

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial

Diseño de una ayuda técnica que
asista en la utilización de un teclado
de computadora para persona con
malformación congénita de mano

Informe final de proyecto para optar por el título de
Ingeniería en Diseño Industrial con el grado académico de Bachiller

Diego Alejandro Flores Romero



Tutora Académica y Asesora de la Empresa:
MBA. Olga Sánchez Brenes

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Diseño Industrial
Trabajo Final de Graduación_Bachillerato | - II Semestre_2022

Trabajo Final de Graduación_Proyecto
Bachillerato Ingeniería en Diseño Industrial

Constancia de la Defensa

El Trabajo Final de Graduación presentado por el estudiante DIEGO FLORES ROMERO, carné 2018143300 para optar por el Título de Ingeniería en Diseño Industrial con grado académico Bachiller Universitario del Instituto Tecnológico de Costa Rica, titulado:

“Diseño de una ayuda técnica que asista en la utilización de un teclado de computadora para persona con malformación congénita de mano”

ha sido defendido el día 28 de noviembre del año 2022 ante el Tribunal Evaluador y su Profesor Asesor.

OLGA EUGENIA SANCHEZ BRENES (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-03-0267-0407.
Fecha declarada: 29/11/2022 09:42:02 AM
Esta representación visual no es fuente
de confianza. Valide siempre la firma.

Profesor Asesor

SERGIO ALBERTO RIVAS PORRAS (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-01-0583-0819.
Fecha declarada: 29/11/2022 09:03:56 AM
Esta representación visual no es fuente
de confianza. Valide siempre la firma.

Tribunal Evaluador 1

Trinidad C. Alvarez

Tribunal Evaluador 2

noviembre , 2022

Resumen y palabras clave

Las ayudas técnicas son productos que asisten a las personas en la realización de tareas que son difíciles, peligrosas o irrealizables sin su intervención. Son especialmente útiles para las personas con discapacidad porque les puede devolver la funcionalidad que han perdido en alguna parte del cuerpo. Este proyecto se centra en el diseño y manufactura de una ayuda técnica a la medida y específica para la tarea de tecleado para un usuario con malformación congénita en la mano izquierda, quien tiene un gran riesgo ergonómico por la postura que adopta al realizar dicha tarea.

El proceso de manufactura elegido fue el de manufactura aditiva, específicamente por impresión 3D. Se realizó una investigación para identificar el problema y encontrar oportunidades de diseño y luego se realizaron distintas pruebas con prototipos que resultaron en el ajuste ideal para que el producto cumpliera con los requerimientos y funciones propuestas y satisficiera la necesidad del usuario.

Palabras clave: Ayuda técnica, diseño a la medida, malformación congénita de mano, impresión 3D, teclado, diseño industrial.

Abstract and Keywords

Assistive technologies are products which help people with the execution of tasks that would be difficult, dangerous or unrealizable without their intervention. They are specially useful for people with disabilities due to the possibility of returning lost functionality to a certain part of the body. This project focuses on the design and manufacture of a custom assistive technology, specifically created for the task of using a keyboard, for a person with congenital malformation in the left hand who has a great ergonomic risk because of the adopted posture when executing the mentioned task.

The selected manufacturing process was additive manufacturing, specifically 3D printing. An investigation was done to identify the problem and find design opportunities. Then, diverse testings with prototypes that resulted in the ideal adjust for the accomplishment of the proposed requirements and functions by the product were performed

Keywords: Assistive technology, custom design, hand congenital malformation, 3D printing, keyboard, industrial design.

Dedicatoria y agradecimientos

Extiendo un sentido agradecimiento a los profesionales que con sincera disposición participaron en este proyecto. Agradezco especialmente a la profesora Olga Sánchez por su incansable acompañamiento durante el transcurso de este Trabajo Final de Graduación, e incluso antes, desde que fui acogido en el Laboratorio de Ergonomía Aplicada; puedo decir que me sentí en el lugar indicado y que tuve la oportunidad de confirmar el rumbo que deseo darle a mi carrera. Agradezco profundamente la confianza que se puso en mí con la asignación de este proyecto; siempre intenté estar a la altura de las expectativas. Gracias a los investigadores de ergoTEC Miguel Araya y Fabián Porras. Cuando fueron mis profesores me marcaron de gran manera y siguieron enseñándome cuando compartimos espacio en el laboratorio, espero que tengan muchos éxitos en sus proyectos. Gracias a los asistentes de ergoTEC, especialmente a Francisco, con quien compartí más tiempo. A Geovanny por su disposición y proactividad, este proyecto se hizo siempre pensando en su bienestar. Gracias a la Dra. Inés por sus recomendaciones y asistencia durante momentos difíciles.

Le dedico este proyecto a mi familia. Nunca dudaron de mis capacidades, incluso cuando yo lo hice, y a mis amigos, por aconsejarme, acompañarme, motivarme a seguir adelante y no dejar que me rindiera. Por ustedes y para ustedes, gracias.

Tabla de contenido

Contents	
1. Introducción	1
2. Definición del problema	2
3. Objetivos	3
3.1 Objetivo General:	3
3.2 Objetivos Específicos:	3
4. Antecedentes	4
5. Diagnóstico de la Situación	6
5.1 Alcances:	6
5.2 Limitaciones:	6
6. Marco Teórico	7
6.1 Ayuda Técnica	7
6. Marco Teórico	8
6.2 Prótesis	8
6.3 Malformación Congénita	8
6.4 Simbraquidactilia	9
6.5 Ángulos de Confort	10
7. Marco Metodológico	12
8. Etapa 1: Explorar	14
8.1 Usuario	14
8.2 Primer Análisis de Referenciales	15
8.2 Proyectos Similares	18
8.3 Entrevistas	23
9. Etapa 2: Comprender	31
9.1 Análisis Ergonómico	31
9.2 Definición de la necesidad, el objetivo de diseño y el dominio del producto	45
9.3 Análisis morfológico del teclado	46
9.4 Árbol de funciones	51
9.4 Requerimientos de diseño	52
9.5 Sistemas y Subsistemas	54
9.6 Segundo Análisis de Referenciales	54
9.7 Análisis Tecnológico	56
9.8 Declaración de Diseño	61
9.9 Análisis Perceptual	62
10. Etapa 3: Crear	65
10.1 Diseño de Alternativas	65
10.2 Selección de la Propuesta	69
10.3 Desarrollo de la Propuesta y Modelado	71
11. Etapa 4: Experimentar	73
11.1 Maquetación	73
11.2 Pruebas con el Primer Prototipo	75
11.3 Pruebas con los Segundos Prototipos	79

Tabla de contenido

12. Etapa 5: Concretar	83
12. 1 Versión Final del producto	83
12.2 Diseño a la medida y orientaciones para el futuro	93
12.3 Validación de requerimientos y funciones	95
12.4 Aportes al diseño emocional	100
12.5 Materiales y costos	102
Conclusiones	103
Recomendaciones	104

Contents

Figura 1. Fotografía de la mano izquierda del estudiante de producción industrial Geovanny Vega.

Figura 2. Ejemplos de ayudas técnicas

Figura 3. Casos de simbraquidactilia en niños

Figura 4. Ángulos máximos de flexión dorsal y palmar de la mano

Figura 5. Ángulos de confort para las flexiones dorsal y palmar de la mano

Figura 6. Estudiante de Ingeniería en Producción Industrial, Geovanny Vega

Figura 7. Mano biónica Hero Arm

Figura 8. Prótesis específica para natación Freestyle Swimming Device

Figura 9. Ayuda técnica específica para uso de cubiertos para una persona con malformación congénita de mano.

Figura 10. Uso de prótesis en una persona con amputación de dedo a nivel de tercio medio de falange proximal en segundo, tercer, cuarto y quinto dedo.

Figura 11. Propuesta de mano protésica mioeléctrica para utilización de teclado impresa en 3D.

Figura 12. Postura correcta a la hora de teclear

Figura 13. Posiciones correctas de la manos a la hora de teclear.

Figura 14. Vista de la posición adoptada por el usuario desde el plano sagital.

Figura 15. Vista de la posición adoptada por el usuario desde el plano frontal.

Figura 16. Vista de la posición adoptada por el usuario desde el plano transversal.

Figura 17. Posturas del usuario para la prueba de transcribir un texto a la computadora

Figura 18. Posturas del usuario para la prueba de utilizar un teclado de PC de escritorio

Figura 19. Posturas del usuario para la prueba de utilizar el teclado a 20° con respecto al escritorio

Figura 20. Posturas de la muñeca del usuario durante la realización de las tareas

Figura 21. Interfaz del software Ergoniza para la implementación del método RULA

Figura 22. Utilización de la herramienta RULER para medir los ángulos que se forman al realizar la tarea de teclear

Figura 23. Parámetros tomados en cuenta para la evaluación ergonómica por medio del método JSI

Figura 24. Resultados de las pruebas RULA y JSI

Figura 25. Factores que influyeron en el resultado del método JSI

Figura 26. Modelo 3D del miembro superior izquierdo del usuario obtenido por medio de escaneo

Figura 27. Impresión 3D del modelo del miembro superior izquierdo del usuario obtenido por medio de escaneo.

Figura 28. Clasificación de las secciones del teclado

Figura 29. Clasificación del teclado por tamaños

Figura 30. Primeras propuestas desarrolladas para el diseño de una ayuda técnica para uso del teclado.

Figura 31. Segundas propuestas desarrolladas para el diseño de una ayuda técnica para uso del teclado.

Figura 32. Propuesta seleccionada para continuar con el desarrollo del proyecto

Índice de figuras

Figura 33. Ejemplo de distancia considerada para la selección de dimensiones de la propuesta final

Figura 34. Primera versión del producto

Figura 35. Maquetas realizadas para visualizar la interacción del producto con la mano

Figura 36. Segunda versión del producto

Figura 37. Propuestas para la tercera versión del producto

Figura 38. Versión final del producto

Figura 39. Diseño del producto que permite ver las teclas a la derecha del puntero

Figura 40. Dimensiones de la ayuda técnica definidas en anteriores etapas del proyecto

Figura 41. Caja protectora para la ayuda técnica

1. Introducción

Las malformaciones congénitas tienen diversas causas de aparición y sus consecuencias van desde el no desarrollo de una parte del cuerpo, hasta la muerte en el peor de los casos. Geovanny Vega es un estudiante de la carrera de Ingeniería en Producción Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Él nació con una malformación en su mano izquierda, lo que impidió que esta parte de su cuerpo se desarrollara completamente. La palma de su mano posee un volumen considerablemente menor a la de su mano derecha, su pulgar se desarrolló parcialmente y es funcional, mas sus dedos del índice al anular no se desarrollaron y no son funcionales.

Al ser un estudiante universitario, Geovanny tiene una gran cantidad de asignaciones durante los periodos semestrales en los que cursa las materias correspondientes a su plan de estudios y por la naturaleza de su carrera, la mayoría de estas asignaciones debe realizarse por medio de la computadora. Su condición de discapacidad fue tomada en consideración por el Departamento de Orientación y Psicología (DOP) de la Institución y se le asignó una adecuación curricular para la realización de asignaciones. Por ejemplo, para la resolución de los exámenes dispone de más tiempo que sus compañeros.

La profesora de la Escuela de Ingeniería en Producción Industrial, Carmen Madriz, quien también se desempeña como investigadora para el Laboratorio de Ergonomía Aplicada del TEC (ergoTEC), detectó una oportunidad de proyecto de investigación para el laboratorio al considerar las necesidades de Geovanny en su vida estudiantil. De esta forma el laboratorio encomienda este proyecto al autor del presente informe, quien como primer paso y junto a la asistencia y guía de ergoTEC determina una necesidad primordial que debe ser atendida de forma inmediata para evitar lesiones musculoesqueléticas a corto, mediano y largo plazo.

El presente proyecto titulado “Diseño de una ayuda técnica que asista en la utilización de un teclado de computadora para persona con malformación congénita de mano” investiga qué son y para qué sirven las ayudas técnicas, qué es una ayuda técnica específica, cuál es el problema y cuál la necesidad del usuario y propone una solución de diseño a la medida que mejore el rendimiento académico del usuario y prevenga la aparición de problemas musculoesqueléticos debido a la acción de teclear.

2. Definición del problema

Geovanny Vega es un estudiante de la carrera de Ingeniería en Producción Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica que posee una malformación congénita en su mano izquierda, lo que se traduce a una limitación física que afecta su desempeño en las actividades diarias como por ejemplo la realización de trabajos universitarios en su computadora, motivo por el cual incluso necesita de una adecuación curricular para entregar sus asignaciones a tiempo.

Ante la consulta realizada sobre sus necesidades afirma que siente un mayor impacto en la realización de actividad física, ya que el agarre y apoyo de los objetos con los que interactúa cotidianamente con su mano izquierda se ven muy limitados y le recargan esfuerzo muscular de un lado del cuerpo, que a mediano y largo plazo pueden provocar lesiones musculoesqueléticas. Otro inconveniente es realizar tareas que requieren tomar objetos con ambas manos, puesto que su capacidad de agarre con su extremidad izquierda es prácticamente nula debido a la malformación en su mano: los dedos del anular al índice no se desarrollaron y el pulgar posee un desplazamiento reducido y no puede juntarse con los demás dedos. Los problemas descritos afectan directamente la calidad de vida del estudiante, así como su desempeño y productividad en las labores universitarias.

De acuerdo con los análisis realizados sobre la situación de Geovanny ligado al desempeño estudiantil el proyecto se enfocó en el desarrollo de un producto funcional que le permita mejorar el rendimiento estudiantil y apoyar la condición de adecuación curricular establecida por el Departamento de Orientación y Psicología (DOP) del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General:

Diseñar una ayuda técnica para la mano izquierda de Geovanny Vega, que le facilite la utilización de un teclado común de computadora de escritorio o portátil, como apoyo a su actividad estudiantil.

3.2 Objetivos Específicos:

Implementar procesos de manufactura que faciliten el diseño a la medida.

Desarrollar análisis ergonómicos implementando la tecnología disponible en ergoTEC para lograr una interacción adecuada objeto-usuario.

Verificar la adaptación objeto-usuario y funcionalidad de la ayuda técnica del producto por medio de modelos físicos para pruebas con el usuario que brinden resultados.

4. Antecedentes

Las malformaciones congénitas impactan la vida de las personas que las poseen, su apariencia, desarrollo, realización de tareas cotidianas o todos los ámbitos anteriores. La atención médica durante el embarazo es una forma de minimizar el riesgo de que ocurra una malformación evitable, pero existe otro tipo de malformaciones que son inevitables. [1]

Las personas que deben vivir con esta realidad no se encuentran con un mundo que les facilita realizar las actividades para las que presentan limitaciones, sino todo lo contrario, desde las etapas tempranas de su vida deben acostumbrarse a buscar formas de realizar las actividades cotidianas aunque esto signifique una carga postural distinta y perjudicial a mediano y largo plazo o movimientos que aumenten la probabilidad de sufrir una lesión o un accidente.

Geovanny Vega es un estudiante de Ingeniería en Producción Industrial y vecino de Cartago que nació con una malformación en su mano izquierda. Comenta que lo han intervenido quirúrgicamente para aumentar la distancia de la zona entre la muñeca y los dedos, pero que no ha presentado un cambio realmente significativo en la manera en la que ha tenido que adaptarse para vivir.



Figura 1. Fotografía de la mano izquierda del estudiante de producción industrial Geovanny Vega.

Las malformaciones congénitas son consecuencias de anomalías durante el desarrollo fetal. Los controles médicos buscan minimizar el riesgo de que el bebé nazca con una malformación, pero no se puede evitar dicho riesgo completamente, ya que sus causas pueden ser diversas, desde problemas genéticos, afecciones maternas crónicas como la diabetes o la hipertensión, hasta causas desconocidas sin tener precedentes. Según La Organización Mundial de la Salud, no es posible determinar la causa de cerca del 50% de casos de malformación congénita en el mundo y son la causa de que cada año 303.000 recién nacidos fallezcan durante sus primeras cuatro semanas de vida [2]. Para las malformaciones que no representan una amenaza para la vida, una forma de tratamiento es la cirugía pediátrica, pero no asegura una solución total en todos los casos; en muchos de ellos, la persona afectada seguirá teniendo que lidiar con problemas estéticos, biomecánicos o ambos a lo largo de su vida. Ante estas afecciones que podría padecer cualquier persona y que padece una gran parte de la población, una medida que se toma es el diseño y desarrollo de distintos tipos de ayudas técnicas que facilitan la vida de las personas. Las ayudas técnicas o tecnologías de apoyo son productos fabricados específicamente o disponibles en grandes cantidades que facilitan la realización de tareas que los individuos no podrían lograr de forma totalmente efectiva por su propia cuenta. Las órtesis y exoprótesis son ejemplos de ayudas técnicas, así como las sillas de ruedas y andaderas. En la Guía práctica de accesibilidad para todos publicada por la Caja Costarricense de Seguro Social [3] se afirma que el 10% de la población del país posee algún tipo de discapacidad. Ante este dato, llama a los diseñadores de edificaciones y productos a concebir, planear o adaptar pensando como usuario, tomando en cuenta las diferencias de condiciones biológicas, sociales, culturales y antropométricas de todas las personas. Las ayudas técnicas pueden ser desde productos estandarizados hasta productos de carácter personal; en cualquier caso deben adaptarse a su población meta de la mejor manera posible por medio de un proceso proyectual óptimo que nunca deje de tomar en cuenta las necesidades del usuario.

5. Diagnóstico de la Situación

5.1 Alcances:

La solicitud expresa que el Laboratorio de Ergonomía Aplicada del Instituto Tecnológico de Costa Rica le realiza al estudiante para este proyecto es la creación de una ayuda técnica funcional para el usuario y estudiante universitario Geovanny Vega Leitón. La expectativa es manufacturar un producto que le pueda servir al usuario en la realización de sus actividades académicas y a su vez sentar un precedente práctico para una nueva línea de investigación en el desarrollo y creación de ayudas técnicas para poblaciones con alguna condición particular de limitación física por medio del diseño a la medida.

5.2 Limitaciones:

Existe una limitación en el presupuesto con el que se cuenta en el laboratorio para la realización de prototipos por lo que se propone inicialmente elaborarlos con los recursos disponibles en la institución, principalmente con los que cuenta la Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial.

6. Marco Teórico

6.1 Ayuda Técnica

Las ayudas técnicas, según [4] también llamadas productos o tecnologías de apoyo, son instrumentos, equipos o sistemas utilizados por las personas, en su mayoría con algún tipo de discapacidad, para “prevenir, compensar, disminuir o neutralizar una deficiencia, discapacidad o minusvalía.” Así, el propósito de este tipo de productos es incrementar el nivel de independencia y autonomía personal del usuario. En la vida cotidiana se puede notar el uso frecuente de estas tecnologías de apoyo, por ejemplo los anteojos, bastones, sillas de ruedas, prótesis, cubiertos adaptados y un largo etcétera. Las ayudas técnicas son fruto de la ingeniería aplicada a ayudar al ser humano, y en todos los casos son creadas con la intención de ayudarlo a tener mayor capacidad de realización de una actividad que le sea difícil de ejecutar.



Figura 2. Ejemplos de ayudas técnicas

6. Marco Teórico

6.2 Prótesis

Una prótesis en términos simples es un sustituto artificial de una parte del cuerpo faltante cuyo fin es devolver al menos un aproximado de la funcionalidad de esa parte.

Según la fuente consultada [5], este tipo de dispositivos se ha usado desde la antigüedad para devolver la funcionalidad al segmento afectado luego de una amputación o malformación congénita.

Las prótesis se dividen en dos grupos grandes que son las endoprótesis y exoprótesis. Las primeras necesitan de cirugía para ser implantadas, como en el caso de las prótesis de cadera o rodilla, mientras que las segundas se colocan sobre la parte afectada y se pueden remover, como en el caso de las prótesis de miembros superiores e inferiores.

Cabe destacar que las prótesis sustituyen o cumplen la función de una parte del cuerpo que fue amputada, que sufrió algún daño o que no se desarrolló correctamente, mientras que un producto similar, las órtesis, se encargan de asistir a la recuperación, soporte y mejora de las funciones de una parte del cuerpo que ya está. En este caso, la ayuda técnica que se diseñará entraría en la categoría de prótesis puesto que sustituirá las funciones de los dedos del índice al meñique, los cuales no se desarrollaron y no son funcionales.

6.3 Malformación Congénita

También conocidas como anomalías congénitas, defectos de nacimiento o trastornos congénitos, son anomalías estructurales o funcionales que se dan durante el desarrollo del feto. Es importante aclarar que gran parte de estas malformaciones son mortales, mientras que otras significarán un problema estético y/o funcional que no hará peligrar la vida de la persona en formación. Según [1] se pueden clasificar las anomalías congénitas en:

- » Anomalías cromosómicas, que corresponden a un conteo diferente de cromosomas que produce resultados mortales en los peores casos o condiciones como el Síndrome de Down.
- » Anomalías de gen único, en las que un gen presenta anomalías y que provoca padecimientos que van desde el daltonismo hasta la hemofilia o la distrofia muscular.
- » Afecciones durante el embarazo que afectan al bebé, que son producidas por condiciones adquiridas por la madre durante el embarazo, como la varicela, diabetes, hipertensión, consumo de alcohol, medicamentos, etc.
- » Combinación de problemas genéticos y ambientales cuando se tiene predisposición genética a las malformaciones y se combina con factores ambientales que la desencadenan.
- » Causas desconocidas: La gran mayoría de malformaciones no presentan una causa clara. Incluso no es necesario que existan antecedentes en la familia para que tengan lugar.

6.4 Simbraquidactilia

La simbraquidactilia es uno de los tipos de malformación que afectan las manos; las otras son: Sindactilia, duplicación del pulgar y mano hendida. Se define según [6] como una condición que genera que una mano no se desarrolle por completo. Tiene una gran cantidad de posibilidades: quienes la padecen pueden tener una mano más pequeña, dedos más cortos o ausencia de algunos de ellos o incluso todos. Esta malformación se manifiesta cuando el feto se desarrolla en el útero y se diagnostica al nacer o poco después del parto. Se da porque durante el desarrollo del feto la mano inicialmente “tiene forma de paleta” y luego se dividen los dedos, pero en los casos de simbraquidactilia esto no llega a ocurrir de la forma esperada.

El tratamiento para esta condición depende de cada caso, ya que no existe uno completamente igual al otro. En algunos casos se necesita cirugía para tratar de recuperar parte de la superficie de la palma o de los dedos, en otros casos no es necesario y se acude únicamente a la terapia ocupacional. Para este proyecto, se ha detectado que el caso de Geovanny puede ser abordado con un producto de apoyo específico para la actividad del teclado.

