidad en fuerzas de presion de mano en sujetos de ambos sexo de 7 a 17 años de edad,» Research report , 2009.
- [4] J. C. Barbero Alvarez y V. M. Soto Hermoso, Aplicació práctica de un sistema fotogramètrico para el anàlisis de los desplazamientos durante la competición en deportes de equipo.
- [5] A. García Fojeda, F. Biosca y J. C. Vàlios , La biomecànica: una herramienta para la evaluació de la técnica deportiva.
- [6] B. Tapia, V. Torres, I. Soto y N. Candolfi, Métodos de adquisició de bioseñales con sensores sEMG: revisió de sistemas, SOMI congreso de instrumentació, 2019.
- [7] I. d. b. (IBV), Servivio de VALORACIÓN BIOMECÁNICA, València: Universitat Politècnica de València. Edificio 9C.
- [8] Tomalá, Caicedo, Lopez, Galarza y Chang, Prevalencia y factores de riesgo de lesiones musculoesqueléticas de la selecció de fútbol de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador, Guayaquil: Revista ESPACIOS, 2022.
- [9] M. Latarjet y A. Ruiz Liard, Anatomía Humana, Bogota : Editorial medica panamericana, 2011.
- [10] E. N. Marieb, Anatomía y Fisiología Humana, NOVENA EDICIÓ ed., PEARSON Addison Wesley , 2008.
- [11] C. Herrera Ligeró, E. Medina Ripoll, Ú. Martínez Iranzo, S. Pitarch Corresa, I. Bernejo Bosh, X. Andrade Celdrán y J. López Pascual , NedCodo/IBV, haciendo fácial y objetiva la valoració biomecçanica del codo, I. d. B. (IBV), Ed., Valencia: Universitat Politècnica de València.
- [12] M. Dufour y M. Pillu, BIOMECANICA FUNCIONAL, Brazil: Priscila Pereira Mota Hidaka e Karen Daikuzono, 2016.

5 ANEXOS

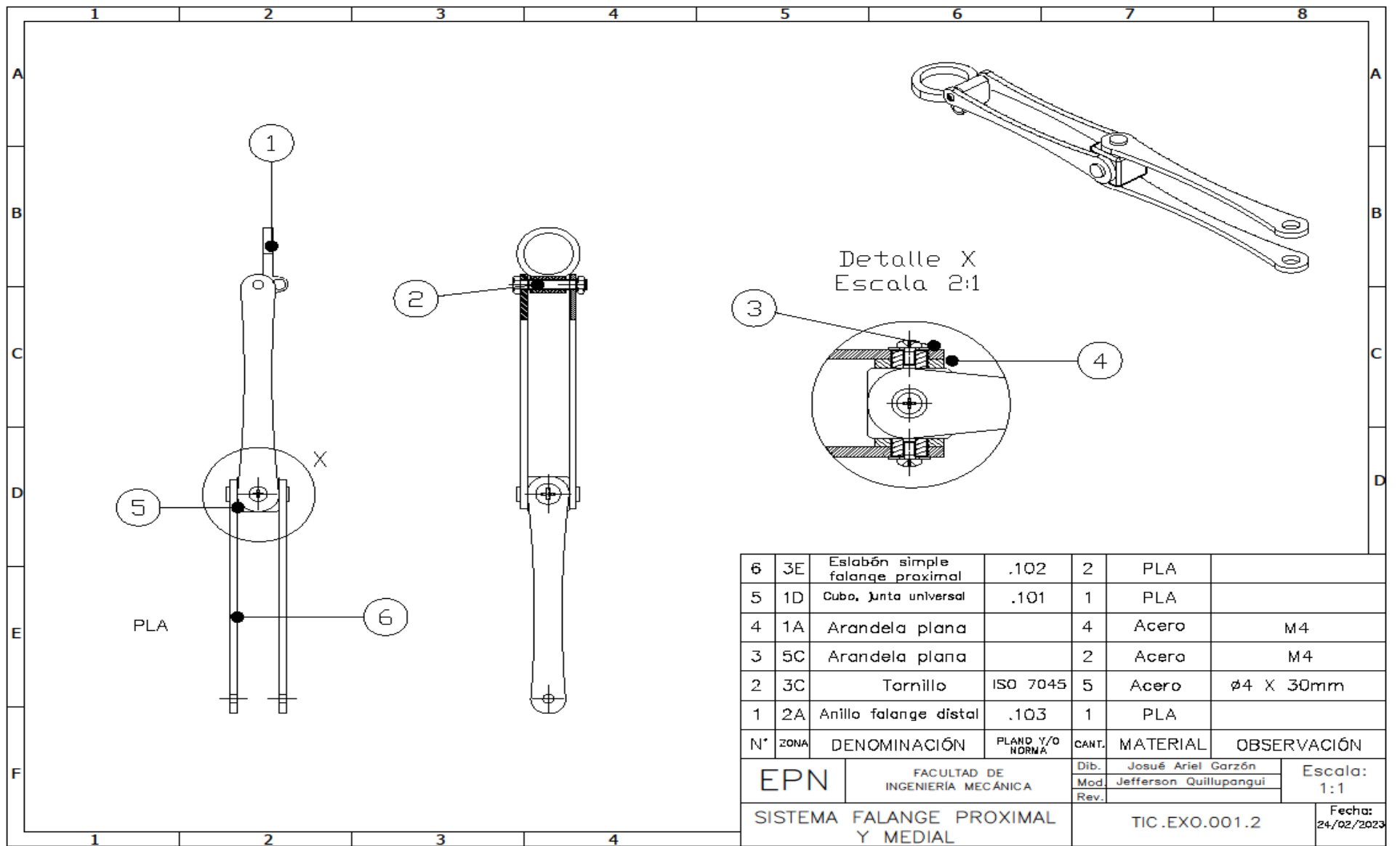
Anexo I. Exoesqueleto mano



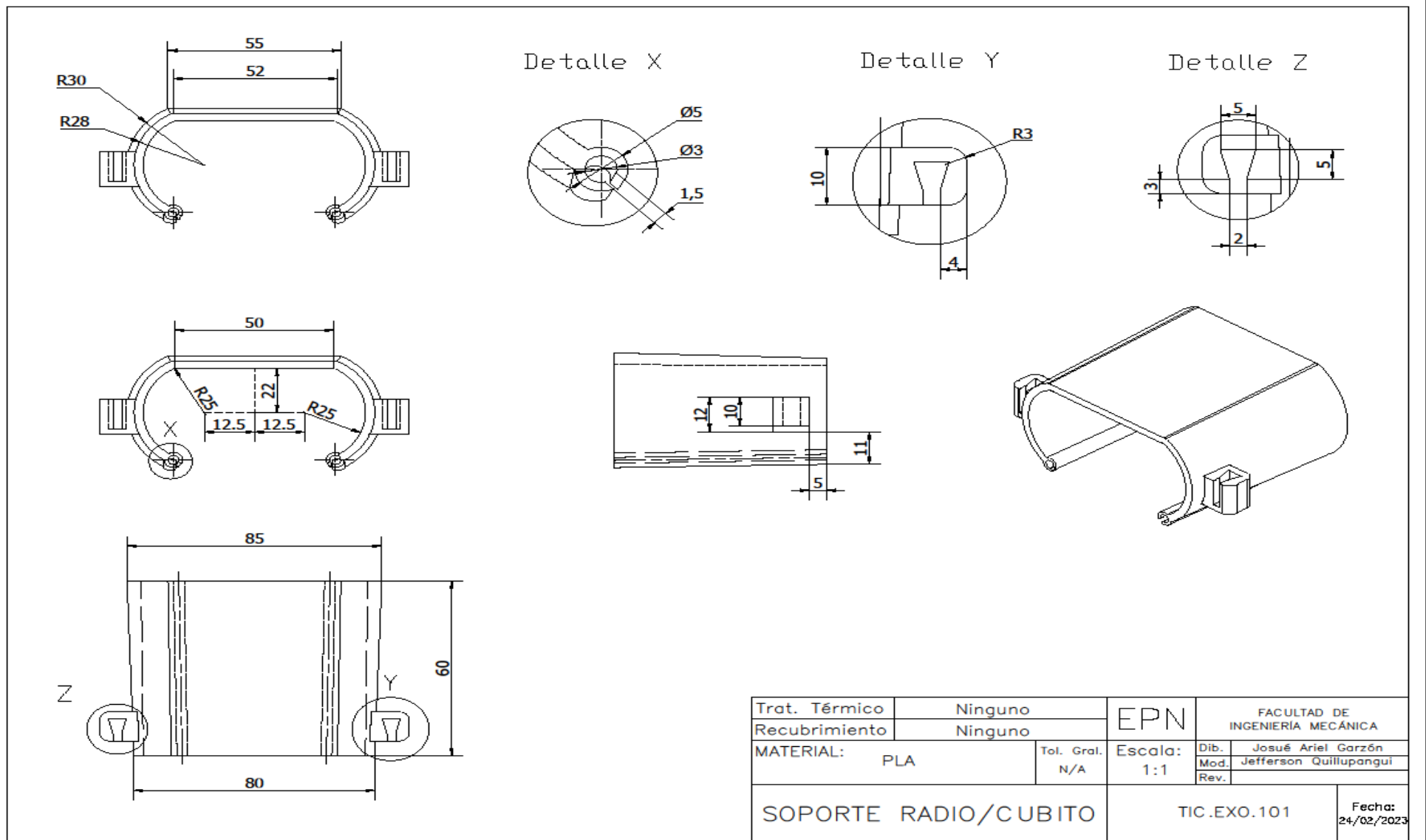
Anexo II. Conjunto radio/Cubito



Anexo III. Sistema falange proximal y medial.

