

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DEL SUR DE GUANAJUATO



Análisis e implementación de estructura 2025 para un generador de voz sobre una silla de ruedas

Opción 2: Titulación Integral - Tesis Profesional

Elaborado por:

AXEL LEONARDO RODRIGUEZ RODRIGUEZ

JORGE FRANCISCO MONTERO PACHECO

Que presentan para obtener el título de:

INGENIERO EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

Asesor:

Dr. Carlos Alberto Fuentes Hernández

Uriangato, Gto.

Agosto de 2025

“Análisis e implementación de estructura 2025 para un generador de voz sobre una silla de ruedas”

Elaborada por:

Axel Leonardo Rodriguez Rodriguez

Jorge Francisco Montero Pacheco

Aprobado por.

Dr. Carlos Alberto Fuentes Hernández.
Docente de la carrera de Ingeniería Electrónica.
Asesor de Tesis profesional.

Revisado por.

M.C. Susana Violeta Martínez Hernández.
Docente de la carrera de Ingeniería Electrónica.
Revisor de Tesis profesional.

Revisado por.

M.C. Netzahualcóyotl Martínez Cázares.
Docente de la carrera de Ingeniería Electrónica.
Revisor de Tesis profesional.



LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

Uriangato, Gto., 18/agosto//2025

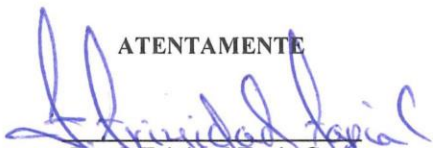
Asunto: Liberación de proyecto para la titulación integral

M.C. José Gabriel Aguilera González
Director Académico
ITSUR
PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

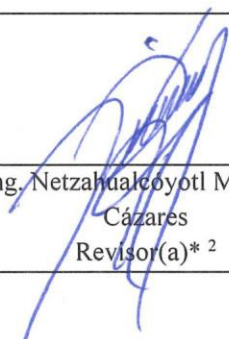
Nombre de estudiante y/o egresado(a): Axel Leonardo Rodriguez Rodriguez	
Carrera: Ingeniería en Sistemas Automotrices	Núm. de control: T20120095
Nombre del proyecto: Desarrollo de estructura mecánica para sistema de comunicación para persona discapacitada	
Producto: Tesis Profesional	

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestras y nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Ing. J. Trinidad Tapia Cruz
Subdirector Académico
ITSUR



La comisión revisora ha tenido a bien aprobar la reproducción de este trabajo.

		
Dr. Carlos Alberto Fuentes Hernández Asesor (a)	M.C. Susana Violeta Martínez Hernández Revisor(a)* ¹	Ing. Netzahualcóyotl Martínez Cázares Revisor(a)* ²

Agradecimientos

Axel Leonardo Rodriguez Rodriguez

Definitivamente hay mucho que comentar aquí, quiero agradecer a mucha gente, principalmente a mi familia, le doy gracias a dios por bendecirme por vivir en una familia en la que te apoyan sin importar las circunstancias, una familia en la que a pesar de los altibajos durante lo que fue todo este proceso en la universidad nunca te abandonan, para mi padre: Leonardo Rodriguez Pantoja, para mi madre: Leticia Rodriguez Hernandez, para mi tía: Juana Aydee Garzón, mi hermana: Ana Sofia Rodriguez Rodriguez y para mi abuelo: Cecilio Rodriguez Andrade en paz descanse quien siempre me apoyo y tuvo tanta fe en mí, me enseñó sobre perseverancia y sobre siempre seguir adelante a pesar de las circunstancias, agradezco de todo corazón que sean parte de mi vida, sin ellos no llegaría hasta donde estoy y es toda una experiencia donde puedo agradecer profundamente de corazón por haberme apoyado durante toda esta etapa.

Quiero darle agradecimientos a mis amigos y compañeros que me han estado acompañando en todo este trayecto tanto amigos que he conocido antes de la universidad como los que hice durante la universidad, amigos que fueron un apoyo bastante fuerte, que también sin ellos no habría haber podido llegado hasta donde estoy, ellos fueron un pilar de ayuda bastante fuerte como mi familia la cual fue un apoyo increíble en toda esta etapa, en las buenas y en las malas, agradezco y doy gracias de la forma más sincera a todos ellos: Mi amigo y compañero Jorge Francisco Montero Pacheco, Jesús Armando López Nava, Edgar Iván Hernández Hernández, .

Y no menos importante, quiero dar gracias a la mayoría de todos los docentes que he tenido durante toda esta etapa de la carrera, profesores que honestamente fueron un apoyo durante la universidad para el crecimiento profesional, doy gracias sinceras a todos ellos, principalmente al Dr. Carlos Alberto Fuentes Hernández, no solo fue mi asesor durante este proyecto y mi profesor en la universidad, si no

también fue un apoyo durante las últimas etapas de la carrera, también doy gracias a la profesora Susana Violeta Martínez Hernández, quien nos apoyó con este proyecto y también fue mi profesora durante esta etapa.

Jorge Francisco Montero Pacheco

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento, en primer lugar, al Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato por brindarme la oportunidad de realizar mi proyecto de residencias profesionales en sus instalaciones, así como por la formación integral que me ha proporcionado a lo largo de los cinco años que ha durado mi carrera.

Agradezco especialmente a mis dos asesores, el Dr. Carlos Alberto Fuentes Hernández y la Mtra. Susana Violeta Martínez Hernández, por su guía y apoyo constante durante las dieciséis semanas en las que trabajamos en este proyecto.

De igual forma, quiero agradecer a mi compañero y amigo Axel Leonardo Rodríguez Rodríguez por toda su ayuda y colaboración durante el desarrollo del proyecto; sin su apoyo este proceso no habría tenido el éxito que alcanzó. También reconozco el valioso apoyo de las personas que nos auxiliaron en momentos cruciales, especialmente en aquellas áreas donde éramos principiantes, como Bruno Damián Silva Flores y Alejandro Vega Vallejo, cuya ayuda fue fundamental para llevar a cabo muchas de nuestras actividades.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud a mis amigos más cercanos e importantes, quienes me brindaron su apoyo en incontables ocasiones. Sin su cariño, bromas, juegos, consejos y respaldo incondicional en momentos donde no sabía qué hacer, no habría podido lograr tantos avances ni aprender tanto de la vida. Ellos son: Axel Leonardo Rodríguez Rodríguez, Francisco Javier Jiménez Estrada, Kevin Yahir Bedolla Zavala, Bruno Damián Silva Flores, Arad Abraham Torres López, Jesús Armando López Nava, Víctor Hugo Romero López, Edgar Iván Hernández Hernández, Josué Ramírez Reyes y Miguel Castillo Aguilera.

También quiero agradecer profundamente a mi novia, Mariela González Rico, quien se esforzó mucho por apoyarme durante estos meses de realización del proyecto, brindándome sus consejos, amor y apoyo incondicional para seguir adelante en uno de los momentos más difíciles de los últimos años. Cuando me encontraba sin motivación ni ánimo, ella llegó para hacerme ver que grandes cosas me esperan. Gracias por estar conmigo y formar parte de este logro, así como por darme ánimo y fortaleza.

Finalmente, pero no por ello menos importante, agradezco a mi familia. A mi padre, Jorge Ramón Montero Montes de Oca, por darme la dicha de vivir y educarme durante catorce años; aunque la vida nos haya separado en cierta medida, sé que está viendo este gran logro desde donde quiera que esté y estoy seguro de que se siente orgulloso de lo que he conseguido. A mi hermano, Oliver Arath Montero Pacheco, por ser siempre un motivo más para seguir adelante, por darme la dicha de tener a alguien a quien llamar hermano, por todos esos momentos de risas y bromas que compartimos, y por ser uno de mis pilares fundamentales en la vida.

Por último, quiero expresar mi infinito agradecimiento a la persona más importante de mi vida, mi madre, María Elena Pacheco Romero. Primero, por traerme a este mundo, educarme y corregirme cuando estuve equivocado. Quiero agradecerle todo su esfuerzo y dedicación para sacar adelante a dos niños pequeños, desempeñando desde hace varios años los roles de madre y padre, siempre trabajando y dando lo mejor por sus hijos. Gracias por nunca rendirte, por brindarme la oportunidad de estudiar y por hacer que hoy su esfuerzo comience a dar frutos. Quiero que sepa que todo esto es por ella, y que yo no sería nada sin su amor y apoyo.

Dedicatorias

Axel Leonardo Rodríguez Rodríguez

Quiero dedicar este trabajo especialmente para mi familia, la cual es muy importante para mí y siempre me han apoyado en toda esta etapa la cual estoy terminando,

para mi madre Leticia Rodriguez Hernández, quien siempre fue la voz de la razón y me enseñó siempre a ver el lado bueno de las cosas formándome como persona, a mi padre Leonardo Rodriguez Pantoja, quien me enseñó a ser prudente en la vida, a conservar la serenidad y sensatez incluso en los momentos más difíciles, a mi tía Juana Aydee Garzón, quien me ha dado consejos de vida valiosos que me han ayudado a fortalecerme, a mi hermana Ana Sofia Rodríguez Rodríguez, quien siempre me apoyo dándome ánimos incluso en las malas y a mi abuelo Cecilio Rodríguez Andrade en paz descanse quien me crio y me enseñó valores importantes y educación, siempre quiso ver que pueda seguir adelante con una carrera y a pesar de su ausencia quiero dedicar esta oportunidad por su deseo de que pueda terminar la universidad

También quiero dedicar a mis amigos, los amigos que he hecho a lo largo del camino en esta travesía a mi fiel amigo Carlos Gonzales Vargas, quien a pesar de su situación difícil siempre me apoyo y siempre deseo que pueda seguir adelante sin importar las circunstancias, a mis amigos que me apoyaron durante estos meses desarrollo: Bruno Damián Silva Flores, Kevin Yahir Bedolla Zavala y Francisco Javier Jiménez Estrada , es gracias a todos ellos que he llegado hasta donde estoy y es por eso y su apoyo que dedico esto por sus palabras de ánimo y apoyo.

Y, por último, pero no menos importante dedicar a todos los profesores que he tenido durante esta etapa en la universidad, finalizando con una ingeniería finalmente, dedico a este trabajo a cada profesor que me ayudo a crecer con cada enseñanza y será gracias a todos ellos que creceré en el futuro como un ingeniero.

Jorge Francisco Montero Pacheco

Este proyecto representa mucho más que el cumplimiento de un requisito académico; es el resultado de años de esfuerzo, dedicación y perseverancia. Por ello, deseo dedicarlo con todo mi corazón a aquellas personas que han sido fundamentales en este camino.

En primer lugar, dedico este trabajo a mi familia. A mi madre María Elena Pacheco Romero, por ser mi mayor ejemplo de fortaleza, entrega y amor incondicional. Su apoyo constante, sus sacrificios y su confianza en mí han sido la base sobre la que he construido cada uno de mis logros. A mi padre Jorge Ramon Montero Montes de Oca, quien, a pesar de las circunstancias, ha sido parte esencial de mi formación y de este momento tan importante. A mi hermano Oliver Arath Montero Pacheco, por ser mi compañero de vida, mi motivación diaria y por brindarme siempre una razón más para seguir adelante.

Extiendo esta dedicatoria a mi pareja, Mariela González Rico, por acompañarme en los momentos más desafiantes de este proceso. Su apoyo emocional, su paciencia, sus palabras de aliento y su cariño incondicional han sido un refugio y una fuente constante de motivación para seguir adelante, incluso en los días más complicados.

Asimismo, quiero dedicar este trabajo a quienes tuvieron un papel fundamental en la orientación y el desarrollo de este proyecto: nuestros asesores. A nuestro asesor interno, Dr. Carlos Alberto Fuentes Hernández, por su tiempo, su compromiso, su orientación técnica y académica, y por compartir con nosotros su conocimiento con disposición y entusiasmo. Y a nuestro asesor externo, Mtra. Susana Violeta Martínez Hernández, por su acompañamiento y experiencia, así como por su valiosa guía en los aspectos prácticos y profesionales del proyecto.

Gracias a todos por ser parte de este logro. Esta dedicatoria es solo un pequeño gesto de agradecimiento por todo lo que han hecho por mí.

Análisis e implementación de estructura 2025 para un generador de voz sobre una silla de ruedas

Resumen

La problemática abordada en este proyecto se enfoca en mejorar la calidad de vida y la inclusión de personas con discapacidad motriz severa, quienes enfrentan importantes barreras físicas y comunicativas. En respuesta a esta necesidad, se propone el desarrollo de una estructura de montaje y armadura para integrar un sistema generador de voz en una silla de ruedas. Esta solución es accesible, funcional, resistente y fácil de usar tanto para el usuario como para su cuidador.

El modelado y desarrollo de la estructura se realizó mediante software de diseño asistido por computadora (CAD), específicamente SolidWorks, lo que permitió modelar con precisión una solución ergonómica, compacta y de fácil ensamblaje. Para verificar su comportamiento mecánico y resistencia, se utilizaron simulaciones por elementos finitos en el software ANSYS, con análisis estructurales orientados a evaluar su respuesta ante cargas aplicadas.

Durante el desarrollo se incorporó manufactura aditiva mediante impresión 3D. Inicialmente se utilizó material PLA para la elaboración de prototipos a escala, lo que permitió validar aspectos como funcionalidad, ensamblaje y forma general. Para el dispositivo final se empleó material ABS, debido a su mayor resistencia mecánica y durabilidad en condiciones de uso continuo, lo cual resultó esencial para garantizar una estructura segura y sólida.

El ensamblaje considera piezas modulares y elementos comunes, lo que facilita su integración a la silla de ruedas. El resultado es un sistema confiable y adaptable, diseñado para mejorar la autonomía comunicativa de personas con movilidad reducida.

Abstract

The issue addressed in this project focuses on improving the quality of life and inclusion of individuals with severe motor disabilities, who face significant physical and communicative barriers. In response to this need, the development of a mounting structure and frame is proposed to integrate a voice-generating system into a wheelchair. This solution is accessible, functional, durable, and easy to use for both the user and their caregiver.

The modeling and development of the structure were carried out using computer-aided design (CAD) software, specifically SolidWorks, which enabled the precise modeling of an ergonomic, compact, and easy-to-assemble solution. To verify its mechanical behavior and strength, finite element simulations were conducted using ANSYS software, with structural analyses aimed at evaluating its response to applied loads.

Additive manufacturing through 3D printing was incorporated during development. PLA material was initially used to create scale prototypes, which allowed validation of aspects such as functionality, assembly, and general form. For the final device, ABS material was used due to its greater mechanical strength and durability under continuous use conditions, which was essential to ensure a safe and solid structure.

The assembly includes modular parts and common elements, making it easy to integrate into the wheelchair. The result is a reliable and adaptable system, designed to enhance the communicative autonomy of people with reduced mobility.

Palabras claves (*keywords*)

Diseño asistido por computadora (CAD), manufactura aditiva, ANSYS, estructura de montaje, comunicación, inclusión de personas con discapacidad.

Tabla de contenido

Capítulo 1	1
Introducción.	1
Capítulo 2	7
Marco teórico.	7
Capítulo 3	20
Planteamiento del problema	20
3.1. Identificación del Problema.	20
3.2. Justificación.	20
3.3. Alcance.	21
Capítulo 4	22
Objetivos	22
4.1. Objetivo general.	22
4.2. Objetivos específicos.....	22
Capítulo 5	24
Metodología	24
Capítulo 6	53
Resultados	53
Capítulo 7	58
Análisis de Resultados.....	58
Capítulo 8	61
Conclusiones y trabajo a futuro.....	61

Referencias bibliográficas	65
Anexos	67

Índice de Figuras

Figura 2.1: Herramientas de Diseño en SolidWorks.....	8
Figura 2.2: Herramientas de Visualización.....	9
Figura 2.3: Herramientas de operaciones	10
Figura 2.4: Herramientas de ensamblaje.	12
Figura 2.5: Análisis de esfuerzo estructural.....	13
Figura 2.6 impresora Creality Ender 3 V3 SE.....	15
Figura 2.7: Ajustes de Impresión.....	17
Figura 5.1: prototipo funcional versión 2024.....	25
Figura 5.2: Prototipo versión 2024 montado sobre la silla de ruedas	27
Figura 5.3: Diseño de la parte inferior del gabinete	30
Figura 5.4: Tapa deslizable	31
Figura 5.5: Parte superior del gabinete	32
Figura 5.6: Gabinete para prueba al 20%	33
Figura 5.7: Estructura tubular.	36
Figura 5.8: Carcasa para la placa de acero.....	37
Figura 5.9: Diseño de la placa de acero inoxidable.....	37
Figura 5.10: Sistema de acople para la silla de ruedas.....	38
Figura 5.11: Ensamblaje de la estructura finalizada.	39
Figura 5.12: Menú del análisis de Static Structural.	40
Figura 5.13: Geometría importada en ANSYS.	41

Figura 5.14: Fuerzas aplicadas al gabinete.....	42
Figura 5.15: Solución del análisis.	43
Figura 5.16: Análisis de esfuerzos sobre bitoque del seguro.	44
Figura 5.17: Ensamblaje del gabinete y acople a los tubos de cobre.....	50
Figura 5.18: Estructura final.	51
Figura 5.19: Ensamble de la estructura final.	51
Figura 6.1: Acople a la silla de ruedas.	55
Figura 6.2: Sistema sobre la silla, listo para realizar detalles finales.....	56
Figura 6.3: Producto final entregado al usuario.....	56
Figura 6.4: Sistema probado sobre la silla.....	57
Figura 6.5: Sistema al momento de que el usuario lo prueba exitosamente.....	57

Capítulo 1

Introducción.

