



## **UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

Maestría en Ingeniería Industrial - IV cohorte

# **ANÁLISIS FUNCIONAL EN EL DISEÑO Y DESARROLLO DE UN ACCESORIO DEDICADO A LA MANIPULACIÓN DE TELÉFONOS INTELIGENTES Y SU INFLUENCIA EN EL SÍNDROME DEL TUNEL CARPIANO**

Trabajo de grado que presenta  
**MIGUEL ANGEL NIÑO ARDILA**

En opción al título de  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Envigado - Antioquia  
Colombia  
2021

## RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de grado de MIGUEL ANGEL NIÑO ARDILA titulado **ANÁLISIS FUNCIONAL EN EL DISEÑO Y DESARROLLO DE UN ACCESORIO DEDICADO A LA MANIPULACIÓN DE TELÉFONOS INTELIGENTES Y SU INFLUENCIA EN EL SÍNDROME DEL TUNEL CARPIANO**, se empezó a desarrollar en el SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA – SENNOVA TECNOACADEMIA CÚCUTA del Centro de la industria, la empresa y los servicios (CIES) en el barrio Pescadero, bajo la dirección del Dr. ALBERT MIYER SUÁREZ CASTRILLÓN, en calidad de DIRECTOR, perteneciente al programa de posgrado en ingenierías de la Universidad de Pamplona.

Atentamente.

---

Dr. Albert Miyer Suarez Castrillón  
Director

Norte de Santander, Pamplona - Colombia, a 4 de agosto de 2021

## ***AGRADECIMIENTOS***

Primero que todo quiero agradecer infinitamente a Dios por concederme este gran logro, a mi familia en especial a mi papá Luis Miguel, a mi mamá Amparo por hacer posible con sus grandes esfuerzos, a mi hermana Estefanía y a mi esposa Margarita Franco. Quiero expresar un agradecimiento a la Universidad de Pamplona en especial a mi director de tesis Dr. Albert Miyer Suarez por su gran exigencia en el proceso de estudio, especial agradecimiento al Dr. Oscar Augusto Fiallo por sus aportes y su gentileza, al programa de posgrados, al SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA, al programa SENNOVA y el proyecto TECNOACADEMIA CÚCUTA, al subdirector de centro CIES Dr. Eduardo Rivera, al Sr. Jorge E. Rubio, un agradecimiento especial a la Clínica de la Vegas de Medellín - Antioquia y a todas las personas que de una u otra manera aportaron y contribuyeron al desarrollo de ésta tesis, a todas éstas personas mis agradecimientos infinitos.

## ***DEDICATORIA***

Dedico este trabajo y todo mi esfuerzo a mi hija Violeta Niño, como mi principal motivación y motor de vida, a mi mamá por ver cumplir su felicidad que contagia a toda nuestra familia. A todas aquellas personas que de cierta manera gozan de los triunfos ajenos, como ejemplo de paz para irradiar nuevas costumbres, apuntando todos los que asuman este reto de promover la innovación a través de la investigación en Colombia.

## **TABLA DE CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	4
ANTECEDENTES	4
HIPÓTESIS	15
JUSTIFICACIÓN	15
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1. DISEÑO GENERAL DEL PROTOTIPO PARA LA CARGA Y MANIPULACIÓN DE TELÉFONOS INTELIGENTES EN CATIA V5	18
1.1 Introducción al diseño	18
1.2 Materiales y método	19
1.3 Diseños desarrollados	23
1.4 Diseño en CATIA V5	25
1.4 Ensamble del producto digital en CATIA V5	28
1.6 3DP usando prototipado rápido	29
CAPÍTULO II	31
2. ANALISIS FISIOLÓGICO DEL PROTOTIPO AV3 EN CATIA V5	31
2.1 Análisis de postura anatómica de la mano	31
2.2 Manufactura del prototipo AV3	36
2.3 Equipos utilizados	36
CAPÍTULO III	38
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1 Verificación del funcionamiento del prototipo AV3	38
3.2 Validación a través de pruebas de EMG del prototipo AV3	39

3.3 Análisis comparativo y funcional del prototipo AV3	45
DISCUSIÓN	49
CAPÍTULO IV	50
4. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVA	50
4.1 CONCLUSIONES	50
4.2 PERSPECTIVA	51
REFERENCIAS	52
ANEXOS	55

## **TABLA DE ILUSTRACIONES**

Figura 1. Evolución del consumo global de datos móviles [ <a href="https://www.google.com/search">https://www.google.com/search</a> ]	2
Figura 2. Mapa de relación de palabras claves asociadas a la ecuación de búsqueda 1. Fuente: Software VOSviewer® [Versión 1.6.9.], [ <a href="http://www.vosviewer.com">www.vosviewer.com</a> ].	5
Figura 3. Mapa de relación de autores asociadas a la ecuación de búsqueda 1.	5
Figura 4. Mapa de relación de palabras claves asociadas a la ecuación de búsqueda 2. Fuente: Software VOSviewer® [Versión 1.6.9.], Tecnología de búsqueda [ <a href="http://www.vosviewer.com">www.vosviewer.com</a> ].	6
Figura 5. Mapa de relación de autores asociadas a la ecuación de búsqueda 2. Fuente: Software VOSviewer® [Versión 1.6.9.], Tecnología de búsqueda [ <a href="http://www.vosviewer.com">www.vosviewer.com</a> ].	6
Figura 6. Mapa de relación de palabras claves asociadas a la ecuación de búsqueda 3. Fuente: Software VOSviewer® [Versión 1.6.9.], [ <a href="http://www.vosviewer.com">www.vosviewer.com</a> ].	7
Figura 7. Mapa de relación de autores asociadas a la ecuación de búsqueda 3.	8
Figura 8. Gráfico número de documentos vs tiempo, asociado a la ecuación de búsqueda 1.	8
Figura 9. Gráfico número de documentos vs tiempo, asociado a la ecuación de búsqueda 2.	9
Figura 10. Gráfico número de documentos vs tiempo, asociado a la ecuación de búsqueda 3.	9
Figura 11. El gráfico circular muestra la distribución porcentual de las respuestas sobre la conciencia del síndrome del túnel carpiano. [9]	11
Figura 12. Gráfico circular que muestra la distribución porcentual de las respuestas a la pregunta "en qué tipo de profesión es más probable que se vea STC". [9]	11
Figura 13. Figura 14. Resumen de los usuarios Millennials / Digitales.	13
Figura 14. Accesorios para Teléfonos Inteligentes del mercado actual.	15
Figura 15. Etapas de la estrategia PLM	18

Figura 16. Metodología de la investigación holística por Jacqueline Hurtado de Barrera [22]	21
Figura 17. Diseños de los prototipos AV1, AV2 y AV3 respectivamente.	24
Figura 18. Entorno gráfico 2D de CATIA V5, Fuente: Autoría propia.	24
Figura 19. Fuente: Autoría propia.	25
Figura 20. Fuente: Autoría propia.	26
Figura 21. Fuente: Autoría propia.	26
Figura 22. Fuente: Autoría propia.	27
Figura 23. Fuente: Autoría propia.	27
Figura 24. Fuente: Autoría propia.	28
Figura 25. Diseño del prototipo AV1. Fuente: Autoría propia.	28
Figura 26. Diseño del prototipo AV2. Fuente: Autoría propia.	29
Figura 27. Diseño del prototipo AV3. Fuente: Autoría propia.	29
Figura 28. Impresión del prototipo AV2, Fuente: Autoría propia.	30
Figura 29. Zona con influencia del nervio mediano	31
Figura 30. Diagrama del STC, Fuente: (Fernández Garza, 2017) [14].	32
Figura 31. Posiciones o posturas correctas e incorrectas del uso de un teclado, Fuente: (Fernández Garza, 2017)	33
Figura 32. Posiciones o posturas correctas e incorrectas del uso de un ratón, Fuente: (Fernández Garza, 2017)	33
Figura 33. Ángulos habilitados para el correcto uso del prototipo AV3 en CATIA V5.	34
Figura 34. Vista de perspectiva 3D – análisis de postura en el módulo human builder de Ergonomics Design & Analysis, CATIA V5. Fuente: Autoría propia.	35
Figura 35. Vista de perspectiva 3D – análisis de postura en el módulo human builder de Ergonomics Design & Analysis, CATIA V5. Fuente: Autoría propia.	35
Figura 36. Manufactura del prototipo AV3. Fuente: Autoría propia.	36
Figura 37. Equipo Sierra Summit y tecnología para EMG y NCS	37
Figura 38. Prueba de manipulación del teléfono inteligente con el prototipo AV3.	38
Figura 39. Prueba exitosa de la estación de carga segura con el AV3	38
Figura 40. Prueba exitosa del posicionamiento del T.I con el prototipo AV3.	39

Figura 41. Prueba de electromiografía superficial realizada a la paciente.	40
Figura 42. Contracción (Tensión en $\mu\text{V}$ ) del flexor largo del pulgar FLP, con las manos en reposo.	41
Figura 43. Contracción del FLP, manipulando únicamente el Teléfono inteligente.	42
Figura 44. Contracción del FLP, manipulando el TI con un producto (popsocket) del mercado actual.	42
Figura 45. Contracción del FLP, manipulando el TI con el prototipo AV3.	43
Figura 46. Contracción del flexor superficial de los dedos, manipulando únicamente el TI.	44
Figura 47. Contracción del flexor superficial de los dedos FSD, manipulando el TI con un producto del mercado actual.	44
Figura 48. Contracción del flexor superficial de los dedos FSD, manipulando el TI con el prototipo AV3.	44
Figura 49. Resultados asociados a pruebas de electromiografía superficial.	46
Figura 50. Resultados de los datos asociados a pruebas de electromiografía superficial del flexor largo del pulgar (FLP).	48
Figura 51. Resultados de los datos asociados a pruebas de electromiografía superficial de los flexores superficiales de los dedos (FSD).	48

## **ABREVIATURAS**

A continuación se presenta, algunas de las abreviaturas encontradas a lo largo de la lectura del informe con sus respectivos significados:

<b>ABREVIATURA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
STC	Síndrome de Túnel Carpiano
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAE	Computer Aided Engineering
3DP	3 Dimension Print
CATIA	Computer Aided Thridimensional Interactive Application
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
PLA	Ácido poliláctico o poliácido láctico
PLM	Product Lifecycle Management
AV3	Accesorio Versión 3
FLP	Flexor largo del pulgar
FSD	Flexor superficial de los dedos
T.I	Teléfono inteligente
EMG	Electromiograma
NCS	Estudio de Conducción Nerviosa
EDX	Electrodiagnóstico

## **RESUMEN**

Esta investigación apunta a realizar un análisis funcional en el diseño y desarrollo de un producto o accesorio para la manipulación de teléfonos inteligentes que reduzca la posibilidad de complicaciones del problema en el túnel carpiano por la manipulación de estos dispositivos tan utilizados hoy, en el momento de dar uso a el prototipo seleccionado y que pueda ser revalidado su funcionamiento mediante señales mioeléctricas. En la primera etapa, el método presenta tres diseños diferentes modelados en un software especializado en 3D llamado CATIA V5, dedicado a la gestión del ciclo de vida de nuevos productos. En el proceso PLM del diseño industrial se obtuvo la manufactura de los tres diseños realizando un análisis de posturas con la simulación de uno de estos diseños como lo fue el prototipo AV3, siendo éste la versión seleccionada del CAD – CAM - CAE. La versión AV3 del prototipo, sustenta los tres aspectos esperados en este estudio, el primer y más importante el aspecto fisiológico; debido a que permite usar el teléfono de manera saludable minimizando la tensión del túnel carpiano, el análisis funcional fue validado realizando comparaciones con los resultados de las diferentes tomas de electromiografía superficial aplicadas en la mano de un paciente, sosteniendo o manipulando cada uno de los accesorios (AV3 vs accesorio del mercado actual) y el teléfono inteligente, el segundo aspecto tecnológico; debido a que el prototipo ofrece un escenario o estación de carga segura y por último el aspecto funcional; debido a que es un prototipo innovador y tiene versatilidad en el uso y manipulación de Teléfonos Inteligentes como un nuevo producto.

**PALABRAS CLAVES:** Túnel carpiano, accesorio, teléfono inteligente, computador, diseño industrial, CAD, CATIA, PLM, impresión 3D.

## **ABSTRACT**

This research aims to carry out a functional analysis in the design and development of a product or accessory for the manipulation of smartphones that reduces the possibility of complications of the problem in the carpal tunnel due to the manipulation of these devices so used today, at the time of use the selected prototype and that its operation can be revalidated by myoelectric signals. In the first stage, the method presents three different designs modeled in specialized 3D software called CATIA V5, dedicated to managing the life cycle of new products. In the PLM process of the industrial design, the manufacture of the three designs was obtained by performing a posture analysis with the simulation of one of these designs, such as the AV3 prototype, this being the selected version of the CAD - CAM - CAE. The AV3 version of the prototype supports the three aspects expected in this study, the first and most important the physiological aspect; Due to the fact that it allows to use the telephone in a healthy way, minimizing the tension of the carpal tunnel, the functional analysis was validated by making comparisons with the results of the different superficial electromyography shots applied to the hand of a patient, holding or manipulating each of the accessories (AV3 vs current market accessory) and the smartphone, the second technological aspect; because the prototype offers a safe charging station or stage and finally the functional aspect; because it is an innovative prototype and has versatility in the use and handling of Smartphones as a new product.

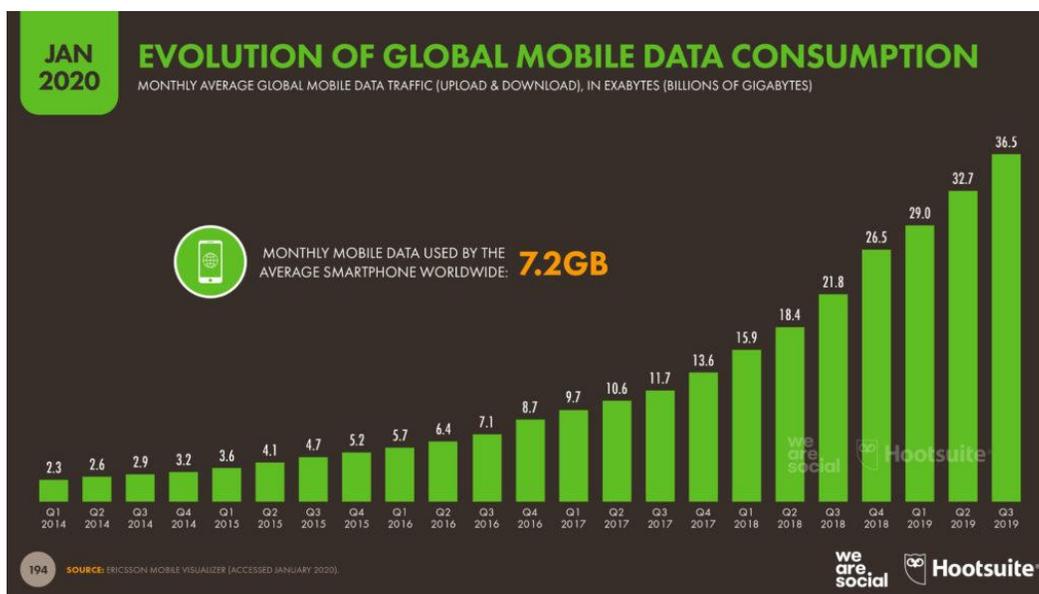
**KEYWORDS:** Carpal tunnel, accessory, smartphone, computer, industrial design, CAD, CATIA, PLM, 3D printing.

## **INTRODUCCIÓN**

El Síndrome del Túnel Carpiano (STC) está ampliamente identificado como la afección musculoesquelética de las extremidades superiores más costosa entre los pacientes en edad laboral [1], es una lesión compresiva del nervio mediano, ubicado a nivel de la muñeca, multicausal de desorden traumo-acumulativo que se caracteriza por entumecimiento y hormigueo en la mano y el antebrazo, este nervio permite la movilidad y sensibilidad de parte de la mano. Los movimientos repetidos de la mano y la muñeca aumentan el riesgo de síndrome del túnel carpiano (STC) [1]. El avance significativo del mercado actual con respecto a la adquisición masiva y a la manipulación de teléfonos inteligentes, repercute en un tema tan común que la mayoría de las personas, incluso niños desde la temprana edad, adquieren y manipulan estos dispositivos. El comportamiento mundial tras las consecuencias del primer año de la pandemia Covid-19, la mayoría de las personas dedican más tiempo al uso o manipulación de computadoras y de teléfonos inteligentes debido al teletrabajo y al aislamiento social impuesto por los gobiernos del mundo. La pandemia causada por el nuevo coronavirus (SARS-COV-2) ha provocado más de dos millones de muertes en el mundo para marzo de 2021 [2]. El llamado mundial para reducir la transmisión del virus es enorme. Recientemente, ha habido un rápido crecimiento de la telemedicina y el uso de la salud móvil (mHealth) en el contexto de la pandemia de COVID-19. El Teléfono inteligente (T.I), los accesorios como una linterna, una cámara, un micrófono y un microprocesador pueden medir diferentes parámetros clínicos [2] Examinando el comportamiento del mundo tras las consecuencias del primer año de la pandemia Covid-19, la mayoría de las personas dedican más tiempo al uso o manipulación de computadoras y de teléfonos inteligentes debido al teletrabajo y al aislamiento social impuesto por los gobiernos del mundo.

En la Figura 1 se observa que el crecimiento en el consumo de datos rastreado entre los años 2014 y 2019 es de tipo exponencial. Si se analiza, se puede afirmar que el uso o manipulación de estos dispositivos es directamente proporcional al consumo de datos móviles en el mundo. En el momento de adquirir un teléfono

inteligente, en la manipulación va a existir alguna probabilidad de que el usuario empiece a padecer la sintomatología del síndrome del túnel carpiano, o aumentar las dolencias de la condición. En el momento de adquirir un teléfono inteligente, para cualquier persona va a existir alguna probabilidad en su manipulación que el usuario empiece a padecer la sintomatología del STC, o aumentar las dolencias de la condición. En el mercado actual existe diversidad de productos que ayudan a mantener una buena postura en los dedos de la mano para manipular adecuadamente un teléfono inteligente en el tema asociado a minimizar la sintomatología del STC como los accesorios llamados "Popsocket".



**Figura 1.** Evolución del consumo global de datos móviles [<https://www.google.com/search>]

El uso abusivo de los dispositivos móviles, teléfonos y tablets, para intercambiar mensajes y chatear ha generado la aparición de un nuevo tipo de lesiones, concretamente de tendinitis, que afectan especialmente a los pulgares, que son los dedos más utilizados para teclear mientras se sujeta el teléfono con las dos manos. La revista The Lancet publicaba recientemente el primer caso en el que se ha establecido una relación causa-efecto: una mujer de 34 años que se pasó seis horas tecleando mensajes de navidad con el móvil. En el artículo se bautiza a esta tendinitis del dedo pulgar como *whatsappitis*, como clara referencia a la aplicación

y mensajería actualmente más utilizada en los móviles. Se trata de una tendinitis bilateral (en las dos manos) del extensor del dedo pulgar.

El STC se presenta cuando se estrecha el túnel o cuando se inflaman los tejidos que rodean a los tendones flexores, lo que ejerce presión sobre el nervio mediano. Estos tejidos se llaman “membrana sinovial.” Normalmente, la membrana sinovial lubrica los tendones, lo que facilita el movimiento de los dedos. Cuando se inflama la membrana sinovial, ocupa lugar en el túnel carpiano y, con el transcurso del tiempo, presiona al nervio. Esta presión anormal en el nervio puede dar como resultado dolor, entumecimiento, cosquilleo y debilidad en la mano.

Los sectores de la automoción y la tecnología se han desarrollado muy rápidamente durante la última década [3]. Además de este crecimiento, también introdujo el término Industria 4.0, que se utiliza para representar la Revolución Industrial actual. Esta revolución abarca muchos sectores, desde la fabricación hasta el cuidado de la salud [3]. La gestión del ciclo de vida de nuevos productos PLM puede verse como una estrategia empresarial y de innovación que a través de un sistema de información especializado, respalda todos los procesos relacionados con el nuevo producto desde su idea pasando por el desarrollo hasta su eliminación [4], esta estrategia trata la administración y la gestión del ciclo de vida de un producto y su implementación en este caso aplicado a un diseño industrial, como un accesorio para la manipulación saludable y carga segura de teléfonos inteligentes.