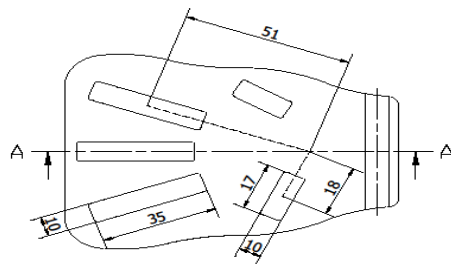
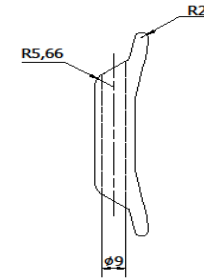
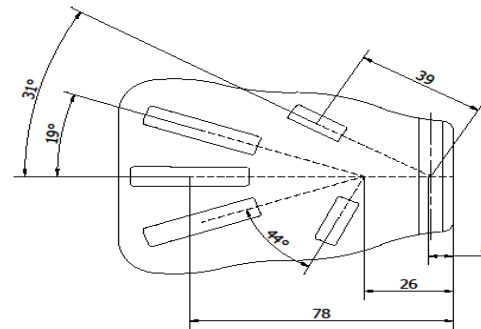
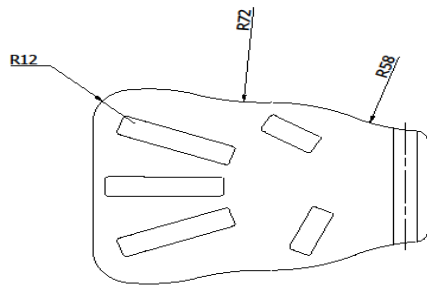
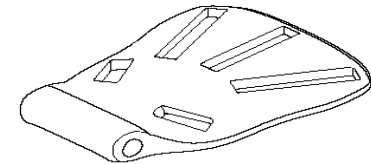
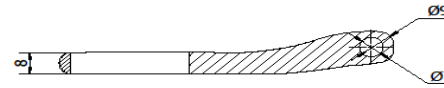


Anexo IV. Soporte radio/cubito



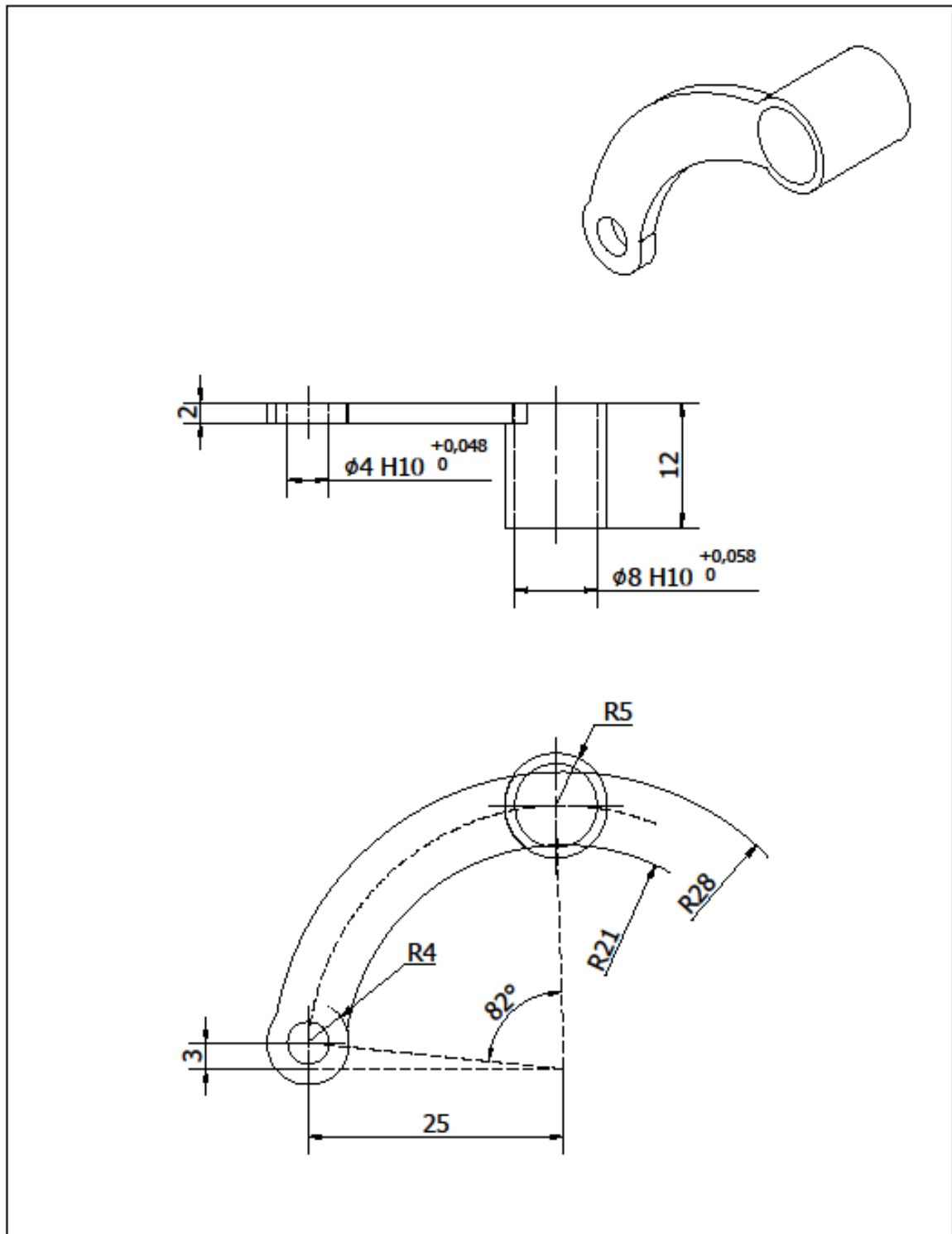
Anexo V. Dorso de la mano.

Sección A-A



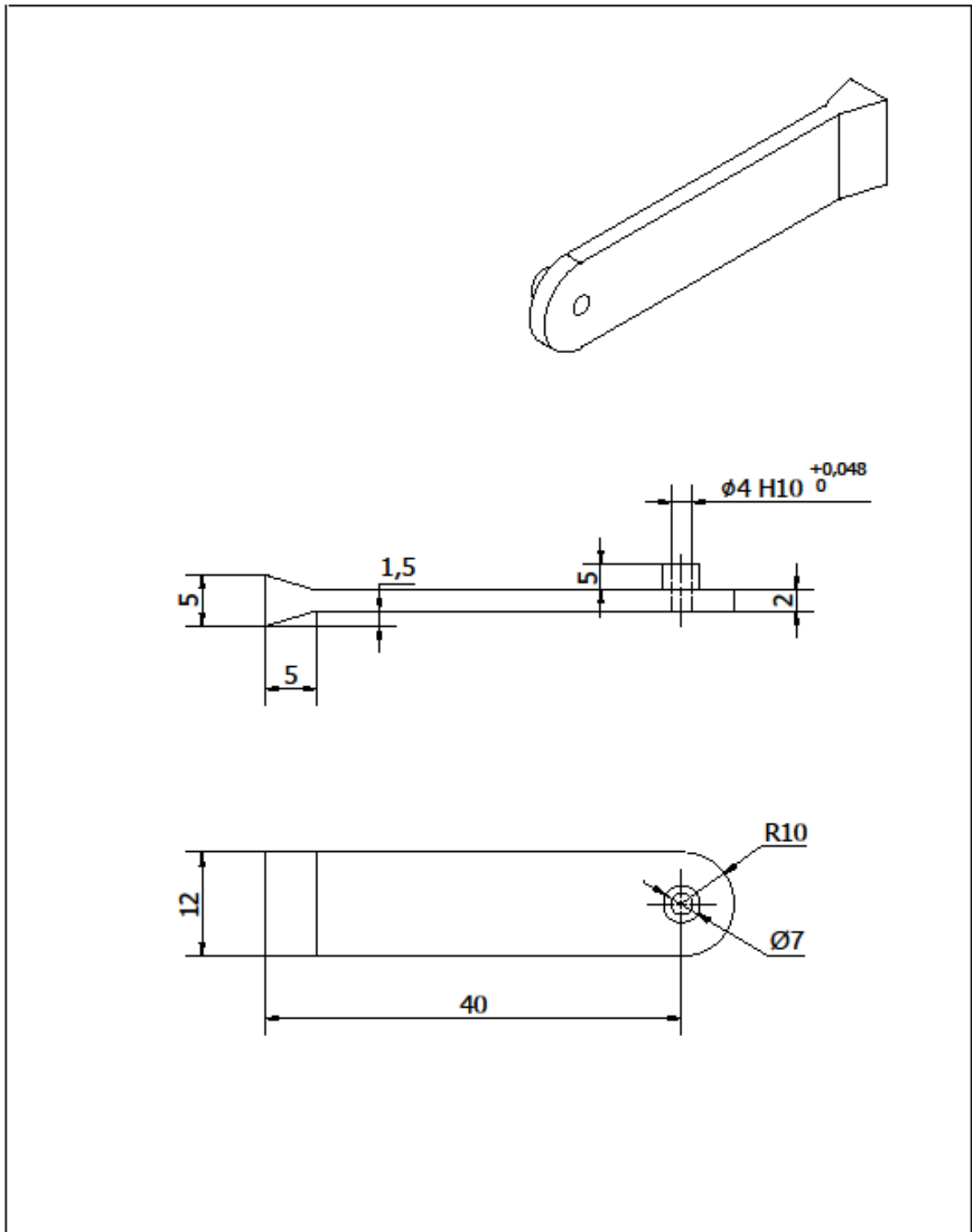
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Josué Ariel Garzón	
MATERIAL:	PLA	Tol. Gral.	N/A	Escala:	1:1
				Dis.	
				Rev.	
DORSO DE LA MANO			TIC.EXO.102		Fecha:
					24/02/2022