Para el ámbito de la tecnología asistida, la integración de sistemas que faciliten la comunicación para personas con discapacidad motriz sigue siendo un desafío vigente y necesario. Este proyecto, titulado “Análisis e implementación de estructura 2025 para un generador de voz sobre una silla de ruedas”, surge como respuesta a la necesidad de ofrecer una solución accesible, funcional y de bajo costo que permita a usuarios con movilidad reducida comunicarse de forma efectiva en su entorno.

La propuesta consiste en una mejora integral respecto a versiones anteriores del sistema generador de voz, enfocándose en optimizar la estructura de montaje y la armadura del dispositivo. A lo largo del desarrollo de las primeras versiones, se emplearon materiales como PVC y PP-R, los cuales presentaron limitaciones en cuanto a resistencia, acoplamiento y durabilidad. En contraste, la versión 2025 introduce el uso de tubos de cobre, un material con mayor solidez estructural, así como la incorporación de componentes impresos en ABS para mejorar la resistencia del gabinete y de los seguros de acoplamiento. El diseño actual contempla no solo una mayor robustez, sino también mejoras ergonómicas, estéticas y de funcionalidad. Los mecanismos de montaje y desmontaje han sido simplificados para facilitar su uso por parte de cuidadores o personal médico, y se han considerado criterios como la estabilidad, durabilidad y adaptabilidad del sistema. Aunque el prototipo está diseñado específicamente para un usuario con discapacidad motriz severa que solo puede mover una pierna, el sistema tiene el potencial de adaptarse a diferentes configuraciones de sillas de ruedas con mínimas modificaciones. En términos funcionales, el sistema de voz se activa mediante sensores magnéticos que detectan el movimiento de la pierna del usuario. A través de una interfaz visual simple, el usuario puede seleccionar opciones predeterminadas como "Sí", "No" o letras específicas, activando una salida de audio

clara y directa. Esta simplicidad no solo mejora la accesibilidad, sino que convierte al sistema en una posible herramienta de entrenamiento para tecnologías más complejas en el futuro este proyecto tiene como propósito principal democratizar el acceso a herramientas de comunicación mediante soluciones prácticas, funcionales y económicamente viables. Aunque no se trata de una tecnología de punta, su impacto potencial es significativo al permitir que personas con discapacidades puedan expresarse con mayor autonomía y reducir la frustración generada por sistemas complejos o costosos. La validación de la estructura mediante software de simulación y pruebas funcionales refuerza la viabilidad técnica del dispositivo, consolidándolo como una alternativa real y efectiva dentro del campo de la ingeniería biomédica y la inclusión social.

La interfaz desarrollada facilita la interacción del usuario con su entorno mediante retroalimentación multisensorial, que combina estímulos auditivos y visuales para enriquecer la experiencia y mejorar significativamente la comunicación y la toma de decisiones, especialmente en personas con discapacidad motriz severa. La incorporación de tecnología de síntesis de voz refuerza este enfoque inclusivo, permitiendo una expresión más autónoma y una participación activa en las actividades cotidianas. La alta precisión, sensibilidad y adaptabilidad del sistema responden a la disposición estratégica de los sensores y la cinta magnética, diseñada específicamente para atender las limitaciones motoras individuales. El diseño se enfoca en la comodidad, seguridad y eficacia, asegurando que la tecnología sea verdaderamente accesible y se integre de manera natural en la rutina diaria, con el objetivo fundamental de mejorar la calidad de vida de los usuarios, promoviendo su independencia y bienestar general.

En el campo de la tecnología de asistencia y la comunicación para personas con discapacidad, se han realizado avances significativos en las últimas décadas. La organización mundial de la salud (OMS) [1] nos afirma que “La evolución de la tecnología de asistencia ha sido testigo de un crecimiento constante que ha

transformado fundamentalmente la vida de aquellos con discapacidades. La tecnología de asistencia, que abarca desde dispositivos de comunicación por voz hasta interfaces de usuario personalizadas, ha demostrado ser un puente crucial hacia la inclusión y la igualdad de oportunidades”. Esta transformación no solo se refleja en la mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidad, sino también en su capacidad para integrarse de manera activa y significativa en la sociedad.

En los progresos de la tecnología de asistencia. Torres y Rodríguez [2] nos muestran que “el desarrollo de dispositivos y soluciones tecnológicas diseñados específicamente para abordar las necesidades únicas de las personas con discapacidad ha abierto nuevas oportunidades de comunicación y participación” Estas innovaciones no solo se centran en la accesibilidad, sino que también buscan empoderar a las personas con discapacidad al brindarles herramientas que les permitan expresarse, aprender y trabajar de manera más independiente. Este cambio en el enfoque de la tecnología de asistencia ha generado un impacto profundo, ya que no solo busca eliminar barreras, sino también potenciar las capacidades individuales, promoviendo la independencia y la inclusión en todos los aspectos de la vida cotidiana.

En el ámbito de las ayudas auditivas y tecnologías de asistencia. Ailan y Vejarano [3] nos señalan que “encontraron una amplia variedad de herramientas fundamentales. Estas incluyen dispositivos de amplificación personal como el PocketTalker Pro, audífonos inalámbricos, así como ayudas de uso diario que utilizan señales visuales o táctiles en lugar de sonidos audibles, como relojes de alarma o alarmas de humo con señales lumínicas intermitentes”. Además, destacan dispositivos de comunicación como los teléfonos con amplificadores de sonido, los teléfonos textuales (TTYs), Voice carryover y Hearing carryover, y sistemas de voz a texto como iCommunicator. Todas estas herramientas desempeñan un papel

esencial en la promoción de la accesibilidad y la comunicación efectiva para personas con discapacidad auditiva.

En el campo de la Tecnología Asistida para la Discapacidad Motriz, se destacan varios dispositivos innovadores que han sido diseñados para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad motriz. Estos dispositivos representan avances significativos en la accesibilidad y la autonomía. Panchana y Ocaña [4] “mencionan tecnologías que ofrecen soluciones avanzadas y adaptadas a las necesidades específicas de este grupo de personas, entre ellas, el BIGtrack Trackball, Head Wand, Sip/Puff Switch y Maltron Head/Mouth Stick Keyboard”.

“El BIGtrack Trackball es un dispositivo tecnológico diseñado para mejorar la accesibilidad y la autonomía de las personas con discapacidad motriz, especialmente aquellas que pueden enfrentar temblores en las manos o limitaciones en la precisión de sus movimientos” Panchana y Ocaña [4]. Este dispositivo se presenta en forma de un mouse de tamaño considerable que incorpora una bola en su diseño. La característica clave del BIGtrack Trackball es su capacidad para rastrear el movimiento de la bola con precisión y, al mismo tiempo, evitar clics erróneos debido a la separación de sus dos botones de clic “El Head Wand es un dispositivo de asistencia tecnológica diseñado para mejorar la accesibilidad y la autonomía de las personas con discapacidad motriz, especialmente aquellas que tienen limitaciones en el movimiento de sus extremidades” Panchana y Ocaña [4]. Este dispositivo consiste en un casco que integra una vara en su estructura, la característica distintiva del Head Wand es su capacidad para ser controlado mediante el movimiento de la cabeza del usuario. “El Sip/Puff Switch es un dispositivo de tecnología asistida diseñado para mejorar la accesibilidad y la autonomía de las personas con discapacidad motriz, especialmente aquellas que pueden tener dificultades en el movimiento de sus extremidades o limitaciones en el uso de las manos” Panchana y Ocaña [4]. Este dispositivo se presenta en forma de un tubo que se conecta a la boca del usuario y

tiene la capacidad de reconocer las señales generadas por las acciones de soplido (sip) y aspiración (puff).

“El Maltron Head/Mouth Stick Keyboard es un dispositivo de tecnología asistiva diseñado para mejorar la accesibilidad y la autonomía de las personas con discapacidad motriz, particularmente aquellas que enfrentan limitaciones en el uso de sus manos o pies para escribir en un teclado convencional”. Panchana y Ocaña [4]. Este teclado se diferencia por su diseño único, que incluye teclas con un mayor relieve que un teclado estándar y una disposición vertical de las mismas. El desarrollo y la interacción de diversas áreas tecnológicas como la microelectrónica, electrónica, telecomunicaciones, informática, arquitectura y automatización han dado lugar a la disciplina de la domótica e inmótica, específicamente la asistencia a personas con discapacidades físicas. Cruz [5] Propuso “un sistema electrónico de accionamiento inalámbrico para discapacitados usando dispositivos Android”. Un sistema electrónico de apoyo a personas discapacitadas se asemeja en términos generales al sistema domótico, aunque puede ajustarse según las necesidades específicas de la discapacidad. El conocimiento en sistemas de comunicación alternativa y la experiencia en la enseñanza a pacientes con algún tipo de discapacidad comunicativa, así como en la coordinación de Grupos de Trabajo. Rus y Pérez [6] Proponen utilizar “la comunicación asistida por computadora con el propósito de hacer que el ordenador sea un recurso valioso para el aprendizaje de los estudiantes y un apoyo adicional en los métodos de enseñanza del profesor”. Esto incluye la incorporación del software ampliamente reconocido y herramientas de asistencia técnica para facilitar el proceso de enseñanza y aprendizaje en diversos métodos de comunicación

En conjunto, estas tecnologías de asistencia han revolucionado la vida de las personas con discapacidad motriz al mejorar su comunicación y participación en la sociedad. La implementación adecuada de estas soluciones no solo mejora la calidad de vida, sino que también fomenta la inclusión tecnológica, permitiendo una

interacción más efectiva y personalizada en el entorno digital y físico. Estos avances tecnológicos subrayan la importancia de la innovación continua en el campo de la tecnología de asistencia y su impacto positivo en la vida de quienes enfrentan desafíos físicos y comunicativos.

Capítulo 2

Marco teórico.

2.1. SolidWorks.

SolidWorks es un software de diseño asistido por computadora que ofrece un conjunto de herramientas fundamentales para el modelado tridimensional y la elaboración de documentación técnica. Entre sus funciones básicas destacan el croquizado, que permite crear bocetos 2D como base para generar geometría; las operaciones, mediante las cuales se construyen y modifican modelos 3D a través de extrusiones, cortes, redondeos, entre otros; y los ensamblajes, que posibilitan la integración de múltiples piezas para analizar su interacción mecánica. Además, cuenta con módulos para la generación de planos técnicos detallados, simulaciones estructurales básicas mediante elementos finitos, y renderizado realista de modelos. Estas herramientas convierten a SolidWorks en una plataforma integral y eficiente para el desarrollo de productos en distintas áreas de la ingeniería.

2.1.1 Herramientas de SolidWorks.

En SolidWorks, las herramientas son comandos o funciones que permiten realizar diversas operaciones de diseño, modelado y análisis dentro del software. Son los elementos que permiten a los usuarios crear, modificar y gestionar sus modelos 3D, ensamblajes y dibujos.

2.1.1.1 Herramientas de Diseño en SolidWorks

El entorno de diseño de SolidWorks proporciona un conjunto integral de herramientas orientadas a la creación y modificación de geometría bidimensional y tridimensional, fundamentales para el modelado de piezas, ensamblajes y la elaboración de planos técnicos. El proceso de diseño inicia en el espacio de croquizado, donde se definen las

figuras base que darán origen a la geometría tridimensional. Dentro de este entorno, se destaca el uso del croquis como superficie de trabajo bidimensional, y de la herramienta de cota inteligente, la cual permite asignar dimensiones exactas a las entidades, regulando con precisión su tamaño y ubicación. Entre las herramientas geométricas más utilizadas se encuentran la línea, el círculo, el rectángulo, el arco y el polígono, cada una diseñada para generar formas específicas conforme a los requerimientos del diseño. A su vez, SolidWorks incorpora funciones complementarias como el redondeo de croquis, que permite suavizar esquinas mediante la incorporación de curvas; la herramienta puntual, que inserta referencias en el croquis; y la opción de recortar entidades, útil para suprimir segmentos innecesarios del dibujo.

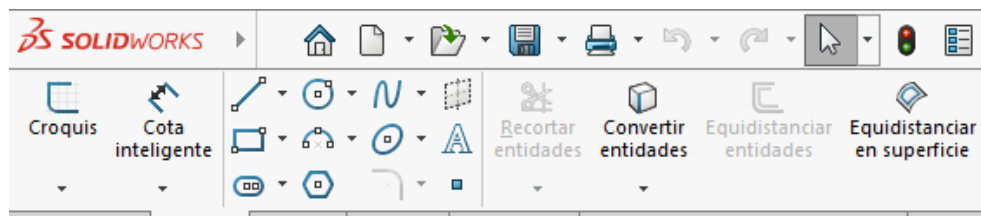


Figura 2.1: Herramientas de Diseño en SolidWorks

Asimismo, se integran funciones avanzadas como convertir entidades, que proyecta contornos preexistentes sobre el croquis para su reutilización; equidistanciar entidades, que permite generar geometrías paralelas a una distancia constante; simetría de entidades, que refleja elementos respecto a un eje definido; y la matriz lineal de croquis, que reproduce patrones geométricos de manera ordenada en una o varias direcciones. En conjunto, estas herramientas conforman una base sólida y versátil para el desarrollo de modelos precisos, eficientes y organizados, reafirmando el carácter profesional y técnico de SolidWorks en el ámbito del diseño asistido por computadora.

2.1.1.2 Herramientas de visualización.

Permiten manipular la vista del modelo, como la rotación, el zoom y la selección de estilos de visualización.

Las herramientas de visualización en SolidWorks permiten manipular la forma en que se observa el modelo en el área de trabajo, facilitando la inspección, análisis y edición de las piezas o ensamblajes. Entre las funciones básicas se encuentra el zoom para ajustar, que adapta automáticamente la vista del modelo al tamaño de la pantalla, y el zoom encuadre, que permite ampliar una región específica del modelo para un análisis más detallado. La orientación de vista ofrece accesos directos a posiciones estándar de cámara, como vista frontal, superior o isométrica, lo cual optimiza la navegación en el entorno 3D. Asimismo, el estilo de visualización permite modificar el modo en que se representan las superficies del modelo, alternando entre visualización en líneas ocultas, sombreado o sombreado con aristas, según las necesidades del diseño. La función editar apariencia brinda al usuario la posibilidad de aplicar colores, texturas o acabados visuales a las superficies del modelo, lo cual es útil para prestaciones o simulaciones realistas. Por último, la configuración de vista permite guardar y gestionar vistas personalizadas, facilitando el retorno a ángulos específicos durante el proceso de diseño. En conjunto, estas herramientas mejoran significativamente la experiencia de usuario y la eficiencia en el manejo visual del entorno de modelado.



Figura 2.2: Herramientas de Visualización

2.1.1.3 Herramientas de Operaciones en SolidWorks

Las herramientas de operaciones en SolidWorks son fundamentales para la creación de modelos tridimensionales a partir de croquis bidimensionales, mediante funciones que permiten generar volúmenes, cortes y detalles estructurales. Entre las operaciones básicas se encuentra extruir saliente/base, que convierte un croquis en una figura tridimensional mediante una proyección lineal, y revolución de saliente/base, que genera geometría girando un perfil alrededor de un eje. De forma análoga, las operaciones extruir corte y corte de revolución permiten sustraer material del modelo mediante las mismas técnicas.

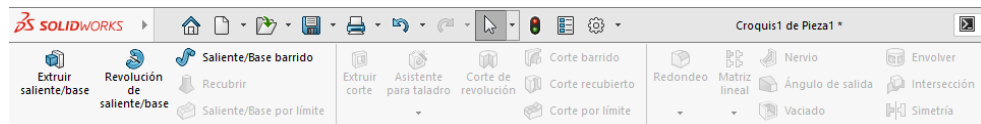


Figura 2.3: Herramientas de operaciones.

