



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título del proyecto:
Control de un exoesqueleto para motricidad en niños por medio de comandos de voz y asistentes virtuales.
Línea de Investigación:
Automatización y control de procesos con aplicaciones en la industria
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería Industria y Construcción
Autor/a:
Ruiz Guangaje Carlos Rodrigo
Tutor/a:
Albarracín Guarochico Wilmer Fabián

Quito – Ecuador

2022

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Albarracín Guarochico Wilmer Fabián con C.I: 1713341152 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: Control de un exoesqueleto para motricidad en niños por medio de comandos de voz y asistentes virtuales.

Elaborado por: Ruiz Guangaje Carlos Rodrigo, de C.I: 0604030635, estudiante de la Maestría: Electrónica y Automatización, mención: de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 22 de septiembre de 2022

Firma

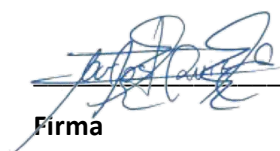
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Ruiz Guangaje Carlos Rodrigo con C.I: 0604030635, autor del proyecto de titulación denominado: Control de un exoesqueleto para motricidad en niños por medio de comandos de voz y asistentes virtuales. Previo a la obtención del título de Magister en Automatización y Electrónica.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 22 de septiembre de 2022



Firma

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	2
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	3
INFORMACIÓN GENERAL	5
Contextualización del tema.....	5
Problema de investigación	8
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:.....	10
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	12
1.1. Contextualización general del estado del arte.....	12
1.2. Proceso investigativo metodológico.....	17
CAPÍTULO II: PROPUESTA	20
2.1 Fundamentos teóricos aplicados	20
2.1.1. Exoesqueleto	20
2.1.1.1.Definición	20
2.1.1.2.Historia	21
2.1.1.3.Aplicaciones.....	23
2.1.1.4.Tipos de exoesqueleto.....	24
2.1.1.5.Partes del exoesqueleto.....	26
2.1.1.5.1.Sistema de control.....	26
2.1.1.5.2.Joystick	27
2.1.1.5.3. Control por comandos de voz.....	28
2.1.1.5.4.Tarjeta electrónica.....	29
2.1.1.5.5.Motores empleados en los exoesqueletos.....	30
2.1.1.5.6. Grados de libertad.....	30
2.1.2. Asistente virtual.....	32
2.1.2.1.Definición	32
2.1.2.2.Historia	33
2.1.2.3.Aplicaciones.....	34
2.1.2.4.Tipos.....	34
2.1.2.4.1. Siri de Apple.....	34
2.1.2.4.2. Google Assistant.....	36
2.1.2.4.3.Bixby de Samsung, Cortana de Microsoft.....	36

2.1.2.4.4. Alexa.....	37
2.1.2.5. Parlantes inteligentes.....	39
2.1.2.5.1. . Echo Auto.....	40
2.1.3. ESP32.....	41
2.1.3.1. Historia.....	41
2.1.3.2. Definición.....	42
2.1.3.3. Características.....	43
2.1.3.4. Tipos de programación para la ESP32.....	43
2.1.4. Motores eléctricos.....	44
2.1.4.1. Motores de corriente continua.....	45
2.2 Descripción de la propuesta.....	46
2.3 Validación de la propuesta.....	71
2.4 Matriz de articulación de la propuesta.....	74
2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.....	76
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	82
ANEXOS.....	86

Índice de tablas

Tabla 1 Listado de piezas de las extremidades del exoesqueleto.....	52
Tabla 2 Selección de motores	61
Tabla 3 Tiempo de accionamiento de los actuadores	64
Tabla 4 Descripción del perfil de validadores	71
Tabla 5 Criterios de evaluación	71
Tabla 6 Escala de evaluación	71
Tabla 7 Descripción del perfil de validadores	72
Tabla 8 Criterios de evaluación	72
Tabla 9 Escala de evaluación	72
Tabla 10 Descripción del perfil de validadores	73
Tabla 11 Criterios de evaluación	73
Tabla 12 Escala de evaluación	73
Tabla 13 Matriz de articulación	74
Tabla 14 Características de motores	76