Anexo VI. Eslabón simple/Arco conector



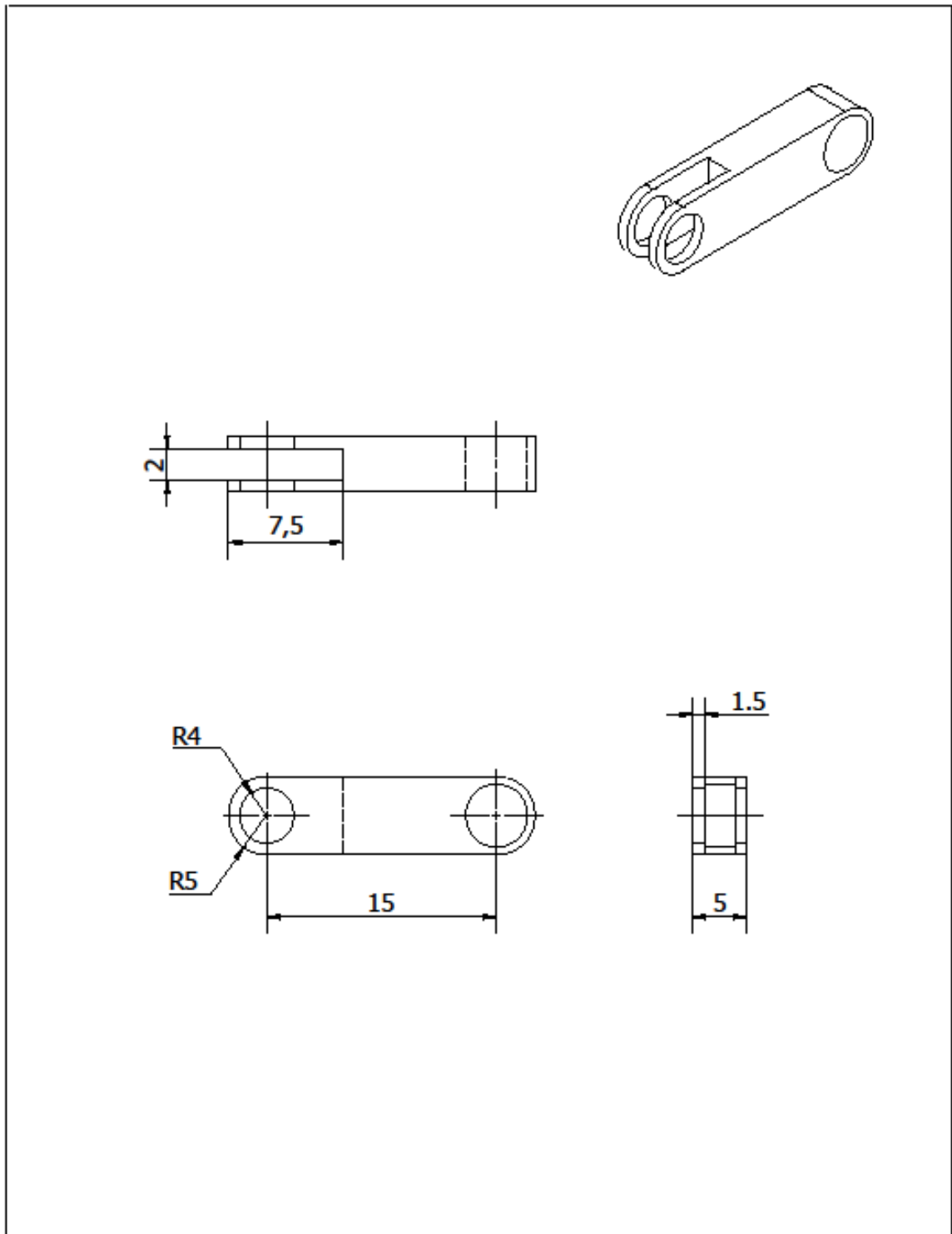
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Josué Ariel Garzón
MATERIAL:	PLA	Tol. Gral. N/A	Escala: 2:1	Dis.
ESLABÓN SIMPLE ARCO CONECTOR			TIC.EXO.103	Rev.
				Fecha: 24/02/2022

Anexo VII. Junta estática puesta al dorso de la mano



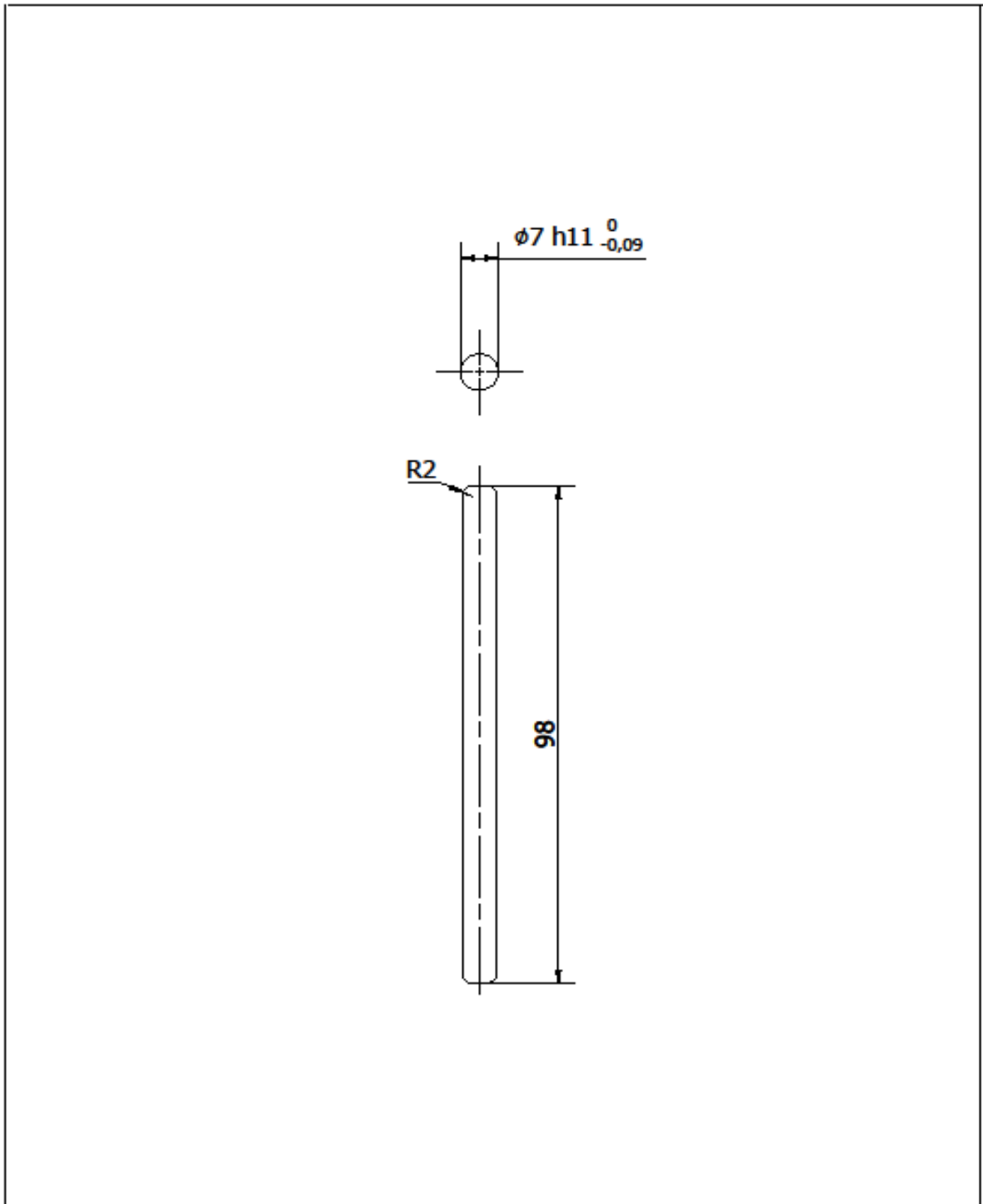
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Josué Ariel Garzón
MATERIAL:	PLA	Tol. Gral. N/A	Escala: 2:1	Dis.
				Rev.
JUNTA ESTÁTICA PUESTA AL DORSO DE LA MANO		TIC.EXO.104		Fecha: 24/02/2022

Anexo VIII. Eslabón simple.



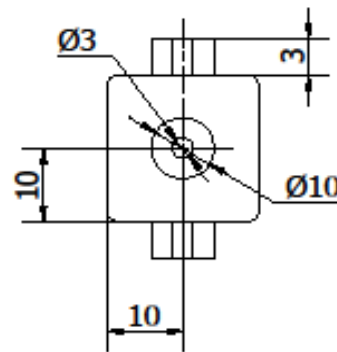
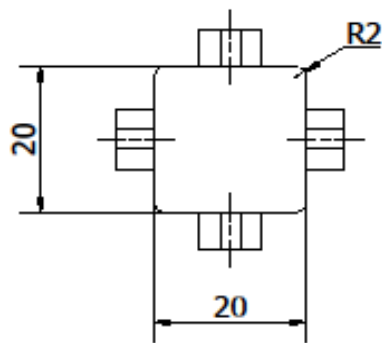
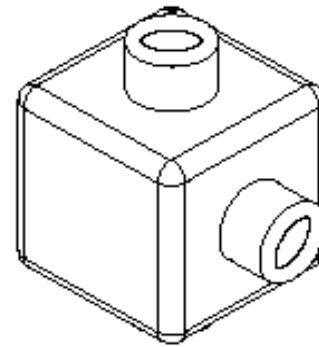
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Josué Ariel Garzón
MATERIAL:	PLA	Tol. Gral. N/A	Escala: 3:1	Dis.
				Rev.
ESLABÓN SIMPLE		TIC.EXO.105		Fecha: 24/02/2022

Anexo IX. Pasador dorso de la mano.