Otras funciones relevantes incluyen el redondeo, utilizado para suavizar bordes mediante la creación de radios; la matriz lineal, que replica una operación o entidad en una dirección determinada; y el vaciado, que crea cavidades internas al eliminar material de una pieza sólida. La herramienta de simetría permite duplicar operaciones o cuerpos con respecto a un plano, optimizando el trabajo en diseños con estructuras reflejada. Por otro lado, la geometría de referencia facilita la creación de planos, ejes o puntos auxiliares necesarios para definir con mayor precisión las operaciones geométricas. Finalmente, Instant 3D es una herramienta interactiva que permite modificar dimensiones y formas directamente sobre el modelo, agilizando el proceso de edición y diseño. Estas funciones en conjunto

permiten al usuario construir modelos 3D complejos con un alto grado de control, precisión y eficiencia

2.1.2 Ensamblajes

Un ensamblaje en SolidWorks es un tipo de documento que permite integrar múltiples piezas diseñadas por separado, las cuales pueden unirse mediante diversas herramientas que ofrece el propio software. Además, es posible trabajar con sub-ensamblajes, que consisten en archivos de ensamblaje incluidos dentro de otros ensamblajes. Esta funcionalidad facilita la creación de productos complejos, permitiendo simular tanto su montaje como su funcionamiento.

2.1.2.1 Herramientas de ensamblaje.

En el entorno de ensamblajes de SolidWorks, existen herramientas fundamentales que facilitan la construcción y análisis de un modelo compuesto por varias piezas. La herramienta Insertar componentes permite añadir al ensamblaje las piezas individuales previamente diseñadas, lo cual representa el primer paso para formar un conjunto completo. Una vez que los componentes han sido insertados, se utiliza la herramienta Relación de posición para definir cómo deben conectarse o alinearse entre sí. Esta función establece restricciones que determinan la orientación, posición y posibles movimientos relativos entre las piezas, permitiendo, por ejemplo, que dos caras queden alineadas o que dos cilindros compartan un eje. Por último, la herramienta Medir ofrece la posibilidad de obtener dimensiones precisas entre elementos del ensamblaje, como distancias, ángulos o diámetros, lo que resulta útil para verificar ajustes, validar diseños y garantizar que las piezas encajen correctamente.

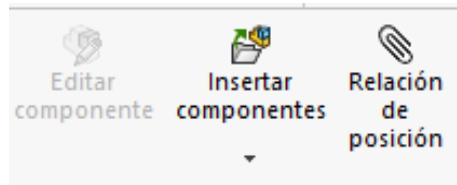


Figura 2.4: Herramientas de ensamblaje.

2.2 ANSYS

ANSYS es un software de simulación de ingeniería avanzada utilizado para analizar y predecir el comportamiento físico de productos y sistemas bajo diversas condiciones. Emplea métodos numéricos, como el análisis por elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés), dinámica de fluidos computacional (CFD) y simulaciones térmicas y electromagnéticas, con el fin de evaluar factores como esfuerzos mecánicos, deformaciones, transferencia de calor, flujo de fluidos y comportamiento estructural. Su capacidad de modelado preciso y detallado permite a ingenieros y diseñadores optimizar productos antes de su fabricación, reduciendo costos, riesgos y tiempos de desarrollo. ANSYS es ampliamente utilizado en sectores como la ingeniería mecánica, aeroespacial, automotriz, biomédica y electrónica, consolidándose como una herramienta clave para el diseño, validación y mejora de componentes complejos.

2.2.1 Análisis de Esfuerzos

En el entorno de simulación de ANSYS, uno de los análisis más fundamentales es el análisis estático estructural, el cual permite evaluar la respuesta mecánica de un cuerpo sometido a cargas constantes en el tiempo. Este tipo de análisis se centra en determinar deformaciones, desplazamientos, reacciones en los apoyos y tensiones internas —como las tensiones de von Mises—, proporcionando una visión detallada del comportamiento estructural ante condiciones de carga específicas. Es ampliamente utilizado en etapas tempranas del diseño para verificar la resistencia y estabilidad de componentes mecánicos y estructuras. Además

del análisis estático, ANSYS ofrece otros tipos de análisis de esfuerzos como el análisis modal, armónico, transitorio, de pandeo, de fatiga y análisis no lineales, así como estudios acoplados termo-estructurales. Estas herramientas complementarias permiten abordar una amplia gama de escenarios físicos, facilitando la validación precisa de sistemas complejos en distintos entornos de operación.

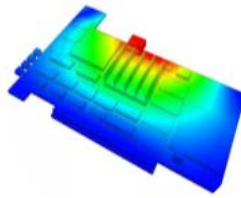


Figura 2.5: Análisis de esfuerzo estructural. Fuente: Ansys.com [12]

<https://www.ansys.com/products/structures>

2.3 Manufactura aditiva

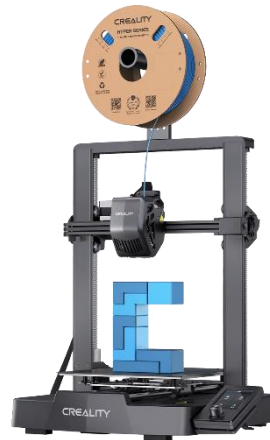
La manufactura aditiva, también conocida como impresión 3D, es un proceso de fabricación mediante el cual se construyen objetos tridimensionales a partir de un modelo digital creado en un software CAD. Esta tecnología se basa en la adición progresiva de material capa por capa, siguiendo con exactitud las dimensiones y geometría definidas en el archivo digital. A diferencia de los métodos de manufactura sustractiva, donde se remueve material de un bloque sólido, la manufactura aditiva reduce significativamente el desperdicio y permite fabricar estructuras complejas con alto nivel de detalle y personalización. Gracias a estas características, su aplicación se ha extendido ampliamente en campos como la ingeniería, la medicina, la arquitectura y el diseño industrial, permitiendo la producción rápida y eficiente de prototipos, piezas funcionales y componentes personalizados.

2.3.1 Impresora 3D (Ender-3 V3 SE)

La Ender-3 V3 SE es una impresora 3D diseñada para ofrecer un rendimiento confiable, alta calidad de impresión y facilidad de uso. Uno de sus principales atributos es el sistema de nivelación automática precisa multipunto CR Touch, que incorpora un sensor de presión para la compensación automática del eje Z, eliminando por completo la necesidad de ajustes manuales. Esta funcionalidad garantiza una superficie de impresión correctamente nivelada desde el inicio, lo que contribuye significativamente a la calidad del resultado final.

La interfaz de usuario (UI) ha sido actualizada para ofrecer una visualización dinámica del proceso de nivelación, así como de los parámetros operativos y el avance de la impresión, permitiendo al usuario un monitoreo claro e intuitivo en tiempo real.

En cuanto al sistema de extrusión, la impresora está equipada con una extrusora proximal “Sprite”, que ofrece una alimentación precisa del filamento y es compatible con una variedad de materiales como PLA, PETG y TPU flexible. Esta versatilidad brinda al usuario mayor libertad en la selección de consumibles, adaptándose a distintos requerimientos de impresión. Desde su lanzamiento en 2021, esta extrusora ha sido ampliamente adoptada y valorada por su rendimiento, superando las 500.000 unidades distribuidas a nivel global. Finalmente, la estructura de la impresora está diseñada para ofrecer estabilidad y durabilidad. Cuenta con doble tornillo en el eje Z, lo que mejora la precisión y reduce vibraciones durante la impresión. El eje Y incorpora un doble eje óptico de 8 mm de diámetro, que proporciona mayor estabilidad a la plataforma de impresión. Toda la estructura está fabricada en acero de alta resistencia, lo que garantiza una larga vida útil y resistencia al desgaste.



*Figura 2.6 impresora Creality Ender 3 V3 SE Fuente: Store.creality.com [13]
<https://store.creality.com/mx/products/ender-3-v3-se-impresora-3d>*

2.3.2 Materiales.

El PLA (ácido poliláctico) y el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) son dos de los materiales más utilizados en el proceso de manufactura aditiva, específicamente en la impresión 3D. Ambos plásticos termoplásticos permiten la creación de objetos tridimensionales al fundirse y depositarse capa por capa, conforme al modelo digital previamente diseñado. El PLA es un material biodegradable derivado de recursos naturales como el maíz o la caña de azúcar, lo que lo convierte en una opción ecológica y fácil de imprimir, ideal para prototipos y piezas con menor exigencia mecánica. Por su parte, el ABS es un polímero más resistente y duradero, adecuado para componentes que requieren mayor solidez, resistencia al impacto y tolerancia a temperaturas más altas, siendo ampliamente utilizado en aplicaciones funcionales y técnicas.

2.4 UltiMaker Cura

UltiMaker Cura es un software especializado en impresión 3D, ampliamente utilizado en el ámbito de la manufactura aditiva. Su función principal es preparar modelos tridimensionales para ser fabricados capa por capa mediante una impresora 3D. Para ello, Cura procesa el archivo del modelo digital y lo convierte en un conjunto de instrucciones precisas conocidas como G.code que la impresora puede interpretar y ejecutar. Esta herramienta facilita la configuración de parámetros clave como altura de capa, velocidad de impresión, temperatura, relleno y soporte, lo que permite optimizar tanto la calidad como la eficiencia del proceso de impresión. Su interfaz intuitiva y su compatibilidad con una amplia gama de impresoras hacen de Cura una de las soluciones más populares y accesibles en el entorno de la impresión 3D.

2.4.1 Ajustes de Impresión

Los ajustes de impresión en UltiMaker Cura son fundamentales para garantizar la calidad, precisión y funcionalidad de los modelos generados mediante impresión 3D. Estos parámetros permiten personalizar aspectos clave del proceso, comenzando por la calidad, donde se define la altura de capa y la altura de capa inicial. Estos valores determinan el grosor de cada capa depositada, influyendo directamente en la resolución del modelo y el tiempo de impresión.

En cuanto a las paredes, se puede configurar el orden en que se imprimen las paredes internas y externas, lo cual repercute tanto en la resistencia estructural como en el acabado superficial. La categoría de superior o inferior permite establecer la cantidad de capas sólidas en la base o en la parte superior del modelo; por ejemplo, ajustar el número de capas inferiores mejora la estabilidad y adherencia inicial de la pieza. El apartado de relleno controla la densidad interna del modelo mediante configuraciones como el patrón de relleno, la opción de conectar líneas internas y la posibilidad de imprimir el relleno antes que las paredes. Estas opciones afectan

directamente el peso, la resistencia mecánica y la eficiencia en el uso del material. Por otro lado, en la sección de material, se especifica la temperatura de impresión y la temperatura de la primera capa, lo cual es esencial para asegurar una correcta adhesión del filamento y evitar deformaciones durante el proceso.

Los parámetros de velocidad permiten ajustar la rapidez con la que se mueve el cabezal de impresión, lo cual afecta el equilibrio entre precisión y rapidez de fabricación. A su vez, el ajuste de desplazamiento abarca configuraciones como la retracción al cambiar de capa y la distancia de retracción del filamento, ayudando a reducir defectos como el goteo o la formación de hilos no deseados entre secciones.

Dentro del apartado de soporte, se pueden configurar elementos auxiliares que permiten imprimir geometrías con voladizos. Parámetros como el ángulo de las ramas del soporte tipo árbol y el patrón de soporte concéntrico influyen en la facilidad de impresión y en la posterior remoción de estos elementos. Finalmente, la adherencia a la placa de impresión puede mejorarse mediante la selección de una base como la balsa, que proporciona una superficie más amplia para fijar el modelo a la cama caliente, reduciendo el riesgo de desprendimiento durante la impresión.

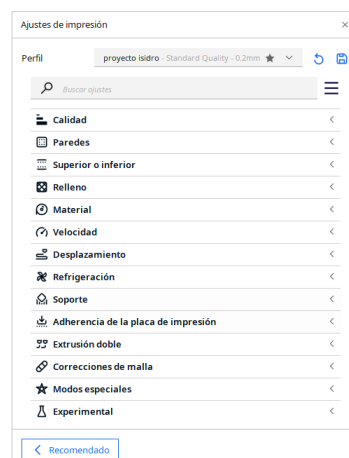


Figura 2.7: Ajustes de Impresión

2.6 Manufactura

Los tubos de cobre son conductos metálicos de sección circular ampliamente utilizados en sistemas hidráulicos, de calefacción y refrigeración, debido a su alta conductividad térmica, resistencia a la corrosión y facilidad de manipulación. En conjunto con ellos, los coples de cobre permiten unir tramos de estos tubos, asegurando continuidad en la conducción de fluidos y una conexión sólida, gracias a que están fabricados en el mismo material, garantizando compatibilidad y durabilidad. La soldadura en frío para cobre es una técnica que emplea compuestos adhesivos especiales para unir piezas sin necesidad de calor, lo que la convierte en una opción segura y práctica, especialmente útil en situaciones donde el uso de llama abierta no es viable. Para preparar las superficies antes de esta unión, se puede utilizar acetona, un solvente eficaz para eliminar aceites y residuos, que además tiene la capacidad de reducir o disolver materiales plásticos como ABS y PLA, por lo que debe manipularse con precaución. Complementariamente, herramientas abrasivas como la lija de grano 40, de textura extra gruesa, se utilizan para remover impurezas, óxido o pintura de las superficies metálicas, mientras que las limas permiten dar forma y eliminar rebabas en áreas específicas con mayor precisión. Para cortar con exactitud los tubos u otros materiales, se emplea un cortador, herramienta que garantiza cortes limpios y rectos sin deformar las piezas.

La pulidora, por su parte, es una herramienta eléctrica que mejora el acabado superficial de los materiales mediante el uso de discos abrasivos, siendo útil para preparar superficies antes del ensamblaje o la soldadura. En operaciones de perforado, el mandril para taladro sirve como mecanismo de sujeción para brocas, asegurando su alineación y estabilidad, especialmente cuando se usa en conjunto con un taladro de banco, herramienta fija que permite perforaciones precisas en materiales duros.

Los tornillos son elementos de fijación que permiten ensamblar piezas mediante una conexión mecánica roscada, adaptándose a distintos esfuerzos y condiciones. Las abrazaderas complementan estas uniones, proporcionando sujeción firme en

sistemas de tubos o cables. El selfie stick es un palo extensible diseñado para sujetar un teléfono inteligente o cámara, permitiendo tomar fotografías o videos desde una distancia mayor que la que se puede alcanzar con el brazo. Finalmente, la placa de acero inoxidable se emplea como base o estructura en diferentes sistemas, gracias a su resistencia a la corrosión, su durabilidad y su capacidad de mantener propiedades mecánicas en entornos exigentes.

2.6 Componentes Electrónicos

Los sensores electromagnéticos son dispositivos capaces de detectar variaciones en campos magnéticos y convertirlas en señales eléctricas interpretables por sistemas electrónicos. Su aplicación es común en áreas como la detección de movimiento, posicionamiento o identificación de materiales ferrosos, lo que los hace esenciales en numerosos proyectos tecnológicos. El Arduino Uno es una placa de desarrollo ampliamente utilizada, basada en el microcontrolador ATmega328P. Ofrece facilidad de uso, múltiples pines de entrada y salida, y compatibilidad con una gran variedad de sensores y módulos, lo que la convierte en una herramienta ideal para el desarrollo de prototipos y sistemas embebidos. Por otro lado, el Arduino Pro Micro es una versión más compacta que integra el microcontrolador ATmega32U4. Su ventaja principal radica en la comunicación USB nativa, además de su reducido tamaño, lo cual es útil en proyectos donde el espacio físico es una limitación. La power bank es una batería recargable portátil que proporciona energía eléctrica a dispositivos electrónicos sin necesidad de una conexión directa a la red eléctrica. Este tipo de batería es especialmente útil para alimentar sistemas móviles o autónomos durante periodos prolongados. Finalmente, los cables macho-hembra permiten realizar conexiones eléctricas entre diferentes componentes electrónicos, gracias a su diseño modular en el que el conector macho se inserta en el hembra, ofreciendo una solución práctica, segura y flexible para la integración de circuitos.