Índice de figuras

Figura 1 Exoesqueleto para la mano	21
Figura 2 Exoesqueleto robótico.....	23
Figura 3 Exoesqueleto ajustado a un brazo.....	24
Figura 4 Exoesqueleto infantil.....	26
Figura 5 Plano sagital del exoesqueleto	31
Figura 6 Asistente Virtual Social	33
Figura 7 Esquema general del funcionamiento de Siri	35
Figura 8 Bixby.....	36
Figura 9 Alexa.....	37
Figura 10 Características de Alexa.....	39
Figura 11 Echo Auto	41
Figura 12 ESP32.....	41
Figura 13 Diagrama de bloques.....	42
Figura 14 Constitución de las máquinas eléctricas.....	45
Figura 15 Máquinas de corriente continua	46
Figura 16 Diagrama de flujo de la estructura del proyecto	47
Figura 17 Medidas tomadas para la construcción del mecanismo.....	48
Figura 18 Diseño de las articulaciones	49
Figura 19 Desarticulación de la estructura de la silla de ruedas.....	50
Figura 20 Modificación de la estructura de la silla de ruedas	51
Figura 21 Mecanismo ensamblado en la silla de ruedas	52
Figura 22 Construcción de las articulaciones	53
Figura 23 Motor de corriente continua con tornillo sin fin	54
Figura 24 Ubicación de motores para articulaciones	55
Figura 25 Instalación del motor para movimiento vertical.....	56
Figura 26 Pintura del exoesqueleto.....	56
Figura 27 Instalación de férulas y pruebas de funcionamiento.....	57
Figura 28 Esquema para señales del ESP32 a Arduino Uno.....	59
Figura 29 Señal enviada desde el ESP32 hacia Arduino Uno	60
Figura 30 Conexión de salidas de Arduino Uno.....	61
Figura 31 Esquema para alimentación de motores.....	62
Figura 32 Circuito impreso para el sistema	63
Figura 33 Ubicación de la tarjeta en el exoesqueleto.....	64
Figura 34 Declaración de variables en el Arduino Uno.....	65
Figura 35 Secuencia de activación/desactivación de salidas.....	66
Figura 36 Activación del exoesqueleto.....	67
Figura 37 Activación de la silla de ruedas.....	67
Figura 38 Variables declaradas para el ESP32	68
Figura 39 Programación de rutina de conexión a WiFi e invocación desde el loop.....	69
Figura 40 Activación del exoesqueleto y activación de la silla	70
Figura 41 Activación de la caminata.....	70

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

De acuerdo a los datos presentados y manejados por la Organización Mundial de la Salud una gran cantidad de personas en el mundo, poseen capacidades distintas, uno de los casos más importantes y que dificulta que las personas puedan ejecutar actividades normales es el caso de la paraplejia, el cual es un estado físico representado por la incapacidad de mover las extremidades inferiores, generalmente esta se produce por lesiones medulares o enfermedades congénitas. (Moreno, 2010). Este es uno de los casos en donde la comunidad científica y la médica han unido fuerzas para generar diversos proyectos los cuales han permitido en el mayor de los casos mejorar la calidad de vida de las personas que tienen capacidades distintas, sin embargo, por parte de las entidades gubernamentales existe una gran falta de apoyo para que proyectos de investigación enfocados a esta área en específico se vean desatendidos por los costos elevados de los equipos y dispositivos utilizados para este fin. (Medrano, Zendejas, et al., 2014).

La robótica móvil, ha tratado de generar proyectos y sistemas que puedan aportar con investigaciones a la mejora de procesos que son aplicados para la movilidad de las personas que han perdido temporalmente o sufren en la actualidad paraplejia o incluso para la misma rehabilitación de las personas que sufren este tipo de problemas y que finalmente terminan convirtiéndose en pacientes para futuras rehabilitaciones. (Barrera et al., 2004). Por un lado, se encuentran las sillas de ruedas a las que en los últimos años se les ha provisto de tecnología con el objetivo de volverlas autónomas, pero por otro lado, se encuentran los exoesqueletos robóticos que a más de ser equipos utilizados en terapias, son sistemas que pueden ser utilizados para el desplazamiento de personas que han perdido por completo su movilidad, sin embargo, se debe tomar en cuenta que estos sistemas que han sido creados deben mostrar dos características fundamentales, el primero es que debe aportar a la mejoría de la salud de las personas y por otro lado, deben ser sistemas seguros para que los pacientes o usuarios puedan manejarlos sin problemas. (Cano & Isidro, 2014)