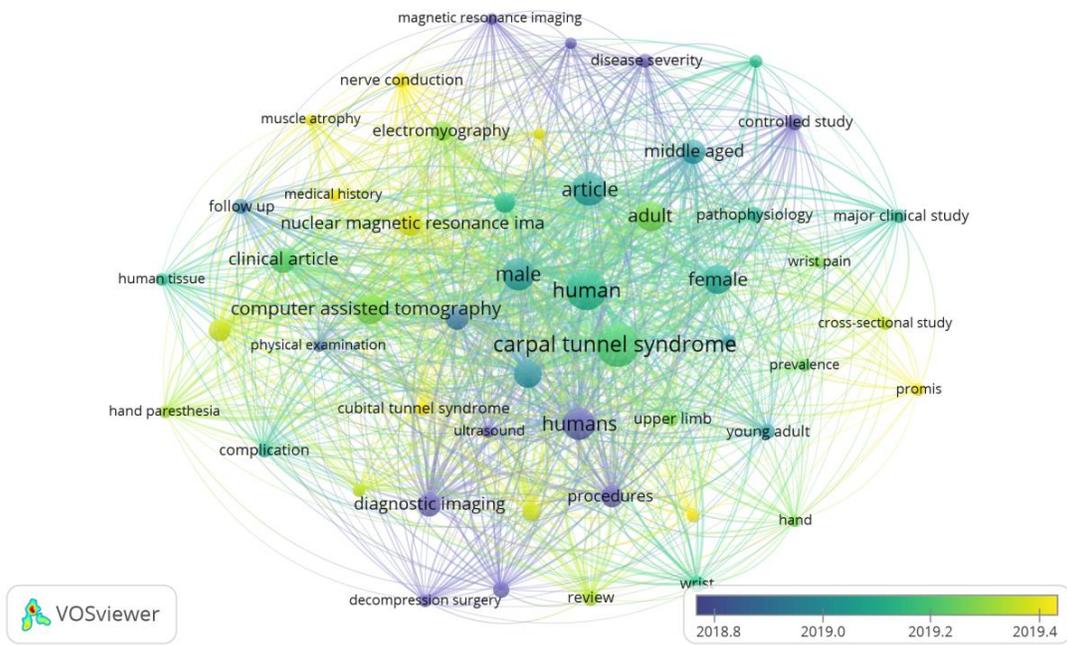
## **CAPÍTULO I**

### **ANTECEDENTES**

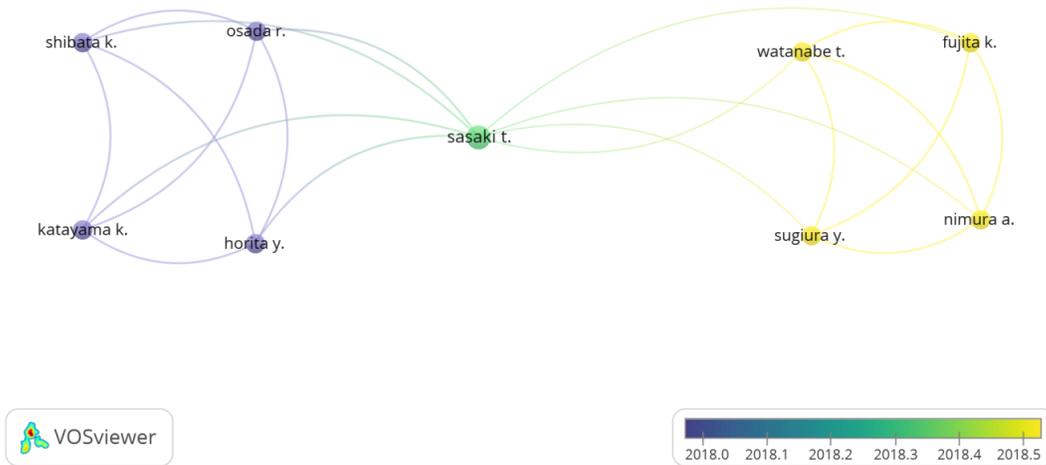
Plasmar unos buenos antecedentes para cualquier trabajo de investigación, requiere de implementar innovación estratégica y una buena revisión sistemática de literatura al aplicar las herramientas de búsqueda en la base de datos de la web Scopus [5], en la construcción del estado del arte, se dio la bienvenida a una estrategia nueva que está en tendencia para generar los mapas de red de palabras claves y red de autores para obtener un análisis tomando visualizaciones respecto al tiempo cómo un ejemplo. Ésta estrategia está centrada en un protocolo de revisión de búsqueda, para la cual se establecen palabras clave + conectores y con esto se define la ecuación de búsqueda. Dedicados a la búsqueda de este estudio, las palabras claves para este caso forman las siguientes ecuaciones de búsqueda:

1. Carpal and tunnel and computer
2. Carpal and tunnel and accessory
3. Carpal and tunnel and smartphone

El estado del arte descrito se complementó con un proceso de análisis de tendencias sobre el tema utilizando la herramienta de software para construir y visualizar redes bibliométricas VOSviewer® [6]. Tomando las ecuaciones anteriores, se implementó la herramienta VOSviewer, obteniendo los siguientes mapas de red bibliométricas asociados a las palabras claves y asociados a los autores. En la Figura 2 se ilustra el mapa de relación de palabras claves entre final del año 2018 hasta mediados del año 2019, asociado a la ecuación de búsqueda No. 1 correspondiente a Carpal and tunnel and computer, donde se observan otras palabras claves como: electromiography, nerve conduction que tienen relación directa con este estudio, así mismo en la Figura 3 se ilustra el mapa de relación de autores que trataron el tema de estudio en el primer semestre del año 2018, también asociado a la ecuación de búsqueda No. 1.



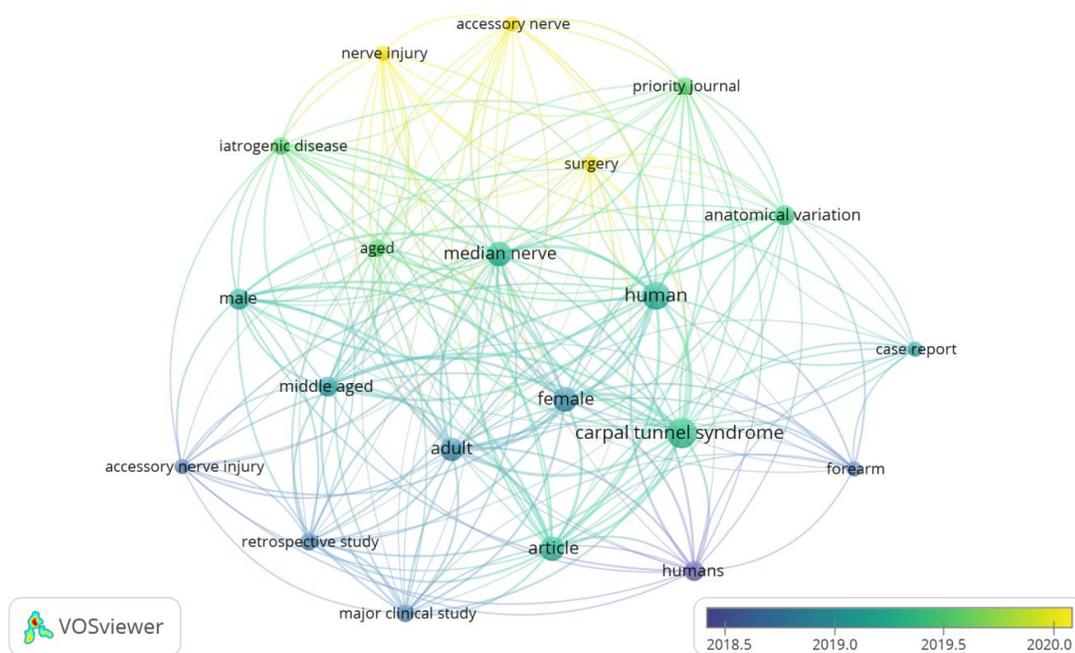
**Figura 2.** Mapa de relación de palabras claves asociadas a la ecuación de búsqueda 1.  
 Fuente: Software VOSviewer® [Versión 1.6.9.], [www.vosviewer.com].



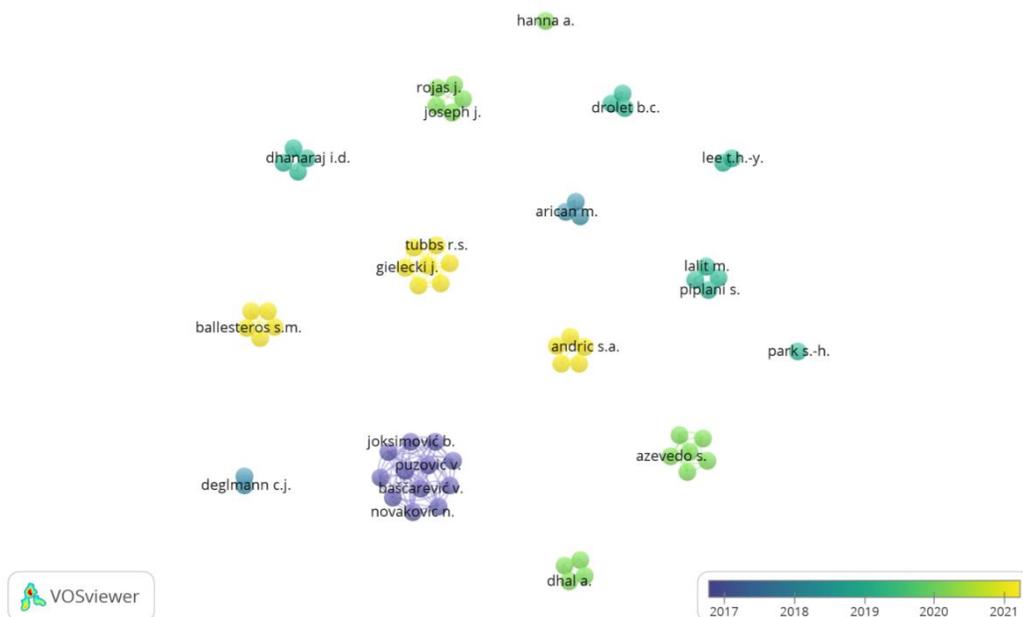
**Figura 3.** Mapa de relación de autores asociadas a la ecuación de búsqueda 1.  
 Fuente: Software VOSviewer® [Versión 1.6.9.], [www.vosviewer.com].

La Figura 4 muestra el mapa de relación de palabras claves entre mediados del año 2018 hasta el año 2020, asociado a la ecuación de búsqueda No. 2 correspondiente a Carpal and tunnel and accessory, donde se observan otras palabras claves como: accessory nerve y surgery que tienen relación directa con este estudio, por consiguiente en la Figura 5 se ilustra el mapa de relación de

autores que trataron el tema de estudio entre el año 2017 hasta el año 2021 también asociado a la ecuación de búsqueda No. 2.

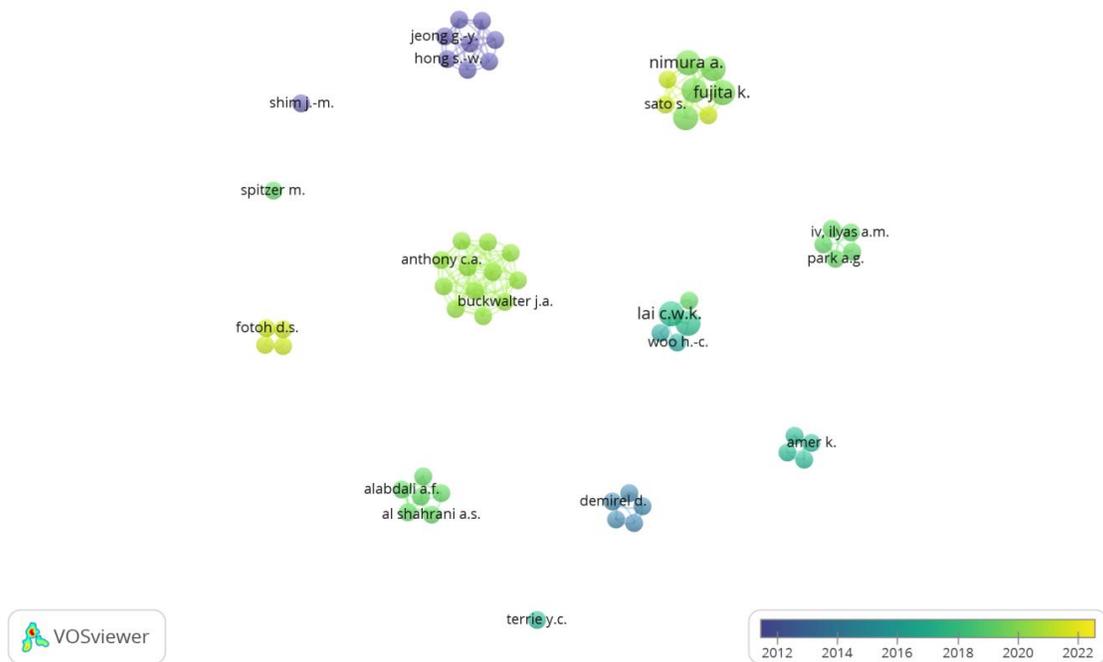


**Figura 4.** Mapa de relación de palabras claves asociadas a la ecuación de búsqueda 2. Fuente: Software VOSviewer® [Versión 1.6.9.], Tecnología de búsqueda [www.vosviewer.com].



**Figura 5.** Mapa de relación de autores asociadas a la ecuación de búsqueda 2. Fuente: Software VOSviewer® [Versión 1.6.9.], Tecnología de búsqueda [www.vosviewer.com].

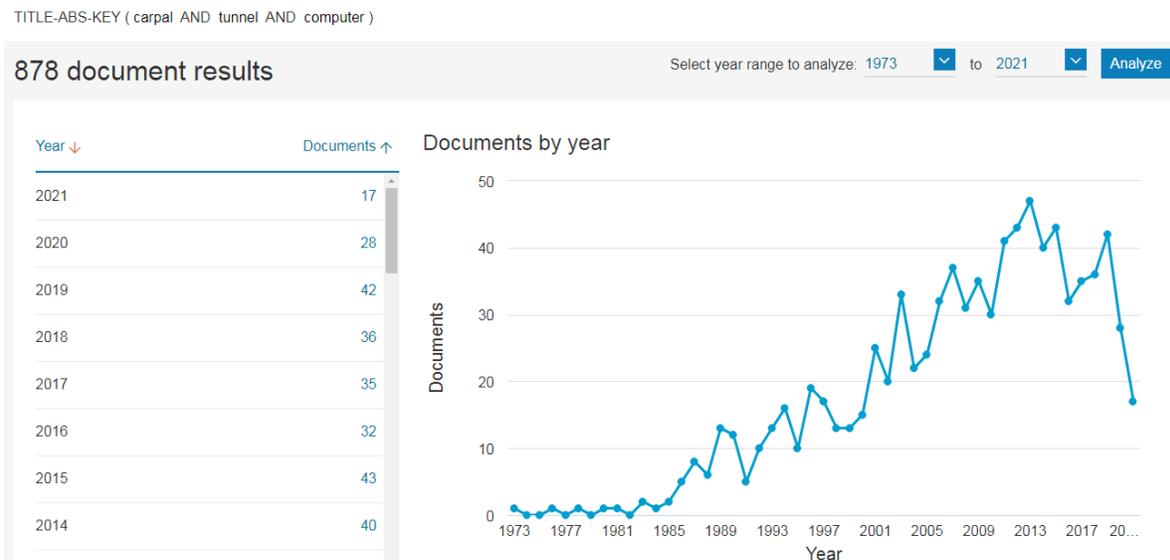




**Figura 7.** Mapa de relación de autores asociadas a la ecuación de búsqueda 3.  
 Fuente: Software VOSviewer® [Versión 1.6.9.], Tecnología de búsqueda [www.vosviewer.com].

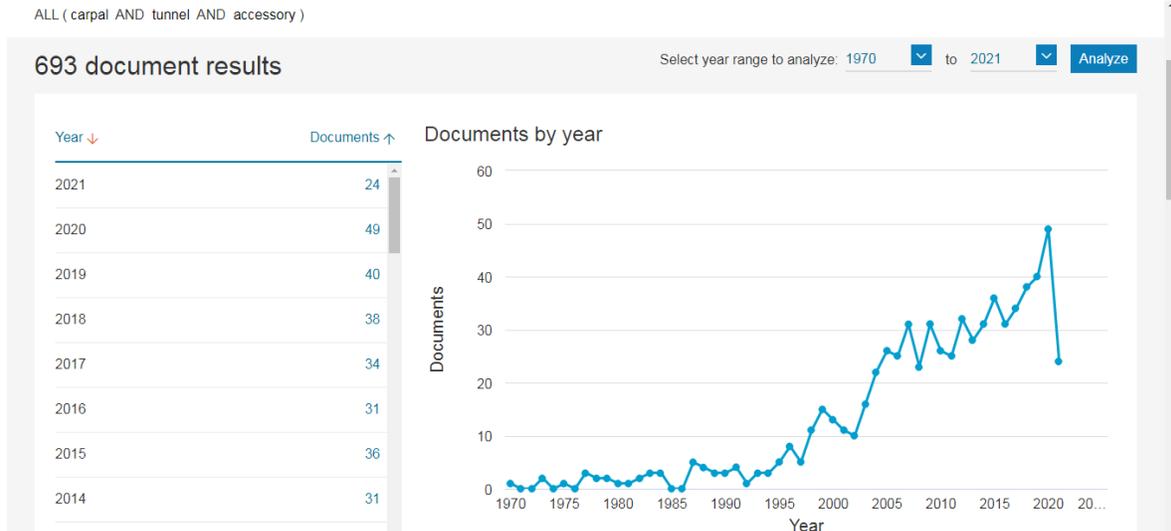
Citando el análisis gráfico de resultados de la búsqueda de las tres ecuaciones en scopus web, se obtienen los siguientes gráficos respectivos:

### 1. Gráfico del resultado: Carpal + Tunnel + Computer



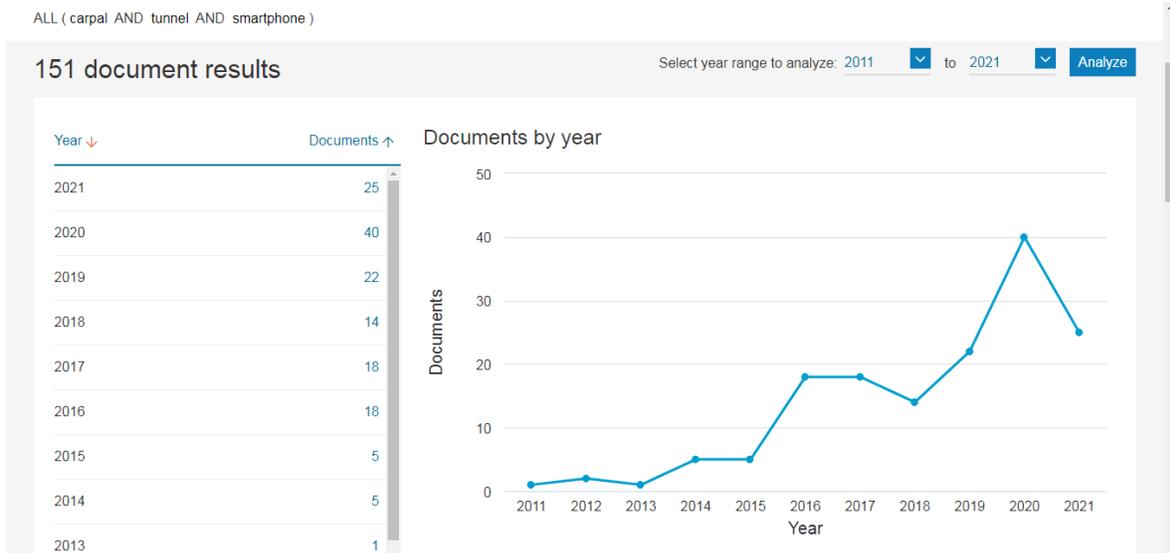
**Figura 8.** Gráfico número de documentos vs tiempo, asociado a la ecuación de búsqueda 1.  
 Fuente: Web Scopus® [www.scopus.com].

## 2. Gráfico del resultado: Carpal + Tunnel + Accessory



**Figura 9.** Gráfico número de documentos vs tiempo, asociado a la ecuación de búsqueda 2.  
Fuente: Web Scopus® [www.scopus.com].

## 3. Gráfico del resultado: Carpal + Tunnel + Smartphone

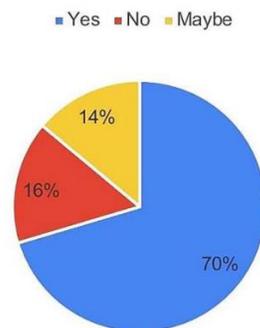


**Figura 10.** Gráfico número de documentos vs tiempo, asociado a la ecuación de búsqueda 3.  
Fuente: Web Scopus® [www.scopus.com].

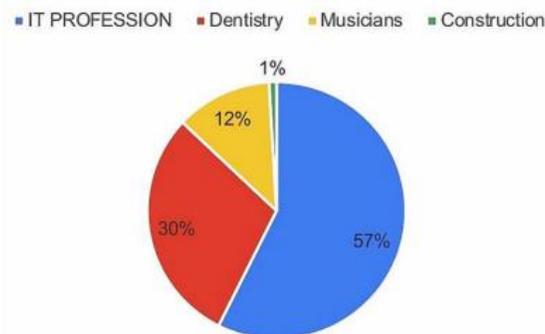
Observando la trazabilidad de las gráficas de la Figura 8, la Figura 9 y la Figura 10 se puede notar que de acuerdo a las investigaciones realizadas desde 1970, el crecimiento y el comportamiento promedio es de tipo exponencial en temas relacionados con el síndrome de túnel carpiano y el uso de computadoras, tabletas y el boom actual los teléfonos inteligentes desde el 2011 donde empezaron a ser

tendencia en el mundo. Teniendo en cuenta las ecuaciones de búsqueda mencionadas se hará un barrido en el estado del arte desde la incidencia del STC en computadoras, luego en accesorios y por último en teléfonos inteligentes, ésta última ecuación con el mayor grado de interés para nuestro caso de investigación. Los movimientos repetidos de la mano y la muñeca aumentan el riesgo de síndrome del túnel carpiano (STC). El síndrome del túnel carpiano (STC) es una compresión del nervio mediano a nivel de la articulación de la muñeca y el síndrome de atrapamiento del nervio periférico más común. El STC está ampliamente identificado como la afección musculoesquelética de las extremidades superiores más costosa entre los pacientes en edad laboral [1]. Un estudio descriptivo cuantitativo transversal elaborado a través de un muestreo en Belitung – Indonesia en 2020, afirma: El tamaño de la muestra registró que la prevalencia de trabajadores que tienen STC por debajo de los 30 años es del 3% y por encima de los 30 es del 25% [1]. En el 2021 un estudio hecho en China afirma: "Trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo entre los trabajadores de oficina son de interés para los investigadores debido a una incidencia creciente. Muñeca y molestias musculoesqueléticas de la mano afectadas por 15% de los grupos ocupacionales, incluidos los trabajadores de oficina, enfermeras y otros" [7]. "STC relacionado con el trabajo de oficina se ha informado que la prevalencia varía desde casi 5000 a 7500 por 100.000 personas. La muñeca y los síntomas de la mano están asociados con factores físicos como el uso repetitivo de las manos, inadecuada postura durante el trabajo con la computadora, y Exposición a terminales de visualización que incluyen computadora teclado y mouse" [7]. En el 2021, un estudio de la afectación del STC en Polonia afirma: "La compresión del nervio mediano a menudo se asocia con edema de la rama cutánea palmar del nervio mediano (PCMN), nervio que surge de la cara radial del nervio mediano y corre a lo largo de la cara cubital del flexor radial del carpo. La irritación de este nervio es un factor causante de sensación de dolor y entumecimiento en la región del pulgar" [8]. Además, las morbilidades sistémicas como la obesidad, la diabetes mellitus, el hipotiroidismo, la artritis o incluso afecciones fisiológicas como la menopausia o el embarazo son factores de

riesgo conocidos de STC. Entre todos, se informa que el STC es la neuropatía del nervio periférico. La incidencia del STC es tan alta como 400 a 100.000 por año en mujeres que se encuentran en su quinta década de vida y hasta 256 a 100.000 por año en hombres que se encuentran en su quinta década de vida, con una media de 232 a 100.000 en mujeres y 104 a 100.000 en hombres de la población estudiada [8]. Un estudio realizado en la India acerca del uso de las computadoras afirma, El síndrome (STC) es uno de los síndromes de atrapamiento nervioso más comúnmente reportados. Hay casi 10 millones de casos presentes solo en la India. También se encontró que las mujeres se vieron afectadas con mayor frecuencia en comparación con los hombres [9]. Los síntomas vitales asociados con el STC, como dolor de muñeca, entumecimiento, debilidad, pueden causar deterioro en las actividades diarias [9]. A continuación, se aprecia las siguientes gráficas, ver la Figura 11 y la Figura 12, en relación al STC respecto a la conciencia de padecer STC y a las actividades laborales en este caso de estudio realizado en la India.