Capítulo 3

Planteamiento del problema

3.1. Identificación del Problema.

Actualmente las personas con discapacidad motriz severa enfrentan importantes barreras para comunicarse eficazmente en sus entornos sociales y familiares. Aunque existen tecnologías asistidas, muchas son costosas, poco accesibles y complejas de usar. En versiones anteriores del generador de voz sobre silla de ruedas se identificaron fallas estructurales, como el uso de materiales poco resistentes (PVC y PP-R), dificultades de acoplamiento y fragilidad en los gabinetes electrónicos, lo que afectaba su funcionalidad y durabilidad. La raíz del problema radica en la necesidad de una estructura de soporte robusta, ligera, adaptable y económica y que además pueda ser usada diariamente por el usuario. El proyecto propone una nueva estructura de montaje versión 2025, diseñada para mejorar la experiencia comunicativa de estos usuarios mediante una solución accesible, funcional y duradera.

3.2. Justificación.

El desarrollo de este dispositivo responde a una problemática social relevante: la falta de tecnologías accesibles, resistentes y funcionales que faciliten la comunicación de personas con discapacidad motriz severa. Según el INEGI (2020), alrededor del 6% de la población depende de sillas de ruedas, pero muchas de estas personas no tienen acceso a dispositivos de comunicación debido a su alto costo o complejidad tecnológica, lo que limita su autonomía e integración social.

Este proyecto busca ofrecer una alternativa viable, sencilla y de bajo costo que mejore la calidad de vida de los usuarios, facilitando su inclusión en ámbitos

familiares, educativos y sociales. La propuesta es factible gracias al uso de materiales accesibles como tubos de cobre e impresiones 3D en ABS, junto con un sistema electrónico basado en placas Arduino Uno y Pro Micro, lo que permite mantener bajos los costos de producción y facilitar su implementación.

El problema abordado refleja una alta vulnerabilidad: muchas personas con discapacidad motriz dependen de otros para comunicarse y enfrentan el riesgo de aislamiento. Al no existir suficientes alternativas accesibles, este proyecto se presenta como una solución práctica y significativa que contribuye al avance de la tecnología asistida y al bienestar de quienes más lo necesitan.

3.3. Alcance.

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar, desarrollar y validar una estructura de montaje que permita integrar un sistema generador de voz en una silla de ruedas, destinada a usuarios con discapacidad motriz severa que solo conservan movilidad en una extremidad inferior. El desarrollo abarca desde la selección de materiales resistentes, como tubos de cobre y piezas impresas en ABS, hasta la implementación de un sistema de comunicación intuitivo, económico y fácil de usar, basado en placas Arduino Uno y Pro Micro junto con sensores magnéticos.

Se ha optimizado el diseño para facilitar su montaje y desmontaje, pensando en la accesibilidad tanto para los usuarios como para cuidadores o personal médico. Sin embargo, el alcance del proyecto está delimitado: el diseño está adaptado a un modelo específico de silla de ruedas y está dirigido principalmente a personas con movilidad parcial en al menos una extremidad, lo que limita su aplicabilidad a otros tipos de discapacidad. Además, no contempla el uso de tecnologías avanzadas como inteligencia artificial ni su producción masiva.

Este prototipo funcional busca ofrecer una opción real de uso diario para la comunicación básica y accesible, sentando las bases para futuras mejoras, adaptaciones y desarrollos tecnológicos.

Capítulo 4

Objetivos

El planteamiento de los objetivos en esta investigación resulta esencial para orientar el desarrollo del proyecto, delimitando claramente el alcance del mismo y sirviendo como guía metodológica durante las etapas de ejecución. Los objetivos aquí planteados están directamente y vinculados a la necesidad de ofrecer a personas con discapacidad motriz severa una herramienta accesible, funcional y resistente que les permita mejorar su capacidad de comunicación, mediante un sistema adaptado a sus necesidades específicas.

4.1. Objetivo general.

Renovar la estructura de montaje del sistema generador de voz desarrollada durante 2024 para lograr plena funcionalidad para su uso diario bajo condiciones habituales, sobre una silla de ruedas, renovar el diseño estructural para facilitar su adaptabilidad a diferentes modos de uso, portabilidad, armado e instalación y robustecer el sistema para que no se produzcan fallas durante los traslados.

4.2. Objetivos específicos.

- Identificar las mejoras que se pueden utilizar analizando los modelos existentes.
- Diseñar la totalidad de las partes en software CAD con el mayor número de detalles.
- Realizar un análisis de esfuerzos con el método de elementos finitos en software especializado (ANSYS).

- Utilizar nuevas máquinas y herramientas que mejoren la calidad de la nueva estructura.

Capítulo 5

Metodología

5.1 Lugar donde se llevó a cabo el proyecto.

Este proyecto fue llevado a cabo a lo largo de 15 semanas, desarrollándose en diversas partes de las instalaciones del instituto tecnológico superior del sur de Guanajuato (ITSUR). Las áreas más frecuentadas y utilizadas durante este periodo fueron en primer lugar, el almacén del edificio “E”, el cual disponía de una computadora de escritorio equipada con procesador de gama media y RAM de 8gb, así como con un sistema operativo Windows 10. La cual fue destinada exclusivamente a para el desarrollo de este proyecto. En esta misma área se contaba un software CAD, específicamente SolidWorks, que fue fundamental para la creación de los modelos requeridos.

Adicionalmente se realizaron actividades en el cubículo personal del asesor interno del proyecto, el Dr. Carlos Alberto Fuentes Hernández. En esta oficina también se encontraba una computadora equipada con características similares, así como también con el mismo software CAD, además de un programa especializado en impresión 3D, denominado Ultimaker Cura. A través de este software, se procesaron los archivos diseñados previamente para generar uno nuevo con un formato .gcode, los cuales son necesarios para la operación de impresoras 3D.

De esta manera, en dicho cubículo se llevaron a cabo todas las actividades relacionadas con la manufactura aditiva, utilizando una impresora 3D cuyo modelo es la creality ender 3 V3 SE instalada en el lugar. Esto nos permitió dar un seguimiento completo al proceso de diseño, preparación y fabricación de los modelos tridimensionales requeridos por el proyecto.

El proyecto se enfocó en el diseño integral de un sistema compuesto por dos subsistemas principales: un gabinete modular para alojamiento de componentes electrónicos y una estructura de soporte metálica adaptable. La motivación principal fue superar las deficiencias estructurales y funcionales observadas en versiones previas, donde se habían utilizado materiales plásticos convencionales que demostraron ser insuficientes para las cargas mecánicas reales.

5.2 Evaluación de Prototipos Anteriores y Diagnóstico Técnico

El desarrollo del presente proyecto comenzó con una revisión exhaustiva de los prototipos construidos durante ciclos anteriores, con el objetivo de identificar deficiencias estructurales, funcionales y de manufactura que comprometieran la viabilidad del diseño original. Esta fase de diagnóstico permitió establecer una línea base a partir de la cual realizar mejoras sustanciales.

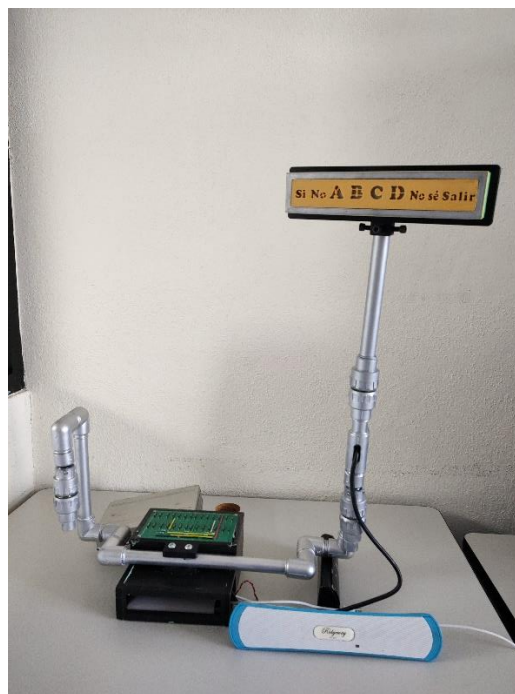


Figura 5.1: prototipo funcional versión 2024.

Durante el proceso de evaluación se identificaron tres problemáticas críticas que limitaron significativamente el desempeño y la durabilidad de los modelos previos:

Fragilidad estructural del gabinete principal.

El gabinete fue originalmente fabricado en ácido poliláctico (PLA), un termoplástico ampliamente utilizado en impresión 3D por su facilidad de uso y bajo costo. Sin embargo, durante las pruebas operativas se evidenció una baja resistencia a esfuerzos térmicos y mecánicos. El PLA, al tener un punto de reblandecimiento relativamente bajo (alrededor de 60 °C), presentó deformaciones estructurales bajo exposición prolongada al calor y a tensiones localizadas. Esto resultó en pérdida de forma, flexión de paredes laterales y microfisuras en zonas críticas, particularmente en puntos de anclaje y ensamblaje.

Débil resistencia a impactos en la estructura de soporte.

La estructura de soporte fue construida mediante tubos de polipropileno, un polímero que, aunque económico y ligero, carece de la rigidez y resistencia al impacto necesarias para aplicaciones que exigen estabilidad estructural. Durante la manipulación y traslado de los prototipos, se observaron flexiones excesivas, pérdida de alineación en los puntos de conexión y, en algunos casos, ruptura de las uniones. Este comportamiento mecánico comprometió la integridad del conjunto y evidenció la necesidad de materiales con mayores propiedades estructurales.

Complejidad en los procesos de montaje y desmontaje.

Otra de las limitantes detectadas fue la dificultad operativa para armar o desensamblar el sistema. Los sistemas de fijación empleados requerían herramientas especializadas y procesos secuenciales poco intuitivos, lo que dificultaba tanto el mantenimiento como la posibilidad de realizar ajustes rápidos en campo. Esta característica representaba una barrera importante en términos de usabilidad y eficiencia del sistema, especialmente en escenarios donde se requería una rápida intervención o sustitución de componentes.

Estas deficiencias se hicieron evidentes durante las pruebas de campo realizadas en condiciones representativas de operación. En dichas pruebas, los prototipos sufrieron fallas prematuras, particularmente en las uniones estructurales y en los componentes sometidos a carga directa. La situación más crítica fue la fractura localizada en la zona de apoyo de rodillas del gabinete, lo cual comprometió directamente la funcionalidad básica del sistema, ya que esta área debía soportar cargas mecánicas periódicas y servir como interfaz directa con el usuario. Este tipo de fallo no solo afectó la integridad mecánica, sino que también planteó riesgos potenciales en términos de seguridad operativa.

El diagnóstico detallado de estos aspectos permitió establecer con claridad las áreas de oportunidad en el rediseño del sistema, priorizando el uso de materiales con mejores propiedades mecánicas y térmicas, así como la implementación de soluciones de ensamblaje más eficientes, modulares y resistentes.



Figura 5.2: Prototipo versión 2024 montado sobre la silla de ruedas.

5.3 Selección de Materiales y Fundamentación Técnica.

Una vez finalizado el diagnóstico de los prototipos previos, se procedió a una fase crucial dentro del rediseño: la selección adecuada de materiales. Esta etapa requirió de un análisis comparativo exhaustivo entre diversas alternativas disponibles comercialmente, considerando propiedades mecánicas, térmicas y su compatibilidad con los procesos de manufactura aditiva y convencional empleados en el proyecto. El propósito fue encontrar un equilibrio entre desempeño estructural, durabilidad, facilidad de manufactura y viabilidad económica. Para de esta manera poder resolver los problemas mencionados anteriormente en el apartado 5.2 y lograr nuestro objetivo general de manera satisfactoria.

Para la fabricación del nuevo gabinete se optó por el uso de ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), un polímero termoplástico amorfo ampliamente utilizado en aplicaciones de ingeniería debido a su excelente combinación de resistencia al impacto, rigidez estructural y estabilidad térmica. Esta elección representa una mejora significativa con respecto al PLA utilizado en versiones anteriores, el cual resultaba inadecuado frente a esfuerzos térmicos prolongados y sollicitaciones mecánicas moderadas.

El ABS seleccionado presenta una resistencia a la tracción de 40 MPa, lo que le permite soportar cargas sin sufrir fracturas prematuras. Su temperatura de deformación bajo carga (HDT) se sitúa en torno a los 90 °C a 1.8 MPa, asegurando la integridad dimensional del gabinete incluso en ambientes con elevadas temperaturas o presencia de componentes electrónicos que generen calor. Además, posee un módulo de elasticidad de 2.3 GPa, valor que le otorga una rigidez estructural adecuada para mantener la forma bajo esfuerzo, y un alargamiento a la rotura del 20 %, que indica una buena ductilidad y capacidad de absorción de impactos.

Uno de los aspectos clave que justificó su adopción fue su compatibilidad con impresoras 3D de tipo FDM, como la Creality Ender 3 V3 SE, utilizadas en el proyecto. Aunque el ABS requiere condiciones de impresión más exigentes como mayores temperaturas de extrusión y cama calefactora estas se lograron mediante una configuración óptima del equipo, permitiendo una manufactura precisa, eficiente y repetible.

Respecto a la estructura de soporte, se determinó que los tubos de polipropileno utilizados previamente no ofrecían la rigidez ni la resistencia mecánica necesarias para las condiciones de uso esperadas. En su lugar, se seleccionaron tubos de cobre tipo M con un diámetro nominal de 22.3 mm y un espesor de pared de 1 mm. Esta alternativa metálica ofrecía una excelente relación entre resistencia y peso, permitiendo mantener la portabilidad del sistema sin sacrificar estabilidad ni integridad estructural.

El cobre fue elegido no solo por su resistencia mecánica superior, sino también por su facilidad de mecanizado, lo que permite realizar cortes, perforaciones o uniones de forma precisa utilizando herramientas convencionales. Otro aspecto fundamental fue su compatibilidad con una amplia gama de accesorios estandarizados, como codos, uniones y tes, lo que facilitó notablemente el proceso de diseño y ensamble. Finalmente, el cobre también proporciona una alta resistencia a la corrosión, lo que lo convierte en una opción idónea para aplicaciones en ambientes expuestos a humedad o contaminantes atmosféricos.

En conjunto, la elección del ABS para el gabinete y del cobre para la estructura de soporte permitió una mejora integral del sistema, al proporcionar mayor robustez, mejor comportamiento térmico y una reducción significativa de los riesgos estructurales observados en iteraciones anteriores. Esta decisión fue un factor determinante para garantizar la funcionalidad, confiabilidad y durabilidad del diseño en condiciones reales de operación.

5.4 Proceso de Diseño y Modelado CAD.

El desarrollo del modelo tridimensional del sistema se llevó a cabo utilizando el software SolidWorks 2022, aplicando una metodología de diseño paramétrico. Este enfoque permitió realizar iteraciones rápidas y ajustes dinámicos durante todo el proceso, facilitando la adaptación a nuevas especificaciones técnicas o restricciones de manufactura que surgieran en las etapas posteriores del proyecto.

Conforme a lo visto en el apartado 5.3, se definió el diseño de un gabinete de forma rectangular. Para ello, se comenzó con la creación de un croquis con medidas de 170 mm de largo por 70 mm de alto, y un perfil equidistante de 8 mm en la parte superior e inferior, y 5 mm en ambos laterales, mientras que se reforzaron los extremos superior e inferior con un espesor de 8 mm, considerando zonas de mayor carga o exposición a posibles esfuerzos mecánicos. Posteriormente, se utilizó la operación de extrusión para obtener un sólido tridimensional, que luego fue sometido a una operación de vaciado interna. Este vaciado, previsto desde el diseño del perfil, permitió definir el volumen hueco que funcionaría como el espacio principal del gabinete.

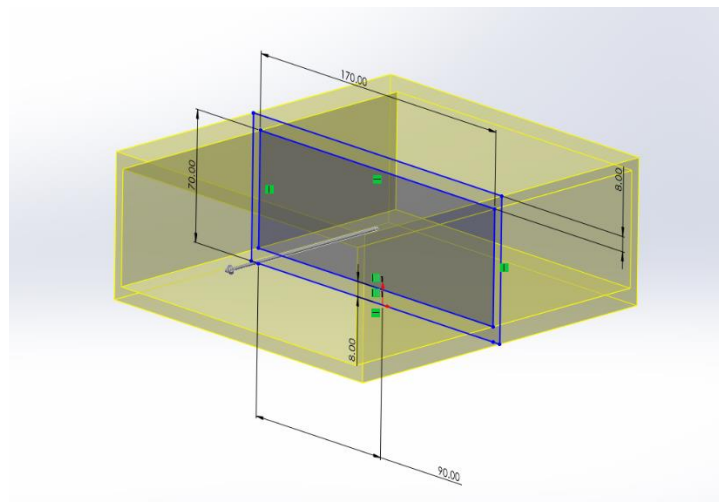


Figura 5.3: Diseño de la parte inferior del gabinete

Dentro de este gabinete se consideró, desde el diseño, la inclusión de una fuente de energía basada en una batería portátil (Power Bank), así como una abertura

superior destinada a alojar una sección adicional que contendría los sensores electromagnéticos. Para fijar la batería dentro del gabinete, se diseñó una guía ajustada con tornillos. Adicionalmente, se incorporaron diversas aberturas laterales, cada una destinada a una función específica de conexión. La primera abertura permite el paso del cable de alimentación tipo micro USB, utilizado para la recarga de la batería portátil. La segunda está diseñada para la conexión de la salida de audio hacia la bocina mediante un conector tipo jack. Finalmente, se incluyó una interfaz VGA que posibilita el envío de una señal de video, a través de la cual se visualizan las distintas opciones disponibles para que el usuario pueda seleccionar la que desee comunicar. Estas aberturas fueron modeladas en SolidWorks mediante unos croquis y operaciones de cortes por extrusión. Para asegurar su funcionalidad, se realizaron pruebas de encaje utilizando impresión 3D en PLA, lo que permitió verificar su compatibilidad con los conectores antes de continuar con el resto del gabinete.