Los sistemas que aportan a la movilidad de las personas que sufren paraplejia o movilidad reducida a más de cumplir las características de mejoría de la salud de los usuarios y la seguridad de los mismos, deben poseer ciertas propiedades técnicas de funcionamiento adecuado con el objetivo de que se cubran las necesidades y requerimientos mínimos de uso. (Cano & Isidro, 2014). Es así que, antes de construir este tipo de sistemas se debe de manera obligatoria levantar datos de estas necesidades deseables y obligatorias que deben poseer estos sistemas con el objetivo de que la tecnología que se pretende implementar sea en beneficio de los

usuarios sin afectar de ninguna manera a la integridad física como psicológica de los mismos y que sobre todo aporte a una mejoría eficaz en su uso y aplicación. (Valle, 2013)

En diferentes partes del mundo, existen sistemas robóticos que asisten a las rehabilitaciones de las personas con paraplejía, estos sistemas forman parte de su terapia diaria, sin embargo, los tratamientos son costosos ya que los equipos utilizados para este fin requieren de grandes inversiones por parte de las casas de salud. Por otro lado, cuando las familias de las personas con capacidades distintas intentan adquirir este tipo de dispositivos resulta una tarea casi imposible ya que estos sistemas o prototipos existen solamente en mercados internacionales y sus altos costos impiden que sean adquiridos fácilmente. (Dollár, 2008). Es así que de acuerdo a Banchadit (2012):

Un exoesqueleto o exoesqueleto electrónico es un sistema mecatrónico con actuadores y sensores que son manejados por una unidad de control. La función principal de un exoesqueleto de miembros inferiores es brindar fuerza o devolver la movilidad a personas que por alguna razón hayan perdido la posibilidad de mover los miembros inferiores. (p.1671)

En las políticas establecidas en el Plan Toda Una Vida en el gobierno de Lenin Moreno se hizo énfasis en mejorar la calidad de vida y también el status de las personas con capacidades distintas, brindando el apoyo, acompañamiento y soporte, tanto social como técnico, en distintas áreas. Es así que, de acuerdo a los datos presentados por el gobierno, se insertaron a 78000 personas con capacidades distintas en actividades y puestos laborales, mientras que a otro grupo de personas se les ha brindado una asistencia integral en la salud y acompañamiento médico, seguimientos a sus discapacidades por parte de la Misión Las Manuelas, mientras que el gobierno actual no ha descuidado ni pretende dejar de lado el apoyo y calidad de vida de las personas que sufren capacidades distintas es así que entre sus objetivos se fundamenta el principio de la integración de las personas para que exista un país más libre y sobre todo más unido, en el que se fomenta el respeto y la igualdad. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017) (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2021).

Además, de acuerdo a los datos presentados por el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, Pichincha es una de las provincias del Ecuador con índices más altos de personas con capacidades distintas y los sistemas que se poseen actualmente para las personas que sufren paraplejía o movilidad reducida no tienen la tecnología adecuada para que se pueda mejorar su calidad de vida, ya que como se mencionó anteriormente, la adquisición de los

sistemas son costosos, las investigaciones desarrolladas en torno a este eje son escasas y sobre todo estos grupos vulnerables han sido descuidados no solamente por los gobiernos sino también por las grandes empresas o industrias que podrían realizar inversiones para la creación de estos sistemas a bajos costos. (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2021).

Sin embargo, no basta solamente con contar con un exoesqueleto que facilite la movilidad de personas con movilidad reducida, sino que se deben tomar en cuenta los principios de funcionamiento y los principios de control del sistema, es importante considerar que el control de este tipo sistemas es complejo y el aprendizaje es difícil, lo que podría generar un problema mucho mayor y frustración a las personas candidatas para el uso de los exoesqueletos, por otro lado, los controles generalmente deben estar ubicados en el mismo exoesqueleto y esto dificulta la manipulación y el control del sistemas por parte terceros ya sea por la ayuda que se le necesite prestar al paciente o incluso por la ayuda que el personal médico tenga que brindar en el proceso de rehabilitación.