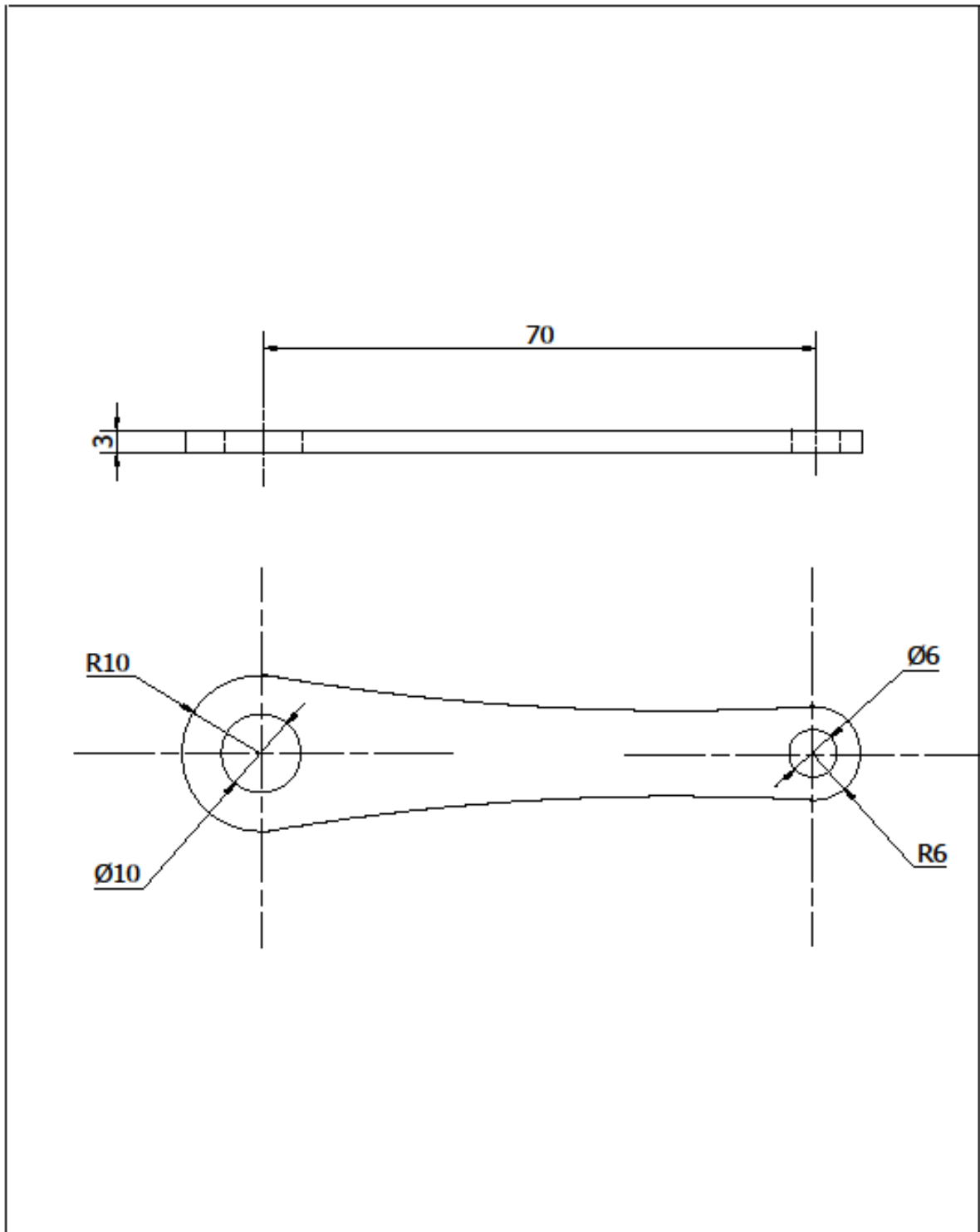
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Jefferson Quillupangui
MATERIAL: PLA	Tol. Gral. N/A	Escala: 1:1	Dis.	
			Rev.	
PASADOR DORSO DE LA MANO		TIC.EXO.106	Fecha: 24/02/2023	

Anexo X. Cubo, junta universal.



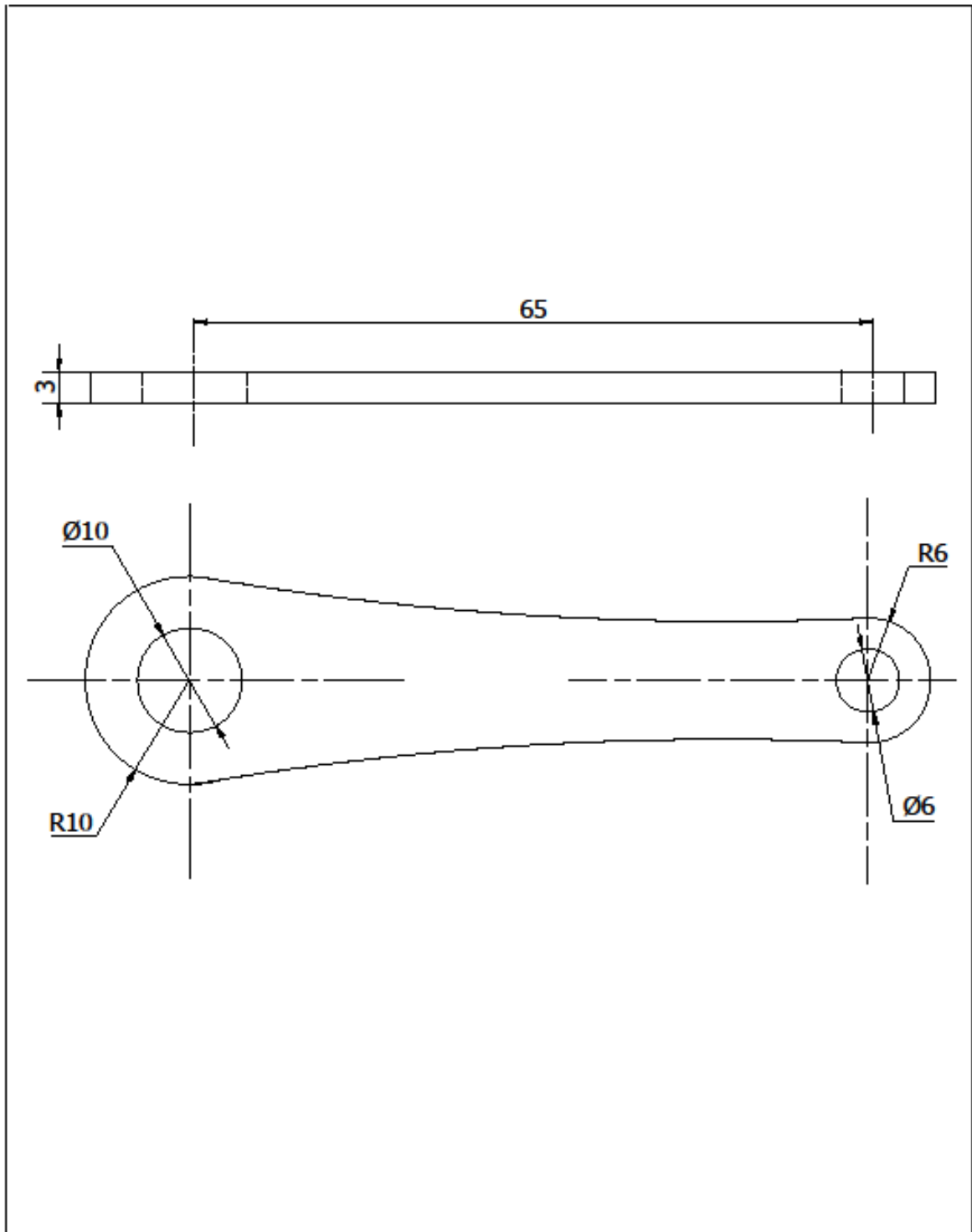
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Josué Ariel Garzón
MATERIAL:	PLA	Tol. Gral.	Escala:	Mod.
		N/A	1:1	Jefferson Quillupanqui
			Rev.	
CUBO JUNTA UNIVERSAL		TIC.EXO.107		Fecha: 24/02/2023

Anexo XI. Eslabón simple Falange proximal.



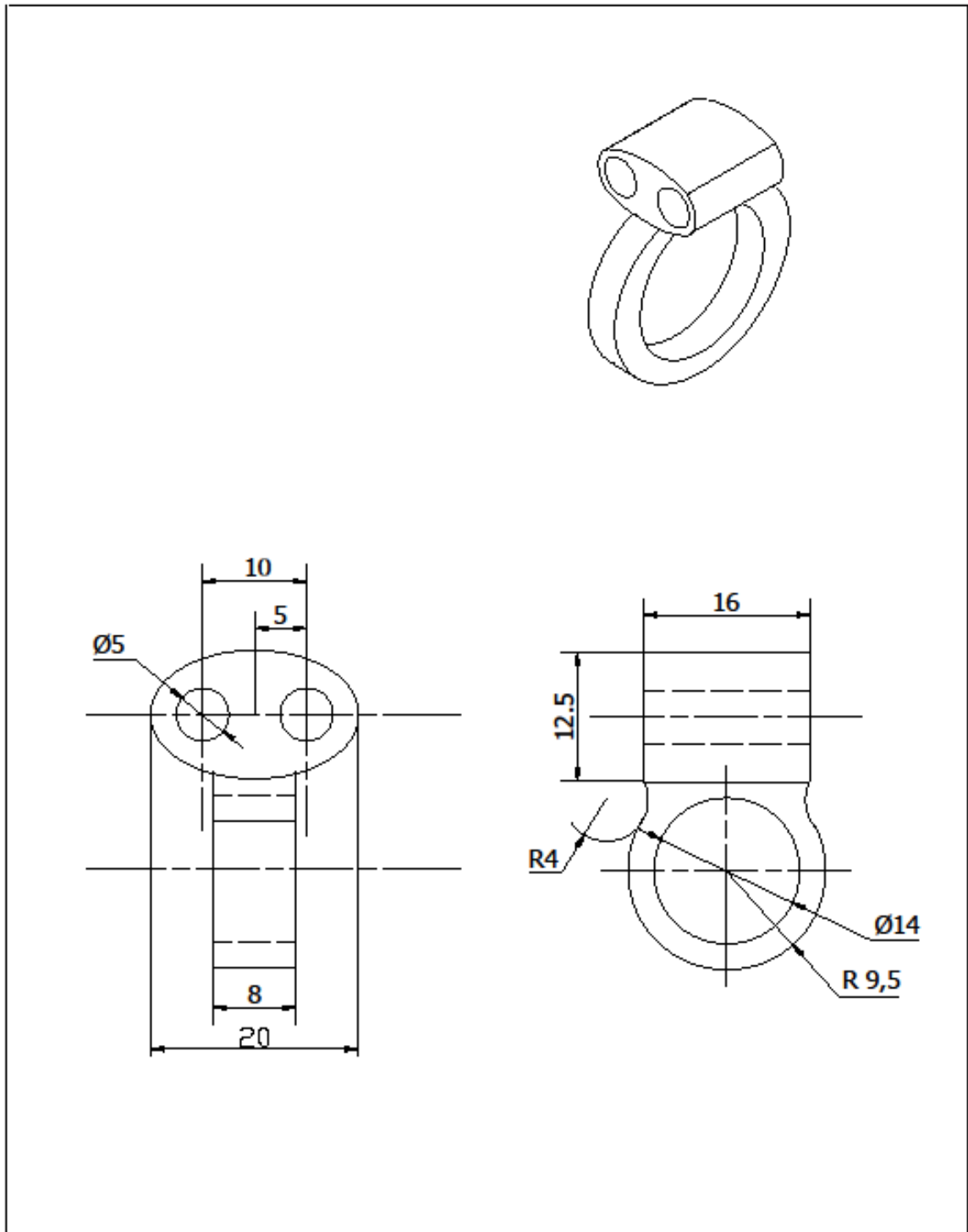
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Jefferson Quillupangui
MATERIAL: PLA	Tol. Gral. N/A	Escala: 1.5:1	Dis.	
			Rev.	
ESLABÓN SIMPLE FALANGE PROXIMAL		TIC.EXO.108		Fecha: 24/02/2023

Anexo XII. Eslabón simple Falange medial.