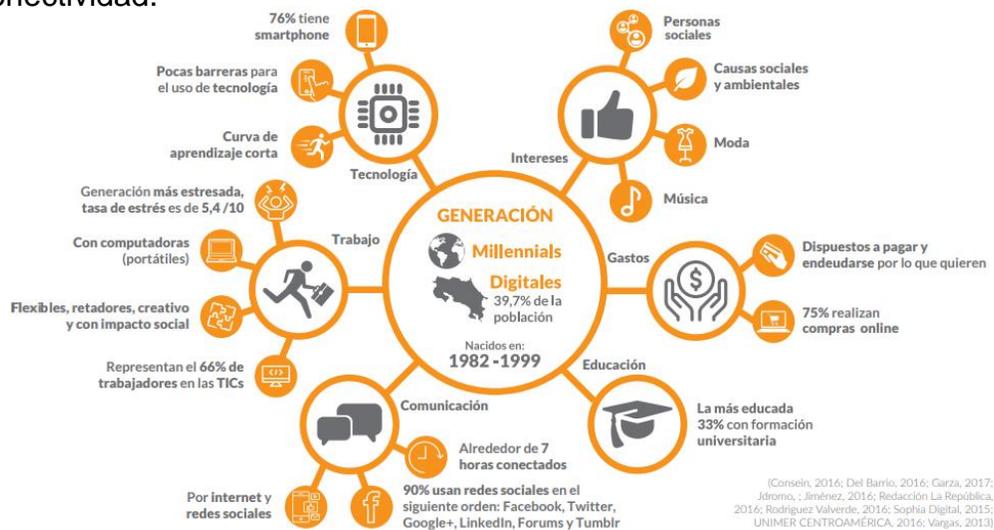
**Figura 11.** El gráfico circular muestra la distribución porcentual de las respuestas sobre la conciencia del síndrome del túnel carpiano. [9]



**Figura 12.** Gráfico circular que muestra la distribución porcentual de las respuestas a la pregunta "en qué tipo de profesión es más probable que se vea STC". [9]

Las estrategias para prevenir el STC en el lugar de trabajo incluyen intervenciones como ergonomía, educación, ejercicio, fisioterapia y salud ocupacional [10]. Un estudio realizado por A. Osailan en el 2021 afirma: El uso de teléfonos inteligentes se ha convertido en una necesidad para todos en su vida diaria. Los teléfonos inteligentes se han utilizado recientemente para comunicarse, jugar, socializar y navegar por Internet, especialmente entre la población más joven. En los últimos años, ha habido un aumento constante en el número de personas que utilizan teléfonos inteligentes [11]. En 2020, el número de usuarios de teléfonos inteligentes en todo el mundo se había proyectado en 3.500 millones, un 9,3% más que en 2019. Además, muchas encuestas han sugerido que los adultos más jóvenes son los que representan la mayoría de los usuarios de teléfonos inteligentes a nivel mundial. Este aumento en el uso de teléfonos inteligentes llevó a un comportamiento de adicción a estos dispositivos, especialmente en el 50% de los adolescentes [11]. La debilidad de la mano y la muñeca es una de las principales complicaciones asociadas con el mayor uso de teléfonos inteligentes. Esta debilidad se produce debido a la flexión y extensión repetidas de la muñeca, el pulgar y los dedos, lo que da lugar a una patología musculoesquelética significativa [11]. La debilidad del pulgar y la muñeca se deben a un movimiento repetitivo de flexión y extensión sobre la muñeca y los dedos, que aumenta con la duración de los teléfonos inteligentes, lo que eventualmente causa dolor y fatiga. Además, también se sabe que esta flexión y extensión repetitivas de la muñeca se encuentran entre las principales causas del síndrome del túnel carpiano [11]. Entre la adicción del uso excesivo de teléfonos inteligentes y al menos la fuerza de agarre de la mano o la fuerza de agarre de pellizco es limitada. Un estudio comparó la fuerza de agarre y pellizco entre los usuarios de teléfonos inteligentes de alta frecuencia y los usuarios de teléfonos inteligentes de baja frecuencia entre los niños. El estudio informó que los usuarios de teléfonos inteligentes con una frecuencia más alta tenían una fuerza de mano y de agarre reducida en comparación con los usuarios de teléfonos inteligentes con una frecuencia más baja [11]. Otro estudio realizado en Japón afirma: El tiempo medio de uso de Internet por "dispositivos móviles" fue de 85,4 minutos entre semana y de 99,4

minutos en días festivos, y mientras que los días festivos disminuyeron por primera vez, los días laborables aumentaron constantemente. Además, el tiempo medio de uso de los "dispositivos móviles" en la adolescencia y los 20 años es extenso [12]. Otro estudio de caso en Turquía en 2021 resultó un hombre de 58 años presentó una deformidad espontánea en cuello de cisne del tercer dedo. En su examen físico, se logró un rango de movimiento pasivo completo del dedo, mientras que el rango de movimiento activo estaba limitado debido al dolor [13]. La adicción de los teléfonos inteligentes tiene una influencia adversa sobre la función de la mano y la fuerza del pellizco. Los jóvenes deben ser conscientes de los efectos nocivos que pueden resultar de uso excesivo de teléfonos inteligentes [13]. En Cartago Costa Rica, noviembre de 2017, un estudio acerca de la prevención del síndrome del túnel carpiano por el uso frecuente de computadoras y otros dispositivos por Fernández Garza, muestra que la generación actual es más propensa o está direccionada al uso de nuevas tecnologías enfocadas puntualmente en el uso de computadoras, actualmente los dispositivos móviles están desplazando el uso de computadoras ya que estos dispositivos son más portátil y el uso o manipulación de estos dispositivos, especialmente de teléfonos inteligentes se vuelve más recurrente en el día a día de todas las personas del mundo. En la Figura 13 se aprecia la relación estilo de vida actual y la necesidad de conectividad.



**Figura 13.** Figura 14. Resumen de los usuarios Millennials / Digitales.  
 Fuente: E. Fernández-Garza, (2017) [14]

En las referencias y citaciones de este autor, un estudio también realizado en Costa Rica segmentó la población más vulnerable, no sólo por el rango de edad sino también por el género [14], en este orden de ideas, se pensó en realizar las pruebas de electromiografía superficial a una mujer de 31 años y quien padece de STC. Según M. Spitzer, (2019) en su artículo de investigación realizado en Alemania afirma: “ Varios estudios publicados internacionalmente en los últimos años muestran que el uso intensivo de teléfonos inteligentes puede causar dolor y entumecimiento en el área de los dedos y las manos. La causa es el síndrome del túnel carpiano conocido desde hace mucho tiempo” [15], debido a esta afirmación, esta investigación apuntó a obtener un diseño en donde el prototipo reduzca o minimice la sintomatología del STC, basado en un método y materiales que se expondrán más adelante en este estudio. M. Spitzer, (2019) también afirma: “Examinamos cómo el diseño abierto de accesorios para teléfonos móviles impresos en 3D ayuda a superar las limitaciones de recursos relacionadas con el tamaño, facilitar el crecimiento del mercado y, en última instancia, generar suficiente demanda de los consumidores para alterar las prácticas de la cadena de suministro de los líderes del mercado, a favor de la sostenibilidad social” [15]. Esto confiere una idea de que el producto después de probar su alta usabilidad y funcionalidad, puede abarcar u ocupar un posicionamiento de un mercado futuro con las nuevas tendencias y necesidades de uso y manipulación de teléfonos inteligentes. Según (R. Karyappa, A. Ohno, and M. Hashimoto, 2019), una investigación realizada por la Real Sociedad de Química, presenta un método único y versátil de impresión 3d basado en precipitación de inmersión controlada espacialmente, denominado impresión 3d de precipitación por inmersión (ip3DP). ip3DP ofrece la capacidad de fabricar modelos porosos 3d utilizando tintas con amplios rangos de presión de vapor y viscosidad [16]. Relacionando este tema frente al perfeccionamiento del producto se puede considerar e implementar en actividades futuras para mejorar este prototipo desde el punto de vista del confort. En la actualidad se encuentran pocos antecedentes de investigación en este tema relacionado a productos que contribuyan a mejorar la sintomatología del STC manipulando un T.I en relación al uso de computadoras. Estos productos están

posicionados relativamente en el nuevo mercado y a continuación daremos una muestra de algunos accesorios, ver Figura 14, productos que existen en el mercado actual y se piensa concebir un nuevo producto que integra dos funciones muy importantes, la manipulación saludable de un T.I con un popsocket fusionado con la estación de carga segura.



**Figura 14.** Accesorios para Teléfonos Inteligentes del mercado actual.  
Fuente: Web Google® [www.google.com].

## ***HIPÓTESIS***

Existe en el mercado un accesorio portable para teléfonos inteligentes que minimice los riesgos en su manipulación que conduzcan a problemas en los aspectos: fisiológico y funcional. El aspecto fisiológico hace referencia a descubrir una minimización de los problemas que se puedan presentar en el túnel carpiano, esto se puede lograr gracias al método planificado y al diseño desarrollado. El Aspecto funcional está asociado a la versatilidad que presenta el accesorio y sus diversas funciones de uso.

## ***JUSTIFICACIÓN***

La investigación de este trabajo surge por descubrir una solución a través del diseño y manufactura de un prototipo destinado al debido uso y manipulación de teléfonos inteligentes y a la estación de carga segura, integrando tres aspectos fundamentales: fisiológico, tecnológico y funcional. Un primer y principal aspecto, fisiológico; el prototipo mejora o minimiza la sintomatología del STC al manipular los teléfonos inteligentes, trabajo materializado con la manufactura en PLA del diseño desarrollado y seleccionado como versión del prototipo AV3 a través de un software especializado en 3D y gestión del ciclo de vida de nuevos productos,

basándose en un estudio teórico-práctico soportado con acompañamiento profesional y especialista en el área de salud ocupacional, donde se simuló las posturas apropiadas de los dedos de las manos de un avatar en el software CATIA V5 y para demostrar el beneficio fisiológico el prototipo se sometió a un estudio más profundo con las pruebas de electromiografía superficial realizadas en la clínica las vegas Medellín - Antioquia. Un segundo aspecto tecnológico, que cubre la posibilidad para todas las personas que usan teléfonos inteligentes, de crear un escenario a través del prototipo que avale una estación de carga segura para el teléfono inteligente, obteniendo un impacto social de consumo debido a que puede llegar a ser de uso masivo. Económicamente se puede pensar en un modelo de negocio que incluso puede llegar a generar nuevas tendencias en temas de cadenas de abastecimiento, justifica masificar el producto y obtener altos márgenes de ganancia en relación a costo/beneficio debido a que construir o manufacturar el diseño definido es de bajo costo, ofreciendo la mejor calidad y versatilidad en el momento de usar y cargar el teléfono inteligente en condiciones aptas, cómodas tanto seguras y un último aspecto funcional, el prototipo aporta versatilidad y otros beneficios de uso.

### ***OBJETIVO GENERAL***

Análisis funcional en el diseño y desarrollo de un accesorio dedicado a la manipulación de teléfonos inteligentes y su influencia con el Síndrome del Túnel Carpiano.

### ***OBJETIVOS ESPECÍFICOS***

1. Aplicar el análisis en el diseño del prototipo definido a través de los módulos Part Design y Assembly Design en el software CATIA V5.
2. Analizar el prototipo definido orientando el posicionamiento anatómico de las falanges y muñeca de la mano a través del módulo de Ergonomics Design & Analysis en CATIA V5.

3. Evaluar y proponer la mejora o minimización de la sintomatología del STC, utilizando tecnología médica en la funcionalidad del prototipo definido y un accesorio del mercado actual.

La definición de los objetivos anteriormente descritos está soportada bajo la citación de la taxonomía de Bloom y la taxonomía de Robert Marzano.

### Taxonomía de Bloom:

← Proceso cognitivos de orden inferior		→ Proceso cognitivos de orden superior →			
<b>RECORDAR</b>	<b>COMPRENDER</b>	<b>APLICAR</b>	<b>ANALIZAR</b>	<b>EVALUAR</b>	<b>CREAR</b>
Recordar hechos/datos sin necesidad de entender. Se muestra material aprendido previamente mediante el recuerdo de términos, conceptos básicos y respuestas.	Mostrar entendimiento a la hora de encontrar información del texto. Se demuestra comprensión básica de hechos e ideas.	Usar en una nueva situación. Resolver problemas mediante la aplicación de conocimiento, hechos o técnicas previamente adquiridas en una manera diferente.	Examinar en detalle. Examinar y descomponer la información en partes identificando los motivos o causas; realizar inferencias y encontrar evidencias que apoyen las generalizaciones.	Justificar. Presentar y defender opiniones realizando juicios sobre la información, la validez de ideas o la calidad de un trabajo basándose en una serie de criterios.	Cambiar o crear algo nuevo. Recopilar información de una manera diferente combinando sus elementos en un nuevo modelo o proponer soluciones alternativas.
<b>PALABRAS CLAVE:</b>	<b>PALABRAS CLAVE:</b>	<b>PALABRAS CLAVE:</b>	<b>PALABRAS CLAVE:</b>	<b>PALABRAS CLAVE:</b>	<b>PALABRAS CLAVE:</b>
Elegir Copiar Definir Decir Citar Leer Quién Recitar Cómo Por qué	observar omitr rastrear cuándo repetir relacionar listar escribir dónde reconocer	mostrar predecir afirmar duplicar qué nombrar repetir localizar Memorizar	observar predecir afirmar duplicar qué nombrar repetir localizar Memorizar	mostrar predecir afirmar duplicar qué nombrar repetir localizar Memorizar	mostrar predecir afirmar duplicar qué nombrar repetir localizar Memorizar
<b>ACCIONES</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>ACCIONES</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>ACCIONES</b>	<b>RESULTADO</b>
Describir Encontrar Identificar Listar Localizar Nombrar Reconocer Recuperar	Definición Hechos Etiquetado Listado Cuestionario Reproducción Test Cuaderno Fotocopia	Clasificar Comparar Ejemplificar Explicar Inferir Interpretar Parafrasear Resumir	Colección Ejemplos Explicación Etiquetado Listado Esquema Cuestionario Resumen Muestra y cuenta	Desempeñar Ejecutar Implementar Usar Emplear Realizar	Demostración Diario Ilustraciones Entrevista Interpretación Simulación Presentación Dibujo
<b>PREGUNTAS</b>	<b>PREGUNTAS</b>	<b>PREGUNTAS</b>	<b>PREGUNTAS</b>	<b>PREGUNTAS</b>	<b>PREGUNTAS</b>
¿Puedes enumerar...? ¿Puedes recordar...? ¿Puedes seleccionar...? ¿Cómo ocurrió...? ¿Cómo es...? ¿Cómo describirías...? ¿Podrías explicar...? ¿Cómo mostrarías...? ¿Qué es...? ¿Cuál...? ¿Quién fue...? ¿Quiénes fueron los principales...? ¿Por qué...?	¿Puedes explicar que está ocurriendo...? ¿Cómo clasificarías...? ¿Cómo compararías/contrastarías...? ¿Cómo podrías parafrasear el significado de...? ¿Cómo resumirías...? ¿Qué puedes decir sobre...? ¿Cuál es la mejor respuesta...? ¿Qué afirmaciones apoyan...? ¿Podrías afirmar o interpretar en tus propias palabras...?	¿Cómo usarías...? ¿Qué ejemplos sobre...puedes encontrar? ¿Cómo organizarías... para presentar...? ¿Cómo aplicarías lo que has aprendido para desarrollar...? ¿Qué enfoque usarías para...? ¿Qué aspectos seleccionarías para mostrar...? ¿Qué preguntas harías en una entrevista a...?	¿Cuáles son las partes o rasgos de...? ¿En qué aspectos está... ¿Relacionado/a con...? ¿Por qué opinas que...? ¿Qué motivo hay para...? ¿Puedes hacer un listado de las partes...? ¿Qué ideas justifican...? ¿Qué conclusiones extraes de...? ¿Qué evidencias de... encuentras? ¿Puedes distinguir entre...? ¿Cuál es la relación entre...? ¿Cuál es la función de...?	¿Estás de acuerdo con...? ¿Cuál es tu opinión sobre...? ¿Cómo comprobarías...? ¿Sería mejor si...? ¿Por qué ese personaje...? ¿Cómo valorarías...? ¿Cómo determinarías...? ¿Cómo priorizarías...? ¿Qué información podrías para apoyar tu punto de vista? ¿Cómo justificarías...? ¿Qué datos te llevaron a esa conclusión? ¿Qué seleccionarías para...? ¿Qué elección hubieras tomado si...?	¿Qué cambios harías para...? ¿Cómo mejorarías...? ¿Qué pasaría si...? ¿Podrías proponer una alternativa? ¿Puedes elaborar...basándote en...? ¿De qué forma evaluarías...? ¿Podrías formular una teoría alternativa? ¿Qué harías para maximizar/minimizar...? ¿Cómo pondrías a prueba...? ¿Podrías construir un modelo que cambie...? ¿Se te ocurre un modo original para...? ¿Cómo cambiarías el guión/plan? ¿Cómo adaptarías... para...?

# 1. DISEÑO GENERAL DEL PROTOTIPO PARA LA CARGA Y MANIPULACIÓN DE TELÉFONOS INTELIGENTES EN CATIA V5

## 1.1 Introducción al diseño

La gestión del ciclo de vida de productos PLM es una estrategia empresarial usada por grandes compañías entre algunas como la Nasa, Ricoh, Mitsubishi, Toyota, McLaren, que soportan todo un proceso para el desarrollo de sus nuevos productos, basada en información que inicia desde la concepción de crear y gestionar una idea de negocio o de producto de manera colaborativa hasta su terminación o reciclaje, pasando por una serie de personas, procesos, sistemas y una base de datos generada en el transcurso del proceso. En este trabajo se implementó la estrategia PLM a través de una herramienta computacional de gran protagonismo en este estudio llamada CATIA (Computer, Aided, threedimensional, interactive, application) en su quinta versión, pasando en este caso por las etapas siguientes como: una planificación, un diseño detallado, aplicación de ingeniería de producto, unos requerimientos, la simulación y validación, la manufactura de prototipo, el control de calidad y el reciclaje, para los prototipos desarrollados en esta investigación.



**Figura 15.** Etapas de la estrategia PLM  
Fuente. Autoría propia.

El diseño abierto habilitado por 3D puede ayudar a una nueva empresa a mejorar la sostenibilidad social en un suministro cadena, y el método de dinámica del sistema permite la explicación de los mecanismos por los cuales esto ocurre [17]. En esta metodología habilitamos las etapas de la estrategia PLM como se aprecia en la Figura 15, para garantizar el buen desarrollo y la manufactura a través de 3DP del prototipo generado.

## **1.2 Materiales y método**

Los polímeros, sintéticos o naturales están presentes en cada aspecto de nuestras vidas, en muchos materiales modernos, equipos farmacéuticos, en dispositivos electrónicos, partes automovilísticas, equipos médicos, etc. De un tiempo a la fecha, los polímeros han venido reemplazando materiales tradicionales, principalmente, a su bajo costo y a la posibilidad de ser adaptados en un sinnúmero de aplicaciones especiales. Nuestra vida ha sufrido un cambio importante con el uso por ejemplo, de teléfonos celulares, computadoras, aparatos domésticos, televisores, etc., los cuales son aparatos fabricados con piezas hechas de diversos materiales poliméricos.

Los polímeros, están presentes en cualquier lugar, incluso en nuestros hogares, por lo que el desarrollo de nuevos polímeros o la modificación o mejora de aquellos tradicionalmente empleados, es uno de los objetivos meta de muchos científicos orientado su investigación en estos importantes tópicos. El ácido poliláctico (PLA) es un material biodegradable de uso común en aplicaciones médicas y cada vez más industriales [18]. PLA es un material polimérico ampliamente utilizado en la impresión 3D, estos materiales a menudo están expuestos a varios defectos y fallas debido a las condiciones de trabajo y producción [18], El alambre PLA es un polímero comúnmente utilizado para la impresión 3D debido a su buena biodegradabilidad, compatibilidad y maquinabilidad [19].