A continuación se muestran ejemplos de casos de esta malformación congénita:



Figura 3. Casos de simbraquidactilia en niños
Fuente: [7]

6.5 Ángulos de Comfort

Según [8] los ángulos de confort son los ángulos que adoptan las articulaciones, fuera de los cuales realizar una tarea se volvería más complicado y peligroso. Se diferencian de los ángulos límites, que son un aproximado del movimiento máximo que permite la biomecánica humana, con claras diferencias entre edades, nivel de entrenamiento físico, etc. Por ejemplo, los ángulos máximos de flexión dorsal y palmar son los siguientes:

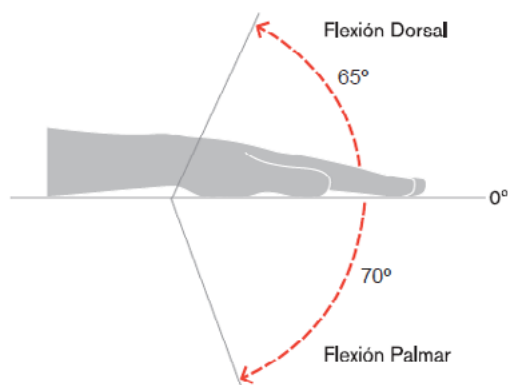


Figura 4. Ángulos máximos de flexión dorsal y palmar de la mano

Fuente: [9] lección 7 de ergo, 2019

Mientras que los ángulos de confort, utilizados como parámetro de medición a la hora de utilizar herramientas de evaluación ergonómica indirectas, como el RULA, poseen valores más bajos dentro de los cuales las articulaciones pueden desplazarse con un riesgo mínimo de lesión o complicación musculoesquelética a corto, mediano o largo plazo. La siguiente imagen muestra que los ángulos de confort para el mismo movimiento son de 15° tanto en flexión palmar como en flexión dorsal. Este rango conlleva un riesgo mínimo y no debería provocar malestar en quien lo realiza. Mientras que si una tarea exige que ese límite se supere, se dice que la tarea se sale de los ángulos de confort y probablemente cause malestar a corto plazo e importantes lesiones en articulaciones a mediano y largo plazo.

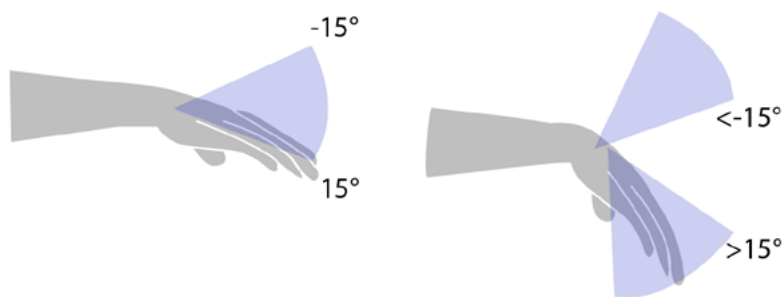


Figura 5. Ángulos de confort para las flexiones dorsal y palmar de la mano

En los análisis ergonómicos indirectos, los ángulos de confort están definidos para la asignación de puntos y evaluación del riesgo de una tarea. Estos análisis serán aplicados posteriormente en el proyecto y serán un indicador de la peligrosidad de la tarea de teclado para el usuario a partir de los insumos de flexiones, rotaciones, extensiones, entre otros movimientos, que se salgan de los ángulos de confort y puedan ser riesgosos.

7. Marco Metodológico

Se seguirá el siguiente proceso proyectual, el cual consta de cinco etapas y está basado en [10]:



Explorar

- » Recolección de datos
- » Contexto, entorno y usuario
- » Entrevista con el usuario
- » Observación
- » Identificación de oportunidades
- » Investigación de la condición de discapacidad.
- » Investigación acerca del uso y creación de ayudas técnicas que emulan las funciones de una mano, palmas y dedos.

Se espera obtener: los insumos que servirán como punto de partida para el desarrollo del producto. Se espera delimitar el ámbito de acción que tendrá el prototipo y qué se esperará que haga y resuelva.

Comprender

- » Análisis ergonómico
- » Definición de la necesidad, objetivo, dominio.
- » Análisis morfológico.
- » Requerimientos de diseño
- » Definición de la funcionalidad (funciones principales, secundarias).
- » Análisis de productos existentes (análisis gráfico-analítico)
- » Análisis tecnológico
- » Análisis perceptual

Se espera obtener: La síntesis de los resultados obtenidos en la primera etapa que servirá como base y justificación de las propuestas de la siguiente etapa. También una comprensión mayor del problema y la necesidad que permitan una toma de decisiones que beneficiarán de gran forma las etapas venideras.

Crear

- » Concepto de diseño, declaración de diseño
- » Diseño de alternativas
- » Selección de la propuesta de diseño.
- » Desarrollo de la propuesta y modelado
- » Pruebas de concepto con el usuario
- » Pruebas de uso con el usuario

Se espera obtener: La consolidación de un concepto de propuesta que haya probado ser el más indicado y que será prototipado en la siguiente etapa.

Experimentar

- » Modelos y verificación
- » Creación de prototipos
- » Validación con el usuario
- » Detección de oportunidades de mejora y correcciones

Se espera obtener: El ajuste de las características técnicas y formales del o los prototipos iniciales para la validación de la propuesta y posterior desarrollo de una propuesta final revisada y adecuada.

Concretar

- » Creación del prototipo final
- » Implementación del producto en el usuario
- » Guía de uso
- » Validación de los requerimientos
- » Documentación y comunicación de resultados
- » Materiales y Costos

Se espera obtener: El prototipo final de la ayuda técnica que pueda ser utilizado por el usuario y presentado como resultado del proceso de diseño llevado a cabo. Las conclusiones del proceso que justifiquen la eficacia del producto desarrollado.

8. Etapa 1: Explorar

En esta etapa se recolectarán los datos que servirán como punto de partida para el desarrollo del proyecto. Primero, se introducirá al usuario que se beneficiará del desarrollo de la ayuda técnica.

8.1 Usuario



Figura 6. Estudiante de Ingeniería en Producción Industrial, Geovanny Vega

Geovanny Vega es un estudiante universitario de 25 años, de la carrera de Ingeniería en Producción Industrial. Ingresó a la carrera en el 2018. En una entrevista realizada antes de empezar con desarrollo, Geovanny compartió opiniones con respecto a su condición de discapacidad. Comentó que puede realizar acciones con su mano derecha que no puede replicar con la izquierda y esa falta de simetría funcional desde su nacimiento es un hecho al que se ha acostumbrado por necesidad. Geovanny realiza actividad física con frecuencia, entrenamientos cardiovasculares y de fuerza; para estos últimos se basa en levantamiento de pesas y ligas en las que no puede tomar objetos con la mano izquierda, sino mayoritariamente con el antebrazo.

No obstante, una de las actividades que más consume su tiempo actualmente es la de realizar asignaciones para las materias que cursa como estudiante universitario. Gran parte de su trabajo se debe realizar frente a una computadora. Él comentó que posee adecuación curricular durante los exámenes o quices por su condición, ya que requiere de más tiempo para poder utilizar el teclado. La forma en la que teclea es con el pulgar izquierdo, realizando una extensión del brazo que no realiza con el derecho.

Luego de conversar con el usuario acerca de sus necesidades, se puede notar la falta que le hace el poder realizar acciones que sí puede realizar con su otra mano. Como gran parte de las actividades que realiza son simétricas, la imposibilidad de adaptarse a las mismas es notable; de esta forma, el usuario desea un producto que pueda satisfacer todas sus necesidades y que emule las funciones de una mano; no obstante, se verá por qué no puede abarcarse todo el espectro de necesidades causadas por su discapacidad desde la realización de este proyecto. El siguiente diagrama sirve como introducción a la definición de Geovanny como usuario de este proyecto:

Necesidades

Utilizar la computadora
 Hacer ejercicio
 Manipulación de productos en general

Motivaciones

Poseer un producto que le permita realizar alguna o varias de las actividades en las que presenta dificultad.

Preocupaciones

Rendimiento académico
 Falta de tiempo
 Que su salud mental se vea afectada

Limitaciones

Muchas de las actividades que debe realizar están pensadas para la simetría funcional que posee la mayor parte de la población

8.2 Primer Análisis de Referenciales

Ahora bien, puesto que cada caso de malformación es diferente, se tomará en primera instancia la industria de las terminales de prótesis de miembro superior como punto de partida, ya que en este ámbito se encuentran estandarizados los tipos de prótesis de miembro superior de la siguiente forma, según [11]:

Prótesis pasivas: Son de carácter estético mayoritariamente. Se asemejan a una extremidad natural, pero no generan mayor funcionalidad.

Prótesis accionadas por el cuerpo: Por lo general se accionan con un sistema de cable de correa que se ajusta al omóplato y se acciona con el movimiento del mismo.

Prótesis mioeléctricas accionadas externamente:

Se accionan con sensores y entradas que se aprovechan del movimiento del miembro residual o de los accionadores eléctricos de la parte superior del cuerpo.

Prótesis híbridas: Combina las características de una prótesis accionada de forma mecánica y una mioeléctrica, dependiendo de la decisión que se tome en torno a las funciones que se deben priorizar.

Prótesis específicas para cada actividad: En esta categoría se coloca una mayor atención, ya que se trata de una solución que se busca cuando las personas “participan en actividades que podrían dañar el miembro residual (...) Otros ayudan en diversas actividades específicas (por ejemplo, natación o pesca).”

Los dispositivos específicos para una actividad se concentran absolutamente en la realización de la misma. Sus requerimientos y forma van en función de la actividad que se espera que realice, para que sea efectuada de la manera más eficiente posible. Delegarle varias funciones de una mano a un solo dispositivo genera que sus capacidades se disuelvan y que no pueda enfocarse en una función para desempeñarla de una manera completamente óptima, a diferencia del alcance que una prótesis específica puede ofrecer.

Por ejemplo, una de las manos biónicas más recientes y modernas es la *Hero Arm*, de Open Bionics [12]. Posee patrones de agarre incluidos y se puede programar para agregar más. Puede rotar el pulgar por cuenta propia, levantar hasta 8 kg, su batería dura un día entero. No obstante, no es resistente al polvo ni al agua. Es considerada una de las manos biónicas más accesibles del mercado y, según la fuente consultada puesto que el precio no aparece en la página oficial, tiene un valor entre los 10 000 y 20 000 dólares [13]. Se puede concluir que aunque se considera accesible, no lo es para toda la población, y aunque Open Bionics y otras empresas en el campo de los dispositivos médicos hacen un excelente

trabajo de investigación y desarrollo para el bien de las personas con discapacidad, no se puede negar que su propuesta no puede competir, en el campo de la natación, con una terminal simple como el *Freestyle Swimming Device* de la empresa Fillauer, porque este último producto está pensado y específicamente diseñado para esa actividad. De esta forma, se puede partir del hecho de que una ayuda técnica específica está destinada a tener mejores resultados para esa actividad que los productos que tienen una aproximación más general de las funciones del miembro superior, en este caso.

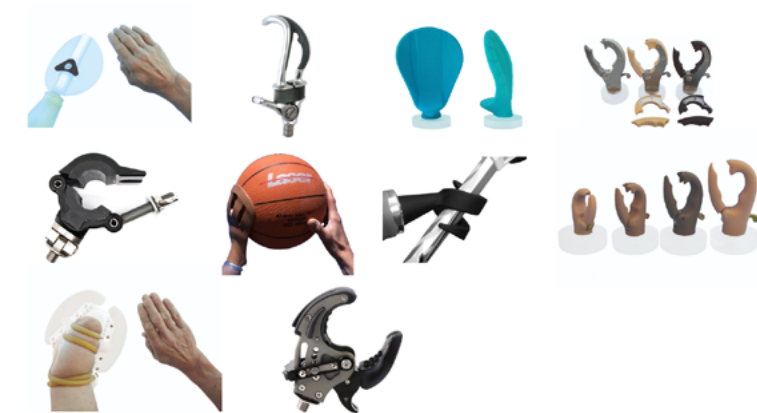


Figura 7. Mano biónica Hero Arm
Fuente: [12]



Figura 8. Prótesis específica para natación Freestyle Swimming Device
Fuente: [14]

Para la primera búsqueda de referenciales se analizaron ayudas técnicas específicas para diversas actividades para miembro superior:



¿Qué tienen en común?

- » Priorizan la funcionalidad sobre la estética
- » Sus formas siguen sus funciones
- » Son elementos mayoritariamente estructurales, no se busca cubrir su arquitectura básica
- » Se fabrican con polímeros o metales, generalmente titanio, acero, aluminio, hule, polietileno, polipropileno.

8.2 Proyectos Similares

A continuación, se buscaron proyectos que se hubieran realizado para personas con malformación de mano o personas con amputación parcial a nivel de dedos, así como de un proyecto de una prótesis para uso del teclado que vale la pena rescatar.

Como trabajo final de grado de la carrera de Ingeniería en Tecnologías Industriales en la Universidad Pública de Navarra, España, Jerusalén Esparza-García [15] propuso una ayuda técnica para personas con malformaciones hipoplásicas de mano. La introducción del proyecto comienza puntualizando las necesidades que tiene un niño de 6 años con una malformación en la mano izquierda, que posee 4 dedos y una fuerza prensil menor que la que presenta su mano derecha. Esta condición ha provocado, como indica la autora, un menor desarrollo en

la musculatura del miembro superior izquierdo, imposibilidad para realizar tareas como abrocharse un botón, atarse los cordones de los zapatos, sostener y utilizar cubiertos a la hora de comer, manipular objetos de toda índole y tocar un instrumento.

A pesar de haber valorado distintas opciones, que corresponden a ayudas técnicas específicas y a la medida, la toma de decisiones pasó por un proceso de selección por factores, en el que el utensilio que se adapta a los cubiertos fue catalogado como el que se debía desarrollar de manera más inmediata, al ser indiscutiblemente superior en el factor “rango de utilización”, por ser entre las actividades evaluadas la que consumía mayor parte de su tiempo durante el día y en el factor “mejora del autoestima” pues le da la autonomía para realizar una acción que no podría llevar a cabo sin la asistencia de este producto. Naturalmente, las personas con discapacidad, y sobre todo a edades tempranas, pierden autoestima a medida que su discapacidad les provoca compararse con la mayoría de la población, lo que causa que la falta de eficiencia que puedan tener en algunas tareas los haga autopercebirse como inferiores. Contrarrestar esta percepción se puede lograr dando autonomía y aumentando la eficiencia en dichas tareas hasta un punto satisfactorio para el usuario.

Para este proyecto, la forma del producto final sigue una función y unos requerimientos específicos que se obtienen del contexto en el que será usado. No funcionaría emular una mano, o crear una pinza que sujete el cubierto, sin tomar en cuenta las condiciones de la mano del usuario, sino que lo que el proyecto buscó fue darle más función a la mano como es, potenciar sus posibilidades y que el producto se adaptara al usuario y no al revés.



Figura 9. Ayuda técnica específica para uso de cubiertos para una persona con malformación congénita de mano.

Fuente: [15].

El artículo “Prótesis impresa en 3D para la rehabilitación de amputaciones digitales: presentación de un diseño mecánico” [16] publicado por Ricardo Galán y María José Vergara en la Revista Colombiana de Cirugía Plástica y Reconstructiva recalca la importancia de la creación de dispositivos que asistan a las personas que sufren de una amputación parcial, ausencias congénitas o malformaciones. Según el texto, la ausencia de dedos trae consigo consecuencias a nivel psicológico y social, aparte de la disminución de las capacidades de la mano. Según los autores, en el mercado se encuentran prótesis que por lo general poseen una movilidad y funcionalidad limitadas y que se centran mayoritariamente en el agarre de fuerza y dejan de lado el agarre de precisión. Ya de plano se sigue confirmando que las prótesis de carácter general no son eficientes a la hora de realizar actividades específicas y que la diferenciación de las funciones de una prótesis o ayuda técnica va hasta niveles concretos, siendo que existen prótesis creadas para el agarre de fuerza (el que se hace con todos los dedos de la mano) y otras creadas para el agarre de precisión (pinza).

En el artículo se menciona que la impresión 3D es un método que permite la creación de piezas complejas en periodos cortos de tiempo y “abre la posibilidad para diseñar piezas únicas personalizadas y adaptables a cada individuo las cuales pueden ser articuladas unas con otras y modificadas según la necesidades tanto de movimiento como de apariencia requeridas.” Además, permite la utilización de materiales económicos y da pie a mejoras inmediatas y reproducibles.

Según Galán y Vergara en la introducción al artículo, son “grupos individuales de diseñadores, ingenieros y pequeños grupos médicos” los que lideran la investigación en el área de las prótesis, pues existen demandas tanto funcionales como estéticas de parte de los usuarios. En la discusión se afirma que la “habilidad para reproducir anatomía digitalmente, diseñar y fabricar partes anatómicas en 3D transforma la vida de las personas afectadas así como se perciben y como se desarrollan en su entorno.” Finalmente, el resultado fue un producto impreso por manufactura aditiva que tiene como función específica el agarre de precisión para tareas que requieran de motora fina y que presentó una reacción positiva en los usuarios a los que se destinó.



Figura 10. Uso de prótesis en una persona con amputación de dedo a nivel de tercio medio de falange proximal en segundo, tercer, cuarto y quinto dedo. Fuente: [16].

El proyecto “Diseño de una prótesis de mano para uso en teclados con interfaz sEMG” [17] realizada por los investigadores Ernesto López-López, Rigoberto Martínez-Méndez y Adriana Vilchis-González de la Universidad Autónoma del Estado de México propone un diseño conceptual de una mano mecánica para el uso del teclado. A partir de la investigación de las necesidades y la identificación de la problemática se encontró que existen diversas opciones de prótesis, en este caso a nivel de prótesis con control mioeléctrico, pero que son sumamente costosas para el ciudadano promedio. Además, se determinó que a la fecha del desarrollo del proyecto, 2019, una de las graves limitantes de este tipo de dispositivos era la respuesta de los movimientos, siendo que tardaban alrededor de medio segundo en interpretar la intención de movimiento. En otras palabras, los investigadores puntualizaron que no eran funcionales para que el usuario utilizara un teclado. De esta forma, decidieron desarrollar un producto de bajo costo que pudiera satisfacer esta necesidad y encontraron una posibilidad viable en la manufactura aditiva o impresión 3D, considerando al PLA y al ABS como los polímeros más indicados para crear un producto resistente y con menor gravedad específica para asegurar que no fuera pesado. Se determinó también que la fuerza necesaria para presionar una tecla es de 0.58 N, lo que equivale a colocar un objeto de aproximadamente

0.06 kg, es decir unos 60 gramos sobre una tecla. Esto no significa una resistencia muy alta, pero se tiene que tomar en consideración.

Lastimosamente, el diseño no pasó por la etapa de prototipado, por lo que no se pudo comprobar si el producto podía atacar la problemática de la manera que esperaban los investigadores, pero la existencia del proyecto confirma que la utilización del teclado por parte de las personas que no tienen dos manos funcionales conlleva una serie de dificultades que no están siendo tratadas actualmente como debería ser por parte de la industria. En este caso la necesidad identificada fue la productividad disminuida de las personas con amputación de mano que no estaba siendo atendida ni podía encontrar su solución en las prótesis mioeléctricas actuales y que los autores supieron detectar para realizar un aporte al tema por medio de un artículo. Al proyecto se le puede cuestionar el enfoque funcional por encima de la comprensión del usuario, por ejemplo la propuesta pretende emular los cinco dedos de la mano, sin preguntarse cómo podría afectar a la carga cognitiva para la persona el tener que controlar cinco dedos al mismo tiempo desde el momento en el que se coloca la prótesis y se dispone a realizar la acción.



Figura 11. Propuesta de mano protésica mioeléctrica para utilización de teclado impresa en 3D.

Fuente: [17].

De la anterior investigación de referenciales se tiene que:

- » El producto se adapta al usuario y no al revés.
- » La manufactura aditiva es una opción de bajo costo, rápida y de buen desempeño en términos de resistencia y funcionalidad por lo que es una de las de las mejores alternativas para la creación de ayudas técnicas en la actualidad.
- » Las personas con discapacidad y condiciones distintas en miembros superiores pierden autoestima y enfrentan consecuencias a nivel psicológico y social que los hacen percibirse como inferiores.
- » Los casos en los que se debe amputar dedos o malformaciones congénitas disminuyen las capacidades de la mano y la creación de prótesis o productos de ayuda buscan devolverle esas capacidades en la medida de lo posible a los usuarios.
- » Las prótesis de carácter general no son eficientes a la hora de realizar actividades específicas. la diferenciación de las funciones de una prótesis o ayuda técnica va en niveles concretos siendo que existen prótesis para el agarre de fuerza y otras para el agarre de precisión, así como las creadas para actividades específicas que poseen requerimientos y arquitecturas especiales para esa actividad.
- » Son grupos individuales de diseñadores, ingenieros y pequeños grupos médicos los que lideran la investigación en el área de prótesis pues existen demandas tanto funcionales como estéticas de parte de los usuarios.

8.3 Entrevistas

A continuación, se presenta una síntesis de las consultas realizadas a profesionales en distintas áreas, las cuales constituyeron un insumo importante para la comprensión de la necesidad y la definición de la solución de diseño que se recomendó llevar a cabo. Los involucrados pudieron visualizar una presentación del análisis ergonómico de las posturas adoptadas por Geovanny que se mostrará con detalle en la etapa 2.

Laura ha estado involucrada en otros proyectos de ergoTEC, por lo que está familiarizada con el desarrollo de productos del ámbito médico y ergonómico que se dan en este laboratorio. Ellas concedieron una reunión en conjunto para brindar su criterio sobre este caso.

¿Es el diseño de una ayuda técnica para el uso del teclado favorable para el usuario? ¿Por qué no prescindir de su extremidad y buscar una alternativa para que pueda utilizar una computadora de otra forma que no implique usar sus manos?

Las ayudas técnicas o productos de apoyo buscan potenciar y facilitar el desempeño de la persona en la actividad que se realiza. Existen muchos programas con los que se puede controlar la computadora por medio de la voz, etc. pero hay funciones dentro del aparato que solo pueden ser accionadas con la mano. La pregunta sería: ¿todos los programas se pueden activar con la voz?, incluso si el dictado de voz sigue evolucionando, la computadora no sería capaz de accionar sus funciones tan bien como si alguien la estuviera controlando directamente.

Además, si el usuario ya está acostumbrado a realizar la actividad con sus manos, es justificable asistirlo. No se le va a enseñar a usar su mano izquierda para teclear, que sería un abordaje distinto, sino que se va a potenciar el uso que ya le está dando a la parte funcional de su mano.

¿Por qué se deben enfocar los esfuerzos en el diseño de una ayuda específica? ¿Se puede fabricar un producto que satisfaga muchas de las necesidades de Geovanny a la vez?

Lo que sucede en este caso en específico es que el uso de la computadora es una actividad que por cantidad de horas dedicadas posee una mayor jerarquía e impacto en la distribución de tiempo y esfuerzo durante el día del usuario. Valeria añade que fabricar una mano universal es complejo y está en investigación. Antes se utilizaban sockets a los que se les añadía terminales, como ganchos, que se podían cambiar según la actividad, por ejemplo a la hora de comer por un cubierto. La importancia está en discernir cuál actividad es la que necesita intervención, por ejemplo hacer ejercicio es una necesidad, pero se

realiza tal vez dos horas y tres veces por semana. En cambio, la utilización de la computadora se da todos los días prácticamente, a veces más de tres o cuatro horas. También se puede ver de la siguiente forma: la principal ocupación de un niño es jugar, ¿cuál sería la principal ocupación de un joven universitario? hacer sus asignaciones, el estudio, y para Geovanny que es un estudiante de Producción Industrial eso implica estar frente a una computadora por horas.

También se piensa que en el futuro él no podrá decidir sobre su cronograma como en la actualidad; cuando trabaje tendrá que estar obligatoriamente 8 horas frente al teclado al menos 5 días a la semana. Así es, y la intervención por medio de este producto trae también una intención preventiva. Se necesita aumentar el desempeño ocupacional de la persona.