Problema de investigación

En la actualidad existe un sin número de exoesqueletos que han sido producidos en masa, sin embargo, el costo de estos sistemas es muy elevado y no se pueden adquirir de manera fácil ya sea para la rehabilitación de las personas, la movilidad de estas o el uso cotidiano para realizar actividades diarias. A pesar de los innumerables estudios que se han desarrollado en base a los exoesqueletos con fines médicos, aparecen los problemas de control y de aprendizaje de los usuarios debido a que previo al uso debe existir un entrenamiento adecuado para el paciente y el personal de rehabilitación en el caso de la aplicación del exoesqueleto.

Los controles no tienden a ser muy complejos, ya que las órdenes son ejecutadas desde un panel que generalmente se encuentra ubicado en el mismo exoesqueleto, en primera instancia esto presenta un problema para el personal médico encargado de la rehabilitación del paciente, por lo cual se necesitará más de una persona en el acompañamiento de estas actividades, uno que se encargue del control del sistema sin interferir sobre la integridad del paciente y otro encargado del proceso de rehabilitación como tal, por otro lado, si el exoesqueleto es usado para la movilidad de personas o el desarrollo de actividades diarias, para el funcionamiento se necesitaría una secuencia de órdenes que son ejecutadas desde el panel, en el caso de personas adultas que presentan solamente problemas de paraplejia bastaría con un entrenamiento adecuado antes de utilizar el sistema que se propone para su rehabilitación, sin embargo, en el caso de pacientes como niños, personas que sufren cuadriplejia o personas que han sufrido accidentes cerebro-vasculares, las capacidades para el control del sistema se ve reducido y es aquí en donde nuevamente se necesitaría de una persona que cumpla las funciones de control del sistema. (Cardona et al., 2010).

Como se puede identificar no todos los pacientes van a responder de la misma manera al uso del exoesqueleto, es por esta razón la necesidad de que estos sistemas ganen autonomía para la ejecución de las acciones con el objetivo de que el paciente o usuario pueda adquirir confianza y tenga la certeza de que los sistemas son seguros. (Aya, 2017). Generalmente el uso de los exoesqueletos estará limitado a espacios en los que los usuarios realicen sus actividades de rehabilitación o sus actividades diarias dentro de su hogar, por lo cual, es importante que se encuentre conectado a la red de internet con el objetivo de que se pueda realizar una valoración de las partes constitutivas o incluso se puedan generar órdenes remotas utilizando el principio de funcionamiento del internet de las cosas o los asistentes virtuales. (Garcés, 2017)

No solamente nace el problema del control en el uso del exoesqueleto sino en la misma complejidad de los movimientos producidos por el cuerpo, lo que provoca que la estabilidad mientras se usa el sistema se vea comprometida, es aquí en donde nace un nuevo problema, el

cual está orientado a una respuesta adecuada del sistema frente al movimiento de cada uno de los pacientes considerando que el movimiento que generará cada individuo mientras use el exoesqueleto no será el mismo, es por esta razón que como se menciona anteriormente, este tipo de sistemas tiene el problema centrado en la autonomía y la dificultad que presenta para el control remoto, ya sea desde un dispositivo externo o incluso por medio de comandos de voz asignados hacia un asistente virtual. (Dariush, 2005)

Como se había mencionado anteriormente el costo para la adquisición, compra y futuras aplicaciones o usos de este tipo de sistemas es elevado y más aún cuando se le pretende implementar más tecnología ya que si los daños son producidos por violar la integridad del sistema se pierde cualquier respaldo de la garantía, esto se debe a que los códigos, algoritmos, el software y el mismo hardware se encuentran diseñados y establecidos para el funcionamiento tal y como lo presenta el fabricante, entonces es imposible adherirle nueva tecnología o más dispositivos para que las características de funcionamiento se acoplen a las necesidades de uso de acuerdo al paciente o usuario. (Sánchez, 2018)

Si se analiza la propuesta del internet de las cosas y las órdenes que son ejecutadas por los asistentes virtuales se podría llegar a mejorar las prestaciones del sistema siempre y cuando así se lo permita, es por esta razón, que las primeras pruebas se las debe basar en prototipos de exoesqueleto de software y hardware abierto con el objetivo de evaluar las potencialidades que pueden alcanzar estos sistemas cuando se les adhiere este tipo de tecnologías. (Lobo & Rodríguez, 1994)

Objetivo general

Desarrollar el control de un exoesqueleto para motricidad en niños por medio de comandos de voz y asistentes virtuales.