La accesibilidad al interior del gabinete fue un factor clave en el diseño. Por ello, se integró una tapa deslizable con un sistema de cierre tipo “click”, que facilitaría la manipulación de los componentes electrónicos. Esta tapa incluye una abertura adicional para el paso del cable de conexión del Arduino Uno, con dimensiones exactas de 12mm por 6mm, lo cual garantiza compatibilidad con conectores estándar sin generar interferencias durante el uso ubicada estratégicamente según la posición de la placa dentro del gabinete. Para reforzar la idea y tener una visión clara de la disposición interna, se utilizó modelo CAD de la placa Arduino Uno, integrándolo dentro del diseño, se incorporaron guías de sujeción con el objetivo de facilitar el montaje interno de los componentes electrónicos, diseñadas específicamente para alojar la placa Arduino Uno. Estas guías fueron cuidadosamente dimensionadas con medidas de 50 mm de ancho por 70 mm de largo, garantizando así un ajuste preciso y seguro. Este diseño evita movimientos indeseados durante el funcionamiento del sistema, protegiendo las conexiones eléctricas y asegurando un rendimiento constante del módulo electrónico. Aunque las guías cumplían parcialmente su función al proporcionar un leve soporte

mediante adhesión externa, finalmente se optó por descartarlas. Esta decisión se tomó con el objetivo de evitar el uso de adhesivos y, en su lugar, emplear un sistema de fijación mediante tornillos, aprovechando que el Arduino Uno contaba con orificios de montaje compatibles para su sujeción directa a la base.

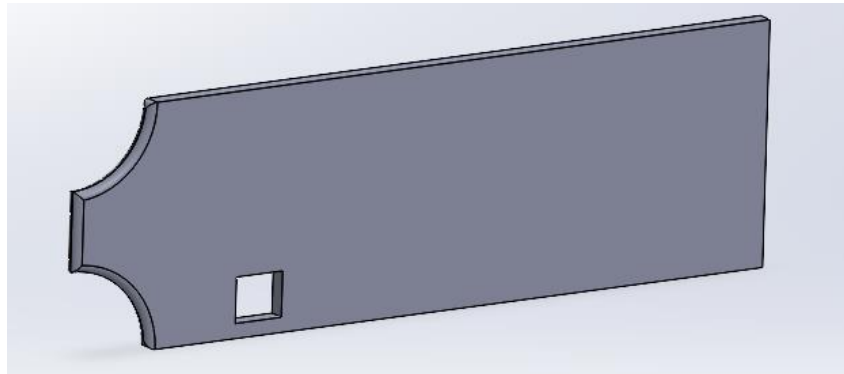


Figura 5.4: Tapa deslizable.

Adicionalmente, se integró una ranura de fijación destinada a contener un banco de energía (power bank), con dimensiones de 95 mm de largo, 65 mm de ancho y 20 mm de alto. Esta cavidad fue diseñada de forma que el dispositivo quedara firmemente posicionado dentro del gabinete sin necesidad de utilizar adhesivos, cintas u otros elementos de sujeción externos. De esta manera, se mejora significativamente la estética del montaje, se reducen posibles interferencias con otros componentes y se facilita la reutilización del power bank, ya que su extracción no requiere herramientas adicionales.

La parte superior del gabinete, destinada a albergar sensores y cables de conexión, fue concebida como una pieza ensamblable y removible, con el objetivo de permitir su desmontaje en caso de mantenimiento, reparación o futuras modificaciones al sistema. En ambos extremos de esta pieza se incorporaron orificios pasantes estratégicamente ubicados, los cuales permiten su fijación mediante tornillos metálicos estándar. Estos orificios están diseñados para alinearse con sus contrapartes ubicadas en la parte inferior del gabinete. Estas ubicaciones fueron cuidadosamente definidas con dimensiones específicas para que la rosca pueda formarse directamente sobre el material plástico del gabinete. Esta estrategia de

diseño permite prescindir de aditivos externos, lo que simplifica el proceso de ensamblaje y reduce el riesgo de fracturas, manteniendo la integridad estructural de las piezas impresas.

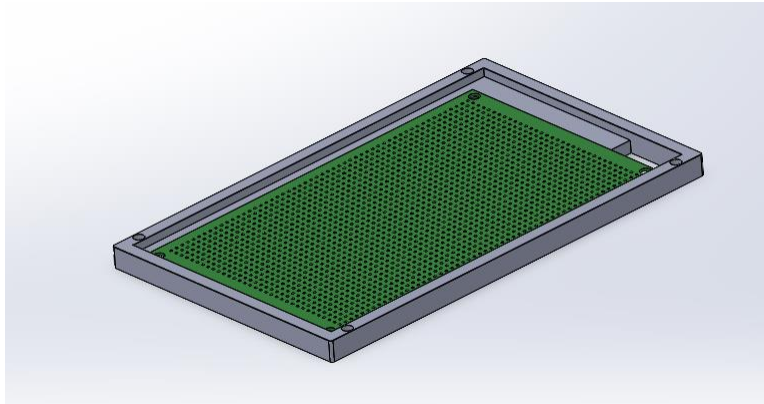


Figura 5.5: Parte superior del gabinete.

Posteriormente, este modelo fue exportado en formato STL, el cual es ampliamente compatible con software de impresión 3D, como Ultimaker Cura. Al importar el archivo STL en este software, se mantuvieron las configuraciones predeterminadas para la mayoría de los parámetros de impresión. Sin embargo, se realizó una excepción con la escala del modelo, la cual fue reducida del 100 % al 20 %. Esta modificación permitió obtener una versión reducida del gabinete, impresa como una sola pieza sólida. Dicha impresión sirvió como un prototipo preliminar para la validación general del diseño.

La observación detallada del prototipo impreso confirmó la viabilidad del diseño propuesto. Se logró validar la geometría general del gabinete y, al mismo tiempo, se identificaron posibles áreas de mejora relacionadas con detalles dimensionales y funcionales. Esta verificación, tanto visual como física, permitió tomar decisiones importantes y oportunas para su implementación definitiva dentro de la estructura principal del proyecto.

Tras obtener resultados satisfactorios en la prueba preliminar, se procedió a la impresión del gabinete a tamaño real, utilizando material ABS debido a sus propiedades mecánicas superiores. Sin embargo, la impresora 3D disponible no

estaba inicialmente optimizada para trabajar con este tipo de filamento, por lo que fue necesario realizar ajustes manuales en varios parámetros dentro del software Ultimaker Cura. Entre estos parámetros se incluyeron la temperatura del extrusor, la velocidad de impresión y la configuración de adherencia a la cama, con el objetivo de lograr una impresión exitosa y obtener piezas de alta calidad.

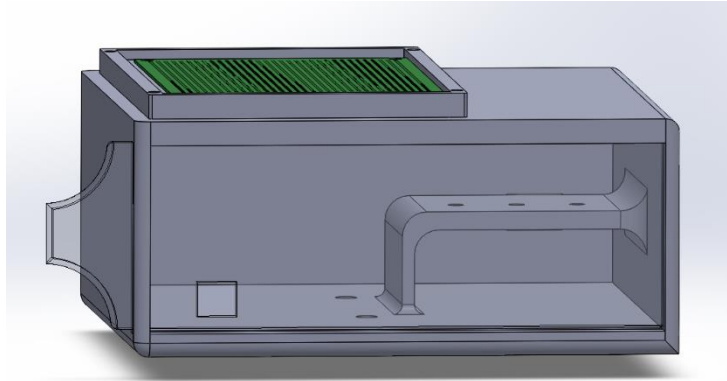


Figura 5.6: Gabinete para prueba al 20%.

Durante esta etapa surgió una problemática relevante asociada al tiempo de fabricación. La impresión de la parte superior del gabinete requería aproximadamente doce horas, mientras que la parte inferior, debido a su mayor volumen, necesitaba al menos treinta y seis horas. Este tiempo tan prolongado de impresión representaba una barrera considerable para la eficiencia del proceso de fabricación, especialmente considerando que el diseño original contemplaba una estructura sólida de una sola pieza con el objetivo de maximizar la rigidez estructural. Además, se identificó la necesidad de facilitar el acceso a los componentes internos del sistema para realizar tareas de mantenimiento, ajustes o futuras modificaciones. Por esta razón, se decidió rediseñar el gabinete dividiéndolo en secciones independientes que permitieran tanto su impresión en menor tiempo como su montaje y desmontaje de forma más práctica.

El nuevo diseño del gabinete se estructuró en seis piezas individuales, correspondientes a las paredes frontal, trasera, laterales, superior e inferior. Cada una de estas piezas fue modificada para incluir orificios (barrenos) en sus extremos,

permitiendo su ensamblaje mediante tornillos convencionales. Estos barrenos fueron posicionados cuidadosamente en SolidWorks antes de realizar la segmentación del modelo. Para garantizar un ensamblaje preciso y seguro entre las piezas, se dibujaron perfiles circulares sobre las superficies de unión, y luego se aplicaron operaciones de corte por extrusión. Los barrenos se diseñaron con diámetros diferenciados, en función de su propósito: algunos permitían el paso libre del tornillo, mientras que otros estaban destinados a generar una rosca directa en el material plástico, asegurando así una conexión firme y duradera.

La pieza frontal del gabinete fue diseñada con barrenos distribuidos de forma equitativa para garantizar un ensamblaje equilibrado que contribuyera a la rigidez del sistema. La pieza posterior, por su parte, incluyó refuerzos rectangulares ubicados en las zonas de inserción de tornillos. Estos refuerzos fueron implementados con el objetivo de evitar fracturas o deformaciones durante el proceso de apriete de la tornillería. El lateral derecho del gabinete, caracterizado por una geometría en forma de “L”, además de sus dos puertos, uno vga y el otro de tipo Jack que ya se mencionó anteriormente, que además fue diseñada para alojar la puerta deslizante, la cual incorpora una abertura especialmente para permitir el paso del cable de alimentación de la placa Arduino Uno de manera ordenada y sin interferencias. El lateral izquierdo por su parte ya contaba con su característica principal, un housing que ya se mencionó anteriormente el cual era exclusivamente para el puerto de carga micro-USB de la Power Bank.

En cuanto a los materiales empleados en la fabricación de las distintas piezas del gabinete, se optó por imprimir tanto el techo como la base en PLA. Esta elección respondió a criterios de funcionalidad, ya que la base contaba adicionalmente con una placa de acero inoxidable y una carcasa rígida que proporcionaban el soporte necesario. Asimismo, el techo del gabinete no estaría sometido a esfuerzos mecánicos significativos, por lo que no era necesario utilizar un material más resistente como el ABS.

Simultáneamente, se modeló la estructura tubular de soporte como un ensamblaje independiente dentro del entorno CAD. Esta estrategia permitió una organización más clara de los subcomponentes del sistema, así como una mejor preparación para la realización de simulaciones mecánicas posteriores. La estructura está compuesta por tubos principales de 500 mm y 410 mm de longitud, los cuales conforman el marco vertical y horizontal del sistema. Además, se incorporaron tubos secundarios con longitudes de 50 mm, 76.5 mm y 86 mm, cuya función es proporcionar estabilidad transversal y permitir el montaje seguro de los distintos módulos del sistema.

Las uniones entre los diferentes segmentos tubulares fueron diseñadas considerando el uso de conectores tipo “T” y codos a 45 grados. Estos elementos fueron seleccionados por su amplia disponibilidad en el mercado y su facilidad de montaje sin necesidad de herramientas especializadas. Se implementó un sistema de acople rápido basado en tolerancias de ajuste deslizante de ± 2 cm. Esta configuración permite ensamblar las piezas de manera sencilla, sin requerir herramientas adicionales, y garantiza un montaje firme, funcional y fácilmente desmontable en caso de ser necesario.

El ensamblaje virtual de la estructura se realizó en SolidWorks utilizando herramientas de inserción y relaciones de posición. Estas herramientas facilitaron la alineación precisa de los tubos horizontales y verticales, asegurando una geometría estable y simétrica. El resultado fue una estructura compuesta por dos tubos verticales en paralelo y dos tubos horizontales alineados, que juntos forman la base de soporte principal del sistema.

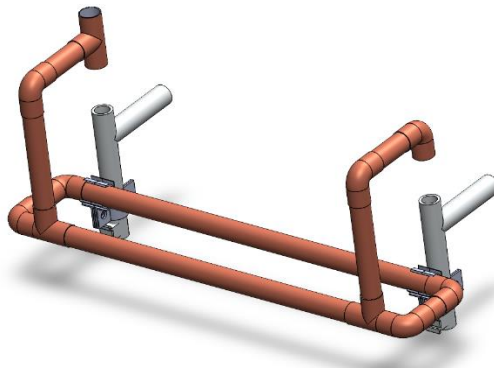


Figura 5.7: Estructura tubular.

Durante esta fase del diseño, se desarrolló también una carcasa complementaria como parte de la base del gabinete, con el propósito de alojar una placa de acero inoxidable. Esta carcasa fue diseñada con dimensiones externas de 190 mm por 210 mm, y su cuerpo fue extruido hasta alcanzar el volumen requerido para su función. Se integraron dos aberturas funcionales: una en la cara superior, para permitir la visibilidad de la placa durante su operación, y otra en la parte frontal, con dimensiones de 150 mm de largo por 5 mm de alto, ubicada estratégicamente en la zona central. Ambas aberturas se realizaron mediante operaciones de extrusión sobre croquis independientes. Una vez ensamblada, esta carcasa permitió el deslizamiento y la integración segura de la placa de acero inoxidable en su interior, cumpliendo adecuadamente su función como base estructural del gabinete y proporcionando rigidez y estabilidad a todo el conjunto.

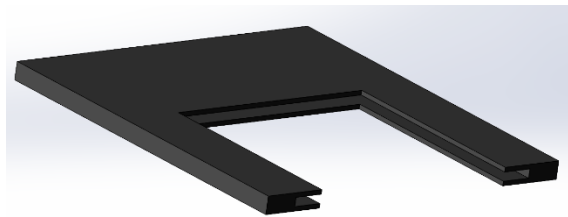


Figura 5.8: Carcasa para la placa de acero.

Concluido el diseño de la carcasa, se procedió al modelado de la propia placa de acero inoxidable. Para ello, se elaboró un croquis con un perfil cuadrado de 150 mm por 150 mm, que posteriormente fue extruido hasta una profundidad de 3 mm. Esta medida fue seleccionada con base en criterios de proporcionalidad, rigidez

estructural y compatibilidad con la carcasa previamente diseñada. La placa constituye el componente base del sistema, ya que sobre ella se montan los distintos módulos funcionales del proyecto.

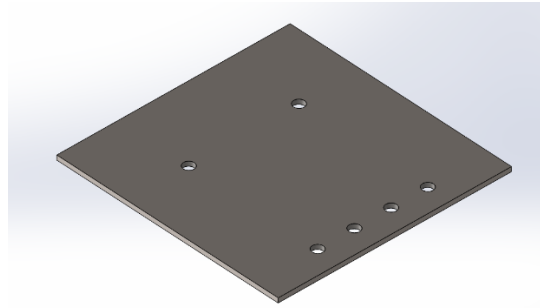


Figura 5.9: Diseño de la placa de acero inoxidable.

Una vez que el diseño del gabinete estuvo completamente desarrollado en formato CAD, se procedió a diseñar un sistema de acople indispensable para permitir que todo el conjunto pudiera montarse y desmontarse fácilmente en la silla de ruedas. Este sistema debía garantizar no solo una fijación firme y segura durante el uso, sino también ofrecer practicidad para su manipulación y transporte por parte del usuario.