¿Cuáles problemas se pueden presentar cuando se adoptan las posturas lateralizadas que presenta Geovanny a la hora de utilizar la computadora?

La adopción de posturas correctas no es un capricho. Si se mantienen posiciones inadecuadas el problema se dará a nivel de órganos internos. En la columna los discos están íntegros, pero si se empieza a generar tanta presión de un lado se va a presentar una lesión de nervios, ortopédica, y si es muy recurrente una lesión en órganos internos.

Además, Valeria mencionó que en este caso se aplica el concepto “envejecimiento activo”, que se relaciona con los cuidados que se deben tener en la juventud para no llegar a un envejecimiento deteriorado. También se darán otra clase de problemas asociados. Con la lateralización que el usuario presenta, es probable que llegue a tener una escoliosis, que por ser muy dolorosa le causará mal humor, lentitud en el desempeño, lesiones en las actividades físicas, etc. Es importante que aunado al desarrollo del producto de apoyo se le den recomendaciones al usuario para mejorar su postura, como cambios periódicos, trabajar sentado y luego de pie, para no generar compresiones a nivel nervioso, mejorar la circulación y mejorar el nivel de alerta para mantener un buen rendimiento laboral.

¿Cómo pueden influir la ingeniería y el diseño en el ámbito de la terapia ocupacional?

Los terapeutas ocupacionales, según menciona Laura, fueron formados con la idea de que las adaptaciones tenían que ser realizadas por su cuenta. En escenarios ideales, su función sería la de evaluar los riesgos a los que se enfrenta una persona y las posibilidades para enfrentar los problemas que puedan estar presentes, para luego comunicar la parte médica a uno o varios ingenieros y diseñadores que puedan traducir esa petición a propuestas adecuadas. Los terapeutas y otros profesionales del ámbito médico, según sus palabras, no saben de materiales, ni de diseño a la medida, ni de *softwares* o métodos de manufactura. La ingeniería, el diseño y la tecnología brindan alternativas competitivas en términos de costos, velocidad, eficiencia y satisfacción general para los usuarios. Lo que Geovanny necesita no viene en un catálogo, necesita un diseño a la medida y así son muchos de los casos que se dan en el país y en el mundo y si varias disciplinas mueven sus esfuerzos para mejorar la calidad de vida de las personas eso solo puede hacer progresar las alternativas y las ideas para lograrlo.

Mónica Quesada Bermúdez

Ingeniera en Seguridad Ocupacional e Higiene Ambiental

Al mostrarle las imágenes del análisis ergonómico que se realizó con Geovanny, Mónica comentó de forma inicial que el riesgo de un problema musculoesquelético por la postura del usuario al teclear es a mediano o corto plazo.

¿Cuáles problemas serían los que se podrían presentar si la situación no es intervenida?

Comentó que probablemente, si Geovanny se realizara una placa, ya presentaría una desviación en la columna. A corto o mediano plazo se daría una afectación del sistema nervioso. También inflamación en las articulaciones del hombro, codo y muñeca. Tendinitis en el codo y síndrome del túnel carpiano en la muñeca. Además, es común al adoptar este tipo de posturas que la persona padezca de lumbalgia en la espalda baja, tensión en la espalda alta y problemas generales a nivel cervical.

¿Qué acciones se pueden tomar para contrarrestar estos potenciales problemas que se podrían dar?

En términos generales, para todas las personas sería recomendable fortalecer los músculos de la espalda por medio de actividades como el yoga, la natación, el básquetbol, etc. En este caso particular, y luego de comunicarle a Mónica la intención del proyecto, se mostró a favor y comentó que las ayudas técnicas son una buena alternativa si demuestran ser útiles. Manifestó que los métodos de evaluación ergonómica brindan una aproximación más exacta del problema como punto de partida para tomar decisiones. Como ingeniera, resaltó las posibilidades de llegar a buenas soluciones desde una perspectiva ingenieril, que busque el bienestar de las personas por medio de la ciencia y la tecnología.

¿Qué tan importante es que las personas tengan un puesto de trabajo o estudio optimizado para evitar lesiones a nivel esquelético y muscular?

Las personas con frecuencia se adaptan a los puestos de trabajo y esto debe cambiar. Los puestos son los que deben adaptarse a los usuarios. Ciertas modificaciones como la altura del monitor y de la mesa deben tomarse en cuenta y una ayuda técnica permitirá una adaptación más universal a los puestos en los que el usuario se encuentre. Una mayor atención a las condiciones de los usuarios siempre genera una reducción en el riesgo de lesiones.

Sebastián Sánchez Guzmán

Bachiller en Ortoprésis y Ortopedia de la Universidad de Costa Rica. Estudiante de Ingeniería en Diseño Industrial.

Sebastián expresó que este tipo de proyectos se pueden abordar desde dos perspectivas generales para justificar su importancia: La bioética, que procura darle herramientas a los seres humanos para que puedan aprovechar tantas funciones del cuerpo como sea posible, y los proyectos similares y esfuerzos que hacen instituciones, universidades y miembros de la sociedad para generar productos que le brinden mayor rango de acción a las personas con discapacidad. A continuación se anotan las respuestas dadas en la entrevista:

¿Cuáles son sus comentarios en primera instancia después de observar la presentación de la situación de Geovanny y las posturas que adopta al teclear?

En primera instancia se observa un evidente desbalance biomecánico que debe ser abordado inmediatamente. Si estas son sus posturas y los riesgos a los que se expone a los 25 años están tan cerca, ¿cómo será cuando tenga 50?. Definitivamente el problema existe y debe hacerse algo al respecto.

¿Por qué sería recomendable diseñar una ayuda técnica, en vez de buscar que el usuario utilice métodos alternativos, como el dictado de voz u otras alternativas que no conlleven usar su extremidad?

El problema en este caso de malformación es distal. Esto quiere decir que se presenta en la última parte del miembro superior. Lo demás, muñeca, hombro, codo, no tiene problema. Cualquier persona que se especialice en esta área estaría de acuerdo con la conclusión de que hay que usar lo que está bien. Recurrir a otras alternativas que lo eximan de usar las partes funcionales de su cuerpo es inutilizar a la persona. Uno de los mayores objetivos de la prótesis, la ortésica y también del diseño y la ingeniería es mantener e incrementar la independencia funcional de la persona. La bioética nos enseña a darle oportunidades a las personas para que se puedan valer por sí mismas y no restarles posibilidades.

¿Qué tan importante es que el diseño se junte con especialidades como la prótesis para el desarrollo de dispositivos médicos?

Es sumamente importante. Los ingenieros en Diseño Industrial están preparados para identificar necesidades y solucionarlas por medio de diseño. También están preparados para liderar este tipo de investigaciones por medio de la unión de varias perspectivas disciplinarias. Sebastián considera que en la escuela se brinda una preparación orientada a que los ingenieros en Diseño Industrial en formación puedan entrar en diversos ámbitos, desde electrónica, dispositivos médicos, materiales, y adaptarse a ese conocimiento para llevar adelante, con asesoramiento e investigación, proyectos en temas con los que no estaban tan familiarizados antes de comenzar.. Los diseñadores pueden discernir cuál es la mejor opción para el desarrollo de una idea.

A veces la mejor opción no es la más compleja, en este caso tal vez lo mejor no sea una prótesis mioeléctrica, tal vez el camino sea más sencillo, pero las decisiones que se tomen vienen influenciadas por la preparación que la escuela brinda a sus estudiantes.

¿Qué tanto avance hay en el campo de la protésica, específicamente en el ámbito de prótesis de miembro superior? ¿Por qué se siguen utilizando prótesis específicas y aún no existe un brazo robótico que cubra todas las necesidades que una persona sin mano tiene?

En este campo existe mucha investigación y desarrollo. El gran reto es cómo llevar esa tecnología a la población de manera asequible. En Costa Rica una prótesis de miembro superior mecánica, no tan básica, pero tampoco tan avanzada, empieza en tres millones de colones. Crear una prótesis que abarque todas las funciones de una mano es sumamente complejo. Por esta razón en la industria se desarrollan prótesis y ayudas técnicas específicas para actividades. Luego, el cuidado que se debe tener es decidir cuántas terminales debe poseer un usuario. En este caso, las decisiones del proceso de diseño pueden determinar cuáles prótesis o ayudas técnicas son las más necesarias, dependiendo de las necesidades de los usuarios, no es lo mismo una tarea que se realice una vez a la semana que otra que se realice diariamente por varias horas. El criterio del diseñador es el que decide qué camino tomar para el bien del usuario.

Finalmente, Sebastián recalca que la diferencia del Diseño Industrial con otras disciplinas radica con frecuencia en la preparación y las decisiones antes del desarrollo. Mientras que otros ingenieros podrían enfocarse en el desarrollo del producto por sí mismo y crear una prótesis con arduinos y servomotores, cuando esa podría no ser la solución al problema, los diseñadores tienen la habilidad de ser estratégicos y discernir cuál camino es el que se debe tomar incluso antes de empezar con el desarrollo creativo como tal.

De las anteriores entrevistas se obtienen las siguientes conclusiones:

- » Se coincidió en que se debe potenciar la funcionalidad que presenta la mano izquierda del usuario.
- » Como el usuario está acostumbrado a realizar la actividad con sus manos el justificable asistirlo ya que no se trata de enseñarle a usar su mano izquierda sino de que pueda ampliar las capacidades que presenta.
- » Según lo comentado al principio por el usuario, y las opiniones de los expertos, la jerarquía que presenta la actividad es alta en su diario vivir. Como la utilización de la computadora se da todos los días por más de 2 o 3 horas su frecuencia contrasta fuertemente con otras actividades en las que también presenta dificultades como el levantamiento de pesas o la natación.
- » La fabricación de una ayuda técnica es de carácter preventivo, no puede eliminar cualquier daño que el usuario presente a nivel músculo esquelético pero puede corregir su postura para prevenir que progresen las lesiones que se darían a corto plazo si no se abordara este problema.
- » La adopción de posturas incorrectas genera también problemas asociados como el mal humor, la lentitud en el desempeño y lesiones al realizar actividades físicas ya que se puede presentar una condición como la escoliosis que es incómoda y dolorosa.
- » Son los diseñadores e ingenieros los que están especializados en materiales, diseño a la medida, métodos de manufactura y comprensión de las necesidades de los usuarios para generar propuestas competitivas en términos de costos, eficiencia, velocidad de fabricación y satisfacción general de los usuarios.
- » Para los expertos se debe utilizar lo que está bien. Esto quiere decir que buscar alternativas que prescindan de la funcionalidad de las partes del cuerpo es inutilizar a las personas.

9. Etapa 2: Comprender

En esta etapa se deben entender y definir los problemas presentes para determinar la manera de afrontarlos. Desde el momento en el que se adoptó el proyecto, se tuvo la sospecha de que la condición del usuario le causaba una asimetría funcional que daba como resultado una lateralización notable en actividades recurrentes, siendo el uso de la computadora, y más específicamente del teclado, la que podía significar un peligro más inmediato. Con el siguiente análisis ergonómico se puede confirmar o desmentir esa teoría.

9.1 Análisis Ergonómico

Para comprender mejor el problema ergonómico al que se le hace frente se deben conocer los fundamentos de las posturas correctas a la hora de teclear.



Figura 12. Postura correcta a la hora de teclear
Fuente: [18].

El fisioterapeuta Marcos Sacristán [19] hace un repaso por la forma correcta de posicionarse frente a una computadora por largos periodos de tiempo para evitar las complicaciones en trapecio, cuello y espalda, así como el Síndrome de Túnel Carpiano, que se da cuando la inflamación muscular cerca del nervio mediano afecta al mismo, provocando dolor, malestar y debilidad y el Síndrome subacromial que es un trastorno que provoca dolor de hombro crónico.

Las muñecas deben mantenerse alineadas con los antebrazos y deben apoyarse sobre una superficie, como un reposa muñecas, cuando no se está tecleando, puesto que la altura del teclado fomenta que se descansen las muñecas sobre la mesa, en el caso de un teclado de escritorio, promoviendo la extensión de la mano. Para un teclado de portátil, se tiene un espacio desde el final inferior del teclado y hasta el borde de la computadora en el que se apoyan las muñecas. para descansar, que varía según el tamaño de la computadora entre 75 a 100 mm de ancho. No obstante, la fricción del plástico y la dureza del mismo generan dolor en la muñeca e irritación de la piel ante el uso prolongado.

Las manos deben permanecer sin desviaciones laterales ni hacia arriba o abajo, conocidas como flexión y extensión. La mesa o escritorio debe estar alineada con los antebrazos, y los brazos deben formar un ángulo de aproximadamente 90°.

Los brazos deben mantenerse cerca del tronco y sin abducción en el plano frontal, es decir, sin abrir excesivamente los codos, pues esto recarga tensión en los codos y hombros.

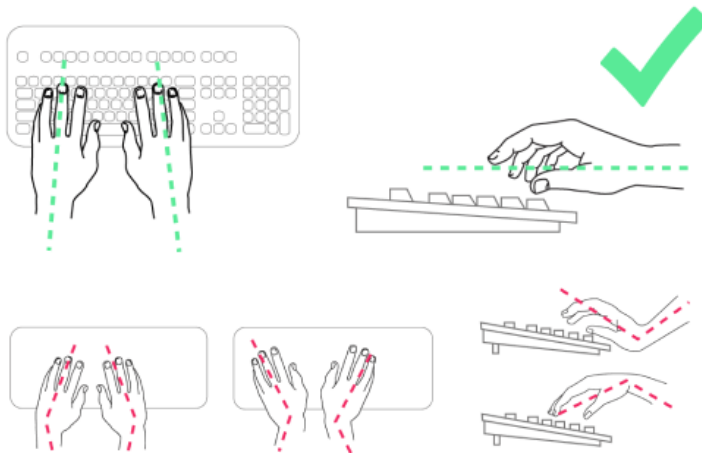


Figura 13. Posiciones correctas de la manos a la hora de teclear.

Después de la comprensión de la teoría, para identificar el problema se realizó un número de observaciones desde distintos planos con el fin de evaluar la postura del usuario al utilizar el teclado con la puesta en práctica de los siguientes contextos:

- Uso del teclado de PC portátil. Texto dictado
- Uso del teclado del PC portátil. Texto copiado por el usuario, no dictado
- Uso del teclado de PC de escritorio
- Uso del teclado de PC portátil con una inclinación de 20°.

Para el análisis ergonómico se realizará una evaluación de actividad por medio de dos herramientas indirectas de evaluación ergonómica: los métodos RULA y JSI. El método RULA se utiliza para evaluar la carga postural de la parte superior del cuerpo. Esto determinará si la posición de Geovanny al momento de utilizar el teclado genera un impacto negativo a nivel músculo-esquelético en la parte superior de su cuerpo. El método JSI se utilizará para evaluar la repetitividad en el movimiento de la mano y muñeca izquierda del usuario y determinar el riesgo de desarrollar desórdenes traumáticos en la parte distal de las extremidades superiores. Ambos métodos se pueden aplicar puesto que la actividad por evaluar se realiza con frecuencia durante la semana y por periodos de varias horas seguidas.

A continuación se muestran preliminarmente los resultados de la observación:

Teclado de PC portátil. Dictado

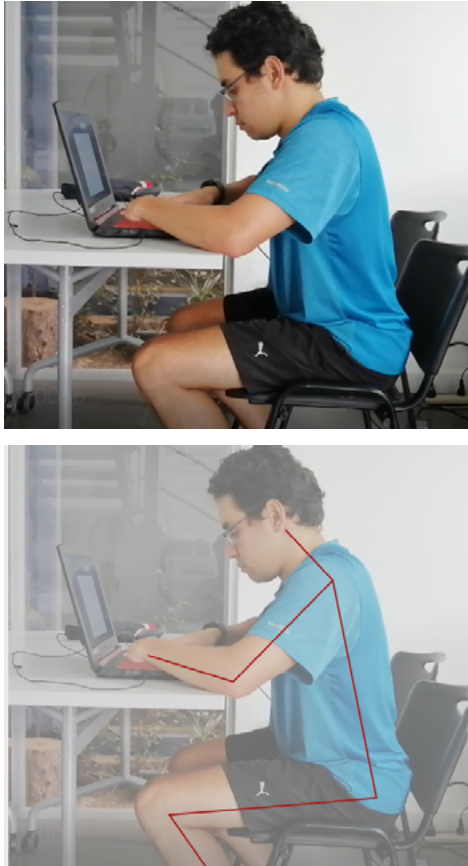


Figura 14. Vista de la posición adoptada por el usuario desde el plano sagital.

Se puede apreciar un adelantamiento del miembro superior izquierdo hasta provocar que el punto de apoyo del mismo sea el codo. El hombro se encuentra claramente desplazado hacia adelante de manera forzada.

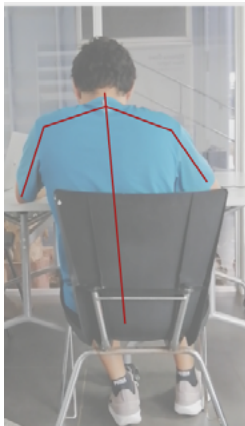


Figura 15. Vista de la posición adoptada por el usuario desde el plano frontal.

Este plano es muy importante para comprender la lateralización que presenta Geovanny al usar la computadora. El hombro izquierdo se ve desplazado hacia arriba producto del adelantamiento de todo el brazo para poder alcanzar las teclas con el pulgar izquierdo.

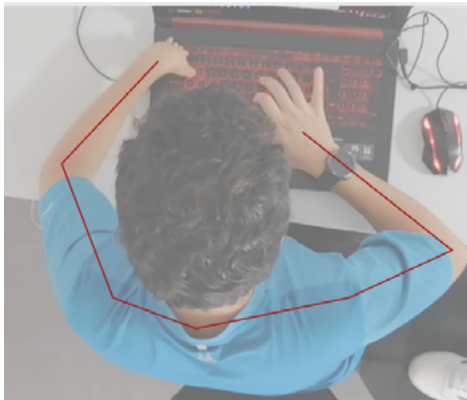


Figura 16. Vista de la posición adoptada por el usuario desde el plano transversal.

La vista superior muestra el punto de apoyo del usuario para su extremidad izquierda en comparación con la derecha, mientras que para la última el apoyo en la mesa lo presenta el antebrazo y en el teclado es la muñeca, para su extremidad con malformación el apoyo en la mesa lo da el codo y no existe un apoyo en el teclado, ya que no presenta dedos funcionales que puedan llegar a las teclas para permitirle mantener su muñeca en reposo.

Para la prueba con el usuario copiando un texto por su cuenta, se mantuvieron las posturas incorrectas, con la diferencia de que inclinaba su cabeza para leer el folleto de prueba. La idea de dividir la prueba en estas dos tareas surge de la hipótesis de que las posturas podían variar si Geovanny escribía en el teclado creando textos desde cero o se basaba en un texto para transcribirlo a la computadora, pero se mantuvieron las posturas para cualquiera de los casos.

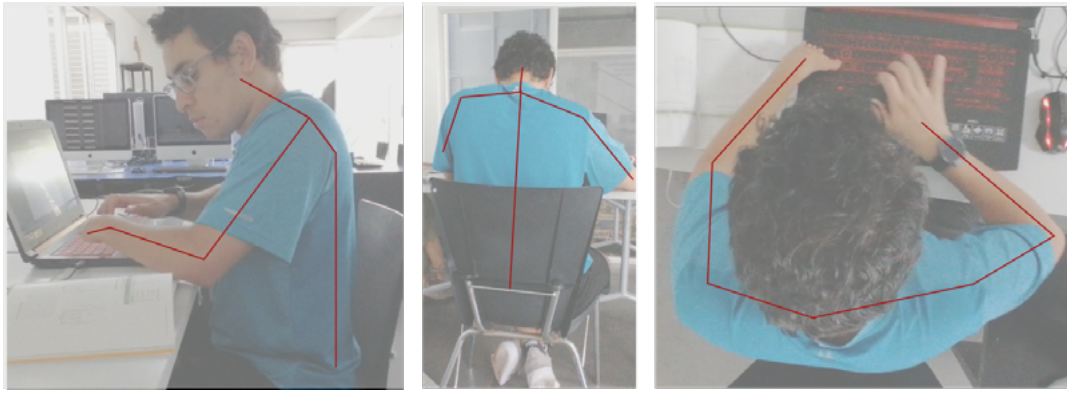


Figura 17. Posturas del usuario para la prueba de transcribir un texto a la computadora

Para la prueba de utilización del teclado de computadora de escritorio, Geovanny manifestó sentir más resistencia por parte de las teclas, pero dijo que era una sensación positiva puesto que percibió tener más espacio para escribir. Esto se debe al tamaño de las teclas, cuando son más planas no hay tanta certeza de lo que se está escribiendo ya que no se percibe una separación tan clara entre ellas. Como se verá posteriormente, no se debe a que el teclado de computadora de escritorio tenga más espacio entre teclas, ya que esta medida está estandarizada, sino a la estructura de las mismas.

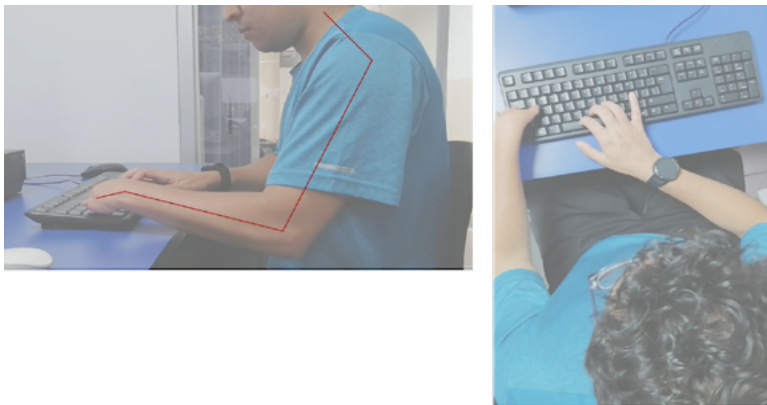


Figura 18. Posturas del usuario para la prueba de utilizar un teclado de PC de escritorio

Luego se decidió hacer una prueba con el teclado inclinado 20° con respecto al escritorio, con la hipótesis de que así el usuario no tendría que flexionar las muñecas de forma excesiva. Efectivamente se presentó una postura ligeramente más relajada y el usuario manifestó que percibía el teclado más cerca y por ende más accesible, lo que lo hacía más cómodo de utilizar. Se utilizará este insumo como recomendación al final de la investigación.

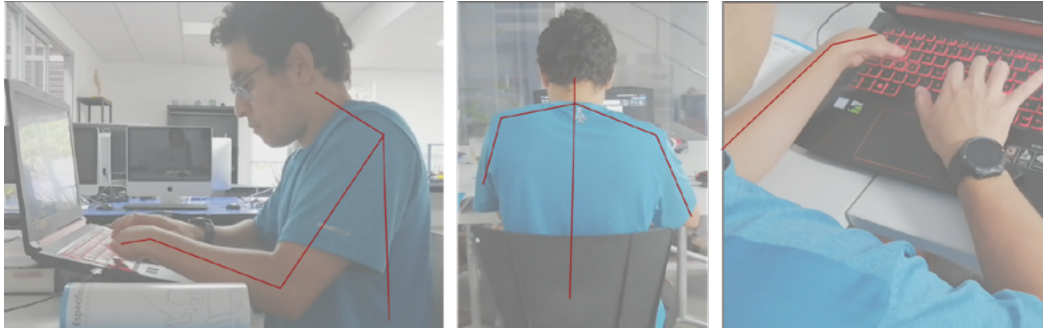


Figura 19. Posturas del usuario para la prueba de utilizar el teclado a 20° con respecto al escritorio

También se deben tomar en cuenta la rotación y flexión que realiza la muñeca izquierda de Geovanny. Ya es natural para él la adopción de esta postura con su mano, con la intención de alcanzar las teclas lo mejor posible, pero generando una postura forzada.