Objetivos específicos

- Identificar los métodos de control existentes en los exoesqueletos, para definir el tipo de comunicación entre las entradas y salidas del sistema.
- Determinar los protocolos de comunicación que poseen los asistentes virtuales para el control de dispositivos orientados al internet de las cosas.
- Elaborar el sistema de control por comandos de voz para los actuadores del esqueleto utilizando el asistente virtual Alexa.
- Identificar la autonomía y el tiempo de respuesta presentada por el exoesqueleto al ejecutar los comandos de voz.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

La presente investigación estará enfocada en diseñar una estrategia de control de los actuadores de un exoesqueleto aplicado para el desplazamiento de personas que sufren paraplejia, la cual se basará en los principios de funcionamiento del internet de las cosas, así como de los asistentes virtuales existentes actualmente en el mercado. Actualmente el área de conocimiento del internet de las cosas, así como de los asistentes virtuales están jugando un papel fundamental para el control de actuadores en una casa, departamento, residencia o edificio con el objetivo de automatizarlo, de acuerdo a (Arnay & Rodríguez, 2015) en Rusia se han creado varios prototipos de control de sillas de rueda con pilotos automáticos, este tipo de sillas de ruedas tiene la característica de ser autosuficientes ya que es controlada por comandos de voz y solamente basta con decir el lugar de la casa a donde el usuario quiere dirigirse, a este sistema el creador le ha denominado como Clever Chair y de manera inicial fue creado para ser usado en una vivienda con la ayuda de cámaras y sensores que permiten determinar la ruta por la cual se mueve la silla para transportar a la persona por donde se desee solamente utilizando los comandos de voz, como se puede identificar en este trabajo se ha alcanzado cierto nivel de autonomía que permite que la silla de ruedas sea autosuficiente ante las peticiones de transporte generadas.

Al ser los exoesqueletos equipos utilizados en la rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad de sus extremidades inferiores y actualmente para transportar personas que sufren de paraplejia o cuadriplejia, el control como se había mencionado es complicado, es de esta manera que se busca que este tipo de sistemas puedan tener diferentes tipos de control a más del manual en donde el paciente se ve obligado a entrenarse en el uso de los controladores, es de esta manera, que una de las salidas más viables para solventar el problema anteriormente planteado es acoplar el control por voz del exoesqueleto en donde se le puedan asignar distintos comando dependiendo de las necesidades y el uso que se le dé al equipo, regular la velocidad, realizar una secuencia específica o incluso transportarse de manera autónoma de un punto a otro solamente por un comando de voz.

Es así que con el desarrollo del presente proyecto se buscará integrar las tecnologías utilizadas por el internet de las cosas y los asistentes virtuales para que el paciente o la persona encargada de la rehabilitación del paciente, que generalmente es el terapeuta, pueda acceder al control de los actuadores del sistema solamente por comandos de voz, facilitando el control del equipo y brindándole autonomía al mismo. De acuerdo a (Orenes, 2021) es importante considerar que el exoesqueleto debe realizar varios tipos de movimientos, a diferentes frecuencias, diferentes actividades, a diferentes velocidades, entre otras variables, que son

importantes considerar y que son necesarias controlarlas, es por esta razón que se mencionaba la necesidad de entrenar al paciente o al terapeuta encargado de acompañar al paciente, desde este análisis y punto de vista se puede ver claramente la necesidad de transmitir el control a los comandos de voz y que el asistente virtual identifique la necesidad y posteriormente envíe los comandos para que puedan ser reflejados en el exoesqueleto.

Con todo lo anteriormente mencionado se pueden identificar de manera clara cuáles serán los posibles beneficiarios de este proyecto, en primera instancia será el paciente ya que no necesitará el entrenamiento inicial para realizar el control del exoesqueleto desde la tarjeta de control, en el caso de que el exoesqueleto se esté usando en los procesos de rehabilitación del paciente en cambio el beneficiario es tanto el paciente como el terapeuta que se encarga de la rehabilitación del paciente ya que de acuerdo al tipo de rehabilitación que se esté desarrollando ya no necesita estar realizando controles minuciosos del sistemas sino que más bien estas funciones estarían pre cargadas y se las activaría por un comando de voz. En un caso extremo en el que el paciente sufre ya no solamente de paraplejia sino de cuadriplejia, o peor aún, los pacientes son niños a los cuales se les dificulta el control manual de estos sistemas se ve la necesidad clara del uso de comandos de voz que incluso son interactivos con el paciente. De esta manera, como alcance de este proyecto es la implementación de un sistema de control paralelo a los ya existentes que permita establecer órdenes por medio de comandos de voz para que el sistema pueda responder de manera adecuada ante los requerimientos y se puedan ejecutar las secuencias o actividades necesarias de acuerdo a las aplicaciones del sistema, este nuevo control pretende además brindar autonomía al sistema con el objetivo de ayudar a los pacientes, usuarios e incluso terapeutas.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