El diseño del mecanismo del seguro se realizó, tomando como base el funcionamiento de una leva que genera fricción al presionar contra el tubo, manteniéndolo fijo en su posición. A diferencia de los mecanismos convencionales utilizados en trípodes, que emplean una pieza adicional sobresaliente para ejercer presión interna, se desarrolló una variante en la que la protuberancia está integrada directamente en la leva. Esto eliminó la necesidad de piezas sueltas que podrían desprenderse o perderse con el uso continuo, aumentando así la fiabilidad y durabilidad del sistema. El tubo que encaja dentro del seguro fue diseñado para servir como intermediario entre el seguro y el tubo principal de cobre de la estructura, y su diseño fue crucial para asegurar una conexión sólida y funcional que permitiera a la leva actuar eficazmente para fijar el conjunto.

Durante el proceso de diseño se realizaron varias iteraciones para ajustar el espesor de la pared del tubo. Una pared demasiado delgada resultaba en fracturas bajo la presión ejercida por la leva, mientras que una pared demasiado gruesa impedía que la leva generara la fricción necesaria para mantener el seguro firme, afectando el correcto funcionamiento del mecanismo. Por ello, encontrar un equilibrio entre resistencia y flexibilidad fue fundamental. La solución final consistió en diseñar el tubo con una abertura longitudinal vertical que permitiera que, bajo presión, el tubo se deformara ligeramente sin romperse, funcionando como un elemento flexible que facilitaba la acción de la leva.

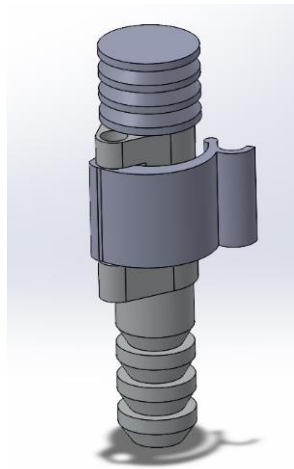


Figura 5.10: Sistema de acople para la silla de ruedas.

Con la integración de esta pieza fundamental, se completó el ensamblaje tridimensional del sistema, consolidando así un diseño optimizado tanto para procesos de manufactura aditiva como para su ensamblaje y operación mecánica. El modelo resultante cumple una función clave como referencia para las siguientes etapas de desarrollo, incluyendo el prototipado físico, la verificación funcional y la validación estructural del sistema en condiciones reales de uso.

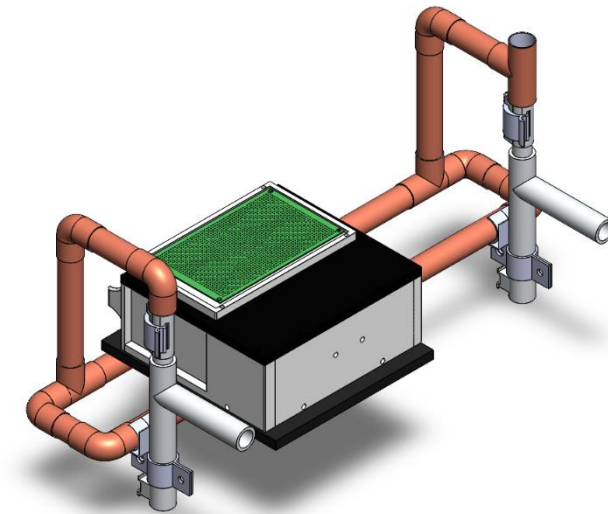


Figura 5.11: Ensamblaje de la estructura finalizada.

5.5 Análisis de Esfuerzos y Validación Estructural.

Para garantizar la integridad mecánica del diseño bajo condiciones reales de uso, se realizó un análisis estructural mediante simulaciones computacionales utilizando el software ANSYS Workbench 2022 R2, especializado en el estudio de esfuerzos y validación estructural. Aunque el modelo había sido previamente aprobado de manera conceptual, resultaba indispensable confirmar su resistencia tanto desde un enfoque físico como numérico. Esta etapa tuvo como finalidad principal validar la capacidad del gabinete y de la estructura tubular para soportar las cargas previstas durante su operación, utilizando para ello el método de elementos finitos (FEM), una técnica ampliamente reconocida y confiable para evaluar el comportamiento estructural ante cargas y condiciones diversas.

Entre las múltiples herramientas disponibles en ANSYS, se empleó el módulo “Static Structural” (Estructural Estático), que fue utilizado en dos momentos distintos del desarrollo. En esta primera fase, el enfoque se centró en analizar la respuesta del gabinete frente a condiciones de carga específicas, tomando en cuenta escenarios que simulan las tensiones y esfuerzos reales que se producen durante su uso cotidiano.

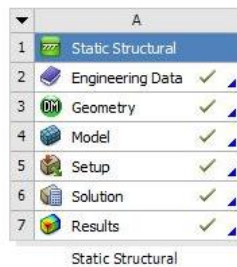


Figura 5.12: Menú del análisis de Static Structural.

Se inició configurando las propiedades mecánicas del material ABS dentro de la sección “Engineering Data” del entorno de trabajo. Para ello, se duplicó el material predeterminado (acero estructural) y se renombró como ABS. Posteriormente, se reemplazaron los valores por defecto e ingresaron las propiedades características del ABS, entre ellas: una resistencia a la tracción de 40 MPa, un módulo de elasticidad de 2.3 GPa y un alargamiento a la rotura del 20 %. Estos parámetros fueron seleccionados basándose en literatura técnica y datos experimentales de fabricantes, lo que permitió realizar una simulación realista y precisa del comportamiento del material bajo las condiciones de carga establecidas.

El proceso de simulación comenzó con la fase de preprocesamiento. Se importó la geometría tridimensional del gabinete en formato Parasolid (.x_t), previamente generada en SolidWorks, lo que permitió conservar las propiedades geométricas necesarias para la simulación sin pérdida de detalle ni resolución. Dentro del entorno de ANSYS, se accedió a la opción “New Design Modeler Geometry” desde la sección “Geometry” y se importó el archivo correspondiente mediante la herramienta “Import External Geometry File”. Una vez cargado el modelo, se generó su visualización empleando la opción “Generate”. Para simplificar el análisis y optimizar los tiempos de cómputo, todos los cuerpos de la geometría fueron agrupados como una sola pieza, asegurando una representación coherente del conjunto.

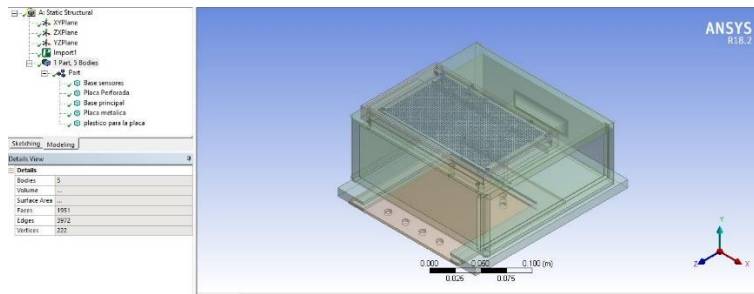


Figura 5.13: Geometría importada en ANSYS.

Posteriormente, dentro del apartado “Model”, se asignó el material ABS a todo el conjunto, sustituyendo el acero estructural por defecto, garantizando así que las propiedades mecánicas asignadas correspondieran fielmente a las características del material empleado en la fabricación. A continuación, se generó una malla volumétrica de tipo tetraédrica cuadrática, adecuada para representar con precisión las geometrías complejas del modelo y captar los gradientes de esfuerzo de forma detallada, lo que es fundamental para obtener resultados confiables.

Con la geometría y el material definidos correctamente, se procedió a configurar el entorno de simulación “Static Structural”, estableciendo las condiciones de contorno y las cargas de acuerdo con datos empíricos obtenidos durante el uso de versiones previas del prototipo. En etapas anteriores del desarrollo, se identificó una falla frecuente en la parte frontal del gabinete, atribuida a fracturas ocasionadas cuando el cuidador ejercía presión al acoplar el sistema a la silla de ruedas. Para simular esta condición realista, se fijaron seis puntos de soporte ubicados en los barrenos de la base del gabinete, correspondientes a la zona de contacto con la placa de acero inoxidable, emulando los puntos de sujeción y las restricciones de movimiento.

En cuanto a las cargas aplicadas, se definieron tres escenarios representativos del uso cotidiano del dispositivo. En primer lugar, se aplicó una carga distribuida de 500 N sobre la parte frontal del gabinete, simulando el apoyo de la rodilla del cuidador, una situación que genera esfuerzos significativos en esta zona. En segundo lugar, se introdujo una carga puntual de 200 N sobre la zona superior del gabinete, en

representación del esfuerzo ejercido por la mano durante la manipulación del sistema. Finalmente, se añadió un momento torsor de 10 Nm en las uniones principales, simulando el efecto de torsión provocado por movimientos laterales involuntarios durante el uso del sistema, lo que permite evaluar la capacidad de la estructura para resistir fuerzas rotacionales.

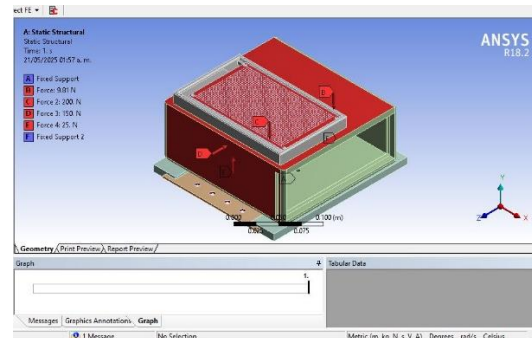


Figura 5.14: Fuerzas aplicadas al gabinete.

Con las condiciones de carga debidamente establecidas, se seleccionaron los parámetros de análisis a visualizar: “Normal Stress” (esfuerzo normal), “Equivalent Stress” (esfuerzo equivalente), “Total Deformation” (deformación total) y “Elastic Strain” (deformación elástica). Al ejecutar el comando “Solve”, el software generó los resultados correspondientes, incluyendo animaciones del comportamiento estructural bajo carga, facilitando así la interpretación visual y cuantitativa de las zonas críticas.

Los resultados obtenidos fueron evaluados utilizando el criterio de esfuerzo equivalente de Von Mises, que permite identificar las regiones más críticas en términos de resistencia estructural y prever posibles fallas. Adicionalmente, se analizaron las deformaciones totales para verificar que las deflexiones no afectaran la funcionalidad del dispositivo ni su ensamblaje con otros componentes. Los resultados mostraron una distribución adecuada de esfuerzos, sin concentraciones críticas que comprometieran la integridad del sistema. Esto validó la resistencia mecánica del diseño, confirmando la idoneidad del material ABS como opción principal para la fabricación del gabinete.

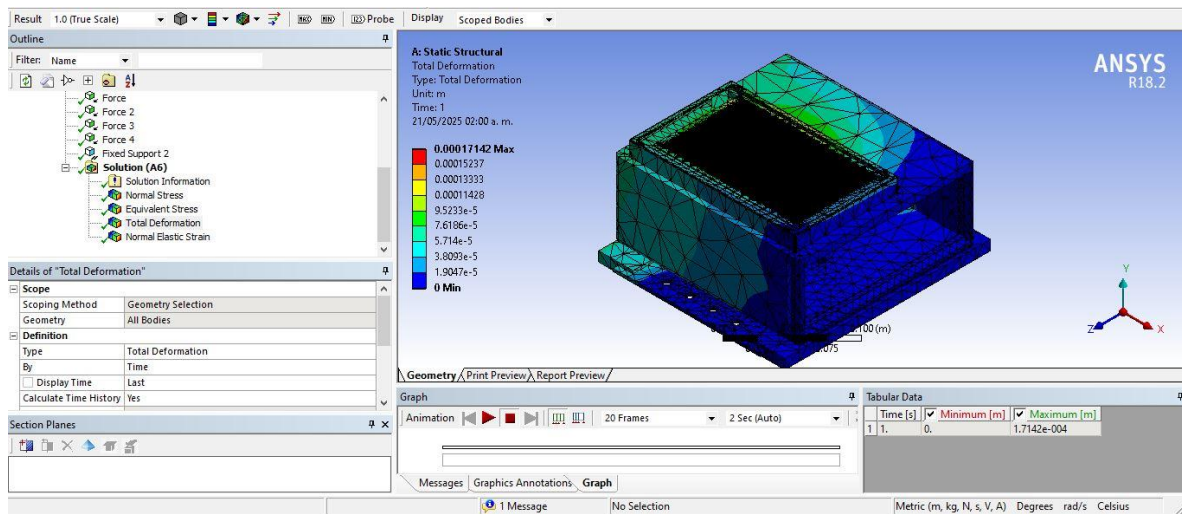


Figura 5.15: Solución del análisis.

Para complementar el análisis estructural general realizado anteriormente, se llevó a cabo un segundo análisis específico centrado en el tubo con abertura longitudinal diseñado para el mecanismo de seguro basado en leva. Este análisis fue fundamental para validar la funcionalidad y la resistencia del tubo ante las fuerzas particulares que ejerce la leva durante el proceso de fijación.

A diferencia del primer análisis, que abarcó toda la estructura del gabinete y la estructura tubular, esta evaluación se focalizó exclusivamente en la zona crítica del tubo donde se aplica la presión de la leva. El objetivo principal fue examinar cómo se comporta el material y la geometría del tubo al recibir las cargas concentradas generadas por la acción del seguro, que debe mantener firme la unión sin permitir movimientos indeseados.

Durante la simulación, se aplicaron las fuerzas que la leva ejerce sobre el tubo para reproducir de manera realista las condiciones de uso del seguro. Se analizaron aspectos clave como la distribución de esfuerzos, deformaciones locales y posibles zonas de concentración que podrían poner en riesgo la integridad del componente. Este análisis permitió verificar que el diseño del tubo con abertura longitudinal permite una deformación controlada, lo suficiente para que la leva ejerza su función de manera eficaz, pero sin llegar a provocar fracturas o daños permanentes en el

material. Con esto se puede decir que los resultados obtenidos mediante el análisis por elementos finitos validan el diseño estructural del sistema, demostrando que cumple con los requerimientos de resistencia y rigidez necesarios para garantizar su correcto funcionamiento ante las condiciones de carga previstas.

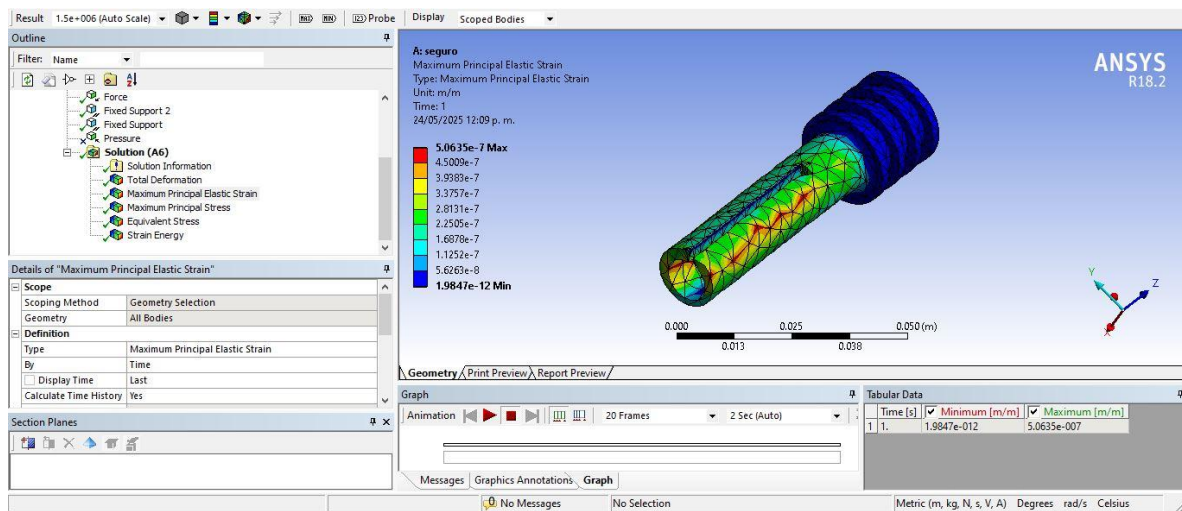


Figura 5.16: Análisis de esfuerzos sobre bitoque del seguro.

5.6 Proceso de Fabricación Aditiva.

La fabricación de los componentes estructurales del gabinete se llevó a cabo mediante manufactura aditiva, específicamente utilizando la técnica de Modelado por Deposición Fundida (FDM). Esta metodología permitió producir piezas con geometrías complejas y controlar sus propiedades mecánicas de forma precisa, gracias a la configuración óptima de los parámetros de impresión. La elección del proceso FDM se basó en su accesibilidad, bajo costo relativo y capacidad para trabajar con materiales termoplásticos como el ABS, que ofrece una buena combinación entre resistencia mecánica y facilidad de impresión.