Figura 20. Posturas de la muñeca del usuario durante la realización de las tareas

También se deben tomar en cuenta la rotación y flexión que realiza la muñeca izquierda de Geovanny. Ya es natural para él la adopción de esta postura con su mano, con la intención de alcanzar las teclas lo mejor posible, pero generando una postura forzada.

Posteriormente, a modo de confirmación del riesgo al que se expone Geovanny, se aplicaron dos herramientas de evaluación ergonómica conocidas como RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) y JSI (*Job Strain Index*). Se utilizaron las herramientas en línea provistas en la web *ergonautas* de la Universidad Politécnica de Valencia, disponibles en [20] y [21].

El proceso requiere que el evaluador observe las posturas y movimientos que se adoptan durante la realización de una tarea constante, para luego utilizar escalas de evaluación de riesgo.

Grupo B - Cuello, tronco y extremidades inferiores

Posición del cuello

Indica el ángulo de flexión del cuello del trabajador o selecciona la imagen correspondiente


El cuello está entre 0 y 10 grados de flexión.
 El cuello está entre 11 y 20 grados de flexión.
 El cuello está flexionado por encima de 20 grados.
 El cuello está en extensión.



El cuello está entre 0 y 10° de flexión.



El cuello está entre 11° y 20° de flexión.



El cuello está flexionado por encima de 20°.



El cuello está en extensión.

Indica o selecciona la imagen si... (pueden darse varias de estas situaciones simultáneamente)

El cuello está lateralizado.
 El cuello está rotado.

Figura 21. Interfaz del software Ergoniza para la implementación del método RULA
Fuente: [22]



Figura 22. Utilización de la herramienta RULER para medir los ángulos que se forman al realizar la tarea de teclear
Fuente: [22]

Datos de la Evaluación

Descripción de la tarea

La intensidad del esfuerzo necesario para realizar la tarea una vez es... ?

Ligero Un poco duro Duro Muy duro Cercano al máximo

El ritmo al que desempeña su tarea el trabajador es... ?

Muy lento Lento Regular Rápido Muy rápido

La posición de la mano respecto a la posición neutra es... ?

Muy buena Buena Regular Mala Muy mala

El tiempo diario que dedica el trabajador a la tarea analizada es... ?

< 1 hora >= 1 h. y < 2 h. >= 2 h. y < 4 h. >= 4 h. y < 8 h. >= 8 horas

Esfuerzos

Duración acumulada de todos los esfuerzos percibidos durante la observación

0 horas 01 minutos 00 segundos

Formato hh/mm/ss minutos

Tiempo de observación

Tiempo durante el que ha sido observada la tarea

0 horas 02 minutos 00 segundos

Formato hh/mm/ss minutos

Figura 23. Parámetros tomados en cuenta para la evaluación ergonómica por medio del método JSI
Fuente: [22]

RULA evalúa la carga postural de la parte superior del cuerpo, es decir, mide si la postura adoptada por una persona durante la realización de una tarea es o no riesgosa, mientras que el JSI evalúa la repetitividad en los movimientos de miembros superiores durante la realización de una tarea y qué tan riesgosos pueden ser para la integridad física de quien la ejecuta. A continuación se presentan los resultados de las evaluaciones:

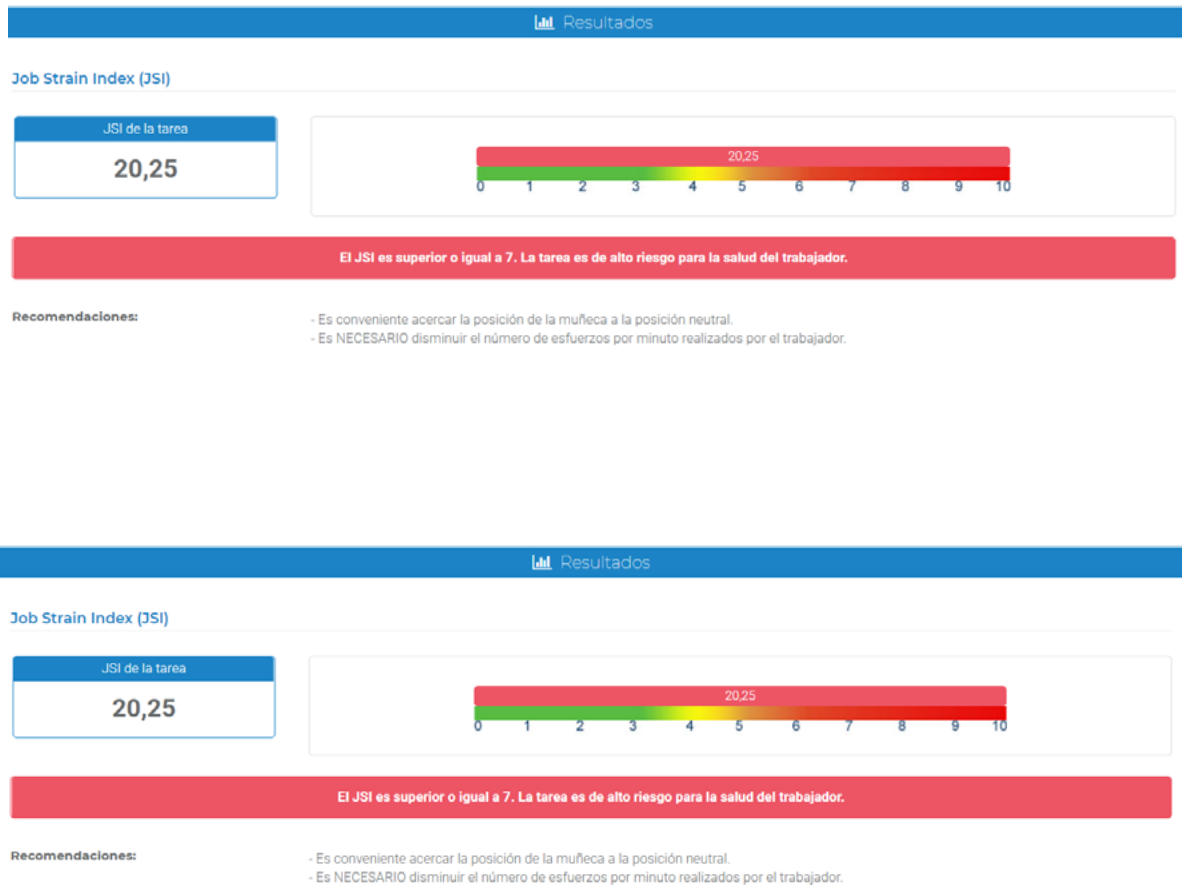


Figura 24. Resultados de las pruebas RULA y JSI
Fuente: [22]

Como se observa, el resultado del método RULA fue “6”, mientras que para el método JSI fue “20.25”. Ambos resultados superaron el límite seguro para la realización de una actividad y por ende se concluye que la misma debe ser abordada inmediatamente para evitar el riesgo latente de trastornos musculoesqueléticos. El factor de multiplicación con el que funciona el JSI se disparó porque los esfuerzos en la muñeca del usuario, como lo son la flexión y rotación, están presentes prácticamente durante toda la tarea, lo que es un multiplicador importante que termina afectando en gran medida el resultado.

Tiempos y esfuerzos

Tiempo de observación (minutos)	2,00
Duración de los esfuerzos (minutos)	0,75
Número de esfuerzos percibidos	45
Número de esfuerzos medio por minuto	22,5

Figura 25. Factores que influyeron en el resultado del método JSI

Fuente: [22]

De esta forma, se confirmó el riesgo que conlleva la realización de la tarea de teclado para Geovanny y la necesidad de abordar este problema por medio de un producto de apoyo que le permita corregir su postura.

También se tuvo la oportunidad de tomar las medidas antropométricas del miembro superior izquierdo del usuario, así como de obtener un modelo 3D del mismo por medio de la utilización de un escáner para iPad provisto por ergoTEC para asegurar la precisión del producto a la medida.

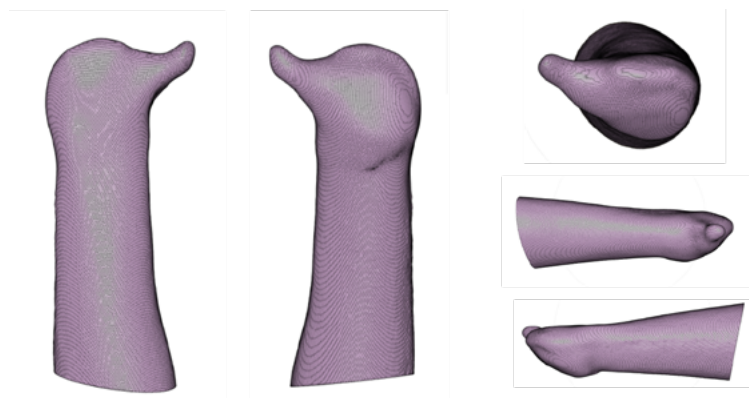


Figura 26. Modelo 3D del miembro superior izquierdo del usuario obtenido por medio de escaneo

Este modelo se imprimió para tener en todo momento una referencia que permitiera tomar decisiones sin que fuera necesario que el usuario estuviera siempre presente.



Figura 27. Impresión 3D del modelo del miembro superior izquierdo del usuario obtenido por medio de escaneo.

A continuación se apuntan algunos comentarios para esta etapa que serán de utilidad para las siguientes:

- » La mala postura y el riesgo de lesiones esqueléticomusculares está presente.
- » Las imágenes del análisis fueron compartidas a los expertos de la sección “8.3 Entrevistas” y coincidieron en que la tarea es riesgosa para el usuario y que necesita abordaje por medio de un producto de apoyo.
- » Geovanny asegura que el teclado de escritorio es más espacioso y por ende lo percibe más cómodo.
- » La resistencia que oponen las teclas es un factor por considerar. Teclas con más cuerpo y que tienen mayor resistencia a la presión son más fáciles de localizar, pero requieren más esfuerzo. Teclas con poco recorrido, más sensibles, pueden inducir más al error, pero son más cómodas para periodos largos de ejecución de la tarea.
- » Geovanny utiliza la computadora diariamente en lapsos de dos horas, afirma que descansa unos minutos y continúa.
- » Posee una computadora portátil, con teclado numérico a la derecha y un teclado de escritorio que afirma no utilizar.
- » Afirmó haber percibido que una ligera inclinación del teclado le permitía alcanzar las teclas superiores de una forma más sencilla.

9.2 Definición de la necesidad, el objetivo de diseño y el dominio del producto

La identificación de la necesidad y el objetivo de diseño se realizará con el fin de establecer un punto de partida a partir del cual se construirán las bases para llegar a una solución satisfactoria. El dominio delimita el alcance del proyecto para definir qué se espera de las propuestas y qué no es viable realizar.

Necesidad: La asistencia durante el uso del teclado para la mano izquierda del estudiante Geovanny Vega debido a la ausencia de dedos funcionales desde el índice hasta el meñique que lo obliga a adoptar posturas riesgosas que le ocasionarían diversas lesiones a corto y mediano plazo.

Objetivo: Diseñar una ayuda técnica, también conocida como producto de apoyo, para la mano izquierda del estudiante que le facilite la interacción con el teclado a la hora de realizar sus labores estudiantiles.

Dominio: El producto será una ayuda técnica específica para el uso del teclado que se accionará con el movimiento del brazo izquierdo del usuario. No tendrá elementos electrónicos. No necesariamente se asemejará a una mano ya que su prioridad es la función. Se realizará a la medida, tomando como base la topología y antropometría del antebrazo, muñeca, palma y dedos del usuario.

9.3 Análisis morfológico del teclado

La ayuda técnica que se diseñará para el usuario consistirá en uno de los dos protagonistas de la tarea de teclear; el producto que se accionará con ella también debe ser analizado para tomar en cuenta su disposición, dimensiones y variantes a la hora de definir los requerimientos de diseño.

Las teclas de un teclado, que oscilan entre 101 y 105 para teclados completos y 85 aproximadamente para teclados de laptop adaptados, están divididas según su función [23]:

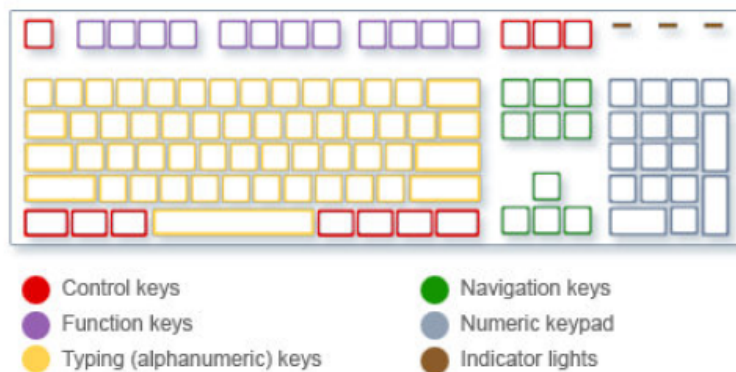


Figura 28. Clasificación de las secciones del teclado
 Fuente: [23]

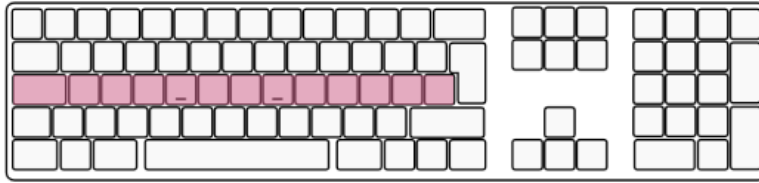
Teclas de escritura (alfanuméricas): Letras, números, puntuación y símbolos. Son las que se pueden encontrar en una máquina de escribir profesional.

Teclas de control: Teclas especiales que se utilizan en combinación con otras para realizar determinadas acciones, como ctrl, alt, esc, etc.

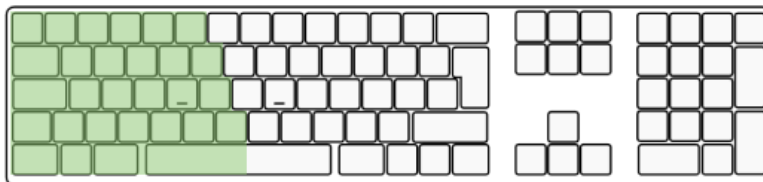
Teclas de función: desde la F1 hasta F12.

Teclas de navegación: Utilizadas para desplazarse por documentos, páginas web y a la hora de editar texto.

Teclado numérico: Números dispuestos como en una calculadora para su escritura rápida.



Fila guía. Donde se posicionan los dedos a partir de los índices de ambas manos colocados sobre las teclas “f” y “j”. Los pulgares se colocan sobre la barra espaciadora.



Según las reglas de mecanografía [24], la sección del teclado que le pertenece a la mano izquierda es la indicada en la imagen. Consiste en:

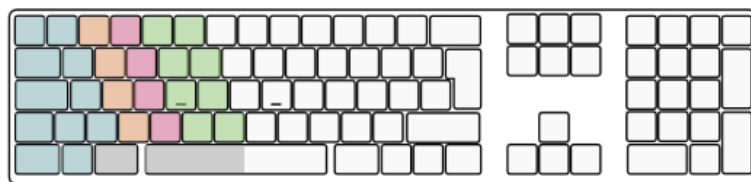
Las teclas de función: F1-F7

Las teclas numéricas: del 1 al 5

Las teclas alfabéticas: QWERT-ASDFG-ZXCVB

Las teclas de control: Ctrl, Alt, Fn, Tab, Bloq Mayus.

Siguiendo las mismas reglas, las teclas correspondientes a cada dedo son las siguientes:



- Meñique
- Anular
- Medio
- Índice
- Pulgar

No obstante, estas prácticas són más bien estrictas; la mecanografía dicta la manera más rápida para escribir en un teclado y es utilizada al pie de la letra por un porcentaje de la población que realmente lo necesita. Este diagrama busca visualizar una especie de zonas de calor en las que los distintos dedos de la mano tienen dominio. Los dedos que se destacan son el índice y el meñique, los más extremos dejando del lado al pulgar. Se encargan de dos columnas de teclas. La pregunta que surge en este punto es si para el caso de un usuario con malformación de mano, sería posible abreviar la asistencia a tres puntos de presión, fusionando las áreas que le corresponderían a los dedos medio y anular o incluso si se podrían utilizar dos puntos: que los reemplazos del índice y meñique abarquen las columnas del medio.

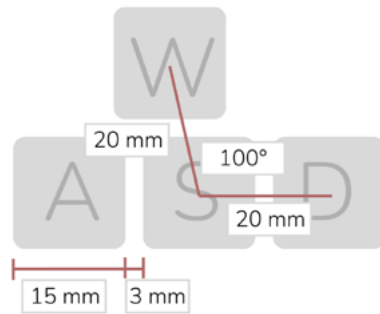
El teclado QWERTY fue lanzado siendo parte de una máquina de escribir en 1874. Christopher Latham Sholes fue el encargado de crear la disposición de teclas a partir de un problema que tenían las máquinas anteriores con teclas ordenadas alfabéticamente en el cual pares comunes de letras quedaban a la par y en sucesiones rápidas de escritura los martillos que imprimían la letra sobre el papel se atascaban. [25] Su solución fue juntar pares de letras poco habituales. El fabricante de armas Remington & Sons se encargó de fabricar y vender la máquina. El sistema de escritura se popularizó y aunque no era la mejor solución, es la que prevalece hasta la actualidad.

Este sistema fue creado para el idioma inglés, por lo que en otros idiomas se puede presentar que un lado del teclado sea más utilizado que el otro. En español, y considerando la intención de este proyecto, el teclado QWERTY en su mitad izquierda:

- » Presenta 2 vocales sumamente utilizadas: A y E.
- » Presenta consonantes presentes en gran cantidad de palabras de la lengua española como S, D, R, C Y T y se encuentran cerca unas de otras.

Así, en los requerimientos se debe tomar en cuenta esta información para justificar las decisiones de diseño que se tomarán.

En cuanto a las dimensiones, se tiene un estándar para asegurarse que el usuario se adapte rápidamente a cualquier teclado:



La interfaz teclas consiste en cuadrados de 15x15 mm, con bordes redondeados. La distancia que separa el centro de cada tecla con las de su alrededor es de 20 mm. El ángulo entre una tecla y la posterior o anterior de una fila paralela es de 100°. La distancia entre los bordes de las teclas es de 3 mm.



Figura 29. Clasificación del teclado por tamaños
Fuente: [26]

Existen distintos tamaños de teclado. Su principal cambio consiste en la eliminación de las teclas de función y el teclado numérico. La sección alfanumérica no tiene cambios y las dimensiones entre las teclas no cambian.

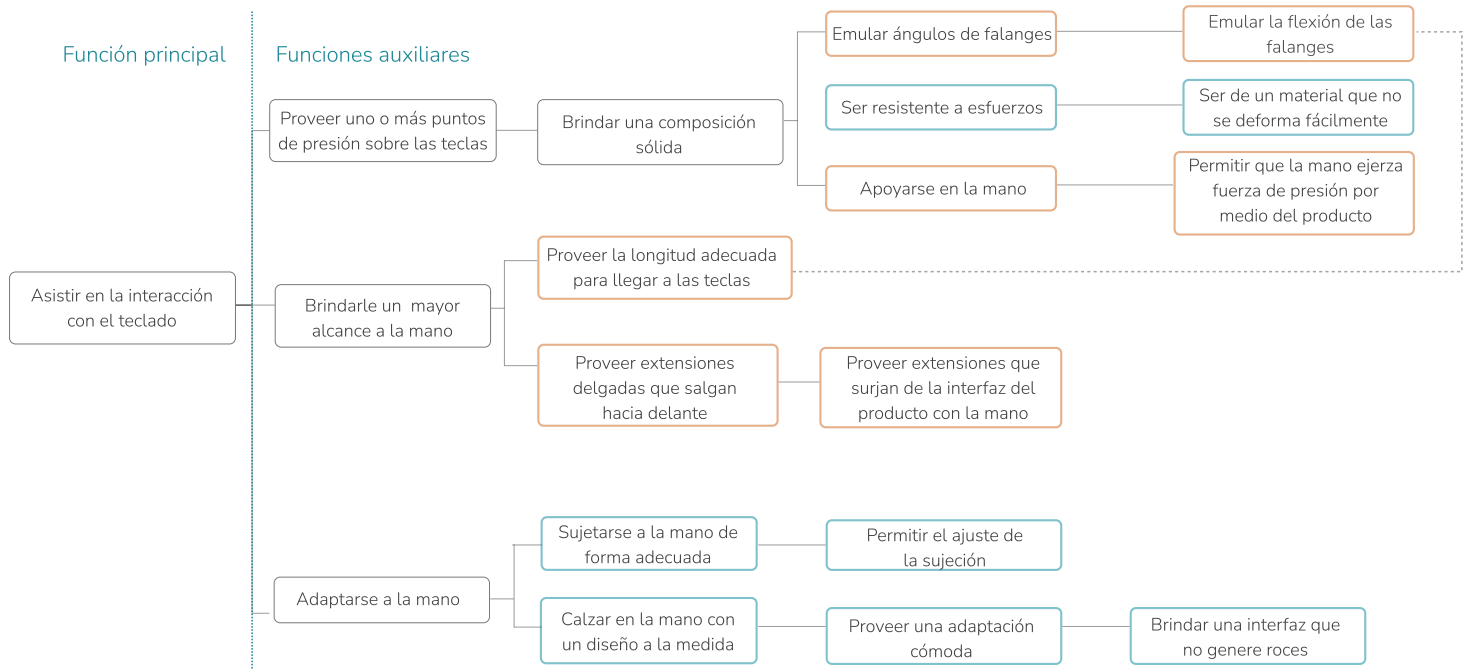
Algunos puntos importantes que surgieron de este análisis son los siguientes:

- » La disposición y tamaño de las teclas, así como la distancia que hay entre ellas no cambia entre teclados, contrario a la creencia de que las dimensiones son más reducidas o amplias dependiendo del tamaño del teclado. Lo que se modifica es la cantidad de teclas presentes.
- » Se puede diseñar un producto con dos punteros que se repartan las teclas correspondientes a los dedos índice junto al medio y al anular junto al meñique.

*Para este último punto se tomó la decisión en la etapa 3 de utilizar un solo elemento saliente que fuera el que interactuara con el teclado ante la hipótesis de que utilizar dos o más obstaculizaría al usuario y le disminuiría la visión al haber consonantes muy usadas cerca las unas de las otras.

9.4 Árbol de funciones

Se utiliza un diagrama FAST para determinar la función principal y las secundarias que tendrá el producto por diseñar. Conforme se lee hacia la derecha, se puede notar cómo algunas funciones dependen de otras; de esta forma, se obtiene también una jerarquización de las funciones que se espera que el producto realice.