La robótica nace como una ciencia aplicada hacia las máquinas automatizadas, con el objetivo de que las mismas tengan inteligencia aplicada a ciertos procesos, esto debido a que se necesita que mejore la producción de un sistema industrial para que la empresa ya sea grande, mediana o pequeña pueda ser más competitiva en el mercado tanto nacional como internacional, desde la aparición de la robótica se ha intentado establecer un sin número de aplicaciones las cuales van desde actividades que se desarrollan en el hogar hasta las exploraciones en planetas.

En los últimos años la tecnología ha estado dando pasos avanzados en varios ámbitos, las innovaciones en procesos industriales, las mejoras de los equipos médicos o simplemente en dispositivos que son utilizados en el día a día integran una serie de tecnología que con gran probabilidad el día de mañana o incluso el próximo mes podría quedar obsoleta, esto se debe a que los avances que se alcanzan en el área de conocimiento de la electrónica son cada vez mayores, sin embargo, esto ha sido beneficioso para varios ámbitos, ya que gracias a esta transversalidad de la electrónica con otras áreas de conocimiento han surgido nuevas fuentes para investigación o nuevas áreas de conocimiento que deben ser analizadas desde varias aristas o diferentes puntos de vista.

A pesar de los avances tecnológicos, la aparición de nuevos sistemas inteligentes e incluso proyectos de investigación que se han desarrollado en los últimos años, el avance de la electrónica y la aparición de nuevas tecnologías que han sido utilizadas en diferentes campos de aplicación, que van desde la automatización de las casas o edificios hasta la automatización de procesos industriales, no se han analizado o no se han estudiado las necesidades o problemas de los grupos colectivos de personas con capacidades especiales, las cuales pueden ser atendidas aplicando las diferentes tecnologías ya existentes. (Hernández et al., 2011)

Como se ha mencionado anteriormente gracias a estos avances o alcances que se han producido en el área de conocimiento de la electrónica, una de las ciencias beneficiadas ha sido la medicina ya que se han podido construir varios dispositivos que no solamente ayudan a salvar vidas sino que también acompañan a los pacientes en las rehabilitaciones para que el procesos de recuperación en primer lugar sea efectivo y al mismo tiempo en un tiempo más corto, debido a esta transversalidad entre la medicina y la electrónica, una de las ciencias que ha surgido es la Bioingeniería que es una de las ciencias más jóvenes que existe en cuanto a la aplicación de la tecnología o avances tecnológicos en el campo de la Medicina. (Espejo, 2014)

Entre las aplicaciones de la Bioingeniería y que ha tomado mucho peso en los últimos años por las aplicaciones son los exoesqueletos, no solamente porque estos dispositivos ayuden a mejorar la calidad de vida o el status de las personas que no tienen movilidad en sus extremidades, sino que también por las aplicaciones en los procesos de rehabilitación de los pacientes y el acompañamiento que brindar a la hora de retomar una movilidad adecuada de las extremidades luego de que las mismas han quedado con alguna lesión producto de accidentes o enfermedades patológicas.

Las primeras aplicaciones de los exoesqueletos iban orientadas al campo militar, con el objetivo de que los soldados puedan realizar ejercicios más robustos en menos tiempo, sin embargo, con el pasar de los años estos dispositivos fueron aplicados en jornadas laborales para que los operarios o trabajadores puedan ejecutar actividades con las normas de seguridad correspondientes, hoy en día los exoesqueletos son una parte fundamental de los centros de rehabilitación que buscan que los pacientes vuelvan a tener una movilidad adecuada de sus extremidades, estos dispositivos generalmente son utilizados ya sea por el paciente o por el personal de salud el cual es el encargado de generar o establecer las rutinas de acompañamiento a los pacientes con los equipos.