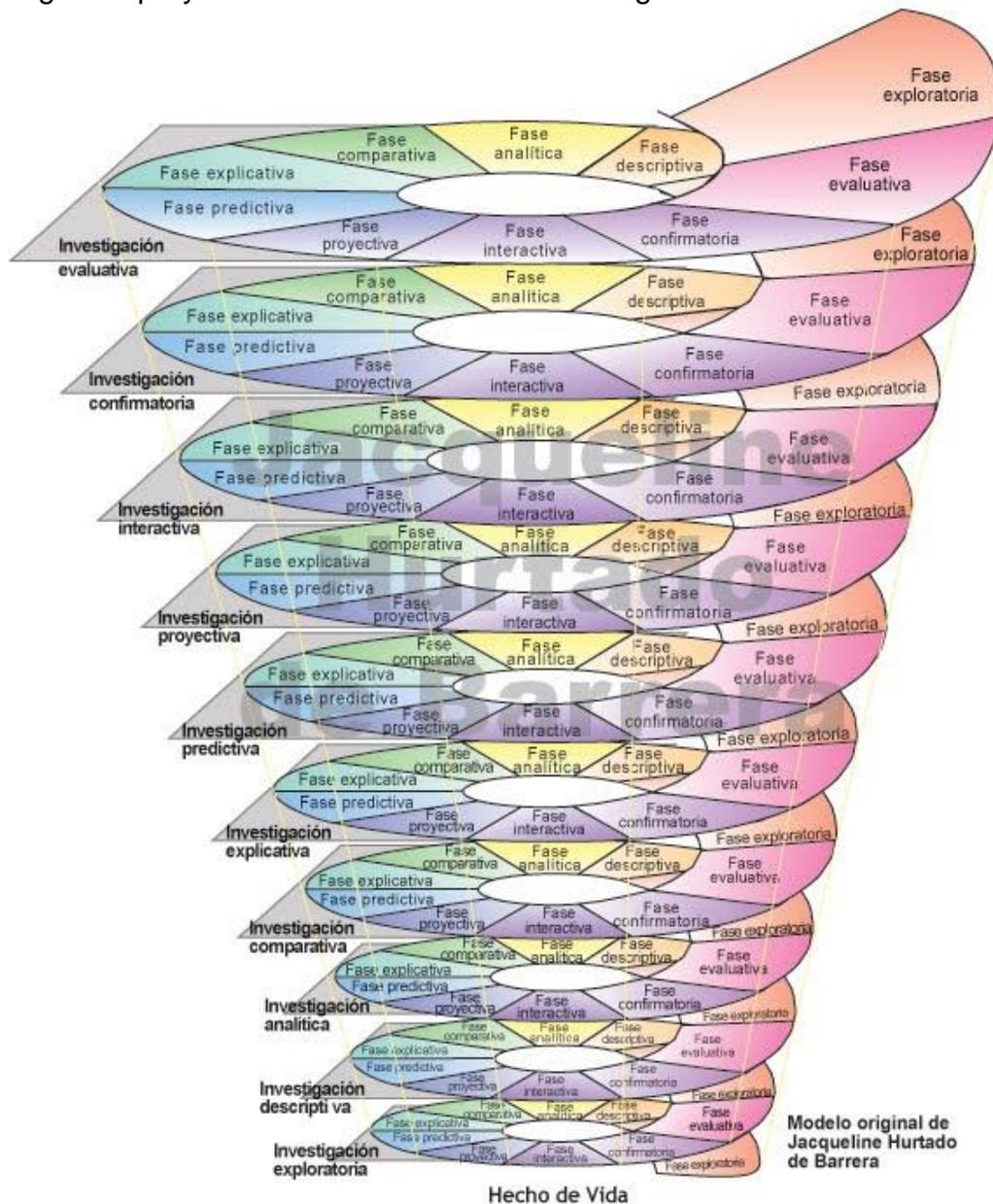
Sin embargo, las propiedades mecánicas relativamente bajas del PLA puro limitan sus aplicaciones de ingeniería. El aumento de la demanda de PLA para diversas aplicaciones requiere una comprensión completa de su comportamiento de fractura [18]. Es necesario mejorar las propiedades del PLA agregando generalmente un refuerzo al PLA [20]. El tipo de relleno es ventajoso para superar la fragilidad relativamente más alta del PLA en comparación con los polímeros termoplásticos convencionales [18]. La fibra de carbono (CF) es el material excelente para reforzar las resinas termoplásticas debido a sus propiedades mecánicas superiores, resistencia a la corrosión y alta resistencia y módulo específicos [20].

La fabricación aditiva (AM), comúnmente conocida como impresión 3D o creación rápida de prototipos, permite la fabricación de componentes geoméricamente complejos al colocar con precisión los materiales [21]. En general, los beneficios de fabricación aditiva incluyen libertad de diseño, bajo costo de puesta en marcha de herramientas, verificación rápida con menor tiempo de comercialización en el desarrollo de productos, servicio y mayor eficiencia de I + D (AM Platform 2014; Redwood et al. 2017) [21]. Para la materializar los diseños desarrollados en este estudio, se utilizó el ácido poliláctico PLA como material de relleno en el último diseño desarrollado, generando de esta manera el prototipo AV3 construido a base de éste material.

Para la manufactura de las dos versiones anteriores se utilizó el material acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) pero en las pruebas de manipulación con este material no se observó estable en la junta mecánica a presión del accesorio AV1 y AV2 por lo que el material de interés en este caso es el PLA aleado con fibra de carbono, utilizado en la versión del prototipo AV3.

Haciendo una mirada hacia la metodología y [22] según los estadios descritos en la metodología de la investigación holística descrita por Jacqueline Hurtado de

Barrera, la metodología implementada en este estudio hace parte de una investigación proyectiva cómo se muestra en la Figura 16.



**Figura 16.** Metodología de la investigación holística por Jacqueline Hurtado de Barrera [22]

Se puede ubicar como proyectivas, todas aquellas investigaciones que conducen a inventos, programas, diseños o creaciones dirigidas a suplir determinada necesidad [22]. La investigación proyectiva se ocupa de cómo deberían ser las cosas para alcanzar unos fines y funcionar adecuadamente. Según el autor Simón (1979) afirma que las ciencias de lo artificial se refieren a todo lo creado por el ser

humano[22]. La simulación puede ser una buena técnica para comprender los eventos y permite comprender el sistema imitado al ponerlo a prueba dentro de la variedad de medios, siendo así la simulación es capaz de aportar nuevos conocimientos [22]. Cuando se diseña, se toman principios de la naturaleza para crear algo que se le puede parecer en el funcionamiento de estos principios [22], la investigación proyectiva tiene que ver directamente con la invención, pero también con los procesos de planificación, es capaz de diseñar todo aquel que concibe unos actos destinados a transformar situaciones existentes en otras, en efecto la investigación proyectiva trasciende el campo del "cómo son" las cosas, para entrar en el "cómo podrían o cómo deberían ser", en términos de necesidades, preferencias o decisiones de ciertos grupos humanos [22]. El propósito de la planificación es prever un acontecimiento futuro, anticipando sus manifestaciones y estableciendo líneas de acción para intervenir sobre él. Matus (1977), define la planificación como un proceso continuo y sistemático de análisis y discusión que integra el diseño de planes, proyectos y programas, los cuales orientan una acción futura dirigida a lograr ciertos objetivos, utilizando para ello algunos métodos y estrategias, a partir de un diagnóstico previo [22]. La creatividad es un aspecto inherente a la investigación proyectiva [22].

Para crear un diseño de accesorio adecuado, es importante comprender los fundamentos de la anatomía y fisiología de la mano humana [23]. La anatomía es el análisis de estructuras y la fisiología es el análisis de roles [23]. Se podría producir un modelo de accesorio exitoso observando y comprendiendo la forma y el trabajo de la mano humana [23]. En esta metodología, se partió desde la concepción del diseño industrial de tres versiones elaboradas en este trabajo en relación a un producto o prototipo que se utilice para la manipulación saludable de teléfonos inteligentes. Las dos primeras versiones no cumplían el aspecto fisiológico en suplir la necesidad primaria de minimizar la sintomatología del STC, por lo tanto, no fueron de interés para los resultados de esta investigación.

En las modificaciones de diseño del prototipo AV3 se definió una geometría (ver detalle en este diseño en el capítulo II) que debía alcanzar unos ángulos en el nuevo agarre del producto y del Teléfono Inteligente, postura anatómica que

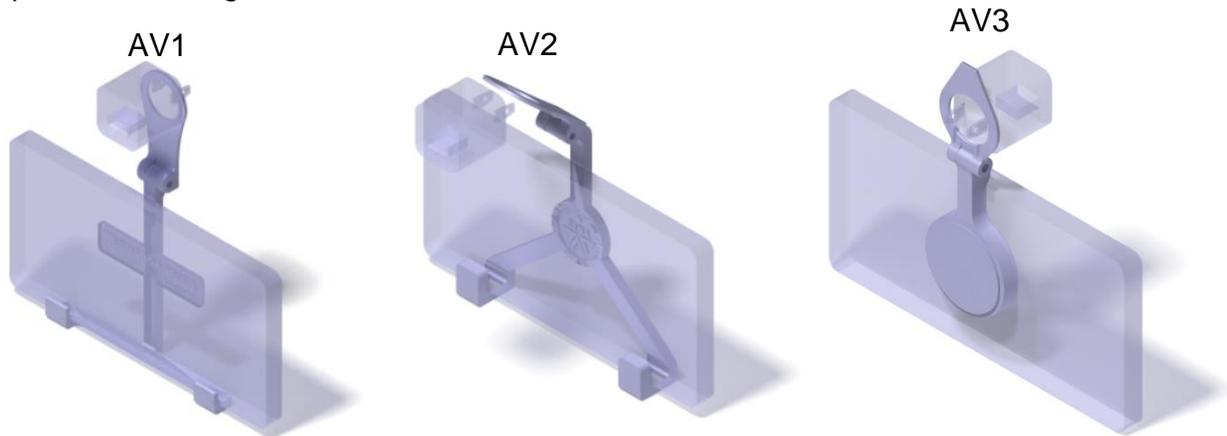
favoreció y fue simulado mediante la herramienta (módulo human builder) en CATIA V5, realizando directamente desde este módulo magnitudes proporcionales en el diseño en comparación al tamaño de la mano del avatar.

La impresión tridimensional (3DP) se promociona como un elemento central de una nueva revolución industrial, en la que la digitalización, la información y la conectividad transforman la innovación del producto [17]. Esta parte del procedimiento de manufactura llamada prototipado rápido, fue el medio para lograr las impresiones 3D, de los productos desarrollados. Después de simular las posturas correctas de la mano, se procedió a imprimir el prototipo AV3 utilizando material PLA traslúcido, inicialmente se realizaron pruebas manipulando el prototipo con este material y posteriormente se imprimieron otros prototipos AV3 con material PLA con fibra de carbono, esto con el fin de comparar el comportamiento de los dos materiales notándose un comportamiento más estable en el material PLA con fibra de carbono por sus propiedades mecánicas y de alta resistencia a la flexión. Para este caso de estudio se testeó el prototipo AV3 en la mano de una paciente mayor de 30 años de edad para realizar las pruebas de electromiografía superficial por medio de equipos médicos de alta precisión y expertos en el tema. Se tomaron diferentes pruebas en la paciente, para medir de alguna manera la funcionalidad del diseño desarrollado AV3 y se logró demostrar a través de un análisis comparativo de los resultados de las diferentes pruebas, validando el funcionamiento del prototipo físico.

### ***1.3 Diseños desarrollados***

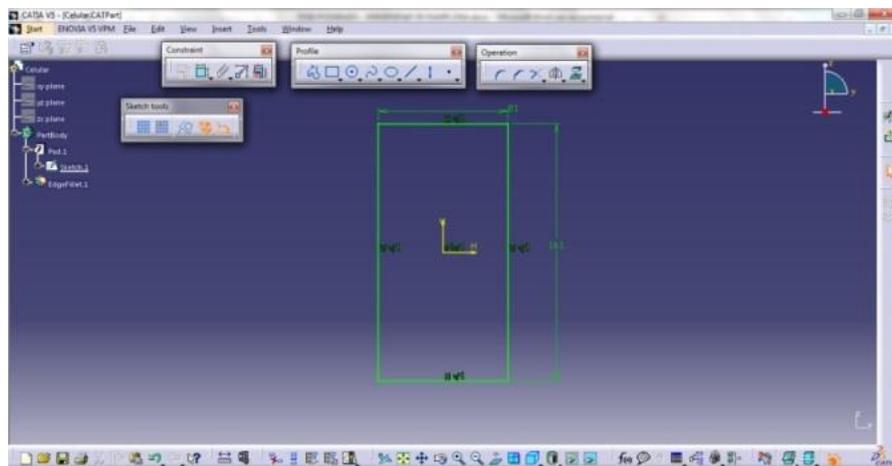
En el método aplicado al diseño habilitamos la gestión del ciclo de vida de nuevos productos (Product Lifecycle Management, PLM) para garantizar el mejor desarrollo y la manufactura a través de 3DP. La impresión tridimensional (3DP) se promociona como un elemento central de una nueva revolución industrial, en la que la digitalización, la información y la conectividad transforman la innovación del producto [17]. En la etapa inicial se asignó como referencia la medición tridimensional de un teléfono inteligente en este caso se utilizó como modelo las

medidas de un Iphone 7 plus. A través de este dato de las medidas se toma como un patrón dimensional para ser tomado en cuenta en el diseño a construir. Esta etapa del procedimiento de manufactura llamada prototipado rápido, fue el medio para lograr las impresiones 3D de los diseños desarrollados, cómo se puede apreciar en la Figura 17.



**Figura 17.** Diseños de los prototipos AV1, AV2 y AV3 respectivamente.  
Fuente: Autoría propia.

En la etapa inicial, se realizó la medición tridimensional (ancho, alto y profundo) de un teléfono inteligente en este caso se utilizó como patrón las medidas de un Iphone 7 plus, esto para garantizar uno de los mayores tamaños en el mercado, con la ayuda del instrumento de medición calibrador vernier que proporciona resultados de medidas precisas de las dimensiones a evaluar (81 X 161 X 10) mm. A través de este dato de las medidas se toma como un patrón dimensional para ser tomado en cuenta y utilizarlo en el diseño a construir.



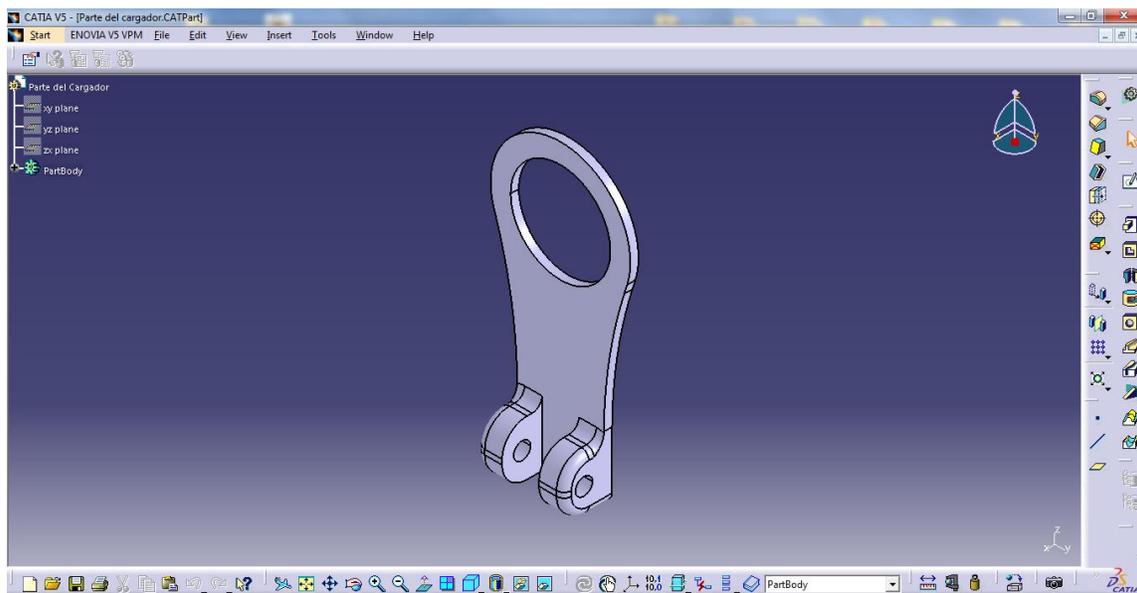
**Figura 18.** Entorno gráfico 2D de CATIA V5, Fuente: Autoría propia.

## 1.4 Diseño en CATIA V5

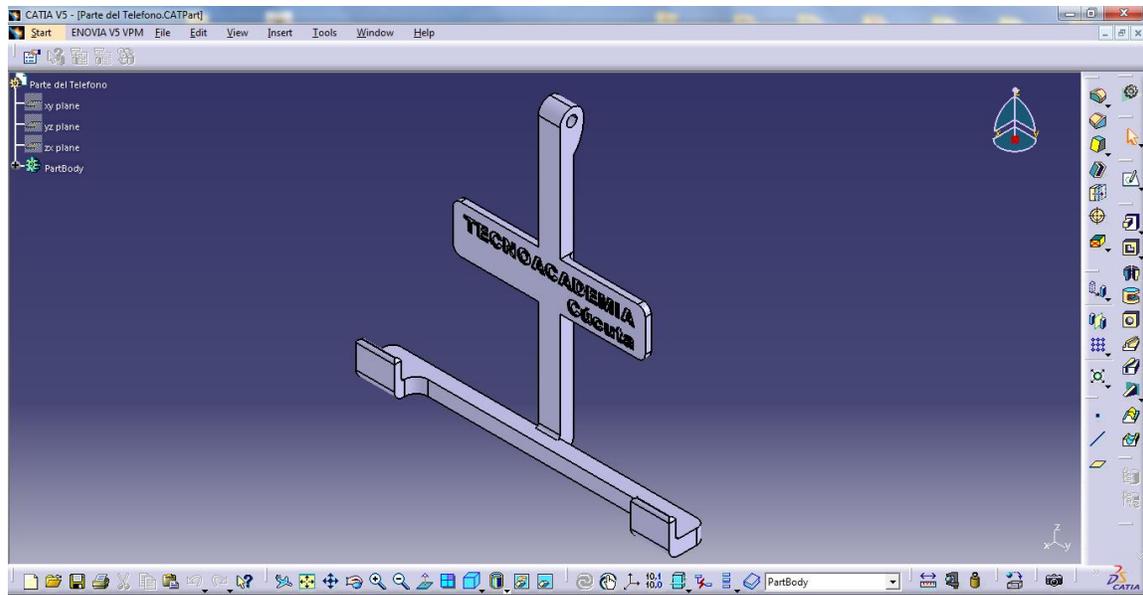
Los diferentes diseños se desarrollaron en el software CATIA V5, modelando las partes en 3D del prototipo para carga, realizando los siguientes pasos de diseño:

- Boceto y establecimiento de las medidas.
- Creación de partes mecánicas (soporte base y eslabón).
- Validar las partes y ensamblar.
- Crear imágenes renderizadas del diseño.
- Producir un dibujo del diseño en detalle.
- Creación de planos del diseño con Drafting.
- Simular en 3D el producto a través del módulo pertinente.
- Añadir y validar dimensiones de cada vista del diseño plasmado.

Cada diseño de producto está integrado o compuesto de dos diseños de partes modeladas en 3D en el módulo Part design de CATIA V5. En la Figura 19 y en la Figura 20 respectivamente se muestran las partes modeladas y el diseño detallado en vista isométrica del prototipo AV1.

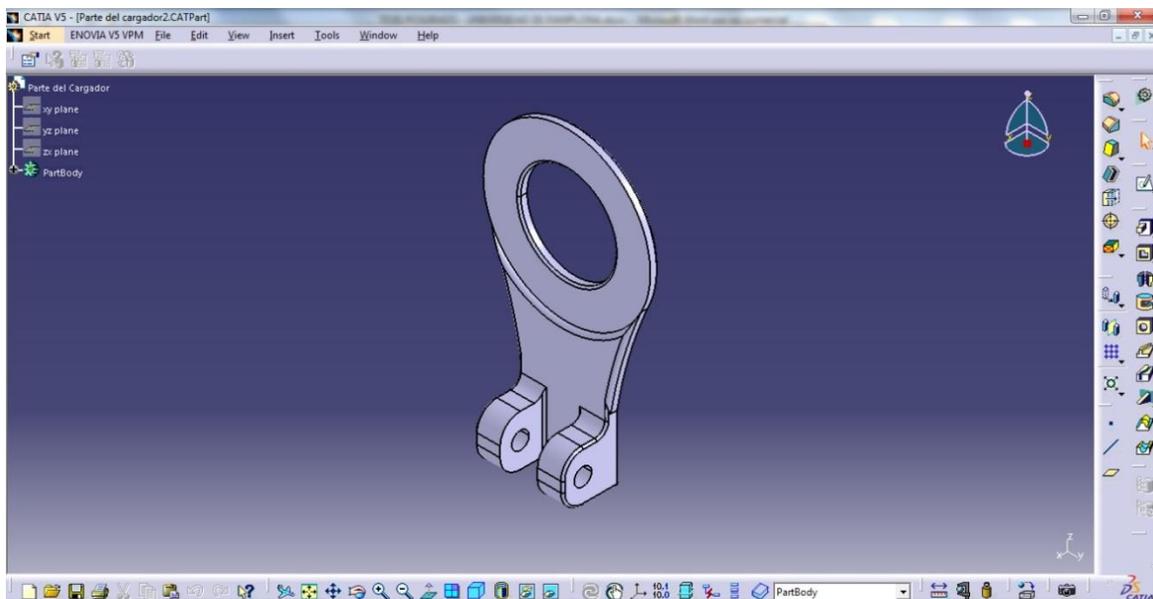


**Figura 19.** Fuente: Autoría propia.

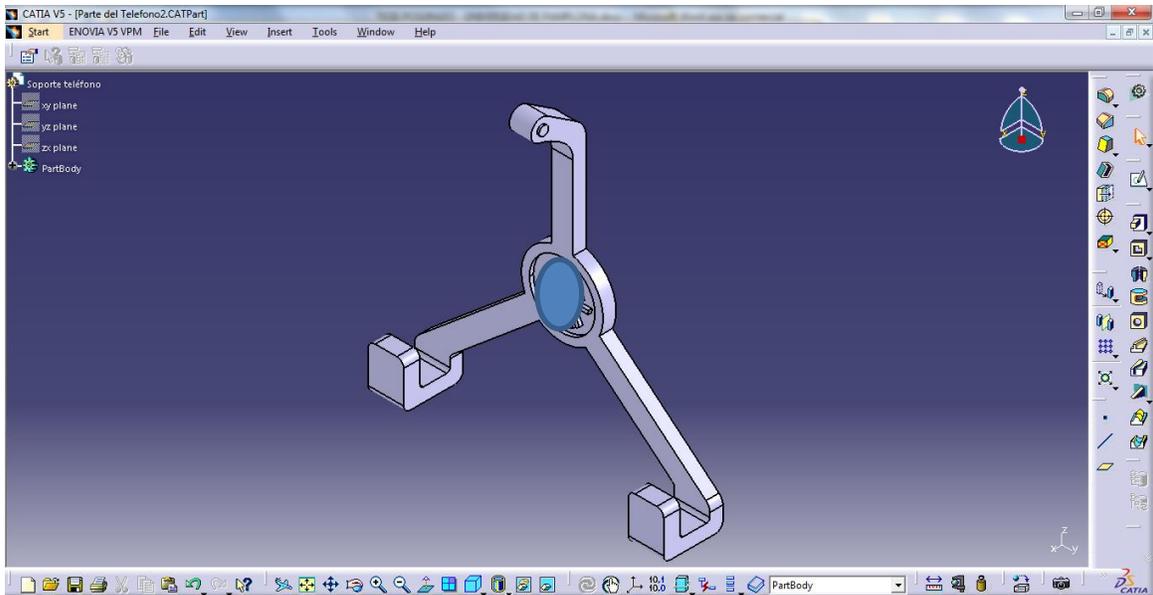


**Figura 20.** Fuente: Autoría propia.

En la Figura 21 y Figura 22 respectivamente se muestran las partes modeladas en vista isométrica del diseño detallado del prototipo AV2.