9.4 Requerimientos de diseño

A partir de la información obtenida se pueden definir los requerimientos de diseño que el producto por diseñar debe cumplir. Para ello, se definen “requerimientos” como los atributos que debe tener el producto, los “requisitos” como las características que permiten que los requerimientos se cumplan, el “tipo” define si el requisito es indispensable o deseable y los “parámetros” son las características técnicas que permiten que los requisitos puedan darse.

Requerimiento	Requisito	Tipo	Parámetros
Cómodo	Zona de contacto suave Adaptarse perfectamente a la mano Sujetarse con firmeza	I I I	Zona mano-producto lisa, no genera tensión de corte Diseño a partir del escaneo de la mano Ajuste con correa, velcro, elástico o cobertura de silicón a medida
Resistente	Que el material no se quiebre con facilidad Resistente a las condiciones climáticas Posee una forma de almacenamiento para transportarlo de forma segura*	I D D	Polímero nylon o ABS Valorar la inclusión de refuerzo de fibra de carbono en la arquitectura Grosor de material de no menos de 5 mm* Recubrimiento de ABS contraforma para proteger el puntero y caja para transporte*
Fácil de colocar y quitar	Posee un solo mecanismo de colocación Los mecanismos de cierre y ajuste son de fácil manipulación Los mecanismos de cierre y ajuste son visibles e intuitivos	D I I	Un mecanismo de colocación con velcro o botón visible en el exterior Mecanismo manipulable con una sola mano, no debe oponer resistencia excesiva El brazaletes debe calzar sin ejercer presión* El brazaletes debe poseer ranuras para la sujeción de la correa*
Ligero	No representa una carga considerable para el usuario	I	Peso de no más de 150 g, basado en referenciales

Requerimiento	Requisito	Tipo	Parámetros
Fácil de mantener y limpiar	<p>Cada lugar del producto es accesible.</p> <p>El producto se puede limpiar con agua, alcohol, desinfectantes, etc.</p>	D I	<p>Espacios amplios para permitir el ingreso de la mano para la limpieza. Si se utilizan uniones no permanentes, que sean estandarizadas para remover.</p> <p>El material no se debilita con agua. No utilizar plástico PLA.</p>
Permite una postura adecuada	<p>Mantiene los ángulos de confort</p> <p>Evita la extensión excesiva del brazo izquierdo</p> <p>Permite presionar las teclas sin mucho esfuerzo</p> <p>No cambia su efectividad en diferentes teclados</p> <p>El producto no obstruye el movimiento de la mano derecha</p>	I I I I I	<p>Mantiene los ángulos 90°-100° brazo-antebrazo; 0°-10° mano-antebrazo.</p> <p>No se presenta o es mínima la abducción del brazo izquierdo.</p> <p>La columna se mantiene perpendicular al suelo.</p> <p>Debe tener la resistencia para ejercer una fuerza de 0.58 N sin deformarse.</p> <p>No se presenta levantamiento de hombros.</p> <p>Las extensiones del producto mantienen una desviación de exactamente 10° con respecto a la línea del antebrazo*</p>
Permite alcanzar las teclas para accionarlas	<p>El puntero es lo suficientemente largo y tiene la inclinación adecuada para accionar las teclas</p> <p>Posee un solo puntero para garantizar una baja carga cognitiva y mayor visibilidad*</p>	I	<p>El puntero tiene una extensión de 50 mm desde los dedos. Desciende 30 mm hasta llegar al nivel de la parte inferior de la muñeca.</p> <p>Se desvía 10° a la derecha con respecto a la línea del antebrazo*</p> <p>El puntero tiene un área de contacto de menos de 10 mm</p>

*Se añadieron a la lista tras las pruebas de las etapas 3: crear y 4: prototipar.

Los requerimientos anteriores se pueden clasificar de la siguiente forma:

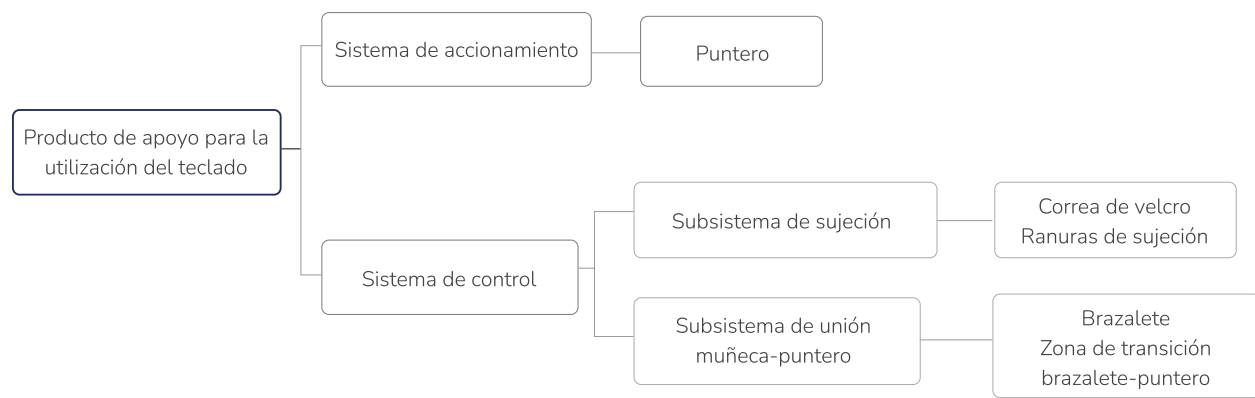
Requerimientos de uso: Cómodo, resistente, fácil de colocar y quitar, ligero, permite el alcance de las teclas

Requerimientos de cuidado del producto: Fácil de mantener y limpiar

Requerimientos ergonómicos: Permite una postura adecuada

9.5 Sistemas y Subsistemas

Se deben determinar las partes del producto que realizarán funciones específicas, ya que cada una se aborda desde el diseño dependiendo de lo que debe lograr. En la siguiente etapa se verá la determinación de que el brazaletes o zona de interacción con la muñeca y el puntero no estén separados, pero puedan tomarse como secciones de una misma arquitectura.



9.6 Segundo Análisis de Referenciales

Para el primer análisis de referenciales se tenía poco conocimiento de los productos que podían ayudar a las personas con amputación total o parcial de mano, así como amputación de antebrazo o brazo y malformación congénita de mano. Se realizó un acercamiento general a los tipos de prótesis específicas que se pueden encontrar en el mercado para tener un registro de las características y singularidades de las opciones que se ofrecen. Para este segundo análisis, con mayor conocimiento y profundización en el tema de ayudas técnicas para utilización del teclado, se realizará un compendio de alternativas que buscan satisfacer esta necesidad para las personas con algún tipo de discapacidad. De esta forma se obtendrán insumos que serán de utilidad para la etapa posterior.



Los productos anteriores son ayudas técnicas que mayoritariamente asisten a las personas que presentan alguna discapacidad motora. Están diseñados para tareas de precisión como el uso del teclado, la escritura, pintura, entre otros. Algunas de sus características comunes son:

- » Fabricados mayoritariamente con polímeros, para que sean ligeros.
- » Se componen de una sección que sirve de interfaz con la mano y una sección saliente que es controlada indirectamente por la mano gracias a la transmisión de movimiento.
- » Los productos usan una cantidad mínima de elementos para cumplir con sus funciones.
- » A nivel perceptual son sobrios, sencillos, deben comunicar que son fáciles de usar.
- » Gran parte de este tipo de productos utiliza un sistema de correa para ajustarse a la mano.
- » Generalmente la terminal del producto cambia de forma con respecto al elemento saliente. Puede ser de menor tamaño o de un material distinto.

Estas observaciones serán tomadas en cuenta para la ideación de propuestas en la etapa 3.





9.7 Análisis Tecnológico

El análisis tecnológico, como su nombre lo indica, es de utilidad para identificar las tecnologías que se utilizan para el diseño y manufactura de productos similares. En este caso, al haber incluido secciones dedicada para los análisis de referenciales, se enfocará esta sección al análisis de materiales y métodos de manufactura aditiva, que es la manufactura que se está considerando con especial interés al ser accesible desde ergoTEC, económica, de rápida fabricación y que brinda muy buenas propiedades formales y mecánicas.

En [27] se realizó una investigación exhaustiva para determinar las propiedades que presentan los polímeros comerciales ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) Y PLA (ácido poliláctico) para la fabricación de prótesis de miembro superior por medio de la impresión 3D.

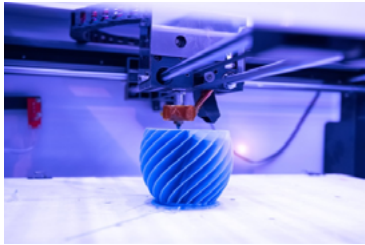

En términos generales, se encontró que el ABS tiene una mayor resistencia a la tracción y que el PLA presenta mayor deformación.

Además, se investigaron otros materiales que podrían ser accesibles desde el laboratorio para la manufactura de un prototipo.

Material	Descripción	Características
<p>ABS</p> 	<p>De los materiales poliméricos más utilizados en la industria. Durante la impresión 3D se debe considerar el peligro de que ocurra un warping (un desprendimiento de la capa inicial) si la cama de impresión no está a una temperatura elevada, de unos 90°C aproximadamente.</p>	<p>Resistencia a golpes, dureza, rigidez, soporta la abrasión. Permite la unión de piezas del mismo material por medio de adhesivos. No obstante, esmite gases nocivos en la impresión en ambientes cerrados, no es biodegradable, no puede ser expuesto a los rayos UV por tiempos prolongados</p>
<p>PLA</p> 	<p>Polímero sintético biodegradable obtenido a partir de almidón de maíz o papa. No brinda un acabado superficial tan liso como el que se puede obtener con el ABS. Muy utilizado en la elaboración de prototipos, maquetas, elementos decorativos, etc..</p>	<p>Rápida velocidad de impresión, no emite gases nocivos al fundirse, es reciclable. Frágil y sensible a la humedad.</p>
<p>Nylon</p> 	<p>Se presenta como una alternativa al PLA y ABS. Es un polímero sintético cuya principal característica es su elasticidad y resistencia. Es un polímero importante tanto para la industria textil como ingenieril.</p>	<p>Es más resistente y flexible que el PLA y el ABS, resistente al agua. No es biodegradable, mas sí reciclable. Presenta complicaciones para la impresión por culpa de la humedad, ya que afecta esta fibra con facilidad, por lo que se debe asegurar que esté seca a la hora de imprimir.</p>
<p>Fibra de carbono</p> 	<p>Se utiliza con frecuencia como refuerzo a la hora de imprimir. Tiene propiedades similares al acero y es considerablemente más ligera que el mismo.</p>	<p>Gran resistencia mecánica. Ligero. Buen aislante térmico. Generalmente está asociado a costos de producción elevados debido a su proceso de obtención, pero se está volviendo más asequible a medida que es utilizado cada vez más en distintas industrias.</p>

Material	Descripción	Características
<p>Policarbonato y polipropileno</p> 	<p>Otros materiales utilizados en la impresión 3D son el policarbonato y el polipropileno [28] Sin embargo, ambos polímeros se ven afectados por los rayos UV, por lo que sus aplicaciones para exterior no son recomendadas. El Nylon permite alcanzar propiedades similares a las del ABS con un proceso de impresión más sencillo que el del policarbonato [29].</p>	<p>Tanto el nylon como el policarbonato pueden mezclarse con fibras de vidrio o de carbono para darles refuerzo, por lo que la elección del material se diferencia sobre todo en el costo y accesibilidad del material, si mantiene su consistencia frente al agua y el sol y qué tan fácil es extruirlo por medio del método de impresión presente en el laboratorio.</p>
<p>Flex (soft PLA) [30]</p> 	<p>Posee propiedades similares al caucho. Se trata de un material que está en ascenso por las posibilidades que ofrece. Presenta una resistencia a los golpes notable que es muy útil para distintas industrias.</p>	<p>Flexible, absorbe impactos, es antiadherente. Sin embargo se imprime lentamente y no se puede trabajar con superficies que requieran partes salientes, puesto que no permite retirar posibles soportes que se requieran crear.</p>

Se profundizará en el proceso de impresión disponible en el Laboratorio de Ergonomía Aplicada, denominado Modelado por Deposición Fundida o Fused Deposition Modeling (FDM) al compararlo también con otros métodos presentes en la industria.

Proceso	Descripción	Características
<p>Modelado por deposición fundida [31]</p> 	<p>Conocida por sus siglas en inglés (FDM) Esta técnica se clasifica como de extrusión de material ya que el polímero a altas temperaturas se deposita por medio de una boquilla en una cama de impresión donde el objeto se forma capa por capa.</p>	<p>Solo una pequeña cantidad de polímeros pueden imprimirse con este método, entre ellos: ABS, PLA, policarbonato, alcohol polivinílico, nylon, entre otros, ya que se necesita una baja tendencia a la contracción tras la solidificación por parte del polímero. La boquilla se calienta y funde el material para luego depositarlo en una cama capa por capa con movimientos en los ejes x, y y z. Esta técnica es posible porque el polímero se solidifica momentos después de ser depositado.</p>
<p>Estereolitografía [32]</p> 	<p>Conocida también por sus siglas en inglés (SLA). Es un método que utiliza luz láser ultravioleta que fotopolimeriza y cura resina líquida presente en un contenedor.</p>	<p>Es el método que provee mayor precisión en el acabado y una superficie lisa muy consistente, por lo que se utiliza con frecuencia para crear moldes o dispositivos médicos que requieran de mucha precisión, como dispositivos odontológicos o sus guías quirúrgicas. Sin embargo, por la naturaleza de la resina, sus piezas se empiezan a degradar con la luz solar y presenta bajas propiedades mecánicas, por lo que no debería considerarse para la creación de objetos que deban tolerar un esfuerzo considerable. [33]</p>

Proceso	Descripción	Características
<p>Inyección de material [34]</p> 	<p>La inyección de material o material jetting (MJ) es una técnica que también utiliza la deposición de resina líquida y el curado con luz ultravioleta integrada en el cabezal. A diferencia de la estereolitografía, la resina se va depositando por pequeñas gotas.</p>	<p>Permite una impresión con un alto nivel de detalle y la utilización de múltiples colores a la vez. Es una técnica que permite una de las mejores calidades disponibles en la industria en términos de precisión, detalle y calidad superficial. No obstante, los materiales impresos ofrecen bajas propiedades mecánicas y tienden a deteriorarse con la exposición al sol debido a la naturaleza de la resina.[33]</p>
<p>Inyección de aglutinante [35]</p> 	<p>También conocido como binder jetting (BJ) es otra de las técnicas de impresión presentes en la industria. En este caso, un material aglutinante es depositado sobre un lecho de polvo por un cabezal que se desplaza en los ejes horizontales. El material de la impresión, en polvo, es colocado por un rodillo de manera uniforme sobre la placa de construcción.</p>	<p>Los productos terminados generalmente requieren tratamientos posteriores. Esta técnica es común para productos cerámicos y metálicos. Se puede imprimir con varios colores a la vez y genera una calidad superficial buena, sin embargo, las propiedades mecánicas de las piezas son limitadas puesto que tienden a ser frágiles [33].</p>

EL tipo de impresión disponible en el laboratorio, modelado por deposición fundida (FME), tiene como principal desventaja el acabado superficial, ya que es áspero y las líneas de impresión son visibles y esto difiere de otros métodos de impresión que brindan un acabado superficial y detalles mejores. Sin embargo, al evaluar las impresiones en polímeros, el que destaca es el FME por la variedad de materiales que permite utilizar y las propiedades mecánicas de las piezas finales, las cuales, dependiendo del plástico, pueden ser resistentes al agua y también al sol puesto que no se basa en resinas modificables por medio de luz UV y se pueden reforzar las piezas con fibras como la fibra de carbono o de vidrio, o utilizar hilos compuestos como el Kevlar. También es el método de impresión 3D más accesible y difundido a nivel global. Se puede concluir que para la creación de prototipos y modelos finales que se basan en polímeros, el FME es una de las mejores opciones en la industria en calidad-precio, a costa de una calidad superficial ligeramente inferior a otros métodos, pero asegurando productos resistentes a múltiples esfuerzos y duraderos.

9.8 Declaración de Diseño

La declaración de diseño es una frase que resume la dirección por la que transitará el diseño y en qué características se enfocarán los esfuerzos para que el producto se adapte a ella. La declaración no es antojadiza, sino más bien es resultado de la investigación previa que ha determinado los sustantivos ideales para que el producto pueda desempeñar su función de una manera óptima.

Declaración:

Adaptabilidad y Confort.

El producto se adapta al usuario y a su entorno físico a la hora de usar una computadora. La ayuda técnica está resuelta de forma que se asegure el confort del usuario en todo el momento durante la realización de la tarea.

9.9 Análisis Perceptual

Como última sección de este capítulo se realizará un análisis perceptual para obtener conclusiones acerca de la apariencia que se busca en el producto antes de entrar en la realización de propuestas de diseño.

La perceptualidad para este producto es un aspecto que fundamentalmente tiene dos interesados: ergoTEC y Geovanny Vega. A continuación se describen las solicitudes de ambas partes:

ergoTEC: La profesora Olga Sánchez manifestó el deseo de que este producto de apoyo, y los siguientes que se fueran a desarrollar en distintos proyectos, se perciban:

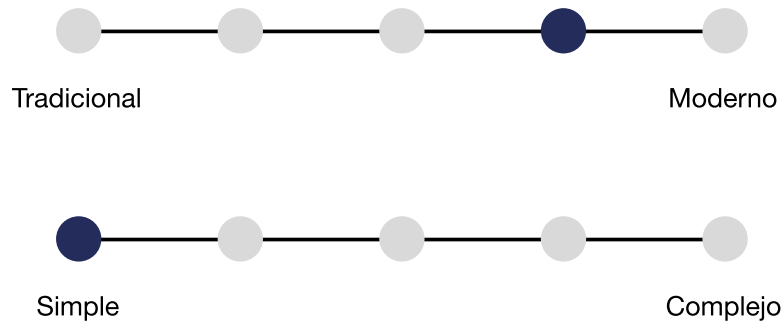
- » Modernos
- » Sencillos
- » Fáciles de usar

La idea del laboratorio es que el producto se aleje del concepto que gran parte de la población tiene al pensar en órtesis, prótesis y productos médicos que se perciben difíciles de usar, invasivos y antiguos.

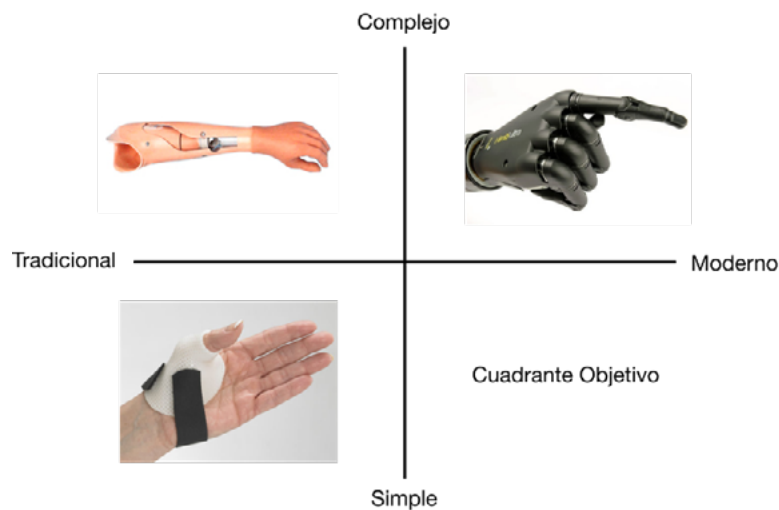
Geovanny: En las primeras etapas del proyecto, cuando se tuvieron los primeros acercamientos con él y se le explicó la idea e intenciones que se tenían para este producto, Geovanny mostró interés en productos que destacaran por tener una estética moderna. Se vio atraído hacia la manufactura aditiva por sus posibilidades en contraste con los productos más tradicionales que combinan metales con plásticos termoformables.

El producto debe ser del agrado del usuario para que desee usarlo. Más allá de entender su arquitectura y las decisiones de diseño detrás de cada sección del mismo, o incluso del beneficio ergonómico que le brinda, su primera motivación es poder usar el producto en público, sin que sea más llamativo de lo que debería, pero sí lo suficientemente atractivo para sí y para los demás, lo que ayudará a que no sienta vergüenza de utilizarlo.

El enfoque que se busca, ilustrado por un diferencial semántico, es el siguiente:



Así, se buscaron referencias en productos similares que cumplan los diferenciales propuestos con buena aproximación para determinar sus mínimos comunes. Se tomaron en cuenta órtesis, prótesis y ayudas técnicas en general.





Características que comparten estos productos:

- » Formas simples, pero orgánicas. Curvas de transición suave de grado 2, es decir, no se nota una división cuando se da un cambio de dirección.
- » Utilización de un solo color.
- » Remociones de material. Las estructuras se ven esqueléticas en varias ocasiones, se utiliza solo el material necesario para que cumpla su función.
- » Con frecuencia se utilizan polímeros de acabado mate en vez de brillantes.

A continuación se elabora una matriz cromática de los productos presentados anteriormente para entender de forma gráfica la disposición de los colores utilizados:



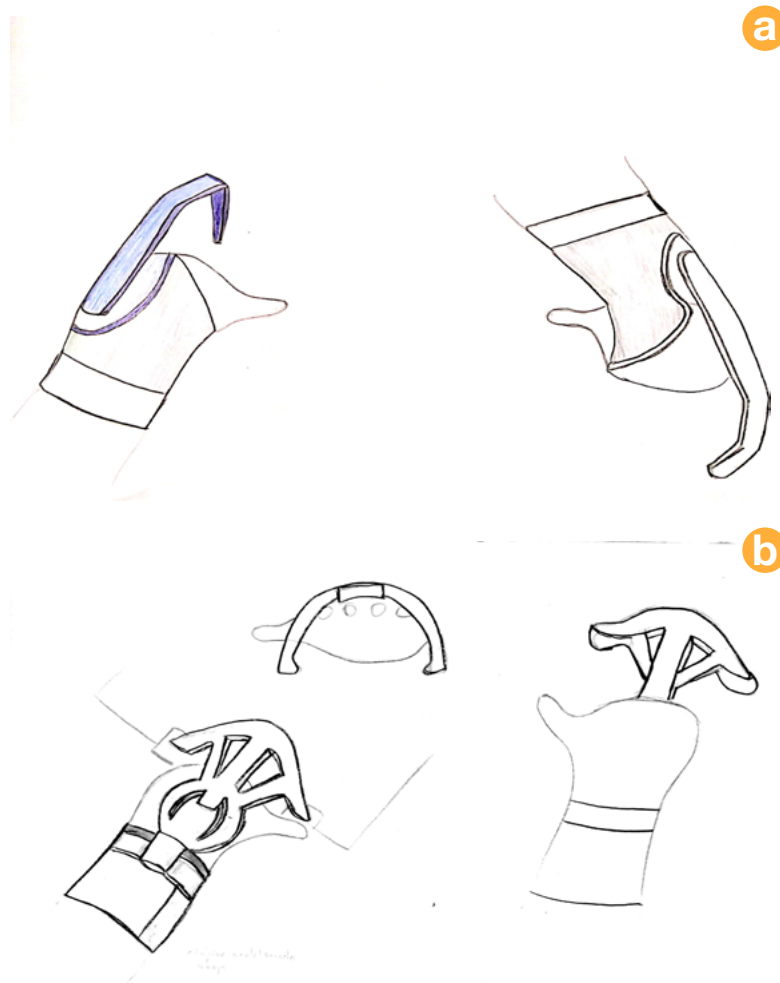
Se puede observar la dominancia de los colores neutrales, con poca saturación y brillo. Algunos colores vivos son utilizados para destacar alguna sección o para hacer al producto más llamativo, pero son la minoría.