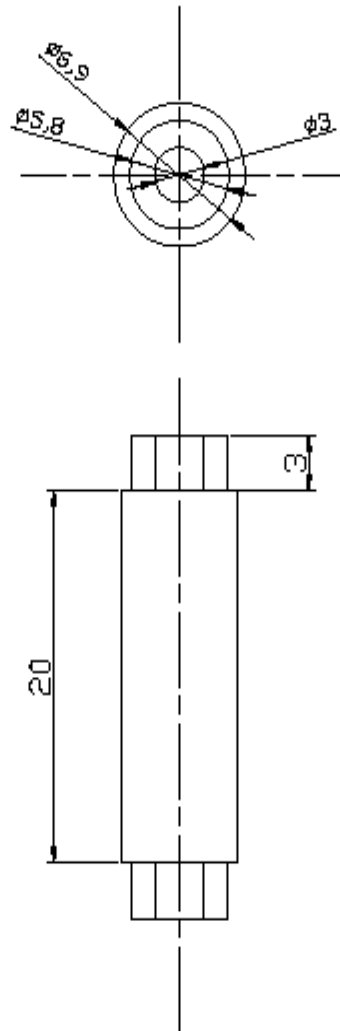
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Jefferson Quillupangui
MATERIAL:	PLA	Tol. Gral.	Escala:	Dis.
		N/A	2:1	Rev.
ESLABÓN SIMPLE FALANGE MEDIAL		TIC.EXO.109		Fecha: 24/02/2023

Anexo XIII. Anillo Falange distal menique.



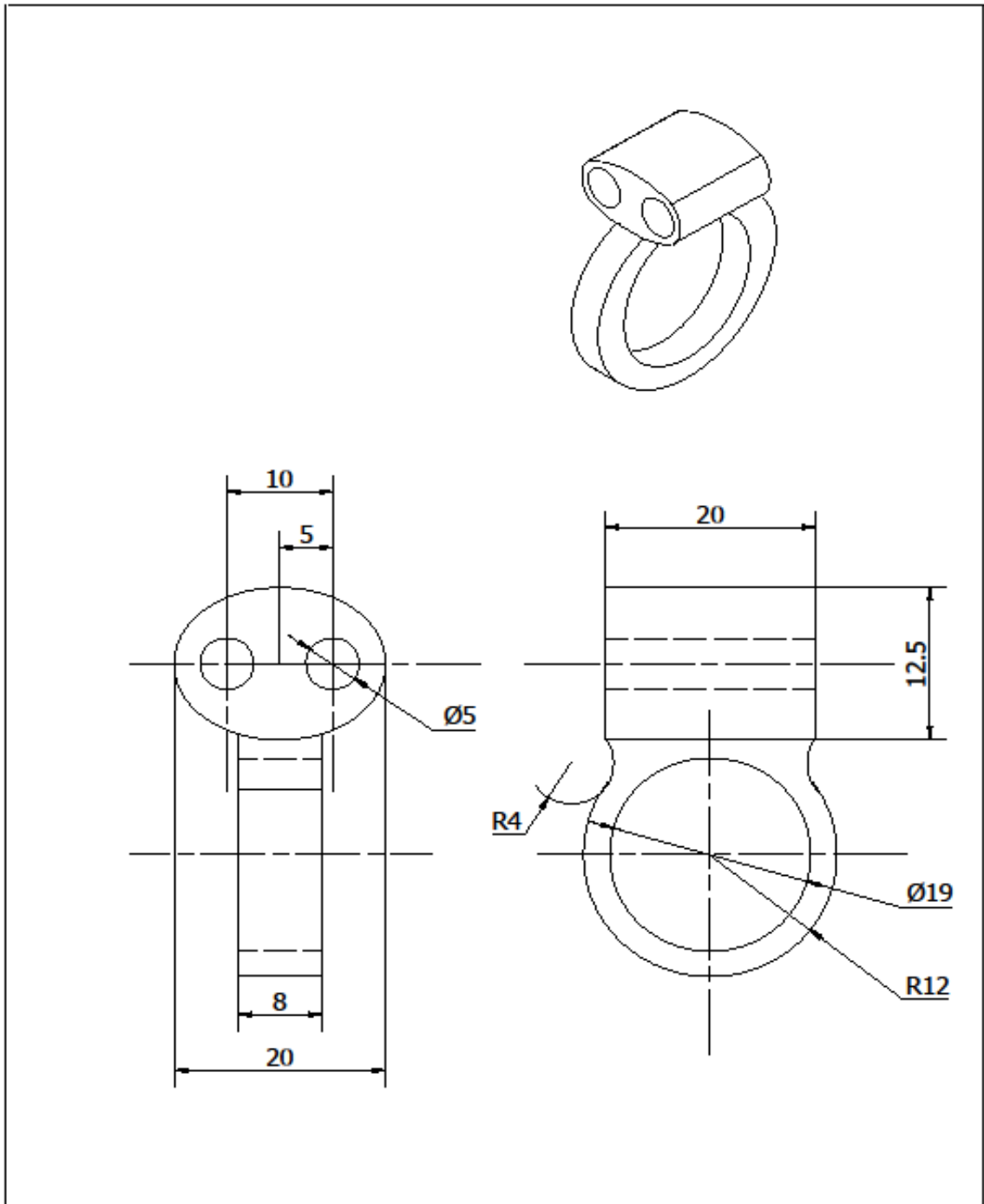
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Jefferson Quillupangui
MATERIAL:	PLA	Tol. Gral. N/A	Escala: 2:1	Dis.
ANILLO FALANGE DISTAL MEÑIQUE			TIC.EXO.110	Rev.
				Fecha: 24/02/2023

Anexo XIV. Pasador dorso Falange Proximal.



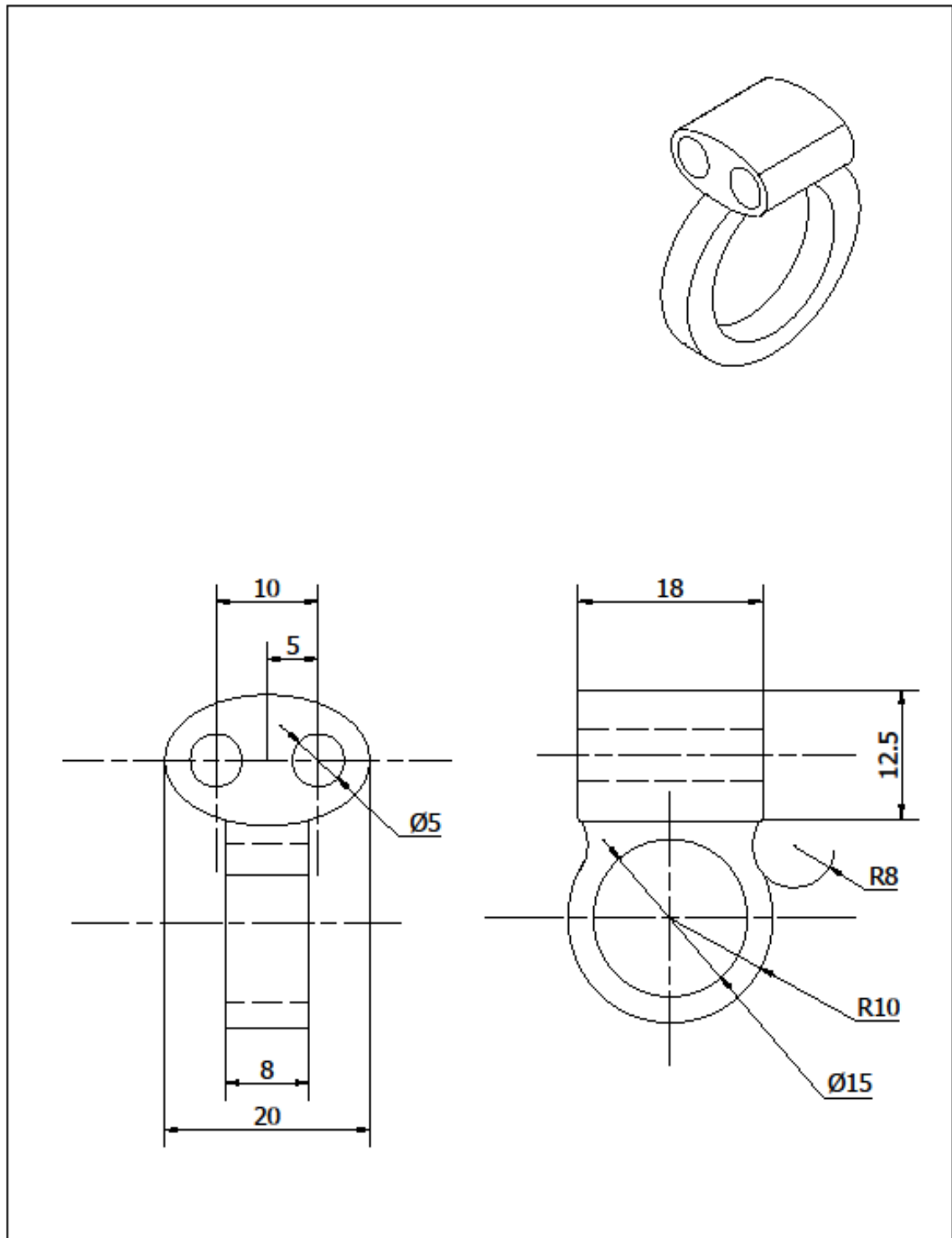
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Jefferson Quillupangui
MATERIAL:	PLA	Tol. Gral.	Escala:	Dis.
		N/A	3:1	Rev.
PASADOR DORSO / FALANGE PROXIMAL		TIC.EXO.111		Fecha: 24/02/2023

Anexo XV. Anillo Falange dista pulgar






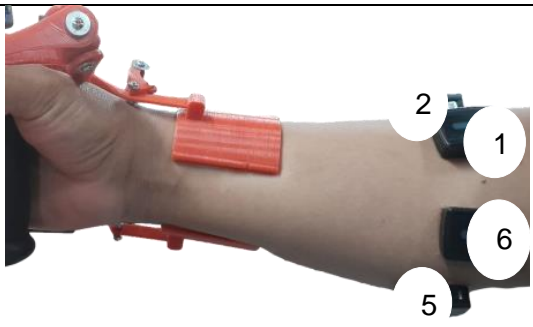
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Jefferson Quillupangui
MATERIAL:	PLA	Tol. Gral. N/A	Escala: 2:1	Dis.
				Rev.
Anillo Falange distal pulgar			TIC.EXO.112	Fecha: 24/02/2023