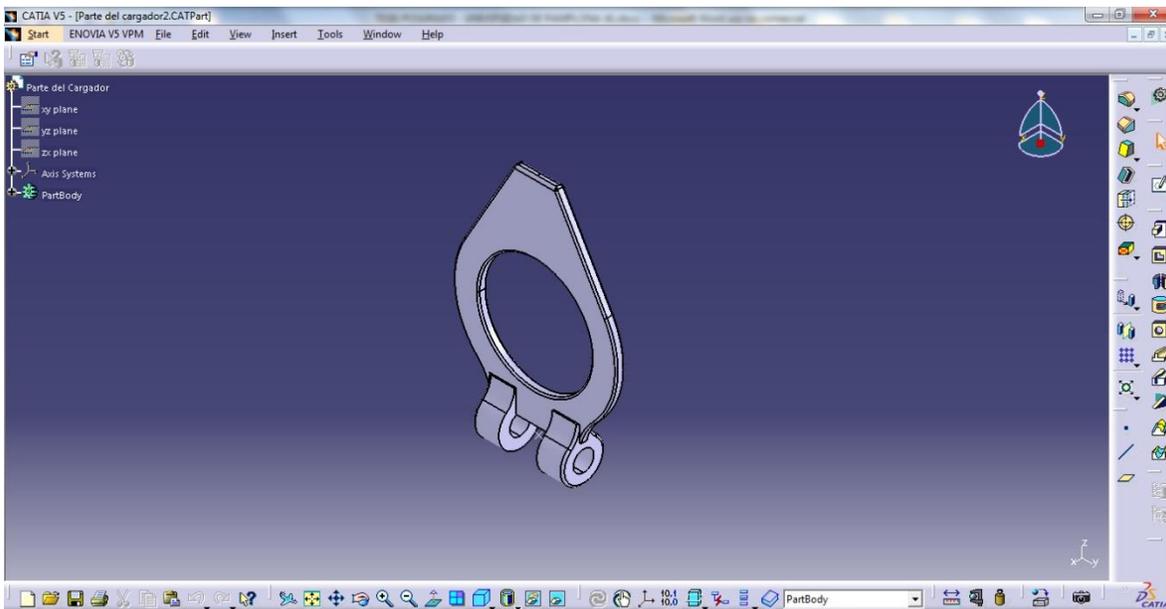


**Figura 21.** Fuente: Autoría propia.



**Figura 22.** Fuente: Autoría propia.

En la Figura 23 y la Figura 24 respectivamente se evidencian las partes modeladas en vista isométrica del prototipo AV3, diseño detallado que cumple con los aspectos fisiológico y funcional de la temática de este trabajo de investigación.



**Figura 23.** Fuente: Autoría propia.

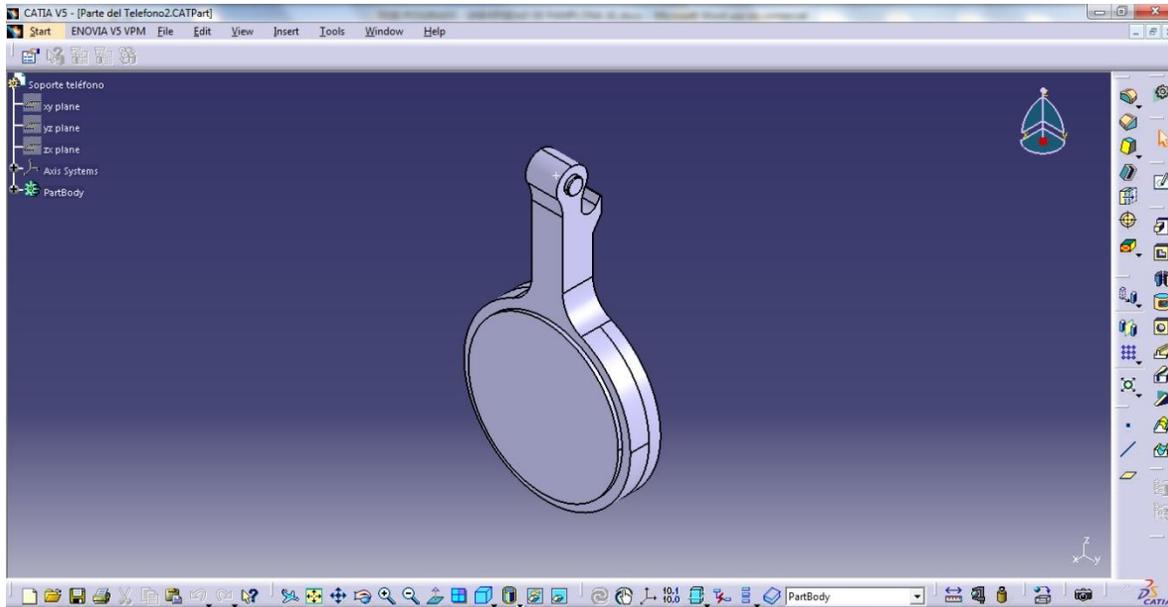


Figura 24. Fuente: Autoría propia.

### 1.5 Ensamble del producto digital en CATIA V5

Se ensamblaron las piezas que anteriormente fueron caracterizadas por medio de sus mediciones obtenidas de acuerdo con las dimensiones físicas proporcionadas en el módulo Assembly Design en la herramienta CATIA V5, se modela en ensamble del producto de las tres versiones. En la Figura 25, Figura 26 y Figura 27 se plasman los diseños de ensamble definidos en las tres versiones de los prototipos AV1, AV2 y AV3 respectivamente.

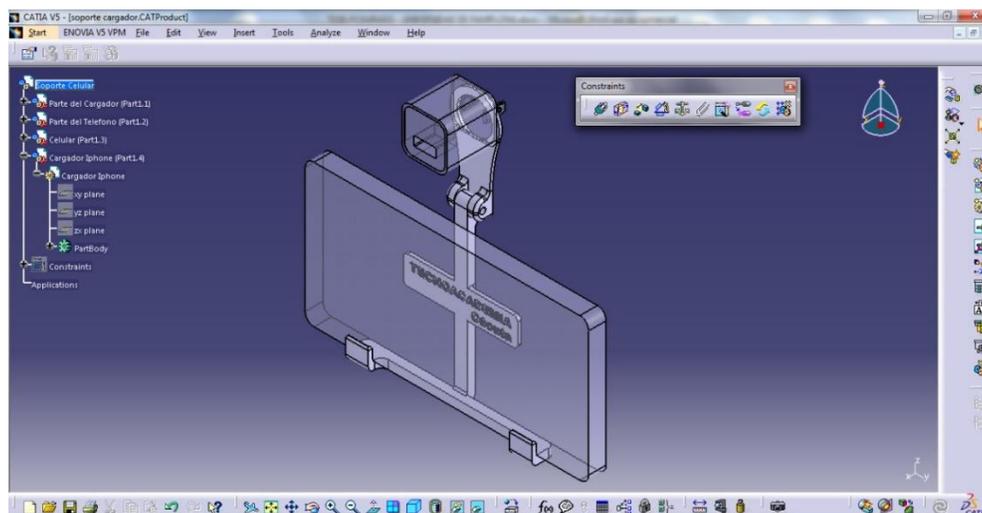
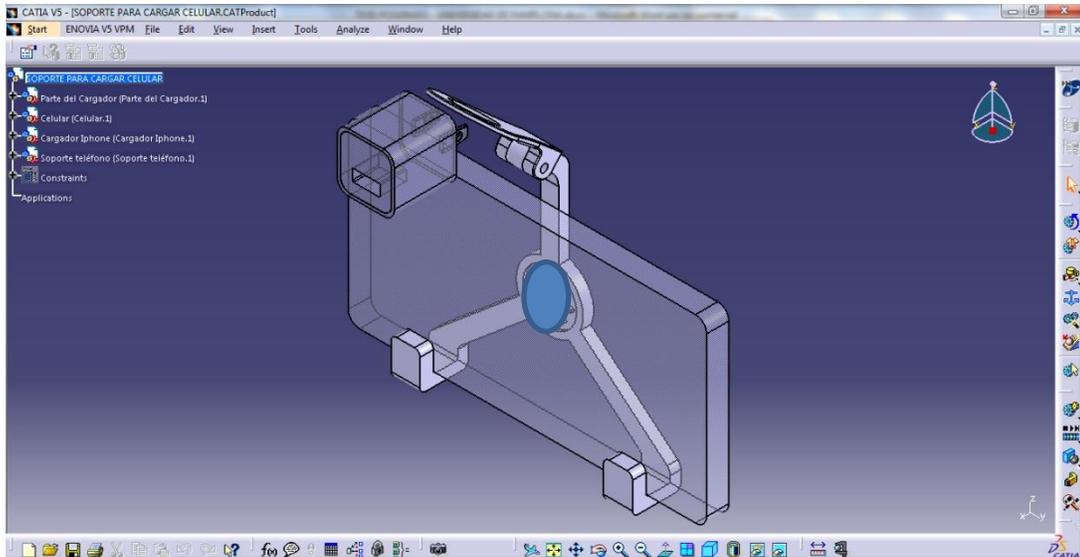
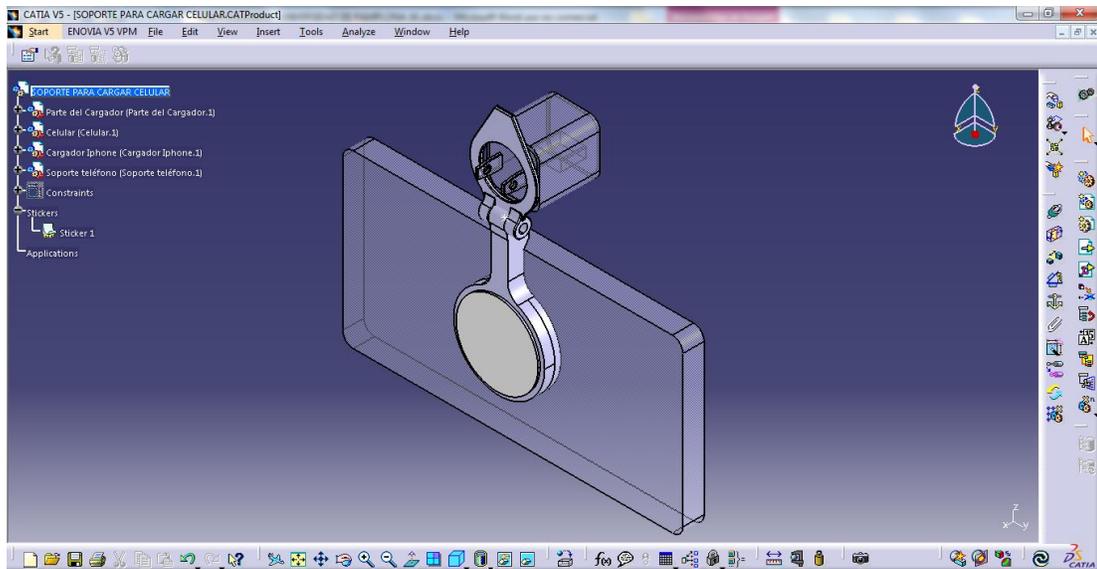


Figura 25. Diseño del prototipo AV1. Fuente: Autoría propia.



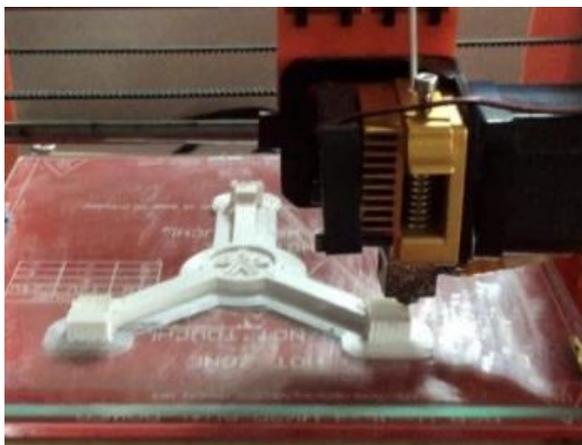
**Figura 26.** Diseño del prototipo AV2. Fuente: Autoría propia.



**Figura 27.** Diseño del prototipo AV3. Fuente: Autoría propia.

### ***1.6 3DP usando prototipado rápido***

La impresión 3D del prototipo se realizó a través de un entorno gráfico del software llamado CURA. Este software es fácil de usar, es didáctico y gratuito, donde se puede importar el archivo .stl generado por CATIA para obtener los sólidos impresos en 3D de los diversos diseños.



**Figura 28.** Impresión del prototipo AV2, Fuente: Autoría propia.

Estos accesorios en las versiones AV1 y AV2, ver Figura 28; fueron impresos en una estación de trabajo en el laboratorio de Tecnoacademia Cúcuta, estación 3DP, en material ABS donde se obtuvieron todas las partes de los productos ensamblados y terminados. Se puede afirmar que las versiones AV1 y AV2 no cumplen con el aspecto fisiológico, simplemente fueron diseños limitados al aspecto funcional.

El diseño del accesorio AV3 cumple con los dos aspectos fisiológico y funcional, resaltados en esta investigación. Este diseño se empezó a desarrollar en la ciudad de Medellín desde el año 2019 en el cual se realizó un análisis para tomar unos criterios de diseño y definir la geometría del accesorio digital en 3D. En el capítulo II se describirá detalladamente parte de la metodología empleada. Para este diseño se escogió el material PLA con Fibra de carbono traslúcido, material con el que fue manufacturado los prototipos para ejercer las pruebas de manipulación con el teléfono inteligente y también fue sometido a las pruebas de electromiografía superficial.

## **CAPÍTULO II**

### **2. ANALISIS FISIOLÓGICO DEL PROTOTIPO AV3 EN CATIA V5**

#### **2.1 Análisis de postura anatómica de la mano**

A partir de la evolución de la especie humana, los cambios son inevitables en la naturaleza [24]. En el mundo actual, el hombre y la máquina tienen el mismo espacio en el trabajo, algunas condiciones de teletrabajo incluyen horas de labores manipulando un teléfono inteligente durante el día, cuando tales actividades aumentan la fatiga y posteriormente reducen el rendimiento [24]. Los planes de estudio tradicionales de ingeniería otorgan un valor añadido a la formación relacionada con el diseño y el análisis [25]. El nervio mediano, ubicado a nivel de la muñeca, se encarga de la sensibilidad y movilidad de parte de la mano, específicamente del dedo pulgar al dedo mediano y una parte del dedo anular [14], cómo se aprecia en la Figura 29.



**Figura 29.** Zona con influencia del nervio mediano  
Fuente: (Fernández Garza, 2017)[14].

Este nervio se puede comprimir debido a que la muñeca adopta ángulos y posturas inadecuadas o se dan movimientos repetitivos aumentando la presión en el túnel carpiano. Estas posturas pueden ser extensión dorsal mantenida y compresión de la cara palmar del carpo [14]. También mantener posiciones por horas manipulando un teléfono inteligente provoca que los tendones se hinchen, presionando el nervio mediano con el ligamento transversal del carpo, generando dolor, adormecimiento u hormigueo en manos y dedos, en algunos casos incluso la pérdida de la fuerza del pulgar al dedo medio [14]. En la Figura 30 se puede ver la anatomía de la mano y los síntomas de algunas partes.

El resultado del diseño de este prototipo es sometido a la simulación para el control y validación de los ángulos correctos de la abertura de los dedos y de la muñeca de la mano, en el módulo ergonomics design & analysis de Human builder en la herramienta CATIA V5. Según los análisis realizados acerca del STC y teniendo en cuenta la postura correcta o adecuada para manipular un teléfono inteligente, no se pueden generar ángulos en la muñeca que compriman los nervios que pasan por el túnel carpiano para evitar la sensación de hormigueo o adormecimiento. Este ángulo, ver Figura 33, no debería superar los 8° de flexión de la muñeca como primer indicio para controlar los ángulos correctos. De la misma manera se analizan los ángulos de abertura de las falanges y se descubre que los ángulos entre falanges no deben superar 80° las articulaciones más cercanas a la mano, las siguientes falanges no deberían superar los 20° y las últimas articulaciones de las falanges más pequeñas no deberían superar los 10°.



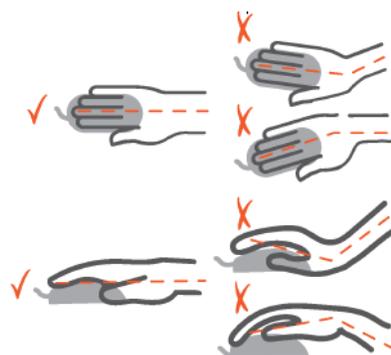
**Figura 30.** Diagrama del STC, Fuente: (Fernández Garza, 2017) [14].

Según este estudio (Fernández Garza, 2017) basado en las computadoras portátiles, ahora más comunes, en especial provocan malas posturas por estar el monitor y el teclado unidos. Estos teclados son pequeños provocando desviaciones ulnar (UBC Human Resources, s.f). Generando excesiva flexión de cuello (mayor a los 15° recomendados), mayor flexión de hombros y ángulos de los codos mayores a 90 °, provocando incomodidad (Niebel.B et,2009). Algunos de las posiciones anteriores se pueden ver gráficamente en la Figura 31 y la Figura 32 [14].



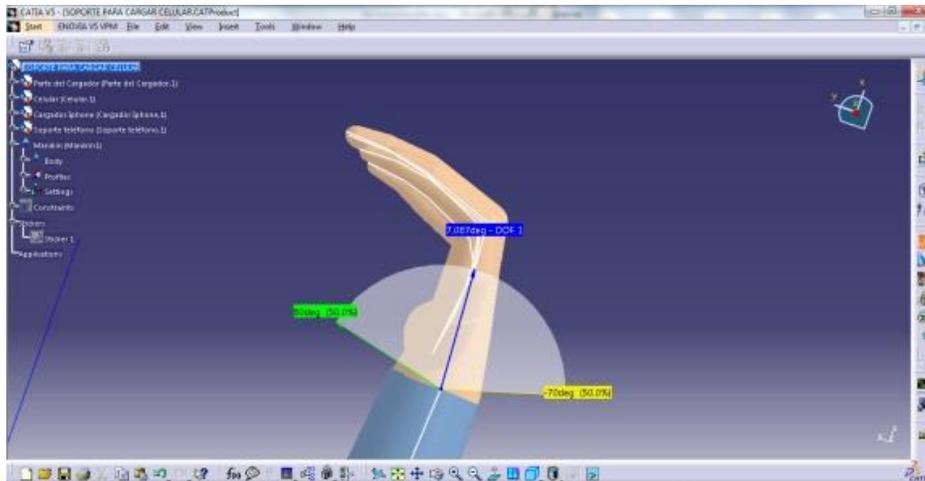
**Figura 31.** Posiciones o posturas correctas e incorrectas del uso de un teclado, Fuente: (Fernández Garza, 2017)

Sin embargo, lo que más afecta es la posición en donde se encuentra como se mencionaba anteriormente, ejemplificadas en la siguiente imagen en donde además indica la forma correcta de utilizarlo.



**Figura 32.** Posiciones o posturas correctas e incorrectas del uso de un ratón, Fuente: (Fernández Garza, 2017)

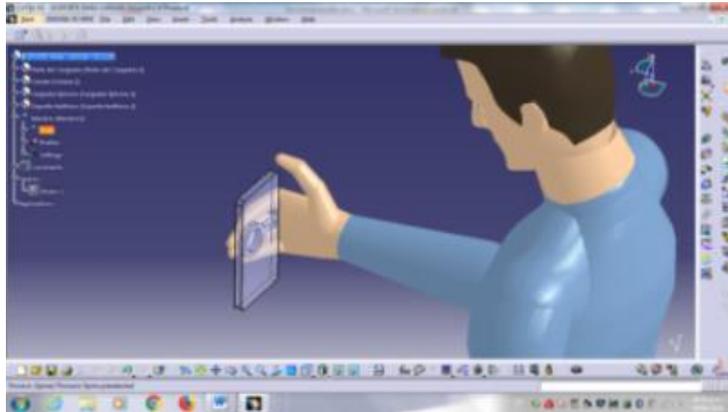
Después de conocer y estudiar la teoría de las posturas correctas y de los ángulos a tener en cuenta para la manipulación correcta y saludable se aplica en el ensamble digital del prototipo AV3, el diseño de este producto es sometido a la simulación para el control y validación de ángulos de aberturas de los dedos y de la muñeca de la mano (ángulo crítico) cómo se aprecia en la Figura 33, en el módulo ergonomics design & analysis de Human builder en la herramienta CATIA V5.