10. Etapa 3: Crear

En esta etapa se toman los insumos de las etapas anteriores para empezar a idear propuestas que tengan la capacidad de solucionar la problemática, satisfacer la necesidad y cumplir los requerimientos de diseño establecidos previamente.

10.1 Diseño de Alternativas

Se realizó una lluvia de ideas que permitiera una aproximación a las posibilidades que en primera instancia se consideraron. En esta primera exploración se tuvieron en cuenta varias formas de solucionar el problema y se muestran a continuación:



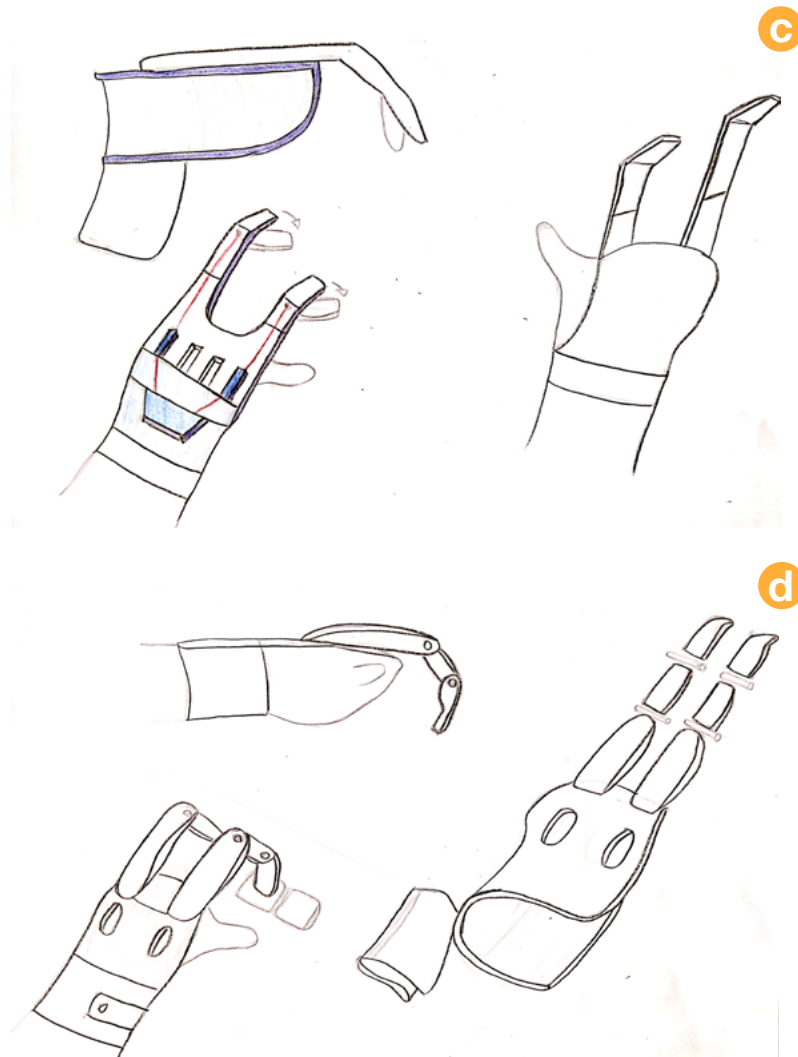


Figura 30. Primeras propuestas desarrolladas para el diseño de una ayuda técnica para uso del teclado.

Para las propuestas a y b se consideraron elementos rígidos. En la primera, un puntero que saliera de la parte lateral superior de la mano; en la segunda, se brindan dos puntos de presión que se controlarían con una ligera rotación de muñeca.

Para la propuesta c se pensó en dos puntos de presión que fueran móviles y se accionan por medio de una ligera flexión de muñeca. Mientras que para la propuesta d se consideró la inserción de elementos articulados que simularan las falanges de la mano y que pudieran ajustarse según la preferencia del usuario.

Como se puede observar, las propuestas son fundamentalmente distintas unas de otras, esto con la intención de escoger una ruta definida y descartar otras que podrían presentar inconvenientes durante las siguientes etapas del desarrollo.

Después de una valoración con la ayuda de la profesora y coordinadora de ergoTec Olga Sánchez se discutieron puntos esenciales que justifican los cambios que se presentarán luego. Estos puntos determinantes son:

- » **Mantener punteros fijos** para evitar forzar al usuario a realizar movimientos de muñeca. Se determinó que aunque no fueran movimientos que se salieran de los ángulos de confort, la repetitividad de los mismos podría significar un riesgo adquirido. También, el uso de articulaciones ajustables podría ocasionar que el usuario eligiera configuraciones que no lo beneficiaran o que, al ser móviles, se modificara su posición al ejercer presión sobre las teclas y el mantenimiento y dificultad de manufactura para cada pieza móvil aumentarían.
- » **Considerar si mantener dos punteros iguales es una buena opción** ya que si están al mismo nivel obstaculizarían al usuario a la hora de realizar la tarea y probablemente le harían pulsar teclas involuntariamente.
- » **Localizar la base del puntero a un costado de la mano** para evitar tener que añadir un elemento extra en la parte inferior de la mano del usuario que le impida al producto desplazarse hacia arriba en exceso por la fuerza de reacción al pulsar las teclas. Además, se busca no cubrir el miembro superior más de lo necesario, por lo que un producto que siga la curvatura de la parte lateral del brazo podría evitar ese problema.

Con estos insumos, se procede a realizar una segunda ideación de propuestas.

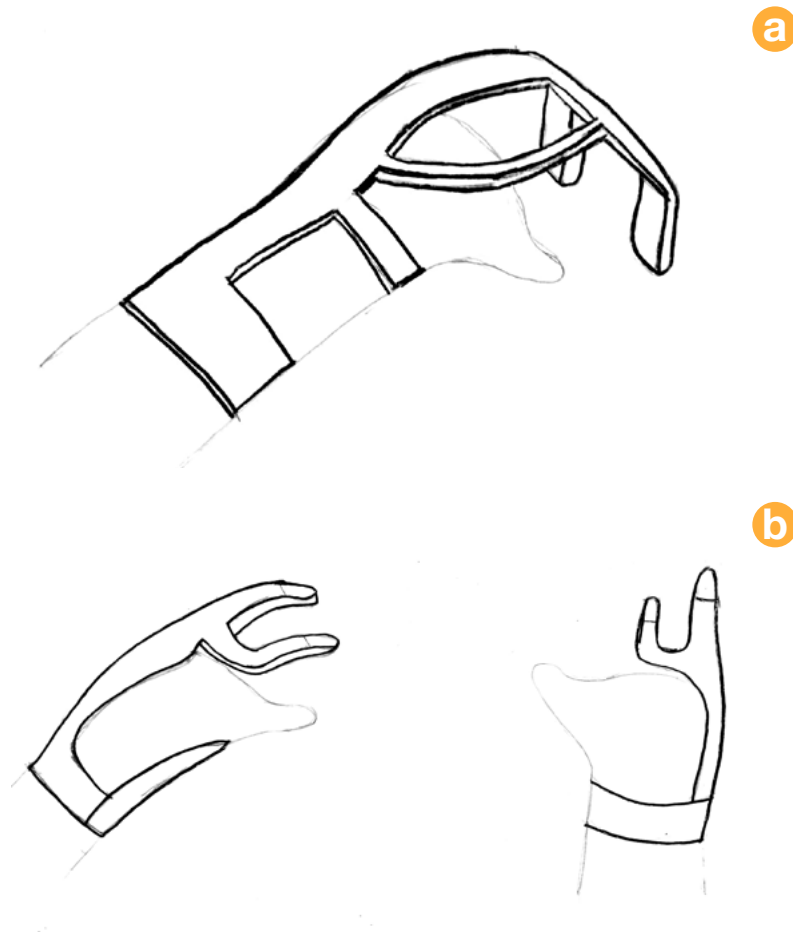


Figura 31. Segundas propuestas desarrolladas para el diseño de una ayuda técnica para uso del teclado.

Tomando en cuenta los puntos anteriores, se puede notar que ambas propuestas esta vez son completamente rígidas y se ajustan desde la parte lateral de la mano. La propuesta “a” tiene un elemento de refuerzo para darle mayor estabilidad a las partes salientes. En este caso, por la simplicidad que se busca para el producto, se tomó la propuesta “b” como ganadora y se procedió a detallar y luego a modelar por medio del software *Rhinoceros 7*, dicho modelo dará lugar a conclusiones fundamentales para esta etapa.

10.2 Selección de la Propuesta

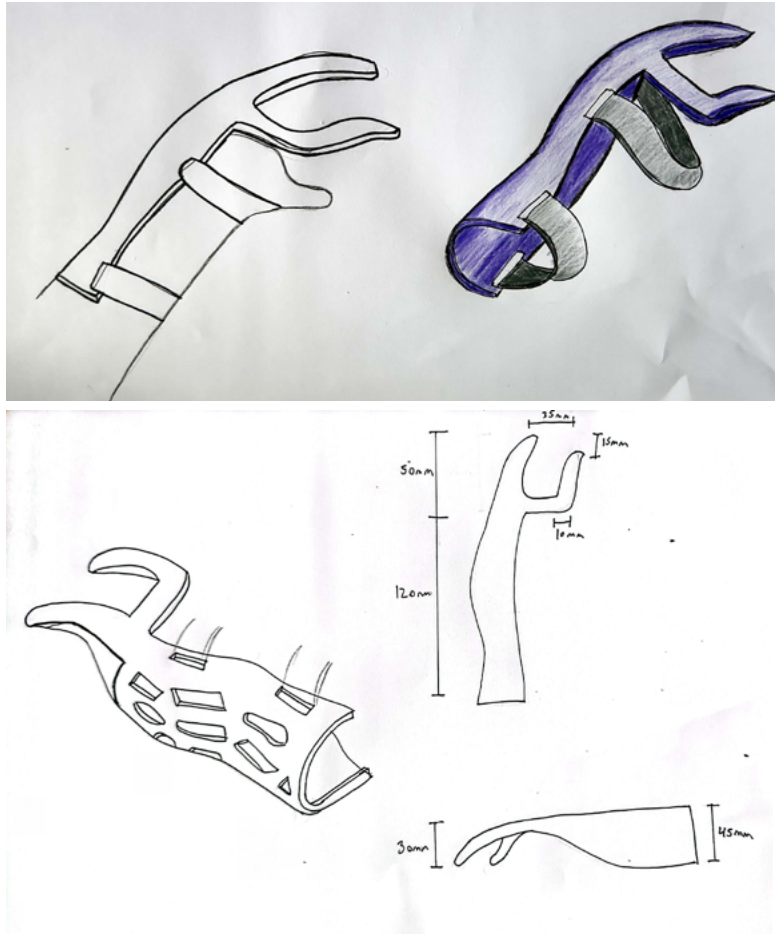


Figura 32. Propuesta seleccionada para continuar con el desarrollo del proyecto

A la propuesta detallada se le agregó un sistema de sujeción elástica o de correa de velcro que recorriera el antebrazo y la palma de la mano.

Las medidas determinadas tienen su fundamentación en la investigación previa:

- » **120 mm** es la distancia que a lo largo de la extremidad cubre la ayuda técnica. Se consideró, con ayuda del modelo de la mano impreso en 3D, una cobertura que asegurara que el producto se mantendría en su lugar sin invadir más secciones de la mano y el antebrazo de las que fueran necesarias.
- » Los **50 mm** que recorre el puntero mayor hacia adelante se relacionan con la distancia que hay desde el pulgar posicionado sobre la barra

espaciadora hasta la primera línea alfanumérica del teclado. Ya que se pretende que Geovanny pueda utilizar su pulgar, como fue recomendado por los expertos en las entrevistas de la primera etapa, para accionar la barra espaciadora, se pensó en basarse en ese hecho para determinar la distancia que debía recorrer el puntero.

- » El puntero menor en este caso está **15 mm** hacia atrás y **35 mm** a la derecha, porque de esta forma y según lo investigado en la sección 9.3 de la etapa 2, puede alcanzar la fila anterior y dos teclas a la derecha, para evitar que se obstaculice la función de cada puntero y favorecer la visión del usuario. En este punto se determinó que asegurar la visibilidad del usuario es un requisito de diseño, puesto que una persona con dedos totalmente funcionales puede sentir dónde se encuentran los mismos, pero una persona con amputación o malformación de mano debe valerse de su visión para poder tener la precisión adecuada para usar una prótesis o producto de apoyo.
- » Los punteros descienden **30 mm** porque esta es la distancia entre la zona desde la que salen y el teclado y está limitada por el plano que pasa paralelo en el punto más bajo de la parte inferior de la mano, para asegurarse de que estos elementos no vayan más allá del volumen dispuesto por la mano de Geovanny y sean más manejables.
- » El ancho del puntero es de **10 mm** porque este es el ancho de una tecla. Un puntero de mayor tamaño provocaría que se accionaran más teclas por error.
- » Se propuso la inclusión de un patrón de agujeros a un lado del producto para reforzar la semántica de modernidad y a su vez favorecer la ventilación para el usuario y disminuir el peso del producto.



Figura 33. Ejemplo de distancia considerada para la selección de dimensiones de la propuesta final

10.3 Desarrollo de la Propuesta y Modelado

Posteriormente, la propuesta seleccionada se recreó en modelado 3D mediante el software *Rhinoceros 7* incluyendo las dimensiones descritas en la sección anterior. El resultado dio lugar a conclusiones valiosas.



Figura 34. Primera versión del producto

En la propuesta, la sección destacada con color verde sería la parte rígida del producto, la que se imprimiría en 3D, mientras que la parte gris se adoptó durante el proceso de modelado y se consideró que fuese una sección flexible, que podía ser manufacturada con flex o con un material textil, que permitiera ahorrar espacio al almacenar el producto y que a su vez le permitiera al usuario ajustarlo a su mano de una forma más cómoda.

Esta primera aproximación a la forma y la función de la ayuda técnica se irá modificando de manera notable durante la siguiente etapa con las pruebas de usuario. Para finalizar esta sección, cabe destacar los aspectos que se consideraron fundamentales y que se debían conservar para futuras modificaciones:

- » Las secciones de la ayuda técnica son tres: La zona rígida que sirve de interfaz con la mano del usuario. Es la que permite el apoyo del producto en el miembro superior. Los punteros que son los que accionan el teclado por medio del momento ascendente y descendente del codo y la mano del usuario y que surgen de la primera zona descrita y la sección que permite que el producto se ajuste a la mano del usuario, que para esta propuesta sería esa parte textil o de polímero flexible que permitía dicho ajuste.
- » Se debe utilizar la menor cantidad de elementos posibles que garanticen el correcto funcionamiento del producto. Se puede notar cómo el volumen y superficie que ocupan las propuestas han venido en descenso al determinar que la función se puede cumplir usando menos elementos.
- » Todas las zonas que estén en contacto con la mano del usuario deben estar a la medida y compartir la topología de esta parte del cuerpo del usuario para garantizar comodidad y una inclusión natural del producto en el cuerpo.

11. Etapa 4: Experimentar

11.1 Maquetación

Con la primera versión del producto finalizada y con la ayuda de las estudiantes de Ingeniería en Diseño Industrial y asistentes de ergoTEC Ana Paula Santamaría y Sabrina García se procedió a realizar una maquetación para visualizar cómo se adaptaría el producto en la mano del usuario.

Además, se tuvo una discusión con respecto a los punteros. Las opiniones de las personas presentes en el laboratorio estuvieron dirigidas hacia la agresividad que presentaban estos elementos por su forma y la precaución de que un elemento tan fino podría significar un peligro para el usuario y las personas alrededor. De esta forma, se procedió a realizar con materiales disponibles en el laboratorio una maqueta de las secciones que estarían en contacto con la mano de Geovanny Vega.



Figura 35. Maquetas realizadas para visualizar la interacción del producto con la mano

Después de este ejercicio, fueron dos los factores que causaron que el diseño de la ayuda técnica se modificara notablemente:

- » Se determinó que utilizar dos punteros aumentaría tanto la carga cognitiva del usuario al tener que estar pendiente de dos elementos a la vez como el riesgo de que accionara más teclas por error, también que se viera obligado a realizar una rotación de muñeca constante para variar entre un puntero y otro o que quisiera priorizar la utilización de uno y el otro quedara inutilizado o con un uso mínimo, diferente a lo que se tenía planteado.
- » Con la maqueta realizada, se concluyó que la sección flexible que sujetaba el producto podía llegar incluso a ser prescindible, ya que por el peso y tamaño de los punteros no se necesitaba un sistema de apoyo tan prominente.
- » En relación con el punto anterior, si se añade una zona de apoyo en la parte inferior de la mano, que de igual forma siga sus dimensiones y topología, y se permite que el puntero salga desde abajo, no sería necesario sujetar el producto con más que un brazaletes, puesto que la misma presión hacia abajo ejercida por la mano lo mantendría en su lugar.

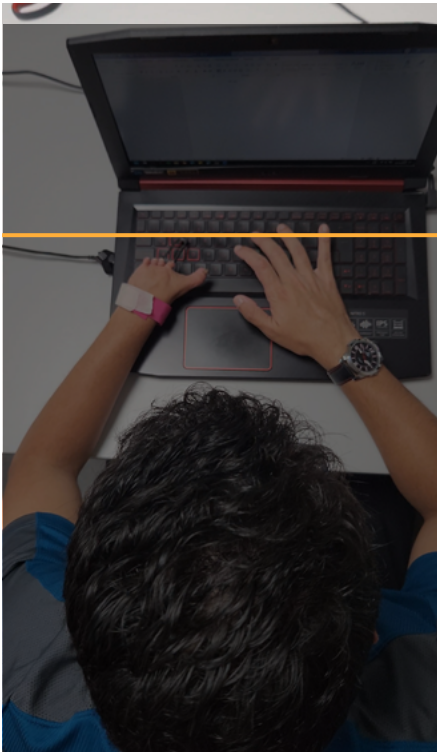
Con estas conclusiones, se hizo una modificación considerable al producto para que cumpliera su función de la manera más óptima posible. Se muestra la segunda versión del producto a continuación.

11.2 Pruebas con el Primer Prototipo



Figura 36. Segunda versión del producto

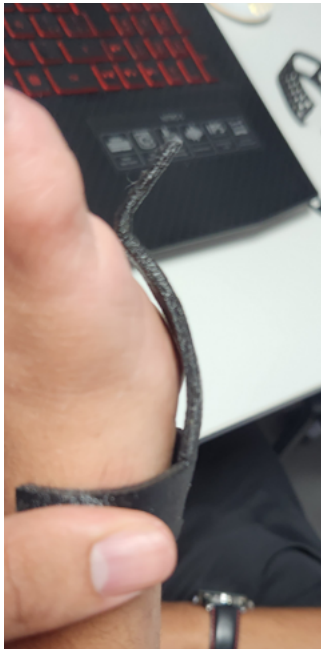
Como se puede apreciar, la segunda versión mantiene esencialmente la zona de interacción y apoyo, en la sección del brazalete y una especie de puente que lo conecta con el puntero y a partir de ahora un solo puntero que se encargará del accionamiento del teclado. Además, se incluyó un patrón de agujeros como fue propuesto en la sección 10.2 para reforzar la semántica de modernidad, permitir la ventilación del brazo y ahorrar material para imprimir. Al puntero también se le removió material con la idea de que el producto fuese más ligero y menos costoso. Este producto se probó con el usuario y los resultados se muestran a continuación:



En primera instancia se puede comprobar que la distancia es adecuada para permitir que el pulgar pueda interactuar con la barra espaciadora. El puntero comparte la línea de acción del índice de la mano derecha.



El brazalete tuvo que cortarse. Se propuso la hipótesis de que el usuario podía colocarse el producto desde arriba, como una pulsera, pero el grosor de la mano y la presión excesiva que se tenía que realizar lo impidieron. El producto se ajustó con una tira de silicón.



El diseño a la medida permitió que el usuario tuviera un espacio de acción que no le impidió el movimiento de la mano.



Después de un esfuerzo considerable, el puntero cedió en la parte que tenía menos material. También se puede apreciar que la superficie que le brinda el producto a la mano puede aumentar para generarle un área de mayor comodidad y control al usuario.

Conclusiones de esta prueba:

- » La remoción de material provocó que aumentara la fragilidad del producto. En la práctica, el material que se ahorra y el peso que se le quita al producto no son tan significativos como para que sea necesario hacerlo. Se concluye no realizar esta remoción de material, sino más bien lo contrario: para garantizar la resistencia del producto se pasará de un grosor de 3 mm a uno de 5 mm.
- » El brazalete debe ser abierto para que la muñeca de Geovanny pueda entrar.
- » Se debe considerar que el puntero tenga nervaduras para evitar que se fracture en la parte de mayor tensión.
- » Se debe aumentar la superficie de la palma que cubre la parte inferior del producto, para lograr un mejor soporte de la mano sobre el producto.
- » Se debe cambiar el ángulo del puntero, ya que Geovanny manifestó que de la forma en la que está debe inclinar su muñeca ligeramente hacia la izquierda, lo que le resultó incómodo.
- » El puntero debe poseer más firmeza para poder presionar las teclas de una mejor forma. El usuario manifestó que era difícil vencer la resistencia que ejercieron las teclas del teclado de escritorio, que son menos sensibles que las de un teclado de computadora portátil.
- » Se debe cambiar la angulación del puntero, 10° a la derecha para permitirle un alcance más cómodo al usuario, según él mismo manifiesta.

11.3 Pruebas con los Segundos Prototipos

Para la siguiente prueba, se realizaron tres modelos que se basaran en las conclusiones de la sección anterior.