Anexo XVI. Anillo Falange Distal Anular del Medio Índice



Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Josué Ariel Garzón
MATERIAL:	PLA	Tol. Gral. N/A	Escala: 2:1	Dis.
				Rev.
Anillo Falange Distal Anular del Medio Índice			TIC.EXO.113	Fecha: 24/02/2023

Anexo XVII. Protocolo de prueba

		<h1>PROTOCOLO DE PRUEBA</h1>			
TIPO DE PRUEBA		AGARRE		N°	
Protocolo con exo-esqueleto y sin exo-esqueleto				Fecha	
NOMBRE DEL PARTICIPANTE			POSICIONAMIENTO DE SENSORES		
SEXO		--	Sensor	Musculo	
EDAD		años	1	Braquiorradial	
PESO		Kg	2	Flexor de los carpos del radio	
ALTURA		m	3	Extensor largo de los carpos del radio	
MANO	Derecha		4	Extensor de los dedos	
Sensores EMG, registran actividad eléctrica de los músculos			5	Extensor de los carpos del cúbito	
			6	Flexor del carpo del cúbito	
<p>Se coloca 6 sensores EMG en el medio de los músculos identificados, la colocación de estos sensores debe de ser estrictamente en el medio de estos musculo, para la toma de datos correctamente. Antes de la colocación de los sensores EMG se debe de rasurar la zona donde van puesto, porque puede interferir con los resultados.</p>					
Sin exo-esqueleto			Con exoesqueleto		
					
PROCEDIMIENTO					
Calibración		SI		Realización de gestos	
				SI	
<p>1.- Colocación de sensores EMG</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificación de los músculos del antebrazo - Colocación de sensores EMG en su respectivo musculo. <p>2.-Colocacion del prototipo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocación del prototipo a la mano del sujeto de prueba - Inspeccionar la movilidad del exo-esqueleto en funcionamiento - Ajuste del prototipo mediante tornillos - Comodidad del exoesqueleto en el sujeto de prueba Buna <input type="checkbox"/> Mala <input type="checkbox"/> <p>3.- Calibración</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipamiento de Sensor Kiev - Ejercicio cíclico, empuñar el Sensor Kiev y soltar l continuamente por 60 segundo - Ejercicio estático empuña el sensor Kiev por 10 segundos manteniendo la fuerza constante. <p>4.- Realización de agarres funcionales</p>					

Los tipos de agarre se especifica en el documento

- Agarre de oposición terminal
- Agarre de oposición subterminal
- Agarre de oposición subterminolateral
- Agarre de oposición digito palmar
- Agarre palmar con toda la mano
- Agarre con el puño
- Agarre interdigital laterolateral
- Agarre especial con tijera
- Agarre especial con desarmador

OBSERVACIONES

REALIZADO POR

JEFFERSON QUILLUPANGUI

SUPERVISAZO POR

WILLIAM VENEGAS PhD

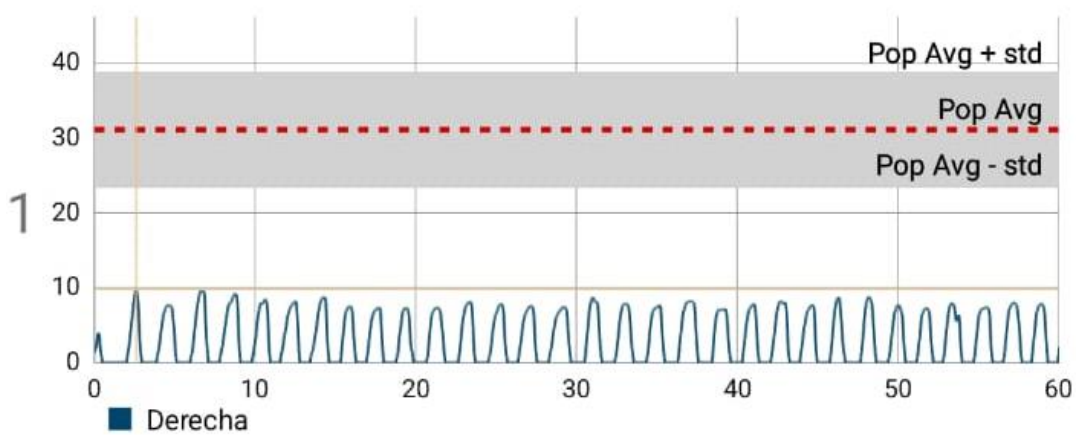
ANEXO XVIII. Resultados cíclicos.

Fuerza maxima



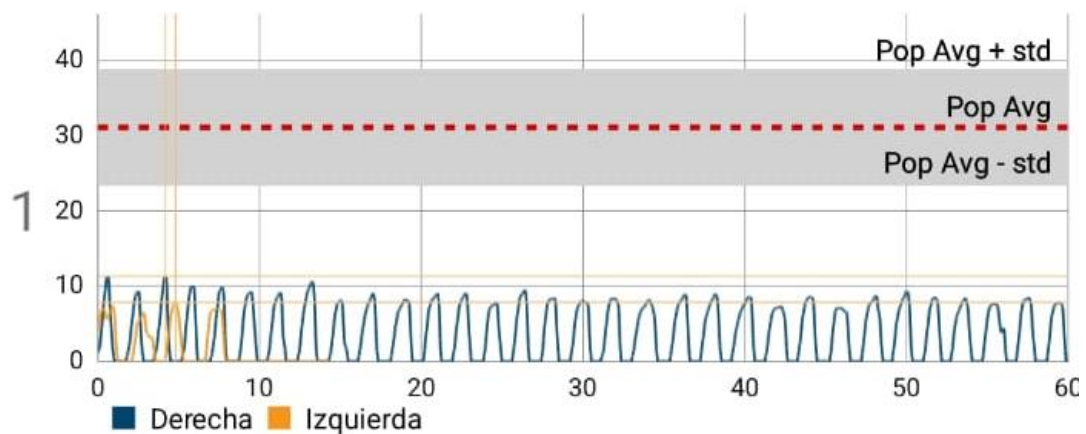
9.8 Kg

Análisis de repeticiones para la fuerza máxima en Kg



Deficit 30.7%

Análisis de repeticiones para la fuerza máxima en Kg

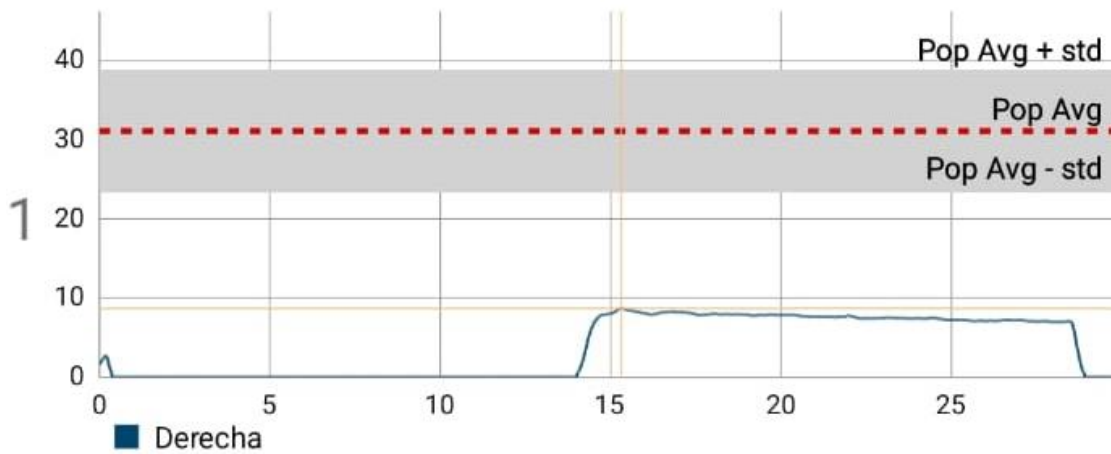


ANEXO XIX. Resultados estáticos



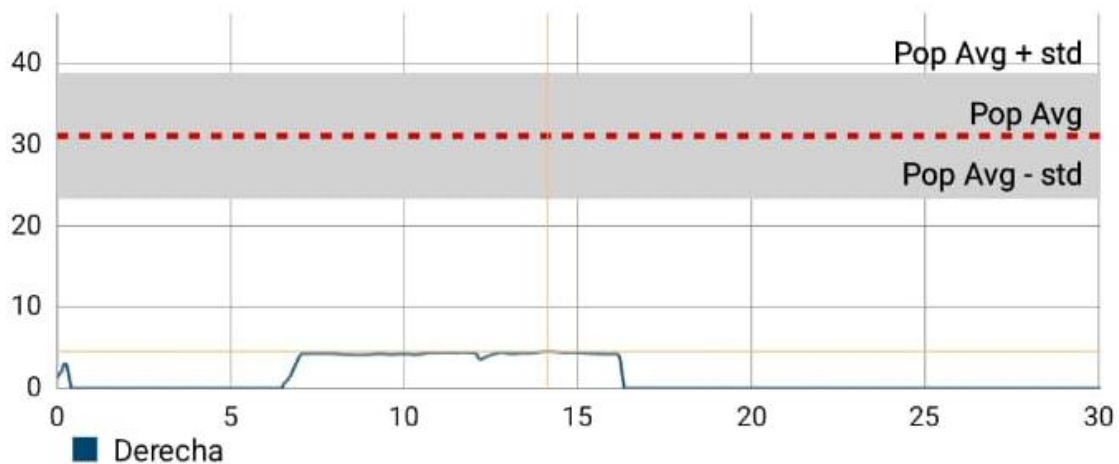
8.7 Kg

Análisis de repeticiones para la fuerza máxima en Kg



4.6 Kg

Análisis de repeticiones para la fuerza máxima en Kg



ANEXO XX. Tabla de resultados P10, P50, P90 y Rangos de los sujetos sometido al protocolo de pruebas.