**Figura 33.** Ángulos habilitados para el correcto uso del prototipo AV3 en CATIA V5.  
Fuente: Autoría propia.

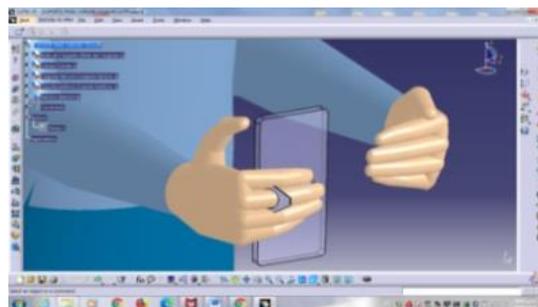
En el diseño del accesorio AV3 se simuló el proceso de construcción del diseño y se asoció de manera directa al módulo de human builder en relación a la mano digital del avatar y a la comparación de las magnitudes de las variables del diseño del accesorio con respecto a las de la mano digital. Para este diseño se tuvo en cuenta dos partes; el cuerpo y la argolla. El cuerpo del accesorio está integrado de un sub-cuerpo corto cilíndrico con cavidad donde se ensambla o se empotra el imán, y otra parte llamada palanca donde su se une mecánicamente por medio de una junta de coincidencia entre centros manifestado como dos pines en 3D, en cambio la argolla es una parte plana con una geometría funcional y encaja o pivota en estos pines a través de dos arandelas de precisión, ver Figura 34. En el módulo Human builder, se cita el avatar en el entorno del diseño AV3 desarrollado y se analiza las proporciones de tamaño del prototipo en relación al volumen ocupado por la mano del avatar, esta actividad se efectúa con el fin de validar posiciones,

distancias y las posibles modificaciones de diseño a tener presente aprovechando las herramientas de ergonomía de manera que se valida los diferentes parámetros de interés para apuntar el mayor ajuste posible desde el ámbito del diseño con relación a la mano del avatar, es simular el escenario real a la hora de probar el prototipo físico y cubrir desde el entorno digital la mayoría de las falencias de uso posibles.



**Figura 34.** Vista de perspectiva 3D – análisis de postura en el módulo human builder de Ergonomics Design & Analysis, CATIA V5. Fuente: Autoría propia.

Se realizó la respectiva posición del accesorio digital en la mano del avatar pasando por el dedo corazón de la mano derecha en la argolla del accesorio digital, logrando el posicionamiento de uso y manipulación de teléfonos inteligentes, en las vistas de perspectiva frontal y posterior ver Figura 34 y Figura 35, se logra evidenciar la manipulación digital de un teléfono inteligente de manera saludable en el enfoque de la postura validada desde el entorno y las herramientas especializadas en 3D. En el capítulo dos se obtuvo los resultados de simulación y validación del escenario del prototipo AV3 en la mano del avatar del módulo Human Builder en CATIA V5.



**Figura 35.** Vista de perspectiva 3D – análisis de postura en el módulo human builder de Ergonomics Design & Analysis, CATIA V5. Fuente: Autoría propia.

## **2.2 Manufactura del prototipo AV3**

Después de simular las posturas correctas de la mano, se procede a imprimir el prototipo AV3 utilizando inicialmente material PLA, se realizaron pruebas manipulando el prototipo con este material y posteriormente se imprimieron otros prototipos con material PLA translúcido con fibra de carbono, ver Figura 36, esto con el fin de comparar el comportamiento de los dos materiales notándose un mejor comportamiento en el material PLA translúcido con fibra de carbono. La impresión 3D de precipitación por inmersión (ip3DP) ofrece la capacidad de fabricar modelos porosos 3D utilizando tintas con amplios rangos de presión de vapor y viscosidad [16].



**Figura 36.** Manufactura del prototipo AV3. Fuente: Autoría propia.

## **2.3 Equipos utilizados**

La electromiografía (EMG) es una técnica para evaluar y registrar la actividad eléctrica producida por los músculos esqueléticos para ver el estado de los músculos [26]. El sistema nervioso siempre controla las actividades musculares como la relajación o la contracción [26]. Un análisis eficiente de las señales de electromiografía (EMG) juega un papel ineludible en el diagnóstico de trastornos neuromusculares, prótesis y varias aplicaciones relacionadas [26].

El equipo utilizado en noviembre de 2020 para realizar las pruebas de electromiografía superficial y poder evaluar el comportamiento de la tensión de los flexores de los dedos como último objetivo de esta investigación fue con la tecnología CAD WELL - Sierra Summit ver

Figura 37, tecnología modelo para priorizar la confiabilidad y la eficiencia para las necesidades de EMG, NCS y ultrasonido implementado en la medición de la tensión de los flexores superficiales de los dedos y el flexor largo del pulgar.



**Figura 37.** Equipo Sierra Summit y tecnología para EMG y NCS

Fuente: <https://www.cadwell.com/emg-summit/>

Este modelo está diseñado para priorizar la confiabilidad y la eficiencia para sus necesidades de EMG, NCS y ultrasonido. Sierra Summit es la creación de 40 años de investigación y desarrollo en Cadwell. Esta tecnología ha respondido a solicitudes de funciones, nueva tecnología de electrodiagnóstico (EDX) y un aprendizaje más amplio que se ofrece como uno de los equipos de diagnóstico neurofisiológico más dinámicos del mercado actual. En 2018, Cadwell se convirtió en la primera empresa de EMG en ofrecer un ultrasonido totalmente integrado. Actualmente, Cadwell está trabajando en conjunto con algunos de los principales médicos y hospitales universitarios en EDX del mundo.

## **CAPÍTULO III**

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Verificación del funcionamiento del prototipo AV3**

Observando la funcionalidad del prototipo AV3, se pudo detectar que el diseño de esta versión es el más completo y vence la hipótesis de esta investigación. Ahora mostramos el listado de beneficios que tiene este diseño en su versión AV3: Se realizó la prueba maestra de esta investigación que es acondicionar el prototipo AV3 con el teléfono inteligente para minimizar la sintomatología del STC, utilizándose de la manera correcta cómo se ilustra en la Figura 38.



**Figura 38.** Prueba de manipulación del teléfono inteligente con el prototipo AV3.  
Fuente: Autoría propia.

Se configuró el escenario para avalar con el prototipo AV3 la estación de carga de manera segura para el teléfono inteligente como se evidencia en la Figura 39.



**Figura 39.** Prueba exitosa de la estación de carga segura con el AV3  
Fuente: Autoría propia.

Otra función dentro de su versatilidad es el posicionamiento del teléfono inteligente en cualquier ángulo deseado por el usuario como se aprecia en la Figura 40.

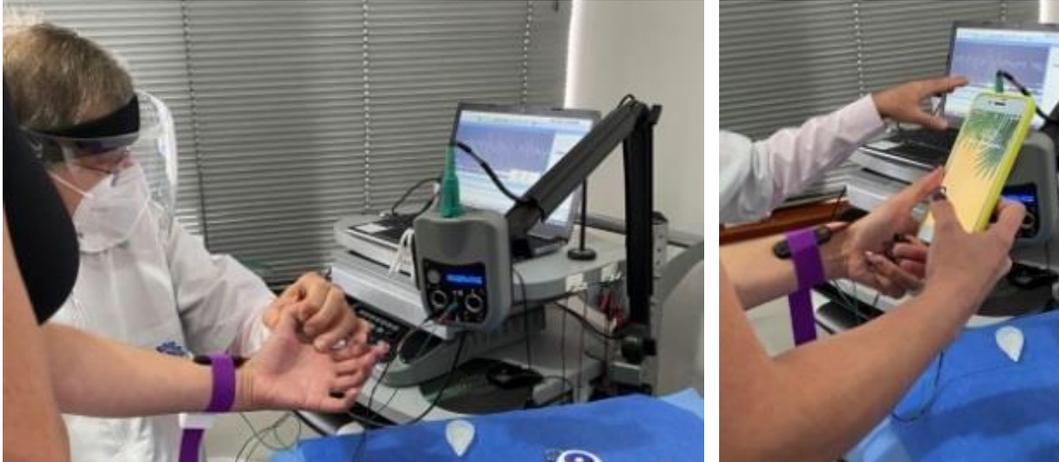


**Figura 40.** Prueba exitosa del posicionamiento del T.I con el prototipo AV3.  
Fuente: Autoría propia.

### ***3.2 Validación a través de pruebas de EMG del prototipo AV3***

Un estudio en Polonia 2019, de la afectación del síndrome del túnel carpiano afirma: "La compresión del nervio mediano a menudo se asocia con edema de la rama cutánea palmar del nervio mediano (PCMN), nervio que surge de la cara radial del nervio mediano y corre a lo largo de la cara cubital del flexor radial del carpo. La irritación de este nervio es un factor causante de sensación de dolor y entumecimiento en la región del pulgar" [8]. Coloque el accesorio en el lugar de trabajo destinado a realizar la prueba, donde todos los electrodos de superficie EMG de la mano del paciente capturan señales mioeléctricas que se manipulan para permitir que la mano [23] se mueva. Para monitorear el impulso, se colocarán tres electrodos (pegatinas EMG) que leen la señal EMG [23] en ubicaciones diferentes en la mano y muñeca del paciente. Las señales EMG se utilizan ampliamente para aplicaciones clínicas, así como para prótesis y rehabilitación [26]. En el procedimiento de esta actividad se sometió a una paciente mayor de 30 años de edad para realizar las pruebas de electromiografía superficial por medio de equipos médicos de alta precisión y expertos en el tema, ver Figura 41. Se

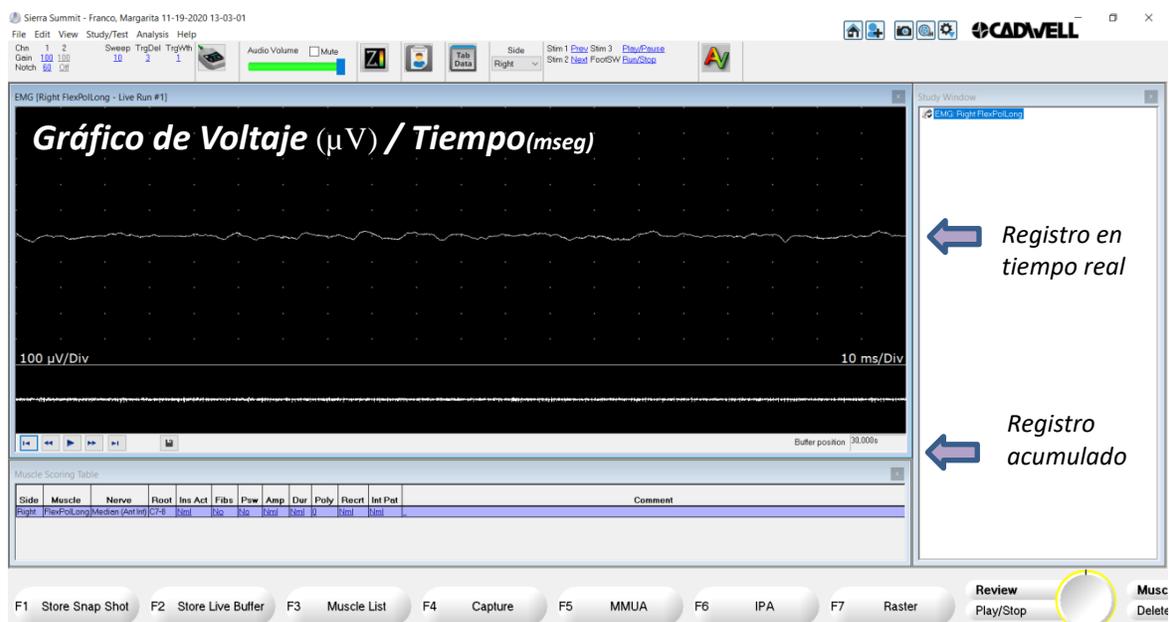
tomaron diferentes pruebas para medir de alguna manera la funcionalidad y confiabilidad del prototipo desarrollado AV3 y se logró proponer a través de un análisis comparativo de los resultados de las diferentes pruebas, la validación del prototipo físico.



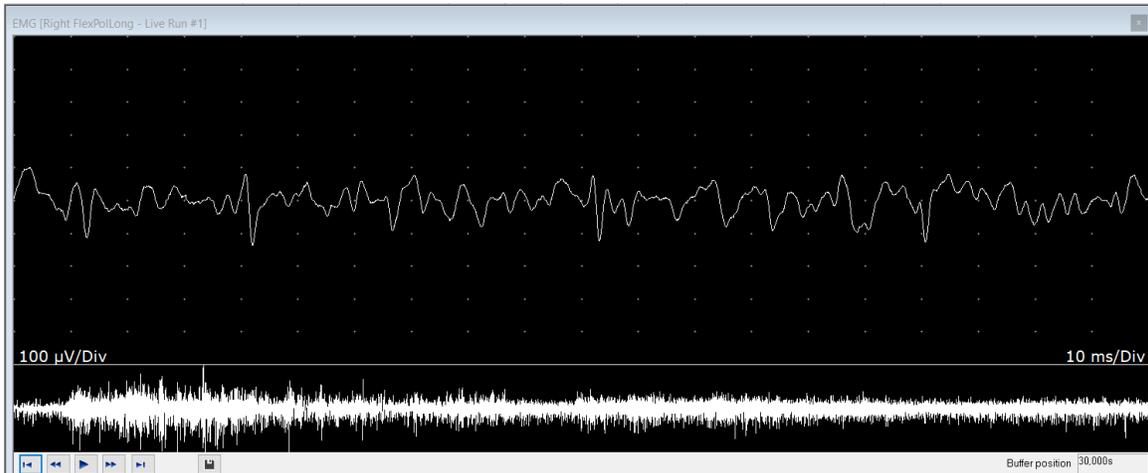
**Figura 41.** Prueba de electromiografía superficial realizada a la paciente.  
Fuente: Autoría propia.

“El túnel carpiano sostiene los tendones flexores de las partes superficiales y profundas que son responsables del movimiento fino de los dedos y, por tanto, de la acción precisa de la mano. Esta acción está asegurada por la actividad de los músculos lumbricales e interóseos inervados por el nervio mediano” [8]. En este caso se midió la tensión de los flexores superficiales de los dedos y del pulgar mientras se manipula un teléfono inteligente. Utilizando la tecnología (Sierra Summit – CADWELL) de los equipos médicos de la Clínica de las Vegas en Medellín – Colombia, se ha sometido el prototipo AV3 a unas pruebas de electromiografía superficial en la mano izquierda de la paciente, donde se conectaron tres sensores en las diferentes áreas críticas de la muñeca y de la mano para medir las tensiones de los diferentes flexores que pasan por el túnel carpiano, arrojando los siguientes resultados gráficos de las diferentes mediciones. “El túnel carpiano sostiene los tendones flexores de las partes superficiales y profundas que son responsables del movimiento fino de los dedos y, por tanto, de la acción precisa de la mano. Esta acción está asegurada por la actividad de los músculos lumbricales e interóseos inervados por el nervio

mediano”. [15] para este caso se tuvo presente medir la tensión de los flexores superficiales de los dedos y del pulgar mientras se manipula un teléfono inteligente. Utilizando las últimas tecnologías (Sierra Summit – CADWELL) en instrumentación y sensórica de los equipos médicos de la Clínica de las Vegas en Medellín – Antioquia, se ha sometido el prototipo AV3 a unas pruebas de electromiografía superficial en la mano izquierda de una paciente, donde se conectaron tres sensores en las diferentes áreas de la muñeca y de la mano para medir las contracciones de los diferentes flexores que pasan por el túnel carpiano y obtener un registro gráfico. La Figura 42 muestra claramente el ejemplo de la señal mioeléctrica patrón a seguir en los análisis visuales y comparativos debido a que fue el registro generado cuando la mano de la paciente estaba en reposo o relajada, sin sostener el teléfono inteligente ni aplicar ningún tipo de fuerza que pueda actuar el síndrome del túnel carpiano. Los valores máximos de este registro oscilan entre los  $-20 \mu\text{V}$  a  $20 \mu\text{V}$ , obteniendo una amplitud de onda o señal mioeléctrica de máximo  $40 \mu\text{V}$  aproximadamente.

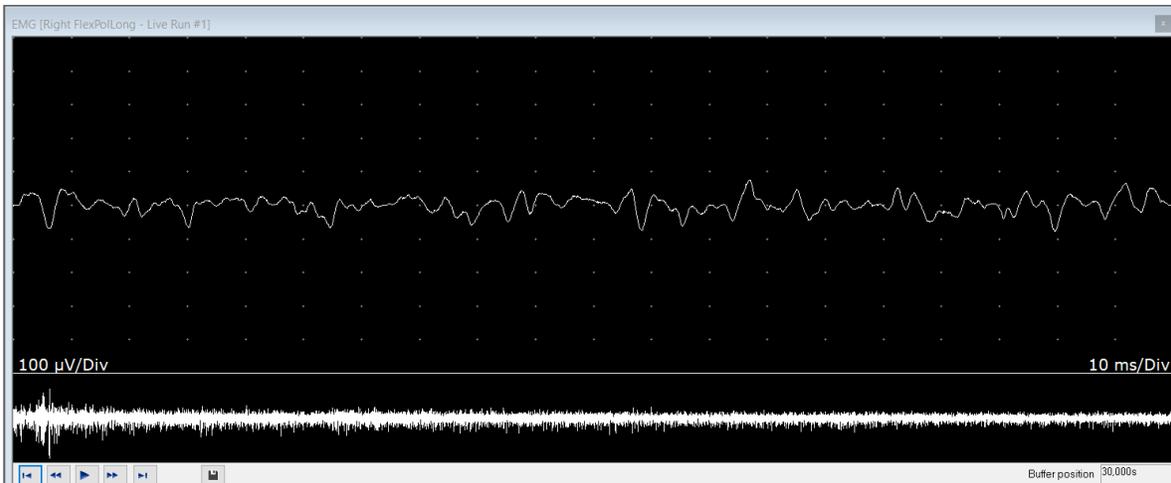


**Figura 42.** Contracción (Tensión en  $\mu\text{V}$ ) del flexor largo del pulgar FLP, con las manos en reposo.



**Figura 43.** Contracción del FLP, manipulando únicamente el Teléfono inteligente.

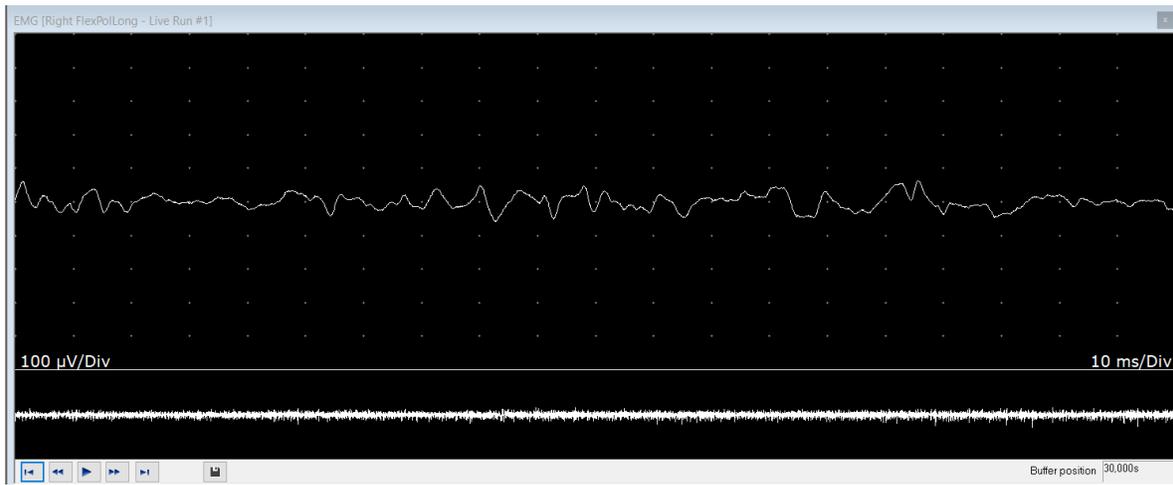
La Figura 43, Figura 44 y la Figura 45 están relacionadas a la medición del flexor largo del pulgar de la mano izquierda y se puede basar en la observación de la amplitud del registro acumulado mioeléctrico. La Figura 43 presenta el registro acumulado de la señal mioeléctrica cuando la mano de la paciente está siendo testeada manipulando únicamente el teléfono inteligente sin usar ningún accesorio con una magnitud de amplitud máxima aproximada de 210  $\mu$ V.



**Figura 44.** Contracción del FLP, manipulando el TI con un producto (popsocket) del mercado actual.

La Figura 44 presenta el registro acumulado de la señal mioeléctrica cuando la mano de la paciente está siendo testeada manipulando el teléfono inteligente con un popsocket del mercado actual, se puede observar que la amplitud de la señal o

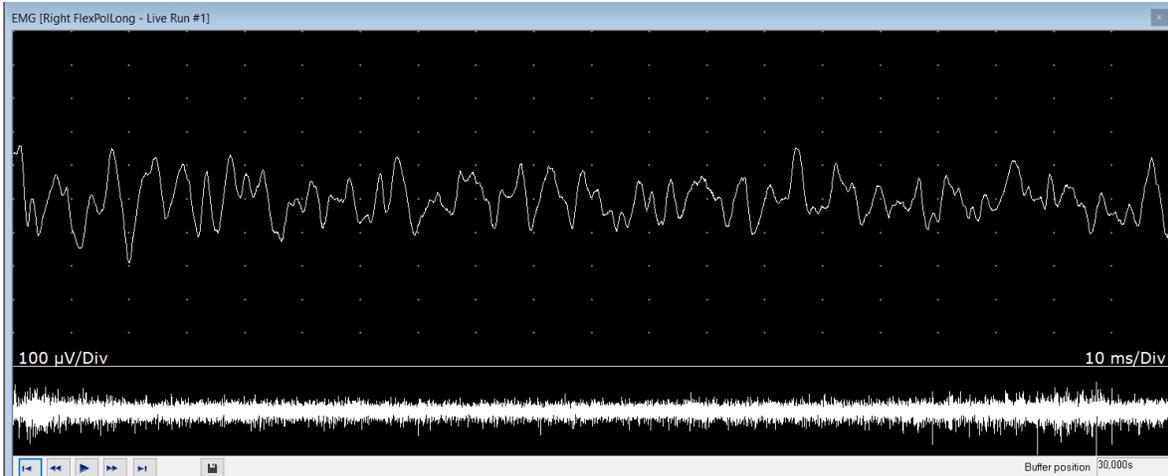
del ruido disminuye considerablemente con un valor máximo aproximado de 160  $\mu\text{V}$  en comparación con la Figura 43.