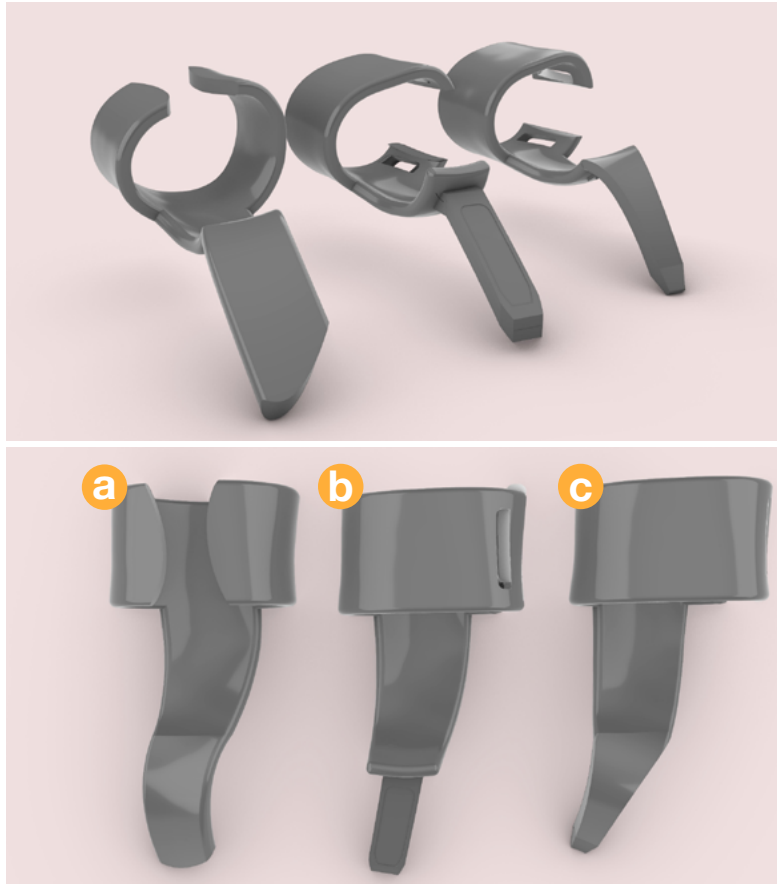


Figura 37. Propuestas para la tercera versión del producto

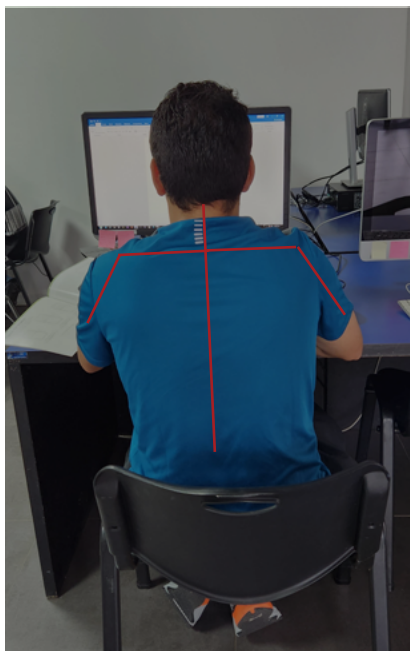
Se puede apreciar que las propuestas son similares, pero tienen diferencias claves entre ellas para validar una forma y prescindir de otra.

- » En la propuesta “a”, el brazalete tiene su abertura en la parte superior, mientras que en las otras dos es en la parte lateral.
- » La propuesta “a” tiene una forma más orgánica, mientras que las demás siguen una línea más directa.
- » El puntero de la propuesta “a” tiene su punta más saliente de un lado para confirmar si le es más cómodo al usuario que el puntero esté más aproximado hacia él.
- » La propuesta “b” tiene una especie de barrera para confirmar si la mano del usuario se apoya mejor y tiene más control o no.



Con un primer vistazo se puede confirmar que el usuario incluso adquiere una postura más recta con su mano izquierda que con la dominante. Los pulgares quedan al mismo nivel y el puntero se asemeja al dedo índice de la mano derecha. Se debe recomendar al usuario, para la etapa final de esta investigación, que debe mantener el teclado más cerca de sí para evitar extensiones antinaturales de hombro y codos. El brazaletes del producto tuvo que cortarse pues al aumentar el grosor, se disminuyó en gran medida la flexibilidad.

Desde el plano posterior se nota un cambio sumamente importante. La lateralización claramente presente en el teclado sin ningún tipo de ayuda se corrige con la utilización del producto de apoyo.





La curvatura genera una interacción natural con la mano del usuario. Se descarta que el tope o barrera ideado para la propuesta “b” sea un elemento necesario, más bien obstaculiza los dedos de Geovanny.



En esta imagen se aprecia el aumento considerable de la superficie que cubre la palma de la mano, lo que brinda mayor confort y manejabilidad. Se notan las nervaduras en la parte inferior del puntero. No obstante, con el aumento del grosor y superficie, el mismo se vuelve lo suficientemente resistente para soportar los esfuerzos que le exige la tarea. La transición entre el puntero y el brazalete puede generar tensiones de corte en la mano, lo que generaría malestar y hasta lesiones.



El brazalete cubre buena parte de la muñeca del usuario, pero el mismo manifestó la dificultad para colocarse el producto; tuvo que ejercer una presión considerable.

Se obtuvieron conclusiones que guían los cambios que debe tener la versión final del producto:

- » El usuario manifestó que la propuesta “a” no lo dejaba ver el teclado con tanta claridad como las otras. El puntero por ende debe tener un grosor de 10 mm. Además, consideró que la lateralización del puntero era incómoda, a diferencia de las otras propuestas.
- » El brazalete debe cubrir la parte inferior de la muñeca para brindar apoyo cuando el usuario deba descansar, mas no debe superar las zonas laterales de la muñeca, ya que al ser un producto ajustado por ser a la medida, si el brazalete es cerrado, no va a poder ingresar a la muñeca porque el material no presenta suficiente flexibilidad.
- » Se deben suavizar con superficies de transición las zonas del brazalete que podrían generar tensiones de corte.
- » La angulación de la propuesta “b” fue determinada como la más cómoda por parte del usuario, por lo tanto se mantendrá

12. Etapa 5: Concretar

12.1 Versión Final del producto

Como resultado de los diferentes ajustes realizados a partir de las conclusiones de las etapas anteriores, se desarrolló a la versión final del producto.

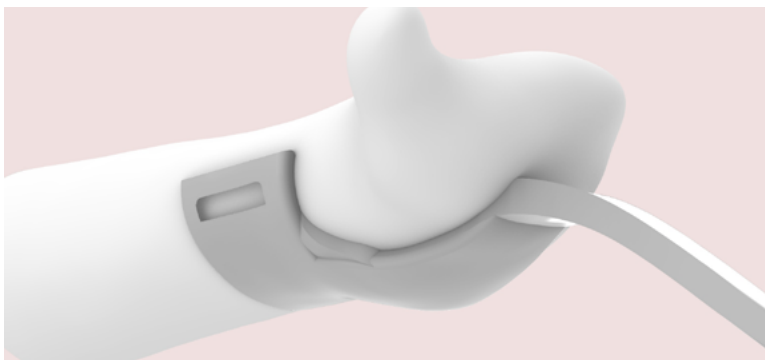


Figura 38. Versión final del producto

A continuación, se explicará el resultado de diseño desde distintas perspectivas:

Ajuste al usuario

La forma en la que el producto se ajusta al usuario está directamente vinculada al proceso de diseño a la medida. Se puede hablar de la parte rígida y de la parte ajustable, ya que la combinación de ambas es lo que genera una sujeción óptima a la extremidad del usuario. La sección rígida fue generada a partir de la misma topología de la palma de Geovanny, como se ve a continuación:

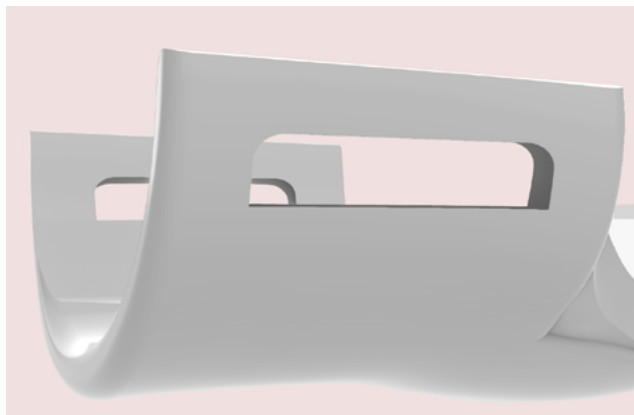


Las funciones de esta sección son:

- » Recibir el movimiento de la mano del usuario y conectar con el puntero para permitir que se mueva.
- » Brindar una superficie de descanso que impida que se dé un roce directo entre la extremidad y el borde de la mesa o el teclado, lo que provocaría una tensión de corte que podría generar lesiones a nivel de muñeca.
- » Ajustarse alrededor de la parte inferior de la muñeca del usuario y proveer los espacios para la inserción del velcro que culminará con la sujeción del producto a la extremidad.

Se definió en 35 mm el ancho del brazaletes para que cubriera una parte suficiente del antebrazo, sin que invadiera la extremidad en exceso y que así no fuera demasiado angosto, lo que incrementaría su fragilidad, como se vio en la sección 11.2 con las pruebas del primer prototipo.

Se dio 25 mm de espacio en los extremos del brazaletes para la inserción de las correas de velcro, con las que el usuario ajusta el producto según se sienta cómodo.



La zona de transición entre el brazaletes y el puntero recorre aproximadamente unos 40 mm. Como se vio en la sección 11.2, se aumentó su anchura para que se ajustara mejor a la palma del usuario y tuviera mayor resistencia. Su topología es igual a la de la sección de la mano que cubre, gracias al escaneo del brazo que se hizo en etapas tempranas.

La sección ajustable consiste en dos correas de velcro que se sujetan a los agujeros de la parte rígida. Están cosidas de forma que no se confunde la orientación que deben tener. Se unen en la parte superior del antebrazo, por lo que no obstaculizan de ninguna forma la tarea de teclado. Su longitud de 6 cm se decidió después de la prueba final con el usuario.



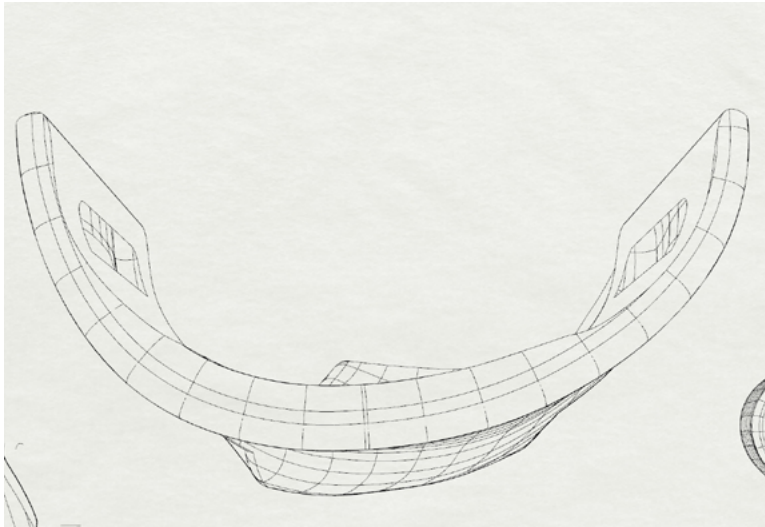
Interfases con el usuario

Las zonas de contacto con el brazo del usuario son el brazalete y la zona de transición entre el brazalete y el puntero. Ambas secciones, como se mencionó anteriormente, comparten la topología del antebrazo, muñeca y palma de la mano del usuario.

Durante las etapas de prototipado se obtuvieron insumos que permitieron ajustar algunos parámetros para que la ayuda técnica fuera segura y no generara ningún malestar. Las siguientes son las características de la interfaz del producto:

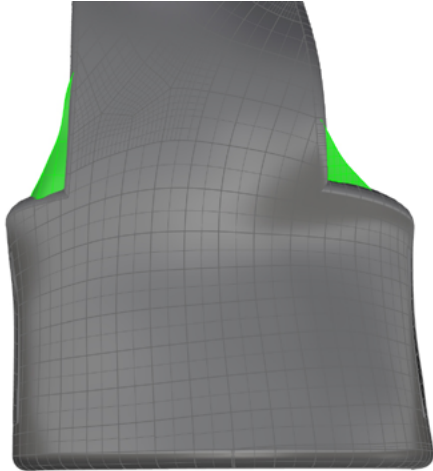
- » Se definió el ABS como material de impresión por su calidad superficial. Esto quiere decir que la superficie del producto es lisa, más de lo que podría ser con otros materiales como el PLA. Esto provee una superficie suave que no genera roces incómodos o molestias.

- » Las correas de velcro se ajustaron de forma que no generaran incomodidad. Las fibras se ocultaron con la parte textil para evitar que se convirtieran en una molestia para el usuario.
- » Se determinó en la sección 11.3 que la mejor locación para el brazaletes era cubriendo toda la parte inferior de la muñeca del usuario, esto debido a que cuando el usuario descansa la muñeca mientras no está tecleando, si el brazaletes termina a mitad de la muñeca, el borde le generaría una presión que podría significar molestias o incluso lesiones. Además, se hizo un ajuste en el grosor del brazaletes, siendo de 4 mm en su parte más ancha, pero de 2 mm llegando al borde del brazaletes, como se ve en la imagen, esto debido a que la inserción del producto en las etapas de prototipado se dificultaba debido a su grosor.



- » La zona de transición entre el puntero y el brazaletes se unía de manera perpendicular, pero se detectó un riesgo de presión de contacto con la parte inferior de la palma de Geovanny, que es más prominente de lo que normalmente sería una palma completamente desarrollada.

Por esta razón se modificó la transición entre ambas superficies y se añadieron pequeñas superficies curvas que impidan el riesgo de lesión e incomodidades que el ángulo recto ofrecía.

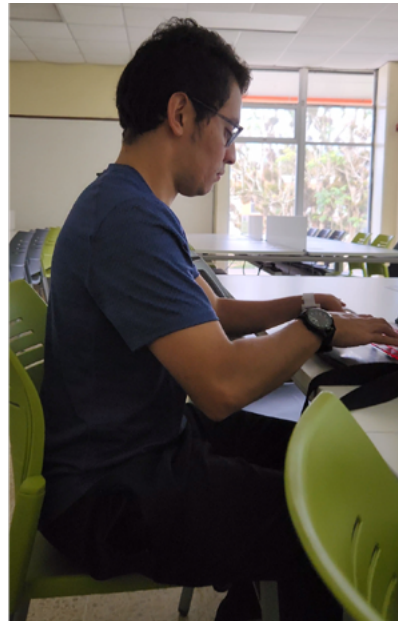


Función

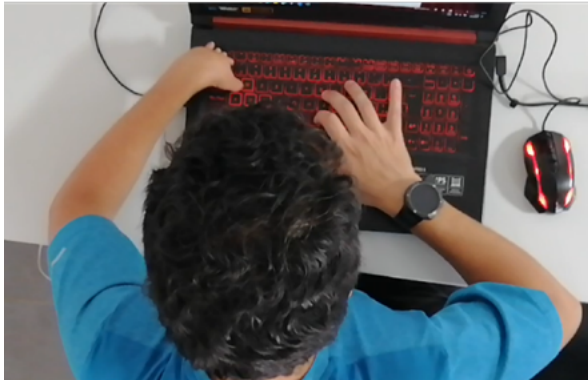
En la ayuda técnica para utilización de teclado la función más importante, el tecleado, la realiza el puntero. Esta parte del producto recibe el movimiento de la mano del usuario y puede pulsar las teclas gracias a la presión hacia abajo que ejerce el mismo con su muñeca y la palma de su mano.

La angulación del puntero, de 10° a la derecha con respecto al eje paralelo al antebrazo del usuario se ajusta mejor a la postura que adopta el usuario y le permite una mejor visión de las teclas que está accionando. El área de la punta del puntero solo cubre una tecla a la vez.

A continuación se demuestra la mejora que genera la utilización de la ayuda técnica a nivel postural:



Con la implementación de la ayuda técnica, desde la vista lateral se puede observar una postura claramente más relajada. Los codos se encuentran más cerca del tronco y los hombros no están alzados. En ambos casos, la mesa no tenía una altura correcta que permitiera que los antebrazos se colocaran a 90° con respecto de los brazos, lo que generaría una postura más correcta, sin embargo, este es un escenario real, ubicado dentro del campus de la institución, en el que Geovanny se desempeñará y la postura debe ser tan correcta como sea posible. También cabe destacar que el usuario ha sido concientizado acerca de la importancia de las buenas posturas a la hora de teclear, lo que pudo haber influido en el cuidado de su parte para mantener una posición más adecuada.



Desde el plano superior se puede notar que se cumplió el objetivo que se tenía desde la realización del análisis ergonómico: hacer que Geovanny utilizara su antebrazo izquierdo como apoyo en la mesa o escritorio y no su codo. Esto genera un gran impacto en la eliminación de la lateralización de su cuerpo durante el desarrollo de la tarea. También genera, como una especie de reacción inconsciente, que pueda posicionar su cabeza más hacia atrás y se siente en una posición más recta.

El cambio más notorio se puede apreciar desde la vista trasera y se verá a continuación.



A la izquierda, se aprecia la peligrosa lateralización que adopta el usuario durante la tarea de tecleado, producto del movimiento hacia adelante de su extremidad izquierda para poder alcanzar las teclas. A la derecha, la misma tarea, pero con el producto de apoyo implementado. La lateralización se elimina y la postura se corrige en gran medida.

La ayuda técnica le brindó a Geovanny un punto de apoyo para su muñeca y una extensión artificial de su cuerpo que le permite realizar la tarea de tecleado de una manera segura.

Facilidad de uso

Desde la etapa de maquetación se definió que el producto de apoyo tendría solo un puntero, en vez de varios, considerando la carga cognitiva que le significaría al usuario controlar varios punteros a la vez y el riesgo de que presionara con frecuencia múltiples teclas a la vez.

El producto es intuitivo, se puede saber con rapidez cómo se coloca y cómo funciona. El ajuste es sencillo, la forma en la que se posiciona el velcro, uno encima del otro, es conocida por la gran mayoría de personas. La forma de colocarse el producto también es sencilla: el usuario coloca su muñeca izquierda sobre el brazalete, sobre una superficie como la de un escritorio por ejemplo y con su mano derecha ajusta el velcro a su gusto.

El puntero tiene una arquitectura que permite la visualización de las teclas que están en la parte derecha inferior; así, permite que el usuario tenga mayor conocimiento de las teclas que está accionando.



Figura 39. Diseño del producto que permite ver las teclas a la derecha del puntero

Las siguientes son las dimensiones utilizadas para el producto, provenientes de los parámetros definidos en las etapas de prototipado:

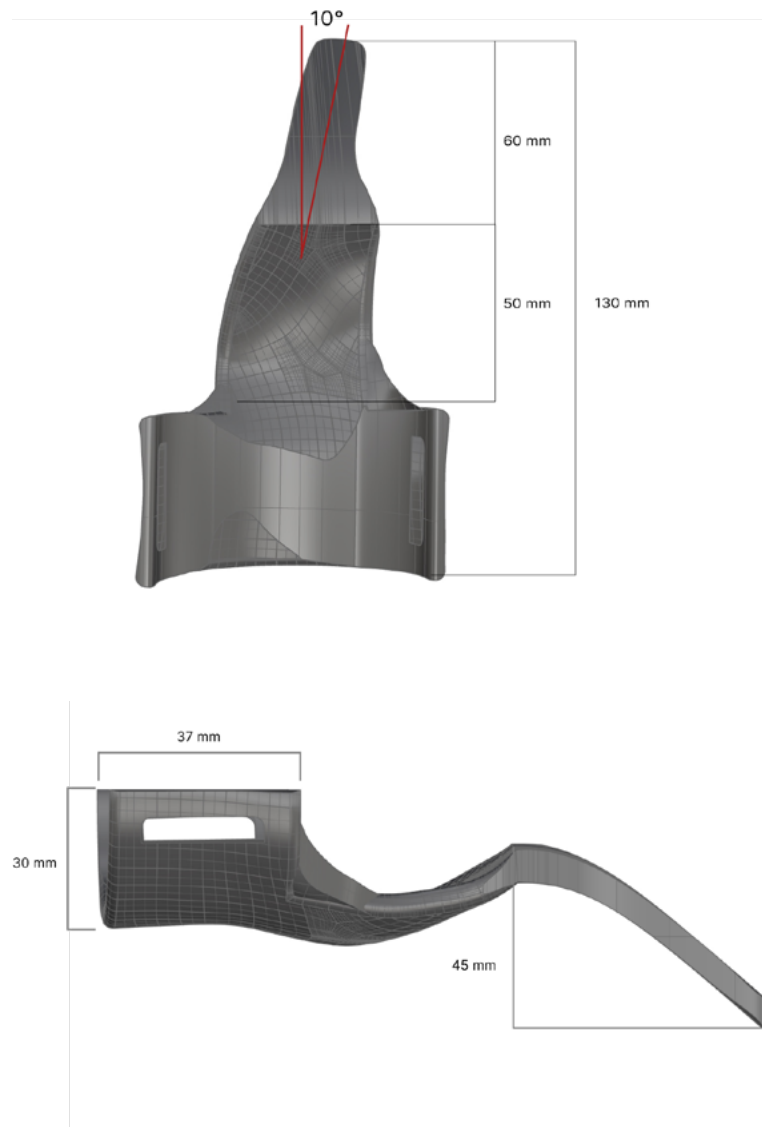
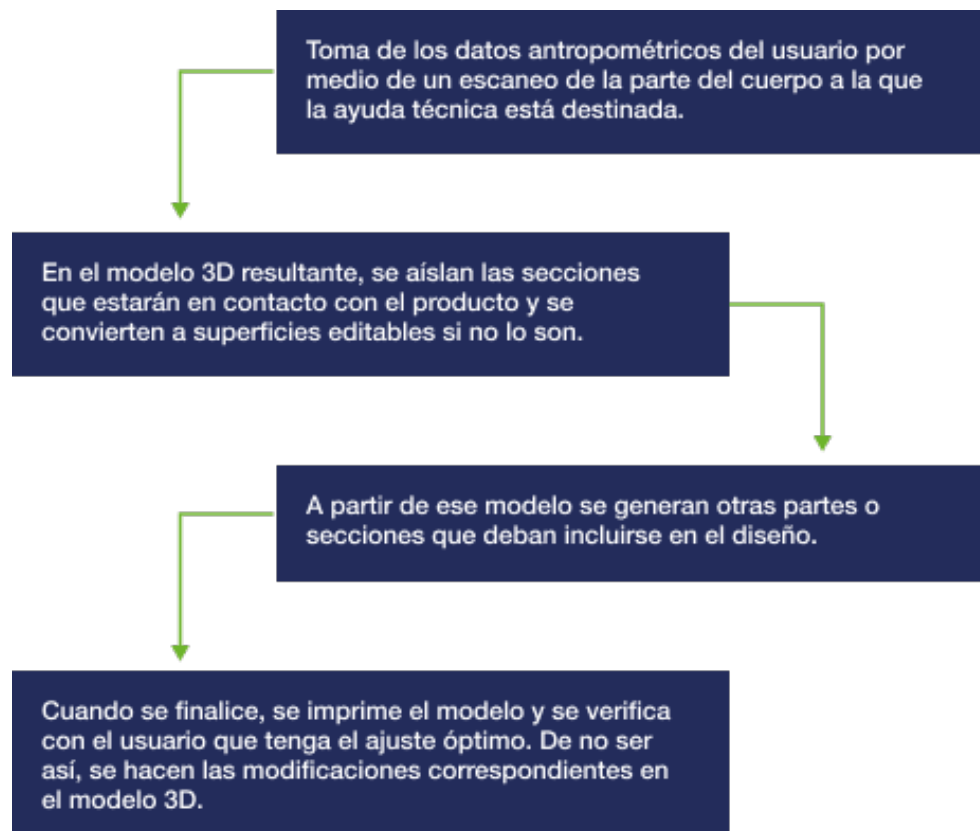


Figura 40. Dimensiones de la ayuda técnica definidas en anteriores etapas del proyecto

Las dimensiones del puntero se remiten a la sección 10.2, en la que se selecciona una propuesta con base en las dimensiones que debe tener el producto para alcanzar las teclas, dejando el pulgar izquierdo al alcance del teclado por si se necesita su intervención.