Tabla 1.1 Descriptivo P10 a la función de distribución de probabilidad de amplitud (APDF)

Sujeto	Gesto	Actividad P10 EMG %					
		Uno	Dos	Tres	Cuatro	Cinco	Seis
S01	G01	36,722	16,191	1,602	23,473	5074,307	16,595
	G02	31,477	15,835	1,289	23,860	5068,100	18,170
	G03	34,457	15,626	1,429	23,190	5034,960	17,869
	G04	35,449	15,048	1,756	23,646	5009,104	19,093
	G05	33,614	33,935	6,235	23,462	4969,492	26,412
	G06	31,128	13,913	0,784	23,793	4938,200	19,805
	G07	33,529	14,817	1,655	24,492	4972,251	19,657
	G08	38,960	22,812	3,672	28,017	5751,797	22,848
	G09	43,387	19,302	1,872	27,882	5720,822	23,082
	G10	31,210	16,991	6,912	23,413	5961,140	28,361
	G11	34,977	16,207	9,977	22,627	5945,118	15,649
	G12	41,786	16,324	12,891	25,029	5922,110	20,511
	G13	28,311	13,378	6,966	22,826	5904,024	19,258
	G14	29,386	15,806	5,433	24,409	5872,847	15,739
	G15	42,066	15,610	1,505	23,035	5864,359	19,024
	G16	34,635	16,359	7,880	24,076	5843,297	18,500
	G17	38,111	16,772	1,340	38,036	5808,454	17,405
	G18	38,322	15,938	1,333	23,202	5788,221	15,892
S02	G01	32,346	15,575	2,967	23,833	5036,240	19,469
	G02	28,604	15,246	2,865	23,585	5023,733	18,106
	G03	32,420	16,039	5,197	23,170	5026,364	20,324
	G04	36,274	15,775	6,871	22,921	4987,023	20,219
	G05	31,890	16,017	4,542	23,808	4997,268	19,877
	G06	33,913	14,230	5,327	24,221	4951,171	20,260
	G07	30,163	15,306	1,970	23,052	4959,869	19,999
	G08	38,279	18,066	3,030	23,664	4943,183	19,610
	G09	31,199	15,566	4,437	23,914	4868,950	20,215
	G10	38,048	18,516	7,436	24,601	5925,972	22,498
	G11	21,712	17,131	4,339	23,468	5922,771	13,497
	G12	21,824	15,778	0,796	23,426	5910,973	14,427
	G13	32,003	14,999	4,922	22,550	5885,009	21,430
	G14	40,209	16,318	6,722	22,818	5866,359	10,176
	G15	38,612	15,799	1,860	23,254	5850,637	18,488
	G16	33,957	16,124	13,431	23,087	5823,289	17,676
	G17	34,133	17,319	2,771	23,613	5794,902	20,889
	G18	33,355	16,358	7,452	24,373	5748,289	28,006
S03	G01	12,998	687,076	518,046	291,177	0,000	23,188
	G02	8,699	423,269	243,401	744,587	0,000	73,454
	G03	7,636	810,660	456,466	656,046	0,000	285,178
	G04	26,734	1000,756	2112,163	3090,408	0,000	558,995
	G05	7,485	2413,094	1011,798	1901,927	0,000	223,193
	G06	10,371	1750,672	549,419	1852,035	0,000	552,785
	G07	12,004	564,185	872,496	3385,441	0,000	258,140
	G08	40,722	3956,964	1000,658	5609,726	0,000	291,503
	G09	17,343	1705,570	719,818	1814,402	0,000	314,873
	G10	17,343	1705,570	719,818	1814,402	0,000	314,873
	G11	14,522	35,314	3,214	53,598	620,065	7,499
	G12	14,958	34,896	3,734	54,029	618,740	8,880
	G13	15,929	38,306	10,120	53,087	617,484	9,207
	G14	11,142	34,061	11,385	56,235	615,186	7,195
	G15	7,085	34,777	6,663	55,258	657,696	8,151
	G16	16,735	63,793	10,413	107,811	1151,357	15,387
	G17	16,822	88,358	6,124	45,811	604,066	7,959
	G18	16,342	30,291	9,515	55,490	599,309	7,692

S04	G01	16,505	650,442	481,621	962,390	0,000	227,449
	G02	4,607	762,192	471,392	1255,513	0,000	147,940
	G03	5,538	708,948	456,219	718,821	0,000	402,561
	G04	9,915	681,584	1048,303	1433,718	0,000	218,362
	G05	15,697	3167,662	1168,007	1034,070	0,000	568,586
	G06	8,834	2708,065	735,438	1347,417	0,000	575,817
	G07	10,650	535,004	1152,146	3873,035	0,000	242,801
	G08	12,518	1147,580	481,220	1929,746	0,000	167,477
	G09	19,125	1386,714	843,348	1567,989	0,000	402,079
	G10	9,516	32,983	7,936	55,270	622,202	8,784
	G11	22,725	67,134	21,248	53,888	620,171	15,457
	G12	17,940	34,146	10,618	54,955	618,292	8,251
	G13	13,833	30,312	9,278	55,190	616,922	7,186
	G14	10,984	30,469	10,452	55,909	613,714	6,707
	G15	19,904	41,184	9,751	55,131	607,289	9,643
	G16	7,286	32,150	10,165	53,113	606,663	6,598
	G17	18,210	34,383	6,510	54,716	601,975	6,204
	G18	13,365	32,070	9,708	55,236	598,818	7,545

Tabla 1.1 Descriptivo P50 a la función de distribución de probabilidad de amplitud (APDF)

Sujeto	Gesto	Actividad P50 EMG %					
		Uno	Dos	Tres	Cuatro	Cinco	Seis
S01	G01	39,509	20,266	3,501	24,217	5127,023	18,864
	G02	34,056	21,788	8,313	24,889	5123,425	20,460
	G03	37,369	16,265	6,314	23,737	5090,518	20,770
	G04	41,024	21,113	44,268	24,693	5064,796	23,725
	G05	40,211	39,219	15,116	24,822	5023,192	30,924
	G06	35,754	16,009	4,972	24,915	5015,898	20,596
	G07	36,973	15,767	10,533	25,212	5025,659	23,542
	G08	42,906	26,736	9,009	29,530	5803,704	24,090
	G09	48,067	21,486	26,896	29,330	5772,983	23,862
	G10	40,695	18,551	15,773	24,112	6021,162	34,802
	G11	39,066	18,945	17,643	23,701	6005,470	23,773
	G12	50,990	19,135	30,956	26,143	5981,236	25,178
	G13	48,412	15,915	21,081	23,843	5962,681	23,270
	G14	50,472	18,413	10,991	27,030	5931,118	23,401
	G15	47,558	17,411	5,464	23,597	5923,022	25,970
	G16	41,236	17,430	13,593	25,210	5901,179	22,662
	G17	58,561	21,782	11,418	59,095	5865,693	56,795
	G18	48,178	17,363	2,021	26,629	5847,295	21,027
S02	G01	35,631	16,353	6,467	24,409	5092,686	20,059
	G02	32,058	21,173	5,270	24,178	5076,185	21,039
	G03	36,873	18,426	14,008	24,019	5080,983	21,282
	G04	43,024	22,649	41,419	24,186	5044,955	26,591
	G05	50,040	29,236	10,476	25,528	5051,613	22,794
	G06	37,503	15,605	7,943	25,199	5038,584	21,114
	G07	34,452	16,340	7,681	23,817	5013,698	21,064
	G08	41,854	20,730	5,152	24,895	4994,974	20,294
	G09	36,975	25,259	35,349	25,366	4934,671	21,389
	G10	47,490	20,374	11,857	25,273	5985,574	27,193
	G11	32,187	19,523	20,686	24,420	5981,620	20,217
	G12	32,267	17,982	48,672	24,823	5969,453	19,448
	G13	40,408	17,030	24,032	27,052	5943,604	30,697
	G14	51,013	21,113	16,804	24,010	5925,238	24,635
	G15	45,371	28,580	7,908	27,752	5908,149	24,283
	G16	43,925	18,214	22,775	24,012	5881,003	22,637
	G17	72,324	20,560	5,591	25,085	5853,579	54,187
	G18	45,777	25,283	76,820	26,474	5809,454	62,783

S03	G01	69,448	766,844	600,992	332,558	3315,044	34,897
	G02	19,450	490,841	315,182	786,068	3284,915	88,132
	G03	22,524	889,654	538,397	722,379	3262,037	326,411
	G04	44,655	1090,210	2216,577	3195,206	3242,264	601,139
	G05	31,422	2544,364	1117,904	1958,467	3223,507	257,102
	G06	42,258	1842,537	639,473	1970,009	3204,405	610,510
	G07	27,918	631,705	963,561	3531,272	3187,613	286,305
	G08	102,810	4092,007	1109,202	5703,401	3146,887	349,728
	G09	31,761	1803,248	809,320	1927,754	3127,969	350,949
	G10	31,761	1803,248	809,320	1927,754	3127,969	350,949
	G11	23,235	38,893	123,392	55,789	627,255	8,712
	G12	20,743	38,650	16,198	55,903	625,574	10,214
	G13	23,949	41,673	181,676	55,202	624,252	10,472
	G14	20,626	38,045	18,157	58,850	621,927	10,264
	G15	13,673	38,002	32,059	57,683	665,436	9,621
	G16	26,019	67,515	147,050	110,635	1157,558	17,295
	G17	24,503	92,399	76,669	84,788	610,901	10,454
	G18	22,220	33,128	13,722	57,822	605,910	9,773
S04	G01	38,730	714,298	553,074	1007,128	3295,723	240,249
	G02	28,249	862,956	554,119	1306,502	3275,758	167,438
	G03	16,894	779,407	544,137	777,439	3254,382	431,332
	G04	49,636	761,535	1147,120	1514,113	3234,204	252,239
	G05	55,316	3298,332	1282,584	1116,954	3215,659	618,142
	G06	22,635	2803,444	843,906	1475,611	3196,154	636,028
	G07	24,797	611,523	1256,982	4242,959	3179,681	272,266
	G08	71,697	1251,882	579,194	1994,559	3138,058	199,758
	G09	40,092	1493,002	948,198	1688,553	3097,329	447,947
	G10	16,538	36,951	28,917	56,724	629,068	10,229
	G11	30,312	70,838	125,524	56,661	627,121	16,695
	G12	23,865	37,043	16,226	57,939	625,193	10,412
	G13	21,653	33,710	14,191	57,550	623,777	8,561
	G14	28,282	35,659	94,633	58,610	620,439	8,996
	G15	27,365	44,361	33,916	57,533	614,049	11,770
	G16	19,686	34,840	28,112	58,663	613,216	9,016
	G17	29,486	39,885	67,202	66,173	608,592	8,718
	G18	19,263	38,575	112,329	75,654	605,284	27,873

Tabla 1.1 Descriptivo P90 a la función de distribución de probabilidad de amplitud (APDF)