El proceso de impresión se realizó con una impresora Creality Ender 3 V3 SE, reconocida por su fiabilidad en la creación de prototipos funcionales y su amplia aceptación en la comunidad de impresión 3D por ofrecer un balance adecuado entre calidad y costo. Para el laminado digital de los modelos tridimensionales se utilizó

el software Ultimaker Cura 5.2.1, el cual permitió una configuración detallada y personalizada de cada uno de los parámetros necesarios para el trabajo con ABS, incluyendo el ajuste de temperaturas, velocidades, rellenos y sistemas de soporte.

Inicialmente, se seleccionó correctamente el modelo de impresora dentro del entorno del software, eligiendo la Creality Ender 3 V3 SE, lo que aseguró que las configuraciones predefinidas fueran compatibles con las características físicas y mecánicas del equipo. A partir de ello, se procedió a modificar diversos parámetros para optimizar la calidad y resistencia de las piezas impresas. En la sección de “Calidad”, se definió una altura de capa inicial de 0.32 mm, un valor que representa un compromiso entre detalle superficial y velocidad de fabricación, siendo adecuado para piezas estructurales donde no se requiere una resolución extremadamente fina.

En la categoría “Superior e inferior”, se configuraron cuatro capas inferiores y tres capas superiores, con el fin de mejorar la base estructural de las piezas y garantizar que las superficies superiores tuvieran la suficiente densidad para soportar esfuerzos puntuales o de contacto. En cuanto al “Relleno”, se eligió el patrón Giroide, reconocido por distribuir las cargas de manera uniforme, se activó el conector de líneas de relleno y se especificó que el relleno se imprimiera antes que las paredes, buscando con ello una estructura interna más sólida y estable que contribuya a la resistencia mecánica global sin un aumento significativo en el peso ni en el tiempo de impresión.

Dentro de los parámetros del material, se ajustó la temperatura de extrusión a 255 °C y la de la primera capa a 260 °C, valores apropiados para el procesamiento de ABS, material que requiere temperaturas elevadas para fundirse adecuadamente y lograr una buena adhesión entre capas. La cama calefactada se configuró a 80 °C, lo que permitió una correcta adherencia inicial y redujo el riesgo de deformaciones térmicas, uno de los principales problemas al imprimir ABS debido a su alta contracción al enfriarse.

En la sección “Velocidad”, se estableció una velocidad de impresión de 100 mm/s, buscando un equilibrio entre tiempo de producción y calidad superficial. Esta velocidad moderada fue seleccionada para minimizar defectos típicos como el warping o el stringing, sin sacrificar la productividad del proceso. En el apartado “Desplazamiento”, se activó la retracción durante los cambios de capa, con una distancia de retracción de 1.0 mm, reduciendo así defectos por goteo del filamento y mejorando la limpieza y definición de las piezas.

Además, el ventilador de capa se mantuvo operativo al 100 % desde el inicio, favoreciendo la solidificación rápida del material y garantizando una superficie uniforme, lo cual es crucial para evitar deformaciones y asegurar un acabado consistente. En cuanto al sistema de soportes, se configuró un ángulo de ramas en forma de árbol de 45° y se seleccionó el patrón Concéntrico, con el fin de facilitar su posterior extracción sin afectar la pieza, optimizando la facilidad de post-procesado y evitando daños en las zonas críticas. Finalmente, para la adherencia a la plataforma de impresión, se utilizó una base tipo Balsa, que genera una capa intermedia de ABS adherida a la cama, lo que disminuyó el riesgo de desprendimiento durante la fabricación y mejoró la estabilidad dimensional.

Estas configuraciones fueron clave para adaptar eficazmente la impresora al uso de ABS, logrando una producción constante de piezas funcionales, con buena resistencia y excelente adherencia, aspectos fundamentales para asegurar la durabilidad y desempeño de los componentes estructurales.

Con los parámetros definidos en Ultimaker Cura, se inició la impresión de las piezas definitivas del proyecto. La primera pieza fabricada fue la parte superior del gabinete, que alberga los sensores. Durante esta impresión inicial se detectaron diversos problemas, siendo el más significativo la falta de adherencia del material a la cama, lo que provocaba fallos recurrentes en las primeras capas y la consecuente inutilización de la pieza. Tras un análisis detallado, se concluyó que el inconveniente

se limitaba a una sección específica de la cama calefactada, posiblemente debido a un desgaste o contaminación localizada.

Para evitar fallos futuros, se optó por reemplazar completamente la superficie de impresión por una nueva, compatible con el modelo Creality Ender 3 V3 SE. Solucionada esta situación, se reanudó con éxito la fabricación de la parte superior del gabinete, asegurando una base estable para las siguientes capas y evitando el desperdicio de material y tiempo.

Posteriormente, se imprimieron las paredes laterales, frontales y traseras del gabinete, considerando que estas zonas debían ofrecer alta resistencia mecánica para soportar las cargas y esfuerzos del uso diario. Todas las piezas se produjeron siguiendo el diseño actualizado y empleando la configuración optimizada previamente descrita, lo que garantizó la coherencia dimensional y funcionalidad del conjunto.

Con la impresión del gabinete completamente finalizada, se procedió a poner en marcha la fabricación del componente correspondiente al sistema de seguro de acople. Este proceso dio origen a un nuevo mecanismo diseñado para facilitar el montaje y desmontaje del gabinete en la silla de ruedas, garantizando una conexión rápida, segura y eficiente, como ya mencionamos en el apartado anterior 5.5 cumple con cada una de estas funciones gracias a nuestro análisis.

La impresión del seguro permitió transformar el diseño conceptual en una pieza funcional, que cumple con los requerimientos de resistencia y facilidad de uso planteados desde las etapas iniciales del proyecto. Gracias a este sistema, se logró una fijación firme que mantiene la estructura estable durante su uso, al mismo tiempo que permite desmontarla sin complicaciones cuando se requiere, de una manera tan sencilla como lo es abrir y cerrar una puerta.

Este desarrollo no solo simplifica la interacción del usuario con el dispositivo, sino que también aporta mayor versatilidad y adaptabilidad al sistema, facilitando su

transporte, almacenamiento y mantenimiento. La incorporación de este seguro de acople representa un avance significativo en la funcionalidad global del proyecto, integrando eficiencia mecánica con practicidad operativa. Este proceso permitió asegurar la calidad y funcionalidad del sistema de acople, integrando con éxito el componente fabricado al conjunto general del proyecto.

Este conjunto de procedimientos permitió obtener piezas sólidas, funcionales y con una calidad superficial adecuada para su integración efectiva dentro del sistema usable y funcional, cumpliendo con los requerimientos técnicos y de diseño establecidos desde la fase conceptual hasta la fabricación.

5.7 Ensamblaje y Pruebas Funcionales.

La etapa de integración del sistema se ejecutó siguiendo procedimientos técnicos meticulosamente planificados, con el objetivo de asegurar la compatibilidad dimensional, la estabilidad mecánica y la funcionalidad operativa de todos los componentes involucrados. Este proceso integral fue fundamental para garantizar que cada parte cumpliera con su función dentro del conjunto sin comprometer la calidad ni la durabilidad del producto final.

Durante la impresión de las piezas en ABS, se detectó una leve expansión térmica del material, un fenómeno común en los termoplásticos debido a las variaciones de temperatura durante la impresión y el enfriamiento. Esta expansión provocaba desviaciones dimensionales que, aunque mínimas, afectaban el ajuste entre componentes, generando dificultades para lograr un ensamblaje preciso. Para corregir estas variaciones dimensionales, se realizó un post-procesado mediante lijado manual con lijas redondas de diferentes granulometrías, lo que permitió ajustar con precisión las superficies de contacto y asegurar un ensamblaje firme, sin holguras ni tensiones internas que pudieran afectar el desempeño mecánico del gabinete.

El ensamblaje del gabinete comenzó con la unión de las seis piezas estructurales principales que conforman el cuerpo del sistema. Para este propósito, se utilizaron tornillos M3x12 mm fabricados en acero inoxidable A2, seleccionados específicamente por su alta resistencia a la corrosión, durabilidad y capacidad de fijación en condiciones exigentes de uso. Las piezas fueron ensambladas con precisión a través de los barrenos previamente diseñados en el modelo CAD, garantizando que las uniones fueran firmes y estables. Este proceso fue clave para formar una estructura sólida y funcional, lista para su posterior integración al sistema general.

Una vez validado el gabinete ensamblado, se procedió a realizar perforaciones en la placa de acero inoxidable que forma parte de la base del sistema. Estas perforaciones se llevaron a cabo con un taladro de banco equipado con una broca fina de una medida de 11/32, lo que permitió una ubicación exacta y un ajuste firme de los elementos de fijación durante el montaje. Este procedimiento requirió precisión y control para evitar deformaciones o daños en la placa, asegurando una conexión segura y duradera.

Posteriormente, se dio inicio al armado de la estructura de soporte, un componente esencial para la estabilidad y funcionalidad del sistema. La estructura fue construida con tubos de cobre tipo M, conforme a las especificaciones detalladas en el modelo CAD. Para obtener las dimensiones requeridas, los tubos se cortaron utilizando una pulidora de disco y herramientas de sujeción adecuadas, permitiendo realizar cortes limpios y precisos, imprescindibles para asegurar un ensamblaje correcto. En total, se prepararon dos tubos largos, dos medianos, cinco codos, tres tubos tipo "T" y seis coples para un ensamblaje provisional, lo que facilitó las pruebas y ajustes posteriores. Aunque en esta fase no se aplicó una fijación permanente, se consideró la opción de utilizar soldadura en frío una vez que se confirmaran las dimensiones y posiciones finales. Al final después de esta consideración confirmamos que una soldadura en frío era la mejor opción ya que nos facilitaba la manipulación de los tubos en caso de que no quedaran en la posición correcta.

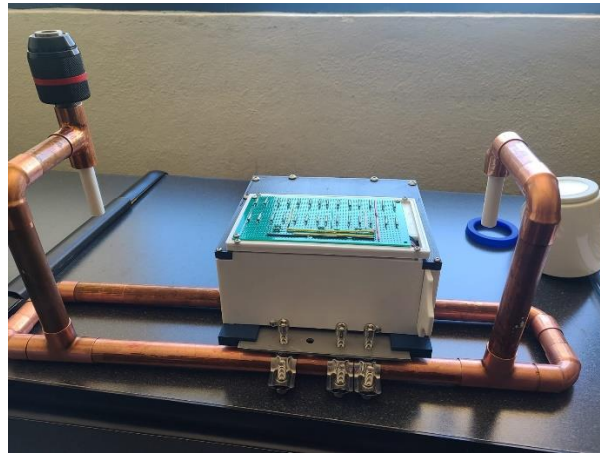


Figura 5.17: Ensamblaje del gabinete y acople a los tubos de cobre.

Para validar el acoplamiento con la silla de ruedas, se realizó una prueba preliminar empleando un tubo largo con tubos tipo “T” en sus extremos. Esta prueba práctica permitió marcar los puntos de corte exactos necesarios para lograr un ajuste preciso con la estructura de la silla, garantizando así la funcionalidad y la ergonomía del sistema durante su uso. La experiencia adquirida en esta etapa fue crucial para evitar errores dimensionales que podrían comprometer el desempeño final.

Durante el proceso de integración, surgió la necesidad de desarrollar un sistema de acoplamiento y desacoplamiento eficiente, que facilitara el montaje, mantenimiento y transporte del dispositivo. La versión anterior empleaba coples roscados para este fin, pero estos fueron descartados debido a su poca practicidad, complejidad en el uso y problemas para lograr un apriete uniforme. También se evaluó el uso de seguros de manguera, pero fueron descartados por su baja confiabilidad y riesgo de desajuste durante el uso frecuente.

Finalmente, se adoptó un mecanismo inspirado en los seguros de trípodes telescópicos, que permite fijar tubos mediante una palanca tipo leva. Este diseño innovador ofrece la ventaja de permitir el deslizamiento controlado de un tubo dentro de otro, asegurándolo con firmeza hasta su liberación mediante la palanca. Este sistema no solo mejoró la ergonomía del ensamblaje, sino que también aumentó la seguridad y rapidez para el usuario final.

Con el nuevo sistema de fijación validado, la estructura completa fue ensamblada y adaptada a la silla de ruedas. Para ello, se reutilizó una carcasa proveniente de una versión anterior del dispositivo, la cual fue acoplada a la estructura mediante un selfie stick modificado, que actuó como un brazo de soporte flexible. Para asegurar la unión entre esta carcasa y la estructura principal, se empleó un mandril de taladro eléctrico junto con un bitoque diseñado específicamente para este propósito, lo que garantizó una conexión firme, segura y funcional, capaz de soportar las cargas y movimientos esperados.

Este sistema fue complementado con pernos de ajuste M4 de acero inoxidable, permitiendo realizar ensamblajes y desmontajes de forma segura, precisa y repetitiva ya que se tuvo que poner en cada lado de los seguros, sin afectar la integridad estructural ni la funcionalidad del sistema. La combinación de estos elementos facilitó el mantenimiento y la adaptación del dispositivo a diferentes configuraciones, mejorando significativamente la experiencia del usuario al final.



Figura 5.18: Estructura final.



Figura 5.19: Ensamble de la estructura final.

Capítulo 6

Resultados

El desarrollo e implementación del sistema de adaptación para sillas de ruedas ha culminado con un éxito total, habiéndose alcanzado el 100% de los objetivos planteados tanto en sus aspectos generales como específicos. Este logro se ha consolidado a través de un proceso meticuloso de diseño, validación y verificación, donde cada etapa fue guiada por estándares técnicos rigurosos y una orientación constante hacia la mejora de la accesibilidad y la funcionalidad. La validación del sistema se llevó a cabo mediante una cantidad exhaustiva de pruebas diseñadas para simular condiciones reales de operación, lo que permitió comprobar que el sistema no solo satisface, sino que en muchos casos supera las expectativas iniciales en términos de desempeño, seguridad, facilidad de uso y confiabilidad a largo plazo.

Estas pruebas incluyeron la evaluación de múltiples escenarios de uso cotidiano, desde entornos interiores con superficie nivelada hasta condiciones exteriores más exigentes, como rampas, bordillos y terrenos irregulares. En todos los casos, los resultados fueron altamente satisfactorios, mostrando consistencia y repetibilidad de resultados, lo cual garantiza la robustez y la estabilidad del sistema en contextos prácticos diversos. Esta fiabilidad operativa es esencial para asegurar la confianza del usuario y facilitar su integración plena en la vida diaria.

Durante las etapas iniciales del proceso de validación se identificaron ciertos desafíos relacionados con la instalación del sistema solo si el usuario permanecía sentado en la silla. Estas dificultades operativas, aunque previsibles en cierta medida, subrayaron la necesidad de desarrollar una solución más eficiente y segura para el ensamblaje. En respuesta a esta situación, se diseñó y validó un protocolo de instalación en dos etapas, el cual demostró ser altamente efectivo. Esta nueva incorporación no solo resolvió por completo las complicaciones detectadas, sino que

también introdujo mejoras significativas en términos de ergonomía para la instalación, precisión de montaje y ahorro de tiempo operativo. El protocolo propuesto consiste en una primera fase de montaje con la silla vacía, lo cual permite un acceso óptimo a todos los puntos de anclaje y facilita la correcta alineación de los componentes sin restricciones. La segunda fase contempla la transferencia del usuario ya con el sistema parcialmente montado, utilizando técnicas específicas de apoyo y fijación que garantizan la seguridad del proceso y minimizan el esfuerzo requerido. Esta estrategia ha demostrado una alta reproducibilidad y ha sido documentada en un manual técnico que acompaña al dispositivo, asegurando su implementación adecuada por parte de futuros operadores.

Las pruebas de estabilidad estructural y funcional fueron llevadas a cabo bajo condiciones controladas y replicables, contemplando tanto cargas estáticas como dinámicas. Estas evaluaciones pusieron especial énfasis en los puntos críticos de tensión, las uniones mecánicas y los elementos de absorción de impactos. Los datos recopilados evidencian que la estructura mantiene una rigidez y alineación óptimas incluso bajo solicitaciones variables, sin presentar deformaciones permanentes ni holguras que comprometan la seguridad del usuario. El rendimiento en superficies irregulares fue especialmente destacable, con una notable capacidad del sistema para mitigar vibraciones y absorber impactos, protegiendo al usuario de molestias o riesgos derivados del entorno.