12.2 Diseño a la medida y orientaciones para el futuro

Este producto se basa en una metodología de diseño a la medida. El siguiente diagrama muestra el proceso que se siguió para este proyecto en específico, pero que puede ser readecuado para otros proyectos que necesiten esta metodología.



Además, se deben tomar en cuenta una serie de recomendaciones que facilitarán el proceso:

- » Imprimir el modelo 3D de la parte del cuerpo escaneada permite verificar dimensiones, ajustes, etc. sin la necesidad de que el usuario esté presente, por lo que es una práctica recomendable.
- » A las secciones de la parte del cuerpo que se toman del modelo resultante del escaneo se les debe aplicar un *offset* hacia fuera antes de modificarlas, esto para asegurarse de que el producto tendrá espacio para que la parte del cuerpo ingese sin problemas.

- » Antes de imprimir las propuestas modeladas, se debe definir si el material de prueba será el mismo que el material final. Se recomienda que así sea, puesto que las propiedades mecánicas y comportamiento de los materiales podrían variar, a menos que la impresión se haga para verificar la forma y arquitectura y no se vaya a probar con el usuario meta.
- » Los archivos deben guardarse en formato STL. Se debe definir el porcentaje de relleno que tendrá el producto, desde un 0% hasta un 90%, dependiendo del peso y la resistencia que se necesita que tenga el producto.
- » Siempre tener en cuenta que el producto se colocará sobre el cuerpo de una persona, por lo que se debe diseñar asegurándose que su arquitectura no representará una molestia o un peligro para el usuario.

En el caso específico de Geovanny, si se le desea brindar otras ayudas técnicas se puede tomar el brazalete desarrollado para este proyecto y construir elementos a partir de él. Se debe recordar que su pulgar es funcional, mas no tiene el tamaño de su pulgar derecho, mientras que los demás dedos no son funcionales, pero no deben ser descartados ya que el producto podría invadirlos y generar disconformidad.

Se demostró en el caso de Geovanny que un *offset* hacia afuera de apenas 1 mm en el modelo resultante del escaneo es suficiente para que quede espacio para su extremidad, sin que sobre demasiado como para que no se ajuste adecuadamente.

12.3 Validación de requerimientos y funciones

A continuación, se retomarán los requerimientos propuestos en las secciones 9.4 y 9.5. De esta forma y con la información mostrada anteriormente se podrá validar que el producto cumple con lo que se definió en la etapa 2.

Funciones (sección 9.4)



Si se lee el diagrama con las funciones principal y secundarias, se pueden relacionar las mismas con el producto final. En primera instancia se puede observar que en las etapas iniciales del proyecto se consideraba añadir más de un puntero, lo que fue descartado según las razones explicadas en secciones anteriores. Además, la función “emular la flexión de las falanges” fue incluida en algunas propuestas en las primeras secciones de la etapa 3: crear. Se incluyó en forma de dedos a los que se les podía ajustar la inclinación para que emularan esa flexión de forma natural. Sin embargo, en la versión final, esa flexión se transforma en una curvatura que, aunque su cambio de dirección sea continuo y no articulado, se basa en el alcance que tienen las falanges de la mano derecha de Geovanny cuando están flexionadas, por lo que sí se termina emulando esa posición en el diseño final.

Requerimientos (sección 9.5)

Para ejemplificar de mejor forma cómo se validan las funciones, se repasarán los requerimientos propuestos en la sección 9.5.

Requerimiento	Requisito	Tipo	Parámetros
Cómodo	Zona de contacto suave	I	Zona mano-producto lisa, no genera tensión de corte
	Adaptarse perfectamente a la mano	I	Diseño a partir del escaneo de la mano
	Sujetarse con firmeza	I	Ajuste con correa, velcro, elástico o cobertura de silicón a medida

El requerimiento de comodidad se cumple por medio de los requisitos:

- » Se tiene una zona de contacto lisa y suave en el brazaletes y la sección de transición entre el brazaletes y el puntero.
- » Se adapta a la mano de manera óptima al respetarse el proceso de diseño a la medida.
- » Se sujeta el producto con firmeza por medio de dos correas de velcro que se unen en la parte superior de la muñeca del usuario.

Requerimiento	Requisito	Tipo	Parámetros
Resistente	Que el material no se quiebre con facilidad	I	Polímero nylon o ABS
	Resistente a las condiciones climáticas	D	Valorar la inclusión de refuerzo de fibra de carbono en la arquitectura
	Posee una forma de almacenamiento para transportarlo de forma segura*	D	Grosor de material de no menos de 5 mm* Recubrimiento de ABS contraforma para proteger el puntero y caja para transporte*

El requerimiento de resistencia se cumple por medio de los requisitos:

- » El material ABS brinda buena resistencia a la hora de realizar la tarea.
- » El mismo material resiste a la humedad y la radiación ultravioleta por lo que el producto puede ser utilizado incluso en exteriores.
- » En la siguiente sección se apreciará el resultado de la forma de almacenamiento propuesta para proteger el producto.

Requerimiento	Requisito	Tipo	Parámetros
Fácil de colocar y quitar	<p>Posee un solo mecanismo de colocación</p> <p>Los mecanismos de cierre y ajuste son de fácil manipulación</p> <p>Los mecanismos de cierre y ajuste son visibles e intuitivos</p>	<p>D</p> <p>I</p> <p>I</p>	<p>Un mecanismo de colocación con velcro o botón visible en el exterior</p> <p>Mecanismo manipulable con una sola mano, no debe oponer resistencia excesiva</p> <p>El brazalete debe calzar sin ejercer presión*</p> <p>El brazalete debe poseer ranuras para la sujeción de la correa*</p>

El requerimiento de facilidad de colocación y remoción se cumple por medio de los siguientes requisitos:

- » El producto solo se ajusta por medio del mecanismo de velcro.
- » Manipular las correas de velcro es fácil, se hace con una mano y es intuitivo.
- » El mecanismo de cierre no está oculto ni es difícil de encontrar. A primera vista se conoce su función y cumple la misma correctamente.

Requerimiento	Requisito	Tipo	Parámetros
Ligero	No representa una carga considerable para el usuario	I	Peso de no más de 150 g, basado en referenciales

El requerimiento de ligereza se cumple por medio del requisito:

- » El peso de la ayuda técnica está muy por debajo de los referenciales estudiados. El relleno de 10% de material permite una disminución de material considerable sin reducir en demasía la eficacia mecánica y a su vez brinda una importante reducción en el peso.

Requerimiento	Requisito	Tipo	Parámetros
Fácil de mantener y limpiar	<p>Cada lugar del producto es accesible.</p> <p>El producto se puede limpiar con agua, alcohol, desinfectantes, etc.</p>	<p>D</p> <p>I</p>	<p>Espacios amplios para permitir el ingreso de la mano para la limpieza. Si se utilizan uniones no permanentes, que sean estandarizadas para remover.</p> <p>El material no se debilita con agua. No utilizar plástico PLA.</p>

El requerimiento de facilidad de manutención y limpieza se cumple por medio de los siguientes requisitos:

- » El producto no posee lugares de difícil acceso.
- » El polímero ABS no pierde su consistencia ni sus características al ser limpiado con agua u otros líquidos, a diferencia de lo que pueda pasar con otros polímeros.

Requerimiento	Requisito	Tipo	Parámetros
Permite una postura adecuada	<p>Mantiene los ángulos de confort</p> <p>Evita la extensión excesiva del brazo izquierdo</p> <p>Permite presionar las teclas sin mucho esfuerzo</p> <p>No cambia su efectividad en diferentes teclados</p> <p>El producto no obstruye el movimiento de la mano derecha</p>	<p>I</p> <p>I</p> <p>I</p> <p>I</p> <p>I</p>	<p>Mantiene los ángulos 90°-100° brazo-antebrazo; 0°-10° mano-antebrazo.</p> <p>No se presenta o es mínima la abducción del brazo izquierdo.</p> <p>La columna se mantiene perpendicular al suelo.</p> <p>Debe tener la resistencia para ejercer una fuerza de 0.58 N sin deformarse.</p> <p>No se presenta levantamiento de hombros.</p> <p>Las extensiones del producto mantienen una desviación de exactamente 10° con respecto a la línea del antebrazo*</p>

El requerimiento de permitir una postura adecuada se cumple por medio de los siguientes requisitos:

- » En la sección anterior se pudo comprobar cómo la utilización de la ayuda técnica disminuye en gran medida las posturas inadecuadas por parte del usuario durante la acción de tecleado.

- » La composición del producto y su rigidez le permiten al usuario vencer la resistencia que ejercen las teclas sin que la integridad del producto se vea comprometida.
- » El producto funciona en diferentes teclados de forma igualmente efectiva.
- » El producto no obstruye el movimiento de la mano derecha, solo posee un puntero que no interviene del lado derecho del teclado y más bien permite la visibilidad de las teclas que se encuentran en la parte inferior derecha del teclado.

Requerimiento	Requisito	Tipo	Parámetros
Permite alcanzar las teclas para accionarlas	<p>El puntero es lo suficientemente largo y tiene la inclinación adecuada para accionar las teclas</p> <p>Posee un solo puntero para garantizar una baja carga cognitiva y mayor visibilidad*</p>	I	<p>El puntero tiene una extensión de 50 mm desde los dedos. Desciende 30 mm hasta llegar al nivel de la parte inferior de la muñeca.</p> <p>Se desvía 10° a la derecha con respecto a la línea del antebrazo*</p> <p>El puntero tiene un área de contacto de menos de 10 mm</p>

El requerimiento de permitir el alcance de las teclas para su accionamiento se cumple por medio de los siguientes requisitos:

- » El puntero recorre desde los dedos la longitud definida en los parámetros, 50 mm, y luego desciende 30 mm al nivel de la parte inferior de la muñeca. De esta forma se alinean las muñecas del usuario y se tiene la inclinación adecuada para poder accionar las teclas.
- » En etapas posteriores a la redacción de los requerimientos, se definió que el producto solo debía tener un puntero, lo cual se cumplió.

Con las pruebas de usuario de la etapa 4 y el repaso del árbol de funciones y la tabla de requerimientos para comprobar que se cumplieron en su totalidad, se puede dar el producto como validado.

12.4 Aportes al diseño emocional

En la sección 9.9 Análisis Perceptual se recalcó la importancia de que el usuario se viera atraído hacia el producto que se diseñaría. Luego de un periodo de convivencia con él, se puede notar que Geovanny, quizá de manera automática, recurre a introducir su mano izquierda dentro de la bolsa de su pantalón para evitar miradas curiosas por parte de las demás personas. Un producto que fuera en exceso llamativo atraería una atención que el usuario no desea ni está buscando por parte de los demás.

En el Análisis Perceptual se propuso que el producto no pareciera un dispositivo terapéutico, sino que comunicara modernidad y simpleza. A continuación se muestra el cuadrante “simple y moderno” junto al producto creado.



De esta forma se puede confirmar la similitud del producto con los que se encuentran en su cuadrante objetivo. La mayor intención de esta perceptualidad va enfocada a generar un sentimiento de apego al producto por su estética.

Se creó una caja protectora para poder transportar el producto con una reducción el riesgo de que se dañe.



Figura 41. Caja protectora para la ayuda técnica

La caja posee en su interior una pieza impresa en 3D con una contraforma para poder introducir el puntero de la ayuda técnica y así darle protección adicional. No obstante, otra función de la caja aparte de proteger es la de brindar una perceptualidad de importancia, de apego, como cuando se abre la caja de un celular nuevo y se retira con el mayor de los cuidados. Con una construcción cuidadosa y una combinación de materiales y texturas por parte del acrílico y MDF para reforzar el mensaje de modernidad, se le brinda al usuario un producto final que se nota cuidadosamente manufacturado, lo que aumentará el deseo de cuidarlo y utilizarlo.

En una entrevista final, se le consultó a Geovanny si la apariencia del producto le parecía llamativa, a lo que respondió que “el producto se percibe bien y tiene una bonita apariencia” y también que sí lo utilizaría sin problemas en espacios públicos, al ser sencillo, de un color neutro y discreto.

Finalmente cabe destacar que el usuario se notaba emocionado por el resultado final, incluso solicitó tomar fotografías del producto. Se puede concluir que el producto logró su cometido y es del agrado del usuario, quien ya lo empieza a adoptar como suyo.

12.5 Materiales y costos

La manufactura del producto se realizó dentro del campus del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Los materiales utilizados para la creación del producto final son los siguientes:

- » ABS
- » Velcro
- » MDF
- » Acrílico
- » Adhesivo

El costo de la impresión de ambas piezas, la ayuda técnica y el protector del puntero es de 4500 colones y el proceso tarda 7,40 horas y consume 20,77 metros de filamento, según lo consultado a Fabián Solís, técnico de la Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial.

El corte y grabado del MDF y acrílico tarda aproximadamente 6 minutos y se valora en 1100 colones.

Un metro de velcro se vende en 200 colones, mientras que el adhesivo utilizado (silicón) se consigue en 350 colones exactos.

El costo total de la fabricación de la ayuda técnica es de 6150 colones, lo que lo convierte en una opción sumamente económica gracias a una tecnología como la impresión en 3D

Conclusiones

El objetivo principal “Diseñar una ayuda técnica para la mano izquierda de Geovanny Vega, que le facilite la utilización de un teclado común de computadora de escritorio o portátil, como apoyo a su actividad estudiantil” fue logrado según se mostró durante todo el contenido del presente informe. Se puede concluir que:

- » El producto corrige las posturas incorrectas y forzadas que son adoptadas por el usuario durante la tarea de teclado.
- » El producto entra dentro de la categoría de ayuda técnica específica para la utilización del teclado y fue optimizado para que cumpliera con sus funciones.
- » La ayuda técnica se adapta a la mano izquierda del usuario como resultado de un proceso de diseño a la medida.
- » Se consiguió diseñar un producto efectivo a un bajo costo.
- » El proceso de diseño utilizado servirá de referencia para proyectos similares de ergoTEC.
- » Las etapas del proceso arrojaron resultados satisfactorios para el desarrollo del proyecto.

De esta forma se puede validar el éxito del proyecto y el cumplimiento de los objetivos propuestos desde las primeras etapas.

Recomendaciones

Se recomienda al usuario:

- » Adoptar posturas adecuadas a la hora de teclear.
- » En su casa de habitación, utilizar un escritorio que permita una angulación cercana a los 90° entre el brazo y el antebrazo.
- » Colocar la pantalla de la computadora al nivel de los ojos para evitar lesiones en el cuello.
- » Tomar descansos cortos y pausas activas cada hora.
- » Utilizar un teclado de PC de escritorio cuando sea posible, para tener un mayor espacio de acción.
- » Puede inclinar el teclado ligeramente hacia él con una angulación de no más de 20° para evitar flexiones peligrosas de muñeca.
- » Cuidar la ayuda técnica de golpes fuertes y colocarla en su caja de protección cuando no se esté utilizando.

- [1] Healthy Children, “Malformaciones congénitas”, HealthyChildren.org, 2019. [Online]. Available: <https://www.healthychildren.org/Spanish/health-issues/conditions/developmental-disabilities/Paginas/Congenital-Abnormalities.aspx>. [Accessed: 09- Aug- 2022].
- [2] Organización Mundial de la Salud, “Anomalías congénitas”, Who.int, 2022. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/congenital-anomalies#:~:text=Las%20anomal%C3%ADas%20cong%C3%A9nitas%20pueden%20ocasionar,y%20el%20s%C3%ADndrome%20de%20Down>. [Accessed: 09- Aug- 2022].
- [3] Caja Costarricense de Seguro Social, “Guía de Accesibilidad para todos”, Binasss.sa.cr. [Online]. Available: <https://www.binasss.sa.cr/protocolos/accesibilidad.pdf>. [Accessed: 09- Aug- 2022].
- [4] “Las Ayudas Técnicas Esas Grandes desconocidas,” Asem Galicia, 2008. [Online]. Available: <http://www.asemgalicia.com/wp-content/uploads/Las-ayudas-tecnicas-Esas-grandes-desconocidas.pdf>. [Accessed: 21-Nov-2022].
- [5] “Prótesis - Definición,” FisioOnline. [Online]. Available: <https://www.fisioterapia-online.com/glosario/protesis>. [Accessed: 21-Nov-2022].
- [6] “Simbraquidactilia,” Stanford Medicine Children’s Health. [Online]. Available: <https://www.stanfordchildrens.org/es/service/hand-upper-limb-surgery/symbrachydactyly#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20simbraquidactilia%3F,algunos%20o%20todos%20los%20dedos>. [Accessed: 21-Nov-2022].
- [7] F. Del Piñal, “Malformaciones congénitas de la mano: Respuesta Quirúrgica,” Dr. Piñal y Asociados, 28-Jun-2018. [Online]. Available: <https://drpinal.com/malformaciones-congenitas-mano-nacimiento-microcirugia-video-dr-pinal/>. [Accessed: 21-Nov-2022].
- [8] G. Spinel, “Repositorio institucional - pontificia universidad javeriana,” Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Javeriana, 2004. [Online]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/>. [Accessed: 21-Nov-2022].
- [9] M. Sáenz, “Lección 07 Ángulos de movimiento”, Escuela de Diseño Industrial, 2019.
- [10] M. Araya, “Lección 04 Método Escuela IDI”, Escuela de Diseño Industrial, 2018.
- [11] J. Stokosa, “Opciones de prótesis de miembros - Temas especiales - Manual MSD versión para público general”, Manual MSD versión para público general, 2021. [Online]. Available: <https://www.merckmanuals.com/es-us/hogar/temas-especiales/miembro-prot%C3%A9sico/opciones-de-pr%C3%B3tesis-de-miembros>. [Accessed: 13- Oct- 2022].

[12]W. Williams, “Open Bionics Hero Arm”, Bionics For Everyone, 2021. [Online]. Available: <https://bionicsforeveryone.com/open-bionics-hero-arm/>. [Accessed: 17- Oct- 2022].

[13]W. Williams, “Bionic Hand Price List”, Bionics For Everyone, 2021. [Online]. Available: <https://bionicsforeveryone.com/bionic-hand-price-list/>. [Accessed: 17- Oct- 2022].

[14]”Freestyle Swimming Device”, Fillauer LLC | Orthotics and Prosthetics Manufacturer. [Online]. Available: <https://fillauer.com/products/freestyle-swimming-device/>. [Accessed: 15- Aug- 2022].

[15]J. Esparza-García, “Diseño de material de apoyo para facilitar la autonomía de personas con malformaciones hipoplásicas de la mano”, *Academica-e.unavarra.es*, 2019. [Online]. Available: https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/33824/TFE_Jerusalen_Esparza.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Accessed: 18- Oct- 2022].

[16]R. Galán and M. Vergara, “Prótesis impresa en 3D para la rehabilitación de amputaciones digitales: presentación de un diseño mecánico”, *Ciplastica*, 2019. [Online]. Available: <https://www.ciplastica.com/ojs/index.php/rccp/article/view/113>. [Accessed: 18- Oct- 2022].

[17]E. López-López, R. Martínez-Méndez and A. González, “Diseño de una prótesis de mano para uso en teclados con interfaz sEMG.”, *Redalyc.org*, 2019. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5122/512259512003/html/>. [Accessed: 18- Oct- 2022].

[18]J. Sequeiros, “Consejos sobre la postura corporal ante el teclado”, 2013. [Online]. Available: <https://jsequeiros.com/postura-corporal-ante-el-teclado.html>. [Accessed: 30- Oct-2022].

[19]M. Sacristán, “5 consejos para sentarte de forma correcta frente a la pc”. 2021. Available: https://www.youtube.com/watch?v=9zs_mYNeAjI

[20] “RULA,” *Ergonautas*. [Online]. Available: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>. [Accessed: 31-Oct-2022].

[21] “JSI,” *Ergonautas*. [Online]. Available: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php>. [Accessed: 31-Oct-2022].

[22] “Ergoniza One,” *Ergonautas*. [Online]. Available: <https://www.ergonautas.upv.es/ergoniza/app/index.html>. [Accessed: 31-Oct-2022].

[23]“Uso del teclado”, *Support.microsoft.com*. [Online]. Available: <https://support.microsoft.com/es-es/windows/uso-del-teclado-18b2efc1-9e32-ba5a-0896-676f9f3b994f#:~:text=Procurar%20colocar%20las%20palmas%20o,los%20brazos%20y%20las%20manos>. [Accessed: 04- Sep- 2022].

Bibliografía

- [24]Videos Bos, MECANOGRAFÍA - ¿Cómo Escribir a Ordenador?. 2017. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=gMQNV51auPs>. [Accessed: 04- Sep- 2022].
- [25]E. Wilhide, Diseño. Toda la historia., 1st ed. Londres: Blume, 2017, p. 61.
- [26]E. Otero, "Tipos de teclado: Estos son todos los que existen," Profesional Review, 29-May-2022. [Online]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2022/05/29/tipos-de-teclado/>. [Accessed: 04-Nov-2022].
- [27]J. Ancajima-Rodríguez, SELECCIÓN DE MATERIAL DE FABRICACIÓN PARA PRÓTESIS UTILITARIA DE EXTREMIDAD SUPERIOR IMPRESA EN 3D. Piura, 2019. Available: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3902>. [Accessed: 19- Aug- 2022].
- [28]S. S., "Guía completa: plásticos en la impresión 3D", 3Dnatives, 2020. [Online]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/#!>. [Accessed: 20- Aug- 2022].
- [29]A. Marchante, "¿Qué características tiene el nylon en la impresión 3D?", 3Dnatives, 2020. [Online]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/caracteristicas-tiene-nylon-en-impresion-3d-120320202/>. [Accessed: 20- Aug- 2022].
- [30]"Todo sobre el filamento flexible para impresoras 3D," Imprimakers, 18-May-2020. [Online]. Available: <https://imprimakers.com/es/todo-sobre-el-filamento-flexible-para-impresoras-3d/>. [Accessed: 08-Nov-2022].
- [31]J. Ancajima-Rodríguez, SELECCIÓN DE MATERIAL DE FABRICACIÓN PARA PRÓTESIS UTILITARIA DE EXTREMIDAD SUPERIOR IMPRESA EN 3D. Piura, 2019. Available: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3902>. [Accessed: 19- Aug- 2022].
- [32]"Estereolitografía | 3D Systems", 3D Systems. [Online]. Available: <https://es.3dsystems.com/stereolithography>. [Accessed: 21- Aug- 2022].
- [33]"Tipos de impresoras 3D y técnicas de impresión: una rápida visión en conjunto - BCN3D Technologies", BCN3D Technologies, 2021. [Online]. Available: <https://www.bcn3d.com/es/tipos-de-impresoras-3d-y-tecnicas-de-impresion-una-rapida-vision-en-conjunto/>. [Accessed: 21- Aug- 2022].
- [34]S. S., "Guía completa: Material Jetting, te explicamos todo! - 3Dnatives", 3Dnatives, 2019. [Online]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/la-impresion-3d-polyjet23072015/#!>. [Accessed: 21- Aug- 2022].
- [35]"Binder Jetting o inyección aglutinante: qué es, aplicaciones y ventajas", Laboratorios 3D, 2021. [Online]. Available: <https://laboratorios3d.es/blog/binder-jetting-aplicaciones-ventajas/#:~:text=Binder%20Jetting%2C%20tambi%C3%A9n%20conocida%20como,selectivo%20por%20%C3%A1ser%20o%20SLS>. [Accessed: 21- Aug- 2022].