Sujeto	Gesto	Actividad P90 EMG %					
		Uno	Dos	Tres	Cuatro	Cinco	Seis
S01	G01	42,685	36,364	5,332	25,189	5158,741	20,380
	G02	38,092	37,456	13,586	25,620	5162,078	23,217
	G03	40,566	18,773	12,595	24,296	5119,925	21,798
	G04	71,361	42,283	196,866	33,907	5096,130	81,270
	G05	100,908	200,458	45,485	45,097	5052,559	100,125
	G06	143,248	228,819	29,683	299,622	5056,556	96,086
	G07	42,129	20,956	60,826	26,296	5054,636	57,514
	G08	292,508	448,206	39,732	47,424	5831,083	75,613
	G09	90,250	90,563	65,285	56,743	5804,825	45,747
	G10	50,678	21,166	22,788	26,177	6056,104	39,929
	G11	45,061	29,483	30,107	26,406	6036,273	58,113
	G12	75,233	45,547	89,702	38,222	6012,902	85,709
	G13	72,061	39,855	91,264	53,766	5995,071	76,032
	G14	115,562	178,697	25,361	59,414	5963,356	43,038
	G15	79,686	28,067	28,805	28,575	5953,245	38,310
	G16	58,725	26,879	177,611	38,540	5931,187	154,587
	G17	529,369	649,257	63,350	180,122	5898,990	195,533
	G18	73,584	70,448	116,351	81,042	5878,496	119,940

S02	G01	39,588	33,524	10,798	25,033	5125,029	20,726
	G02	37,504	34,716	9,957	24,789	5112,784	21,789
	G03	52,166	49,598	23,494	26,200	5109,656	33,313
	G04	68,585	45,817	202,878	43,109	5079,683	92,123
	G05	129,231	263,720	57,780	40,904	5079,936	89,827
	G06	115,439	163,172	31,500	330,665	5088,188	75,205
	G07	44,959	25,872	93,471	25,140	5041,251	90,172
	G08	180,951	215,733	17,941	34,763	5021,912	88,784
	G09	81,042	110,124	72,185	73,999	4989,933	70,379
	G10	60,246	25,422	21,953	26,882	6023,865	33,771
	G11	50,293	23,372	49,697	31,313	6010,355	43,415
	G12	49,372	37,758	85,245	30,691	5997,602	24,402
	G13	68,324	36,275	178,295	91,853	5974,801	91,278
	G14	90,285	101,541	24,290	29,478	5956,648	45,481
	G15	65,486	64,895	18,848	39,788	5938,995	28,064
	G16	84,202	25,968	142,601	32,026	5912,169	135,090
	G17	597,100	596,041	66,668	174,581	5886,600	221,490
	G18	64,389	39,250	203,102	35,707	5842,558	178,435
S03	G01	122,461	912,735	651,990	587,706	3329,025	76,014
	G02	61,969	638,803	355,229	1035,082	3298,338	129,153
	G03	71,563	1035,876	589,506	979,418	3283,359	367,205
	G04	562,404	1241,156	2285,322	3452,159	3284,621	641,701
	G05	69,254	2689,563	1188,239	2219,603	3240,675	297,526
	G06	123,965	1986,994	697,727	2232,658	3234,025	651,383
	G07	267,362	783,668	1024,156	3791,852	3217,429	327,503
	G08	280,996	4231,446	1181,067	5962,619	3171,330	397,822
	G09	120,409	1945,939	863,866	2191,250	3152,115	391,333
	G10	120,409	1945,939	863,866	2191,250	3152,115	391,333
	G11	38,543	124,121	227,000	70,225	631,151	10,700
	G12	26,756	73,830	410,858	105,832	629,020	21,152
	G13	32,080	105,917	759,641	194,695	627,725	54,498
	G14	62,256	343,975	207,082	154,997	625,526	19,555
	G15	20,585	51,569	70,857	93,605	669,246	14,962
	G16	35,380	81,244	558,667	172,309	1161,087	159,183
	G17	66,734	286,658	414,900	225,785	614,356	20,055
	G18	28,857	48,018	211,868	87,339	609,409	12,329
S04	G01	138,541	864,435	597,258	1266,344	3309,549	281,551
	G02	78,293	1004,580	604,009	1567,347	3290,870	208,132
	G03	122,424	927,258	603,080	1040,073	3273,012	472,351
	G04	428,804	912,866	1212,246	1773,462	3268,330	292,706
	G05	145,863	3492,530	1368,330	1376,373	3238,624	658,600
	G06	187,067	2949,972	921,883	1738,609	3230,181	676,896
	G07	355,664	763,196	1335,706	4503,096	3244,309	313,028
	G08	195,084	1398,079	642,582	2254,733	3155,834	238,880
	G09	107,091	1637,029	1019,236	1952,115	3125,489	488,601
	G10	24,112	62,166	457,067	102,244	632,762	34,419
	G11	43,684	141,831	241,075	62,331	630,713	21,787
	G12	30,381	62,125	681,993	158,216	628,598	43,458
	G13	45,759	175,853	939,159	300,383	627,044	115,537
	G14	40,894	203,728	218,684	119,579	623,893	29,344
	G15	35,873	56,242	91,160	85,959	617,509	14,022
	G16	30,836	50,338	592,027	137,862	616,633	135,643
	G17	76,925	378,203	479,812	288,878	611,968	33,645
	G18	26,084	63,890	159,869	104,210	608,661	45,658

Tabla 1.1 Descriptivo P10 a la función de distribución de probabilidad de amplitud (APDF)

Sujeto	Gesto	Actividad P10 EMG %					
		Uno	Dos	Tres	Cuatro	Cinco	Seis
S01	G01	5,963	20,173	3,730	1,716	84,434	3,785
	G02	6,615	21,621	12,297	1,760	93,978	5,047
	G03	6,110	3,147	11,166	1,106	84,965	3,930
	G04	35,912	27,235	195,110	10,260	87,026	62,178
	G05	67,294	166,522	39,250	21,635	83,068	73,713
	G06	112,120	214,906	28,900	275,829	118,356	76,281
	G07	8,599	6,139	59,171	1,804	82,385	37,857
	G08	253,549	425,395	36,060	19,407	79,285	52,765
	G09	46,863	71,261	63,413	28,861	84,002	22,665
	G10	19,468	4,175	15,876	2,763	94,964	11,568
	G11	10,084	13,275	20,130	3,779	91,155	42,464
	G12	33,447	29,223	76,811	13,193	90,792	65,198
	G13	43,750	26,476	84,297	30,940	91,047	56,775
	G14	86,176	162,891	19,928	35,006	90,510	27,299
	G15	37,620	12,456	27,300	5,540	88,886	19,286
	G16	24,090	10,521	169,732	14,464	87,890	136,087
	G17	491,258	632,486	62,009	142,087	90,536	178,129
	G18	35,262	54,510	115,018	57,840	90,275	104,048
S02	G01	7,242	17,949	7,831	1,200	88,789	1,257
	G02	8,901	19,470	7,092	1,204	89,052	3,683
	G03	19,746	33,559	18,298	3,030	83,292	12,988
	G04	32,311	30,042	196,007	20,189	92,660	71,904
	G05	97,341	247,703	53,239	17,095	82,669	69,950
	G06	81,526	148,942	26,173	306,444	137,017	54,945
	G07	14,796	10,566	91,501	2,088	81,382	70,172
	G08	142,672	197,668	14,911	11,099	78,729	69,174
	G09	49,843	94,559	67,748	50,084	120,982	50,164
	G10	22,199	6,906	14,517	2,281	97,892	11,273
	G11	28,581	6,241	45,359	7,845	87,585	29,918
	G12	27,547	21,980	84,449	7,265	86,628	9,976
	G13	36,321	21,276	173,374	69,302	89,792	69,848
	G14	50,076	85,223	17,568	6,661	90,290	35,304
	G15	26,873	49,097	16,988	16,534	88,357	9,576
	G16	50,245	9,844	129,169	8,939	88,880	117,414
	G17	562,967	578,722	63,897	150,968	91,698	200,601
	G18	31,033	22,892	195,649	11,333	94,270	150,430
S03	G01	109,464	225,659	133,944	296,529	3329,025	52,826
	G02	53,270	215,533	111,828	290,496	3298,338	55,699
	G03	63,927	225,216	133,040	323,372	3283,359	82,027
	G04	535,671	240,400	173,159	361,751	3284,621	82,706
	G05	61,769	276,469	176,441	317,676	3240,675	74,334
	G06	113,595	236,322	148,308	380,623	3234,025	98,598
	G07	255,357	219,483	151,660	406,411	3217,429	69,364
	G08	240,274	274,482	180,409	352,893	3171,330	106,318
	G09	103,066	240,369	144,048	376,848	3152,115	76,460
	G10	103,066	240,369	144,048	376,848	3152,115	76,460
	G11	24,022	88,807	223,786	16,627	11,086	3,201
	G12	11,798	38,934	407,124	51,803	10,279	12,272
	G13	16,152	67,610	749,521	141,608	10,241	45,291
	G14	51,114	309,914	195,697	98,762	10,340	12,360
	G15	13,500	16,792	64,194	38,347	11,550	6,811
	G16	18,645	17,451	548,254	64,498	9,731	143,797
	G17	49,912	198,300	408,777	179,974	10,290	12,096
	G18	12,515	17,727	202,353	31,850	10,100	4,637

S04	G01	122,036	213,993	115,637	303,955	3309,549	54,102
	G02	73,686	242,387	132,617	311,833	3290,870	60,192
	G03	116,886	218,310	146,861	321,252	3273,012	69,790
	G04	418,889	231,282	163,942	339,744	3268,330	74,344
	G05	130,166	324,867	200,323	342,302	3238,624	90,014
	G06	178,233	241,907	186,444	391,191	3230,181	101,079
	G07	345,013	228,192	183,560	630,061	3244,309	70,228
	G08	182,566	250,499	161,362	324,987	3155,834	71,402
	G09	87,965	250,315	175,887	384,125	3125,489	86,523
	G10	14,597	29,183	449,131	46,974	10,560	25,635
	G11	20,959	74,697	219,827	8,443	10,541	6,330
	G12	12,441	27,980	671,374	103,261	10,306	35,207
	G13	31,926	145,541	929,881	245,193	10,122	108,351
	G14	29,909	173,260	208,231	63,670	10,180	22,637
	G15	15,968	15,059	81,409	30,828	10,220	4,379
	G16	23,550	18,188	581,862	84,750	9,970	129,045
	G17	58,715	343,820	473,302	234,163	9,994	27,441
	G18	12,719	31,820	150,160	48,974	9,843	38,113