Desde la perspectiva ergonómica, se llevó a cabo un análisis detallado que confirmó que el sistema cumple plenamente con los parámetros que establecimos para una mejor accesibilidad y sobre todo un gran confort para el usuario. La interfaz de usuario ha sido diseñada para facilitar su interacción sin requerir fuerza excesiva ni movimientos complejos, lo cual favorece la autonomía del usuario en su operación. No obstante, el proceso de validación también permitió identificar áreas con potencial de mejora, particularmente en lo relativo a la altura del gabinete principal y la distribución de la presión en zonas de contacto prolongado. Estas observaciones no afectan el desempeño actual del sistema, pero abren

oportunidades de optimización futura que podría elevar aún más el nivel de confort y usabilidad, especialmente en sesiones de uso prolongadas o en usuarios con necesidades específicas.

La implementación exitosa de este sistema representa un hito significativo en el campo del desarrollo de tecnologías de asistencia. Su diseño modular y robusto, complementado por un protocolo de instalación claramente definido y una operatividad validada en condiciones reales, lo posiciona como una solución altamente viable y adaptable. La versatilidad del sistema ha sido corroborada mediante su integración en diversos modelos de sillas de ruedas comerciales, sin requerir modificaciones estructurales sustanciales ni afectar la integridad del equipo original. Este aspecto es crucial para promover su adopción a gran escala, como integrando algunos otros dispositivos y de esta manera facilitando su implementación tanto en entornos domésticos como institucionales.

Los beneficios tangibles derivados del sistema se extienden más allá del ámbito técnico. El impacto positivo en la calidad de vida del usuario ha sido evidente durante las pruebas finales, donde se registró una alta satisfacción expresada espontáneamente por los participantes. Este resultado refleja no solo la funcionalidad del sistema, sino también el valor simbólico de una solución que respeta la dignidad del usuario, promueve su independencia y refuerza su inclusión activa en la sociedad.



Figura 6.1: Acople a la silla de ruedas.

El éxito alcanzado con este proyecto sienta una base sólida para futuras fases de desarrollo, que podrían incluir la integración de componentes electrónicos, interfaces inteligentes o sistemas de monitoreo remoto. Estas posibles evoluciones, combinadas con una estrategia de producción escalable y sostenible, permitirán ampliar el alcance del sistema y maximizar su impacto social, consolidando su aporte a un entorno más accesible y equitativo para todas las personas.



Figura 6.2: Sistema sobre la silla, listo para realizar detalles finales.



Figura 6.3: Producto Final entregado al usuario.

Además de lo mostrado en la Figura 6.2, donde el sistema se encuentra en su etapa final de preparación para la incorporación de los últimos detalles, se presenta también el producto concluido y listo para su entrega al usuario (Figura 6.3). Asimismo, puede observarse que el usuario realiza con entusiasmo las primeras pruebas del sistema integrado en la silla de ruedas (Figura 6.4). Tal como se mencionó anteriormente, el sistema demuestra un funcionamiento correcto y eficiente durante las pruebas realizadas por el usuario (Figura 6.5).



Figura 6.4: Sistema probado sobre la silla.



Figura 6.5: Sistema al momento de que el usuario lo prueba exitosamente.

Capítulo 7

Análisis de Resultados

El desarrollo e implementación del sistema de adaptación para sillas de ruedas ha culminado exitosamente, alcanzándose el 100% de los objetivos planteados, tanto generales como específicos. Este resultado se consolidó mediante un proceso riguroso de diseño, validación y verificación, guiado por estándares técnicos exigentes y un enfoque constante en mejorar la accesibilidad y funcionalidad del sistema. Las pruebas se realizaron bajo condiciones que simulan escenarios reales de uso, lo que permitió confirmar que el sistema no solo cumple, sino que en muchos casos supera las expectativas en términos de desempeño, seguridad, facilidad de uso y confiabilidad a largo plazo.

Los resultados obtenidos no solo validaron el cumplimiento de los objetivos, sino que también permitieron identificar oportunidades de mejora. Uno de los hallazgos más relevantes se relaciona con la interacción física entre el usuario y el dispositivo, particularmente en lo concerniente a la posición del gabinete respecto a la pierna del usuario. A diferencia de versiones anteriores, en esta iteración se observó que la pierna descansa directamente sobre el gabinete, lo cual representa un riesgo potencial de incomodidad o lesión por presión prolongada. Este cambio puede atribuirse a dos factores: el sistema de acoplamiento con mecanismos de leva añade aproximadamente 4 cm de altura adicional, y el nuevo gabinete presenta dimensiones ligeramente mayores a la anterior versión.

Aunque esta modificación mejora la robustez y fijación del sistema, introduce desafíos ergonómicos. Las esquinas del gabinete, si bien no son filosas, podrían generar puntos de contacto incómodos. Esto plantea la necesidad de reconsiderar el diseño volumétrico del gabinete o implementar soluciones como coberturas acolchadas o rediseños curvados en zonas de contacto con el usuario.

Otro aspecto identificado fue la dificultad para desmontar los seguros de acoplamiento una vez fijados. Si bien estos garantizan un acople firme, su desmontaje requiere en ocasiones el uso de herramientas como brocas y taladros, lo cual no es deseable. Este hallazgo evidencia la necesidad de rediseñar los seguros para facilitar un desmontaje accesible sin comprometer su función estructural.

Desde la perspectiva ergonómica, el análisis realizado confirmó que el sistema cumple con la accesibilidad deseada y confort. La interfaz de usuario ha sido diseñada para facilitar su interacción sin necesidad de fuerza excesiva ni movimientos complejos, promoviendo la autonomía del usuario. No obstante, se identificaron áreas de mejora, especialmente en lo relativo a la altura del gabinete y la distribución de presión en zonas de contacto prolongado. Aunque estas observaciones no afectan el funcionamiento actual, sí ofrecen una base valiosa para optimizaciones futuras.

El sistema ha demostrado ser altamente adaptable a diversos modelos de sillas de ruedas comerciales sin requerir modificaciones estructurales sustanciales, lo cual facilita su implementación tanto en entornos domésticos como institucionales. Esta versatilidad representa una ventaja competitiva en términos de producción, distribución e instalación, y ha sido corroborada mediante pruebas de integración exitosas.

Finalmente, el sistema fue entregado como producto terminado y preparado para su uso cotidiano (Figura 6.3). Durante este proceso, se instruyó a la cuidadora del usuario en la correcta instalación del dispositivo en la silla de ruedas (Figura 6.4). A partir de dicha entrega, el usuario comenzó a emplear el sistema de manera directa, dando continuidad a su fase de prueba y validación (Figura 6.5).

El impacto social del sistema se refleja en la alta satisfacción expresada espontáneamente por el usuario durante las pruebas, evidenciando no solo su funcionalidad técnica, sino también su valor simbólico al promover la independencia del usuario. Esta experiencia práctica refuerza la importancia de equilibrar criterios de resistencia y funcionalidad con aspectos de ergonomía y facilidad de uso, garantizando una solución técnica eficiente y comfortable para el usuario.

Capítulo 8

Conclusiones y trabajo a futuro

En conclusión, el proyecto presentado representa un hito de gran relevancia dentro del ámbito de las tecnologías de asistencia, particularmente en lo que respecta a la mejora de la calidad de vida de personas con movilidad reducida. La importancia de este desarrollo radica no solo en la innovación técnica que implica, sino también en su enfoque integral, que combina aspectos de diseño, funcionalidad, ergonomía y adaptabilidad, factores que resultan cruciales para garantizar una verdadera inclusión y autonomía del usuario al final.

El desarrollo de este proyecto permitió dar respuesta a la problemática principal planteada desde el inicio: facilitar la comunicación básica de una persona con discapacidad motriz severa mediante una estructura de montaje resistente y funcional para un sistema generador de voz acoplado a una silla de ruedas. Los resultados obtenidos, tanto en simulaciones como en pruebas físicas, demuestran que la estructura diseñada cumple de forma satisfactoria con el objetivo general propuesto, al brindar una solución práctica, firme y viable dentro de un contexto de accesibilidad y bajo costo. Se logró diseñar y fabricar una estructura mecánica que no solo permite el montaje del dispositivo en la silla de ruedas, sino que también garantiza estabilidad durante el desplazamiento y resistencia ante esfuerzos externos.

El gabinete, fabricado mediante manufactura aditiva en materiales PLA y ABS, junto con una base metálica de acero inoxidable, mostró un rendimiento estructural adecuado tanto en escenarios simulados como en condiciones reales. Asimismo, el sistema de acoplamiento basado en seguros personalizados cumplió su función al mantener la estructura fija a la silla sin presentar desplazamientos indeseados, lo

que refuerza la solidez del diseño y confirma la elección acertada de los materiales y métodos de fijación empleados.

Un aspecto clave que refuerza la viabilidad del proyecto es el desarrollo e implementación de un protocolo de instalación que ha sido sometido a una validación exhaustiva en condiciones reales de operación. Este protocolo, además de optimizar el proceso de montaje, se ha diseñado para minimizar el esfuerzo físico y los riesgos asociados tanto para el instalador como para el usuario. La validación en escenarios prácticos aporta un nivel adicional de confianza y demuestra que la solución es accesible para usuarios finales y técnicos, facilitando su adopción y uso cotidiano.

No obstante, el análisis de la interacción física entre el usuario y el sistema evidenció limitaciones importantes desde el punto de vista ergonómico. Uno de los hallazgos más relevantes fue que la altura del gabinete en esta versión obliga a que la pierna del usuario repose directamente sobre su superficie, situación que podría causar incomodidad o presión localizada durante el uso prolongado. A diferencia de versiones anteriores, donde existía una mayor separación entre el dispositivo y el cuerpo del usuario, en esta versión el rediseño de los seguros de acoplamiento y el aumento en las dimensiones del gabinete generaron una posición más elevada, comprometiendo en parte el confort del sistema. Esta modificación plantea retos importantes desde la perspectiva de la experiencia del usuario y subraya la necesidad de considerar ajustes ergonómicos en futuras iteraciones del diseño.

Podemos concluir que, si bien la estructura actual cumple con uno de sus principales objetivos ser firme, resistente y funcional, también es evidente que en futuras versiones esta deberá evolucionar hacia un diseño más ergonómico y adaptable. Una de las metas a considerar es lograr una estructura que no dependa de seguros fijados de forma permanente, sino que emplee mecanismos que permitan un montaje firme pero más flexible, mejorando la facilidad de acoplamiento y desmontaje sin comprometer la estabilidad. A su vez, será crucial ajustar la altura

del sistema para adecuarlo a la postura natural del usuario, evitando el contacto directo con zonas potencialmente incómodas del dispositivo. Además, se plantea como objetivo a futuro desarrollar una estructura que, a pesar de su rigidez, permita cierto grado de libertad de movimiento con la silla de ruedas, adaptándose de mejor forma a las condiciones dinámicas del entorno y al uso diario. Esta transición implicará una revisión de la geometría general del dispositivo y de los materiales empleados, buscando un equilibrio entre funcionalidad, accesibilidad y comodidad.

Pensando en la sostenibilidad y escalabilidad del sistema, las futuras fases de desarrollo contemplan la incorporación de tecnologías avanzadas como componentes electrónicos integrados, interfaces inteligentes y sistemas de monitoreo remoto. Estas innovaciones no solo ampliarían las funcionalidades del dispositivo, sino que también abrirían nuevas posibilidades para la personalización del uso, la recopilación de datos en tiempo real y la conexión con plataformas digitales que puedan asistir en la supervisión y mantenimiento preventivo del equipo. La integración de estas tecnologías debe planificarse cuidadosamente, priorizando criterios como el costo, el impacto social y la viabilidad técnica para asegurar que los beneficios sean accesibles y sostenibles en diferentes contextos socioeconómicos.

Finalmente, como parte del trabajo a futuro, se recomienda evaluar alternativas modulares que permitan adaptar el sistema a distintos modelos de sillas de ruedas, extendiendo así el alcance del proyecto. También se sugiere incorporar la retroalimentación directa de los usuarios para afinar los aspectos ergonómicos, lo que contribuirá a desarrollar una solución más humanizada, accesible y eficiente en el contexto de la tecnología asistida. La investigación ha sentado bases sólidas sobre las cuales continuar construyendo y mejorando, con el objetivo claro de ofrecer a personas con discapacidad motriz herramientas funcionales que favorezcan su comunicación, autonomía y calidad de vida.

La perspectiva de expansión sostenible es fundamental para maximizar el impacto social del proyecto. Al considerar factores como la producción a gran escala, la facilidad de distribución y la capacitación de los usuarios y técnicos, se podrá promover una adopción masiva que contribuya efectivamente a reducir las barreras de accesibilidad. Este enfoque es coherente con los principios de diseño universal y con la visión de una sociedad inclusiva, donde las tecnologías de asistencia desempeñan un papel clave en la promoción de la igualdad de oportunidades para las personas con discapacidad.

En suma, el proyecto no solo se establece como un logro técnico destacado, sino que también sienta las bases para futuras iniciativas que buscan generar un entorno más accesible, equitativo y centrado en las necesidades reales de los usuarios. La combinación de innovación, funcionalidad, adaptabilidad y una visión estratégica orientada al desarrollo sostenible convierte a este sistema en un referente dentro del campo de las tecnologías de asistencia, abriendo camino para soluciones que mejoren significativamente la vida de las personas y contribuyan a la construcción de una sociedad más justa e inclusiva.

Referencias bibliográficas

[1] OMS. "Tecnología de asistencia". Organización mundial de la salud (OMS). Accedido el 4 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>.

[2] M. A. Torres Cardona y D. O. Rodríguez Sánchez, "Modelo para el mejoramiento de comunicación mediante dispositivos tecnológicos para personas de la tercera edad y personas con discapacidad visual o auditiva - hdl:11349/22407", Repositorio Institucional Universidad Distrital - RIUD. Accedido el 4 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/22407>.

[3] L. Alain y R. Vejarano, "Alternativas tecnológicas para mejorar la comunicación de personas con discapacidad auditiva en la educación superior panameña," Revista de Educación de la Universidad de Granada, vol. 23, pp. 219-235, 2016.

[4] C. J. Panchana Limones y E. Ocaña García, "Tecnología Asistiva Para Personas con Discapacidad Motriz y Visual de La Sociedad Ecuatoriana Pro-Rehabilitación de los Lisiados - S.E.R.L.I.", 2015. Guayaquil, Ecuador.

[5] J. C. Cruz Hurtado, "Sistema electrónico de accionamiento inalámbrico para discapacitados usando dispositivos Android," SciELO - Scientific Electronic Library Online.

[6] G. G. Rus y R. S. Pérez, "La enseñanza de los sistemas alternativos bajo el prisma de las nuevas tecnologías", Edutec, n.o 15, ene. 2006, doi: 10.21556/edutec.2002.15.547.

[7] M. A. Carrero "Sistema sintetizador de voz para personas con discapacidad y limitación motriz". Accedido el 3 de octubre 2023. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/26734>.

- [8] Universidad de Cantabria, “Labview”, sdei.unican.es. <https://sdei.unican.es/Paginas/servicios/software/Labview.aspx> (accedido 6 de octubre de 2023).
- [9] Y. Fernández, «Qué es arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno», Xataka, 23 de septiembre de 2022. <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como funciona-que-puedes-hacer-uno>
- [10] B. De Sousa, «Google Drive: que és y cómo funciona», Blog IPNET, 16 de mayo de 2023. <https://ipnet.cloud/blog/es/google-workspace-es/google-drive-que-es-y-como funciona/>
- [11] E. González, «¿Qué es SolidWorks y para qué sirve? Conoce sus funciones», ESDSIGN, 5 de julio de 2023. <https://www.esdesignbarcelona.com/actualidad/disenio-producto/solidworks-que-es-funcionalidades>
- [12] «Structures», 4 de febrero de 2025. <https://www.ansys.com/products/structures>
- [13] Ender-3 V3 SE: La Mejor Impresora 3D de Entrada para Principiantes. (s.f.). Creality Official Store | 3D Printers, Materials & Accessories. <https://store.creality.com/mx/products/ender-3-v3-se-impresora-3d>

Anexos

Dentro de este apartado se anexa el siguiente vinculo el cual contiene toda la documentación acerca de este proyecto, incluyendo todas las piezas y ensambles de SolidWorks en su respectivo formato, asi también como archivos en formato Parasolid que se usaron para ANSYS, contiene imágenes sobre todas las partes de la estructura de este proyecto, todo el proceso y todos los elementos para el desarrollo de este proyecto, dividido en diferentes carpetas, además de contener imágenes que se usaron para este documento e imágenes extra para su desarrollo sobre este proyecto.

https://drive.google.com/drive/folders/18Z75Kx5XN7_KQAIASxwvXMVcn20VBRfT?usp=sharing