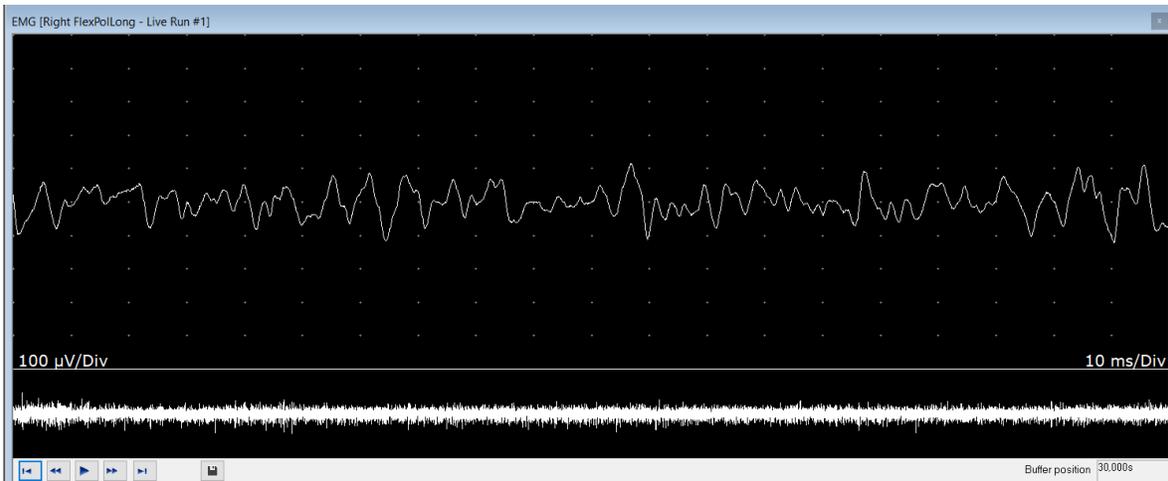
**Figura 45.** Contracción del FLP, manipulando el TI con el prototipo AV3.

La Figura 45 presenta el registro acumulado de la señal mioeléctrica cuando la mano de la paciente está siendo testeada manipulando el teléfono inteligente con el accesorio desarrollado AV3, se puede observar que la amplitud de la señal o del ruido disminuye considerablemente con un valor máximo aproximado de 100  $\mu\text{V}$  en comparación con la Figura 44.

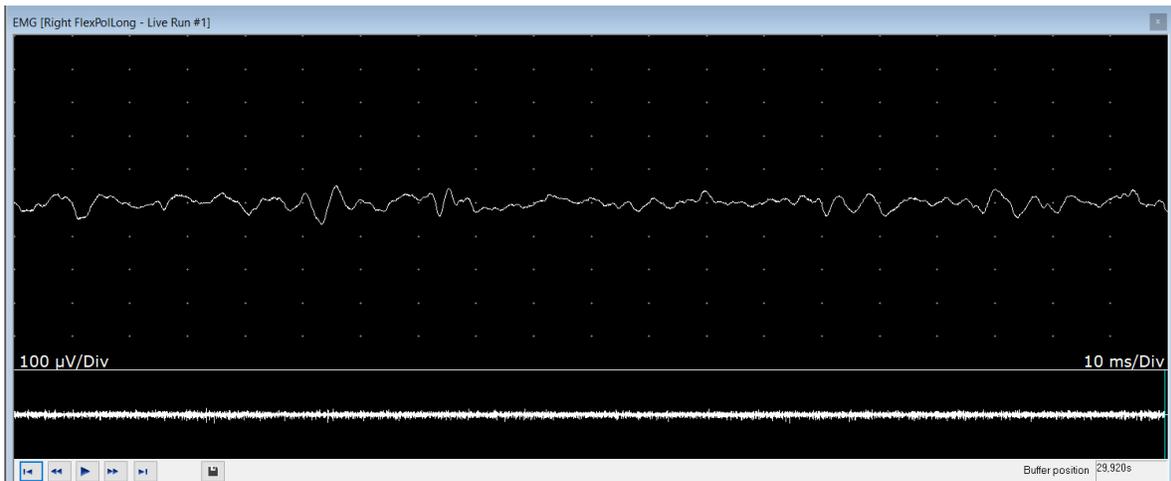
La Figura 46, Figura 47 y Figura 48, están relacionadas a la medición de los flexores superficiales de los dedos de la mano izquierda, se puede basarnos en la observación de la amplitud del registro acumulado mioeléctrico para ejercer el análisis funcional. La Figura 46 presenta el registro acumulado de la señal mioeléctrica con una magnitud máxima de amplitud aproximada de 340  $\mu\text{V}$  cuando la mano de la paciente está siendo testeada manipulando o sosteniendo únicamente el teléfono inteligente. La Figura 47 presenta el registro acumulado de la señal mioeléctrica cuando la mano de la paciente está siendo testeada manipulando el teléfono inteligente con un popsocket del mercado actual, se puede observar que la amplitud de la señal o del ruido con un valor máximo aproximado de 220  $\mu\text{V}$  que disminuye considerablemente en comparación con la Figura 46.



**Figura 46.** Contracción del flexor superficial de los dedos, manipulando únicamente el TI.



**Figura 47.** Contracción del flexor superficial de los dedos FSD, manipulando el TI con un producto del mercado actual.

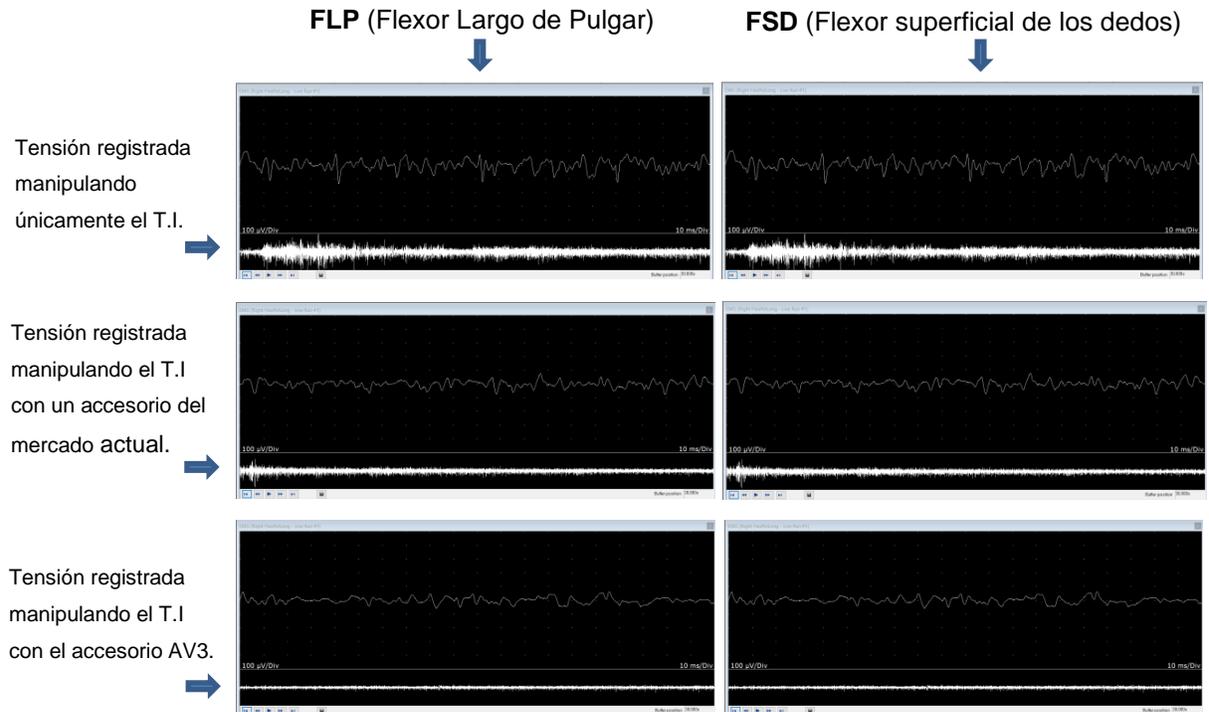


**Figura 48.** Contracción del flexor superficial de los dedos FSD, manipulando el TI con el prototipo AV3.

La Figura 48 presenta el registro acumulado de la señal mioeléctrica cuando la mano de la paciente está siendo testeada manipulando el teléfono inteligente con el accesorio desarrollado AV3, se puede observar que la amplitud de la señal o del ruido con un valor máximo aproximado de 130  $\mu\text{V}$  disminuye considerablemente en relación con la gráfica anterior o con la gráfica de la Figura 47.

### **3.3 Análisis comparativo y funcional del prototipo AV3**

La Figura 49 ilustra los resultados de las gráficas de tensión en microvoltios ( $\mu\text{V}$ ) vs tiempo en milisegundos (mseg) tanto del flexor largo del pulgar como de los flexores superficiales de los dedos de la mano valorada como se evidencia en las dos columnas, emitiendo dos tipos de señales en cada gráfica. La señal superior está asociada al registro mioeléctrico en tiempo real y la señal inferior está asociada al registro mioeléctrico acumulado, ver Figura 42. En la primera fila de gráficas de la Figura 49, se evidencia el ruido registrado sosteniendo o manipulando únicamente el teléfono inteligente y se observa que el registro acumulado presenta una amplitud de ruido bastante considerable respecto a las otras gráficas. En la segunda fila de gráficas se evidencia el ruido registrado manipulando el teléfono inteligente con el accesorio del mercado actual y se observa que la amplitud del ruido registrado acumulado disminuye con relación a las gráficas relacionadas a la primera fila. En la tercera fila de gráficas se evidencia el ruido registrado manipulando el teléfono inteligente con el accesorio desarrollado AV3 y se logra observar que la amplitud del ruido registrado acumulado disminuye o se minimiza aún más con relación a las gráficas de la segunda y primera fila. En este análisis comparativo se puede afirmar que el accesorio AV3 desde el aspecto fisiológico cumple el requisito para este caso de estudio, debido a que se observa la reducción de manera considerable en la amplitud de la señal mioeléctrica o ruido acumulado al realizar el comparativo de las gráficas arrojadas en los resultados obtenidos.



**Figura 49.** Resultados asociados a pruebas de electromiografía superficial.  
Fuente: Autoría propia.

Hasta el momento se han realizado muchas investigaciones y esfuerzos en este campo, para la mejora de algoritmos y el desarrollo de antiguas metodologías, también se desarrollan técnicas para reducir el ruido y la adquisición de señales EMG correctas [26]. A continuación, se ilustran los valores máximos de los resultados de las pruebas de electromiografía en la tabla 1.

<b>Medición en el FLP</b> (Flexor largo del pulgar)	<b>Medición en el FSD</b> (Flexor superficial de los dedos)
Valor máx. de amplitud patrón = <b>40 µV.</b>	Valor máx. de amplitud patrón = <b>60 µV.</b>
Valor de amplitud manipulando únicamente el T.I = 210 µV.	Valor de amplitud manipulando únicamente el T.I = 340 µV.
Valor de amplitud manipulando el T.I con el accesorio del mercado = 160 µV.	Valor de amplitud manipulando el T.I con el accesorio del mercado = 220 µV.
Valor de amplitud manipulando el T.I con el accesorio AV3 = <b>100 µV.</b>	Valor de amplitud manipulando el T.I con el accesorio AV3 = <b>130 µV.</b>

**Tabla 1.** Resultados asociados a los valores máximos de tensión en µV vs ms de las pruebas de electromiografía superficial.

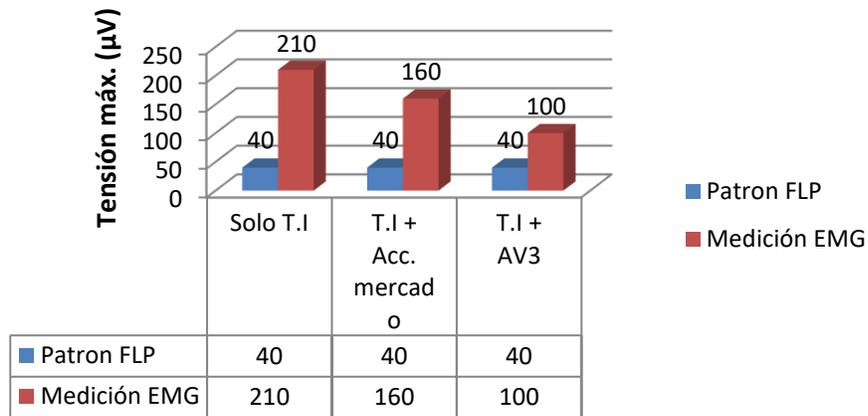
Observando cada una de las gráficas desde la Figura 42 hasta la Figura 48, tiene unas divisiones en sus dos ejes o en su área de trazado. En el eje vertical que está asociado a la tensión en microvoltios, la magnitud de cada división es de 100  $\mu\text{V}$  y en el eje horizontal que está asociado al tiempo en milisegundos, la magnitud de cada división es de 10  $\mu\text{V}$ . Es importante recordar que el valor patrón está relacionado con la señal mioeléctrica arrojada por el equipo (Sierra Summit) cuando se testeó la mano de la paciente relajada o en estado de reposo.

El valor máximo patrón de la señal mioeléctrica puede ser de 40  $\mu\text{V}$  o 60  $\mu\text{V}$  dependiendo del caso que corresponda, si es para la medición del flexor largo del pulgar (FLP) su magnitud máxima se aproxima a 40  $\mu\text{V}$  y si es el caso de la medición de los flexores superficiales de los dedos (FSD) su magnitud máxima se aproxima a 60  $\mu\text{V}$ .

Si se analizan los datos de la tabla 1, los valores que están más cercanos al valor máximo patrón, son los valores asociados a los datos arrojados con relación a la medición de la manipulación del teléfono inteligente usando el accesorio AV3, siendo de 100  $\mu\text{V}$  para el flexor largo del pulgar (FLP) y 130  $\mu\text{V}$  para los flexores superficiales de los dedos (FSD). En el caso de la medición de la manipulación del teléfono inteligente usando el accesorio del mercado actual los datos arrojados son de 160  $\mu\text{V}$  para el flexor largo del pulgar (FLP) y 220  $\mu\text{V}$  para los flexores superficiales de los dedos (FSD) y en el caso más atroz que es la medición de la manipulación del teléfono inteligente sin usar algún accesorio los datos arrojados son de 210  $\mu\text{V}$  para el flexor largo del pulgar (FLP) y 340  $\mu\text{V}$  para los flexores superficiales de los dedos (FSD).

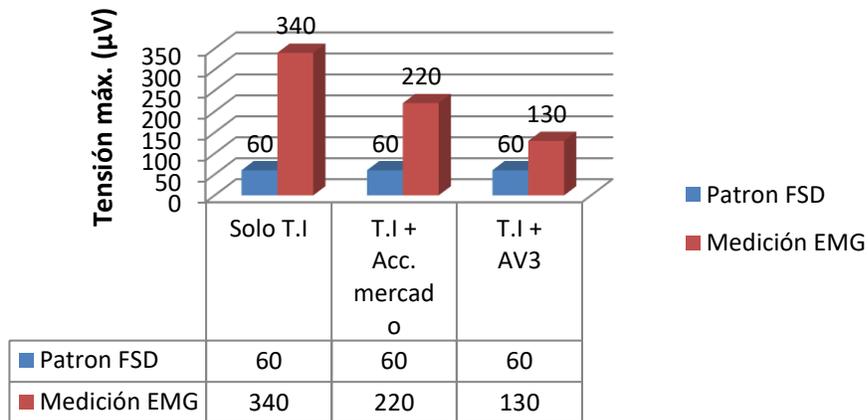
Si se quisiera obtener un gráfico comparativo de los resultados de los datos de la tabla 1 se pueden ver en la Figura 50 y la Figura 51.

### Gráfico de relación del patrón con los 3 eventos en la medición del FLP



**Figura 50.** Resultados de los datos asociados a pruebas de electromiografía superficial del flexor largo del pulgar (FLP).

### Gráfico de relación del patrón con los 3 eventos en la medición del FSD



**Figura 51.** Resultados de los datos asociados a pruebas de electromiografía superficial de los flexores superficiales de los dedos (FSD).

## ***DISCUSIÓN***

En la (fig. 51, 52) la medición que está más alejada del valor máximo patrón es la primera llamada: solo T.I, que indica que es la medición que se ejerció cuando el paciente estaba manipulando el teléfono inteligente sin usar algún accesorio y la medición que está más cercana al valor máximo patrón es la tercera llamada: T.I + AV3, que indica que es la medición que se ejerció cuando la paciente estaba manipulando el teléfono inteligente usando el accesorio AV3.

En la metodología empleada de esta investigación no solo fue necesario realizar una simulación en software especializado de posturas de los dedos de la mano para validar el prototipo o accesorio puesto en sitio de trabajo, sino que fue muy productivo obtener los resultados definitivos en las tomas de las electromiografías superficiales con un paciente para validar por medio de la data generada la validación de la funcionalidad del accesorio desarrollado.

Gracias al análisis realizado se pudo confirmar que el beneficio del aspecto fisiológico del accesorio AV3 es mejor o está por encima del beneficio fisiológico que ofrece el accesorio (popsocket) existente en el mercado actual. Las magnitudes de las señales mioeléctricas presentan mayor valor máximo de amplitud en el caso de la medición de los flexores superficiales de los dedos (FSD) que en el caso de la medición del flexor largo del pulgar (FLP). Solo con realizar una observación comparativa de los gráficos ilustrados en la figura 50, se puede apreciar que el ruido (registro acumulado de la señal mioeléctrica) generado desde la primera fila de gráficos se suaviza pasando por el registro generado de la prueba usando el accesorio del mercado actual y se suaviza aún más ésta señal con la prueba usando el accesorio AV3.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVA**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

Desde 1970 basado en Scopus web, se han realizado investigaciones acerca del STC y su influencia con el uso de computadores y accesorios según la estructuración bibliométrica presentada en este estudio y desde el año 2011 hasta la actualidad, se encuentran investigaciones acerca del STC y su influencia con los teléfonos inteligentes, arrojando gráficos con una trazabilidad tipo exponencial con relación al número de documentos publicados con respecto al tiempo.

El análisis de posturas realizado en esta investigación fue importante debido a que se aprovechó las herramientas que facilita el simulador del editor de posturas del módulo human builder of ergonomics design & analisis, en CATIA V5, donde se conocieron los valores aptos de los ángulos de compresión y extensión de muñecas y falanges para lograr la manipulación saludable con el teléfono inteligente.

El resultado de las electromiografías superficiales generó comparativos en los gráficos para validar las condiciones nominales del prototipo AV3 en el momento de su uso donde se demuestra que minimiza o reduce significativamente la señal de ruido registrado de la tensión de los flexores en las 5 falanges, se puede realizar un análisis definitivo y concluir que el prototipo AV3 está por encima de las condiciones y del beneficio fisiológico del producto existente en el mercado actual.

Con respecto a los materiales utilizados en las primeras versiones de los prototipos AV1 y AV2 se utilizó ABS, en la versión del prototipo AV3 se utilizó PLA para materializar el prototipo de prueba, en la manipulación se evidenció un mejor comportamiento con el material PLA con fibra de carbono, este prototipo presentó una mayor estabilidad en el acople mecánico aportando mayor rigidez y confiabilidad para el prototipo desarrollado.

El aporte al conocimiento en este estudio está asociado a el análisis funcional en las pruebas realizadas en el accesorio AV3 y la relación con la física clásica enfocada especialmente en la rama de las ondas, cómo fue la generación e interpretación de señales mioeléctricas a través de los resultados gráficos arrojados en las pruebas de electromiografía superficial realizado en una mujer mayor de 30 años.

Acerca del resultado del prototipo AV3 se puede proponer como producto o accesorio completo para el mercado actual, permite usarse en ambas manos, es apto para personas diestras como zurdas, es funcional con cualquier tamaño de teléfono inteligente y definitivamente vence la hipótesis de esta investigación.

#### **4.2 PERSPECTIVA**

De los resultados obtenidos existe la posibilidad de realizar mejoras sobre la versión del prototipo AV3, como incluir diseño anatómico sobre el diseño industrial obtenido, que pueda ser incluso más pequeño, más portátil y su mecanismo de articulación pueda ser sustituido por alguno de rótula, proyectando la mejora del producto en una versión futurista para teléfonos inteligentes. Este estudio tiene cómo perspectiva, llegar a patentar la versión AV3 como una patente de diseño industrial, que cubra todas las necesidades que esta versión ofrece, incluyendo trabajar en un nuevo diseño AV3 plus que incluye el servicio de carga magnética esto con el fin de asegurar o garantizar un producto de impacto de consumo que se masifique y pueda ser adquirido por toda la sociedad a nivel mundial.

## REFERENCIAS

- [1] Che Hasan M K, Azman M S, Sidek Ahmad Z N Bin, Che Jamaludin F I and Hasymi Firdaus M K Z 2020 Assessing carpal tunnel syndrome among administrative staff of a higher learning institution: A preliminary study *Belitung Nurs. J.* **6** 209–13
- [2] Vinicius L 2021 Remote and non-invasive monitoring of patients with COVID-19 by smartphone *Sci. Med. (Porto. Alegre)*. **31** 1–9
- [3] Serhat Bulut I and Haci I 2021 Cloud-Based Architecture Development to Share Vehicle and Traffic Information for Industry 4.0 *Adv. Inf. Commun. Technol. Syst.* **152** 41–54
- [4] D'Avolio E, Bandinelli R and Rinaldi R 2014 The need for Product Lifecycle Management (PLM) in the fashion industry: A case study analysis *Proc. Summer Sch. Fr. Turco* **09** 94–9
- [5] Londoño Marín S, Londoño Gallego J A, Castro Maldonado J J and Patiño Murillo J A 2018 Guía interactiva para el desarrollo de proyectos bajo la Metodología de Marco Lógico *Espacios* **39**
- [6] Ferney Virgüez J, Castro-Silva H F, Chaparro-Pérez C J and Angarita-López J J 2020 Innovación Estratégica: Una Revisión Sistemática de Literatura. Strategic Innovation: A Systematic Review of Literature. *Aibi Rev. Investig. Adm. e Ing.* **8** 128–32
- [7] Feng B, Chen K, Zhu X, Ip W Y, Andersen L L, Page P and Wang Y 2021 Prevalence and risk factors of self-reported wrist and hand symptoms and clinically confirmed carpal tunnel syndrome among office workers in China: a cross-sectional study *BMC Public Health* **21** 1–10
- [8] Obuchowicz R, Kruszyńska J and Strzelecki M 2021 Classifying median nerves in carpal tunnel syndrome: Ultrasound image analysis *Biocybern. Biomed. Eng.* **41** 335–51
- [9] Umakanth K, Mohanraj K G and Smiline Girija A S 2020 Knowledge, prevalence and risk factors of carpal tunnel syndrome in young, adult and middle-aged information technology professionals *Int. J. Res. Pharm. Sci.* **11** 1179–86

- [10] Trillos-Chacón M-C, Castillo-M J A, Tolosa-Guzman I, Sánchez Medina A F and Ballesteros S M 2021 Strategies for the prevention of carpal tunnel syndrome in the workplace: A systematic review *Appl. Ergon.* **93**
- [11] Osailan A 2021 The relationship between smartphone usage duration (using smartphone's ability to monitor screen time) with hand-grip and pinch-grip strength among young people: an observational study *BMC Musculoskelet. Disord.* **22** 1–8
- [12] Koyama T ., Sato S ., Toriumi M ., Watanabe T ., Nimura A ., Okawa A ., Sugiura Y.b and Fujita K.c 2021 A screening method using anomaly detection on a smartphone for patients with carpal tunnel syndrome: Diagnostic case-control study *JMIR mHealth uHealth* **9**
- [13] Gokmen H M, Gokmen I G, Dilek B., Gulbahar S and Akalin E 2021 Addiction of smartphones and related finger deformities: A case report *Turkish J. Phys. Med. Rehabil.* **66** 476–9
- [14] Fernández-Garza E 2017 Prevención del Síndrome del Túnel Carpiano por el uso de computadoras
- [15] Spitzer M 2019 Carpal tunnel syndrome in intensive smartphone use | Karpaltunnelsyndrom bei intensiver Smartphone-Nutzung *Nervenheilkunde* **38** 712–3
- [16] Karyappa R, Ohno A and Hashimoto M 2019 Immersion precipitation 3D printing (: lp 3DP) *Mater. Horizons* **6** 1834–44
- [17] Candi M and Beltagui A 2019 Effective use of 3D printing in the innovation process *Technovation* **80** 63–73
- [18] Torun A R, Dike A S, Yildiz E C, Saglam I and Choupani N 2021 Fracture characterization and modeling of Gyroid filled 3D printed PLA structures *Mater. Test.* **63** 397–401
- [19] Chacón J M, Caminero M A, García-Plaza E and Núñez P J 2017 Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection *Mater. Des.* **124** 143–57
- [20] Liang L, Huang T, Yu S, Cao W and Xu tingting 2021 Study on 3D printed

graphene/carbon fiber multi-scale reinforced PLA composites *Mater. Lett.* **300** 130–73

- [21] Loh G H, Sotayo A and Pei E 2021 Development and testing of material extrusion additive manufactured polymer–textile composites *Fash. Text.* **8**
- [22] Hurtado de Barrera J 2020 *Metodología de la Investigación Holística*
- [23] Selvan M P 2021 Prosthetic Hand Using Emg *J. Phys. Conf. Ser.* **1770**
- [24] Malode S M, Zilpe P, Ukani N and Chakhole S 2020 Design of lower-limb Exoskeletal *6th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Syst.*
- [25] Holloway E and La Petina P J 2016 Digital manufacturing education: Implementation of an integrated CAD/CAM workflow to reduce the difficulty of using complex digital fabrication tools *ASEE Annu. Conf. Expo. Conf. Proc.* **2016-junio**
- [26] Ahmed T and Islam K 2021 EMG Signal Classification for Detecting Neuromuscular Disorders *J. Phys. Conf. Ser.* **1921**

## ANEXOS

### Síndrome del túnel del carpo por uso del dispositivo móvil

El síndrome del túnel del carpo es una patología de desorden de trauma acumulativo que se caracteriza por entumecimiento y hormigueo en la mano y el brazo ocasionados por el pinzamiento del nervio mediano en la muñeca, dicho nervio permite la movilidad y sensibilidad de parte de la mano.

El síndrome del túnel carpiano se presenta cuando se estrecha el túnel o cuando se inflaman los tejidos que rodean a los tendones flexores, lo que ejerce presión sobre el nervio mediano. Estos tejidos se llaman "membrana sinovial." Normalmente, la membrana sinovial lubrica los tendones, lo que facilita el movimiento de los dedos.

Cuando se inflama la membrana sinovial, ocupa lugar en el túnel carpiano y, con el transcurso del tiempo, presiona al nervio. Esta presión anormal en el nervio puede dar como resultado dolor, entumecimiento, cosquilleo y debilidad en la mano.

#### Causas

La mayoría de los casos del síndrome del túnel carpiano están causados por una combinación de factores. Los estudios demuestran que las mujeres y las personas adultas tienen más posibilidades de padecer esta afección.

Otros factores de riesgo de padecer síndrome del túnel carpiano incluyen los siguientes:

- **Hereditario.** Probablemente este es un factor importante. El túnel carpiano puede ser más pequeño en algunas personas o puede haber diferencias anatómicas que cambian el espacio disponible para el nervio. Estos rasgos pueden ser hereditarios.
- **Uso repetitivo de la mano:** Repetir los mismos movimientos o las mismas actividades de la mano y la muñeca durante un periodo prolongado puede perjudicar los tendones de la muñeca, lo que causa inflamación que ejerce presión sobre el nervio.
- **Posición de la mano y la muñeca:** Hacer actividades que implican flexión o extensión extremas de la mano y la muñeca durante un período prolongado puede aumentar la presión sobre el nervio.
- **Embarazo.** Los cambios hormonales durante el embarazo pueden causar inflamación.
- **Enfermedades.** La diabetes, la artritis reumatoide y el desequilibrio de la glándula tiroides son afecciones que están relacionadas con el síndrome del túnel carpiano.

El uso frecuente de dispositivos móviles ha incrementado los problemas osteomusculares en mano debido a las posturas manejadas y a las altas frecuencia de uso.

La cocontracción que se produce en la musculatura de antebrazo y manos generar una tensión excesiva que inflama la membrana sinovial y reduce el flujo de sangre a la mano, lo que hace que el paquete tanto vascular como nervioso se pueda ver afectado.

Al mismo tiempo, los dedos índices reciben la carga de soporte del móvil y han de responder con una fuerza equivalente a la presión de los pulgares para mantener el teléfono en equilibrio, por lo que también en ellos puede darse una tendinitis del índice.

Crear un dispositivo que permita minimizar la flexión de la muñeca al sostener el dispositivo móvil y disminuir la tensión ejercida en los músculos flexores de dedos permitirá que la tensión que se inicia desde el antebrazo para sostener y escribir en el móvil disminuya a tal grado que no exista cocontracción de tendones flexores y extensores minimizando la fátiga en todo el antebrazo.

La posición estática anti gravitación que algunas veces se mantiene al utilizar el móvil por mas de 20 min especialmente cuando la persona está en posición acostada hace que haya mayor contracción muscular no solo en la mano si no en el antebrazo inclusive en el brazo partiendo desde el cuello.

Al observar este dispositivo esta premisa se cumple generando menor fatiga y un confort a la persona que podrá realizar el uso del dispositivo con una posición funcional en muñeca con pocos grados de flexión y menor esfuerzo en los dedos , cabe anotar que el resultado del funcionamiento del dispositivo y sus bondades dependerán de la frecuencia de uso y la disposición genética que tenga la persona ya que hay otros factores que podrán influir en la aparición de la patología tales como esfuerzos , uso excesivo de dispositivos como mouse o uso continuo del teclados en posición incorrecta.

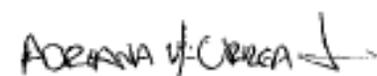
Para comprobar los beneficios es importante realizar el uso correcto con el dispositivo por más de 3 meses esto generara un soporte en sintomatología caro que permitirá comprobar que los síntomas disminuyen , es aconsejable realizar una comprobación por medio de electromiografía que es el único examen que permite ver el flujo del nervio mediano a la mano.

Esta información es de uso exclusivo para fines educativos y de soporte de científico del dispositivo y no debe ser utilizada para otros fines.

Es importe corroborar la información con apoyos de electromiografía que permitirán verificar los impulsos nerviosos hacia la mano en el uso del dispositivo planteado.

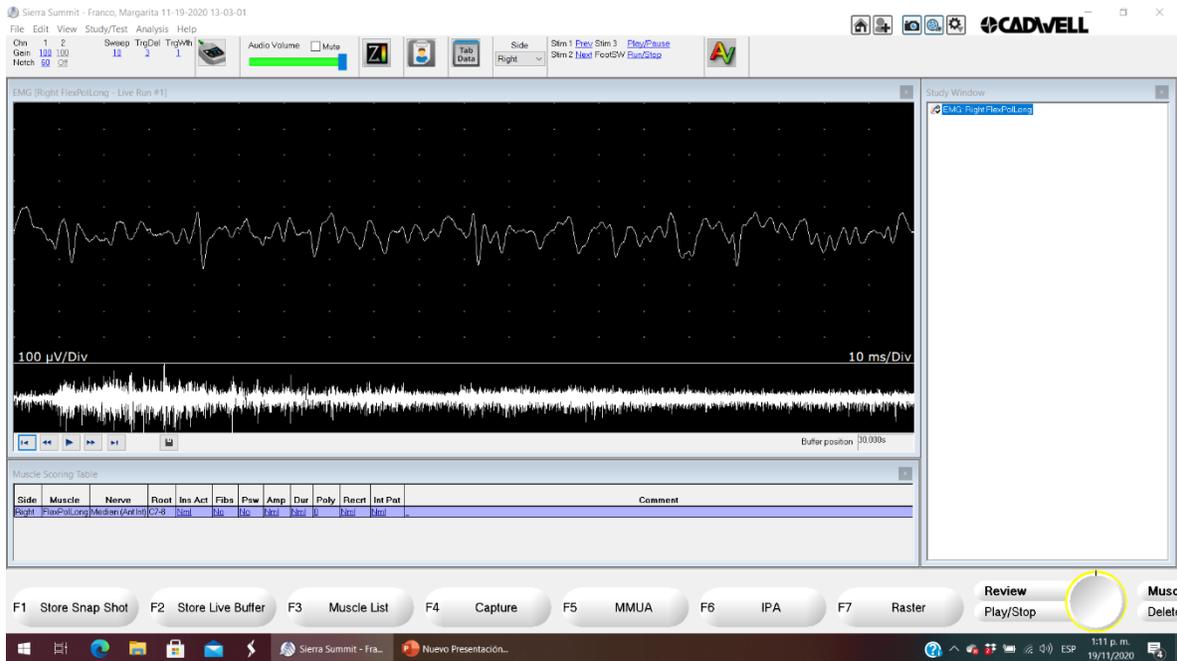
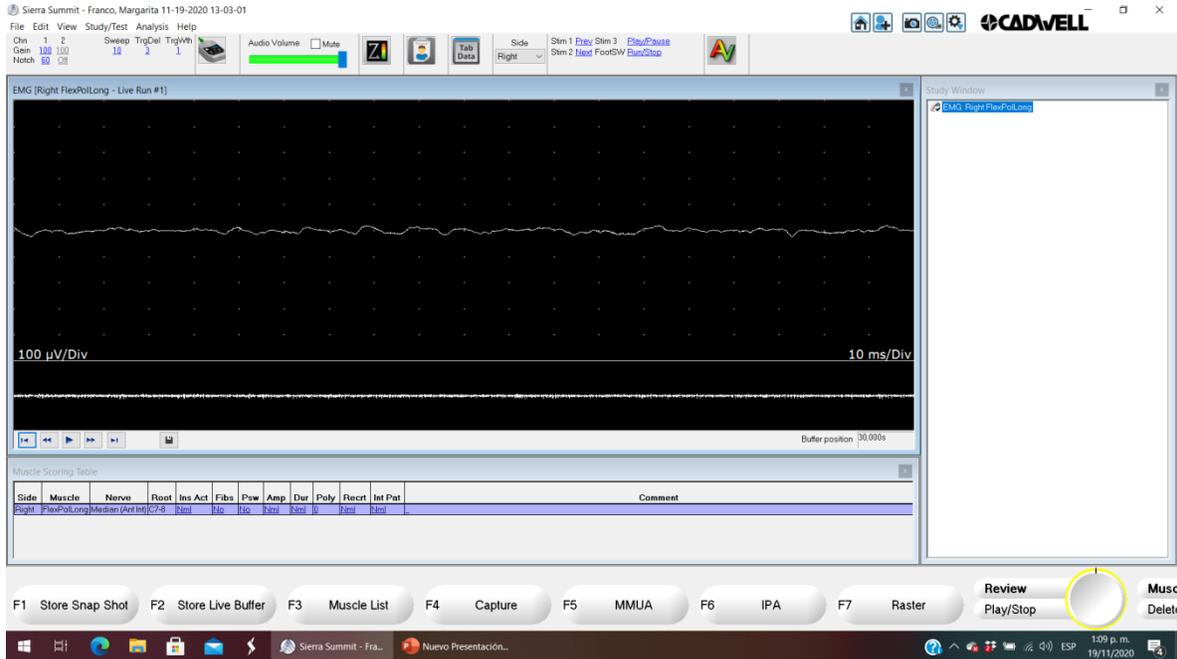
<https://www.efisioterapia.net/articulos/sindrome-del-tunel-carpiano>

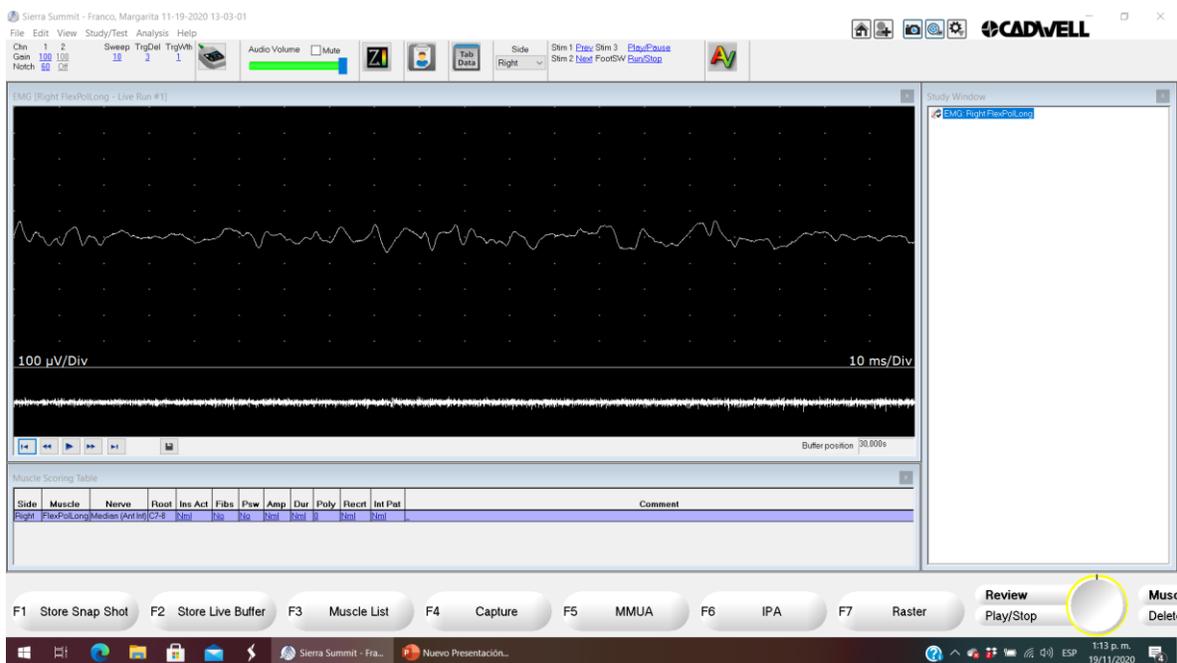
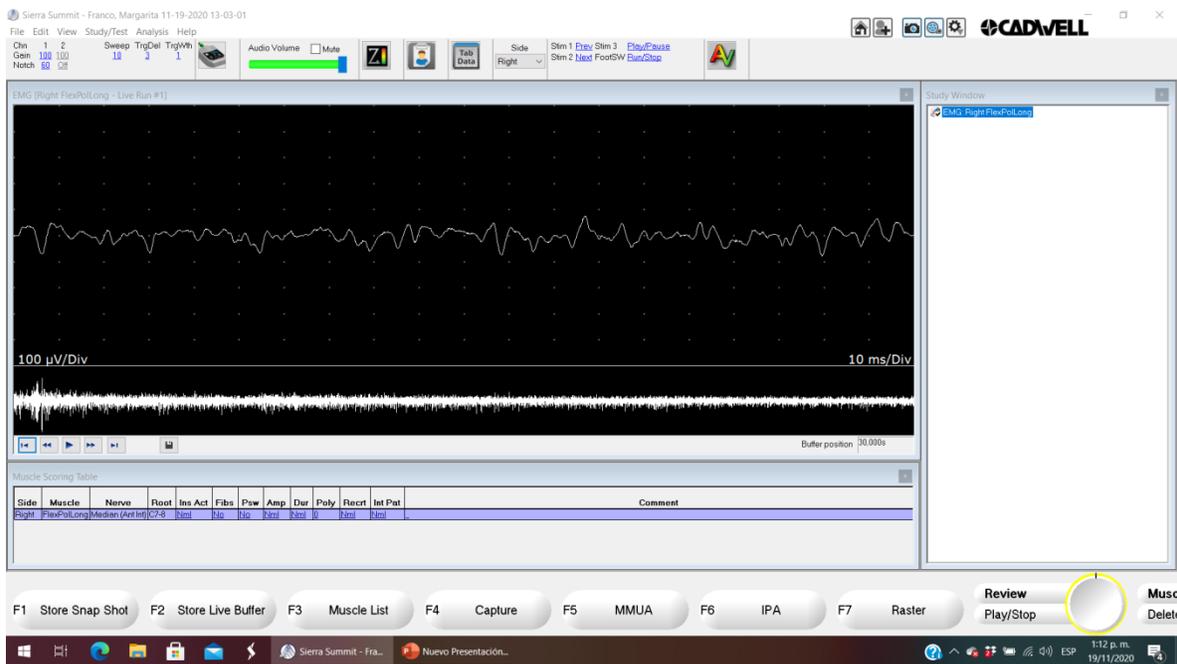
<https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/Lesiones/lesion-tendinosa/tendinitis-mano.html>

  
Adriana María Urrea Lara

C.C:60397092      **Adriana Ma. Urrea Lara**  
Fisioterapeuta      Fisioterapeuta  
Esp. Salud Ocupacional  
Lic.006835

Espec. En gerencia de la salud ocupacional





Sierra Summit - Franco, Margarita 11-19-2020 13-03-01

File Edit View Study/Test Analysis Help

Chn 1 2 Sweep TrgDel TrgWin %

Gen 100 100 10 3 1

Notch 90 Off

Audio Volume  Mute

Tab Data

Side Right

Stim 1 Prev Stim 3 Play/Cause

Stim 2 Next ForceSW Bus2Stim

CADWELL

EMG (Right FlexPolLong - Live Run #1)

100 µV/Div 10 ms/Div

Buffer position 30.000s

Study Window

EMG Right FlexPolLong

Side	Muscle	Nerve	Root	Ins Act	Fibs	Psw	Amp	Dur	Poly	Recrt	Int Pat	Comment
Right	FlexPolLong	Median (zot lat)	C7-8	Rat	ble	ble	Rat	R	R	Rat	Rat	

F1 Store Snap Shot F2 Store Live Buffer F3 Muscle List F4 Capture F5 MMUA F6 IPA F7 Raster

Review Play/Stop Musc Delete

Sierra Summit - Fra... Nuevo Presentación...

1:17 p.m. 19/11/2020

Sierra Summit - Franco, Margarita 11-19-2020 13-03-01

File Edit View Study/Test Analysis Help

Chn 1 2 Sweep TrgDel TrgWin %

Gen 100 100 10 3 1

Notch 90 Off

Audio Volume  Mute

Tab Data

Side Right

Stim 1 Prev Stim 3 Play/Cause

Stim 2 Next ForceSW Bus2Stim

CADWELL

EMG (Right FlexPolLong - Live Run #1)

100 µV/Div 10 ms/Div

Buffer position 30.000s

Study Window

EMG Right FlexPolLong

Side	Muscle	Nerve	Root	Ins Act	Fibs	Psw	Amp	Dur	Poly	Recrt	Int Pat	Comment
Right	FlexPolLong	Median (zot lat)	C7-8	Rat	ble	ble	Rat	R	R	Rat	Rat	

F1 Store Snap Shot F2 Store Live Buffer F3 Muscle List F4 Capture F5 MMUA F6 IPA F7 Raster

Review Play/Stop Musc Delete

Sierra Summit - Fra... Nuevo Presentación...

1:18 p.m. 19/11/2020

Sierra Summit - Franco, Margarita 11-19-2020 13:03:01

File Edit View Study/Test Analysis Help

Chn 1 2 Sweep TrgDel TrgWin

Gain 100 18 3 1

Notch 60 Off

Audio Volume  Mute

Tab Data

Side Right

Stim 1 Play Stim 3 Play/Cause

Stim 2 Load ForceSW Run/Stop

CADWELL

EMG [Right FlexPolong - Live Run #1]

Study Window

EMG Right FlexPolong

100  $\mu$ V/Div 10 ms/Div

Buffer position 23.920s

Muscle Scoring Table

Side	Muscle	Nerve	Root	Ins Act	Fibs	Paw	Amp	Dur	Poly	Recrt	Int Pat	Comment
Right	FlexPolong	Median (A27 Int)	C7-8	Intact	No	No	Intact	Intact	Intact	Intact	Intact	

F1 Store Snap Shot F2 Store Live Buffer F3 Muscle List F4 Capture F5 MMUA F6 IPA F7 Raster

Review Play/Stop Musc Delete

Sierra Summit - Fra... Nuevo Presentación...

1:20 p.m. 19/11/2020