Es importante mencionar que en los años 70 aparecen las primeras aplicaciones de la robótica orientada a ayudar a las personas que sufren diferentes discapacidades, es por esta razón que en la actualidad existe un sinnúmero de aplicaciones de la tecnología orientada hacia las personas que sufren discapacidades desde el punto de vista de la robótica y otras ciencias que se encargan de generar o construir avances tecnológicos, estas van desde sillas de ruedas teleasistidas o comandas solamente por la retina del ojo o con aplicaciones artificiales e incluso la telasistencia de los exoesqueletos en la rehabilitaciones de los pacientes que se encuentran en otras salas, sin embargo, este tipo de equipos en la actualidad son bastante costosos por el sin número de aplicaciones tecnológica que posee. (Espejo, 2014)

Ahora bien de manera inicial y de acuerdo a las definiciones establecidas por (Medrano, Zendejas-hernandez, et al., 2014) (Calle Arévalo et al., 2017) (Aya, 2017) el exoesqueleto no es nada más que un traje robótico utilizado por personas para mejorar las capacidades de movimiento debido a que las mismas han sufrido la pérdida parcial o total en alguna de sus extremidades, vista desde el área de conocimiento de la Medicina, este equipos tiene la característica de unir sistemas mecánicos o mecanismos comandados desde dispositivos electrónicos que generalmente son microcontroladores o tarjetas electrónicas.

Los exoesqueletos por las aplicaciones que tienen han sido catalogados como ortesis que acompañan a la rehabilitación del paciente, sin embargo, es necesario que antes de la aplicación, el diseño y la construcción se analice detenidamente cuál es la discapacidad que se requiere afrontar con el sistema, el paciente al cual va a ser aplicado y una gran cantidad de características que deben ser objeto no solo de prueba sino de estudio en el paciente ya que no es lo mismo diseñar un exoesqueleto para un niño que para un adulto.

Entre los trabajos más representativos de los exoesqueletos se tiene al HAL por sus siglas en inglés lo cual es *hybrid assistive limb* la característica de este exoesqueleto es que es un traje robótico completo ya que ayuda a la persona a moverse completamente sin que esta genere ningún esfuerzo físico debido a que está diseñado para generar movimiento en las cuatro extremidades sin limitarse a una en específico, Lokomat es un exoesqueleto basado en la tecnología DGO que por sus siglas es conducción de la órtesis y la característica principal es que este puede imitar de manera efectiva la forma de caminar del usuario e incluso programar un tipo específico de marcha manteniendo el troco del usuario completamente estático y reproduciendo el movimiento estrictamente sobre las extremidades, Rewalk fue creado para ayudar a personas que sufren de parálisis en las extremidades inferiores y tiene el mismo principio de funcionamiento que el HAL y finalmente se tiene al exoesqueleto Rex cuya característica principal es la autonomía que posee gracias a las baterías potentes que posee y la operación o control del sistema se ejecuta por medio de un joystick. (Espejo, 2014)

Todos los anteriores trabajos basados en exoesqueletos tienen características y propiedades diferentes, las cuales se basan de manera específica en el paciente o en el uso que se pretenda dar, sin embargo, los costos y la forma en la que se ejerce el control sobre los actuadores termina siendo bastante complicada y al ser usado en terapias para pacientes que han sufrido problemas en la movilidad normal de sus extremidades dificulta el acompañamiento ya que al controlar los exoesqueletos no siempre se tiene lo que el terapeuta requiere o el mismo paciente desea lograr, es de esta manera que una de las mejoras o innovaciones que se pretende establecer en el presente se enfoca en utilizar comandos de voz con el objetivo de comandar el sistema de forma remota ejerciendo de esta manera secuencias requeridas y de fácil acceso.

Con el objetivo de integrar de manera efectiva el reconocimiento de voz para el control del exoesqueleto, se pretende utilizar uno de los asistentes virtuales más usado hoy en día, Alexa, es importante tomar en cuenta que el uso de los asistentes virtuales tiene su origen en proyectos que estaban orientados a la inteligencia militar artificial, posterior a estos trabajos con los avances que han presentado cada una de las empresas que invierten tanto su capital monetario

como de talento humano para mejorar las características no solo de sus asistentes virtuales sino también la inteligencia artificial que estos manejan, se tienen como principales asistentes virtuales a Siri que fue lanzada por Apple en el 2010, su principal rival y que en los últimos años ha tenido gran acogida por los diferentes dispositivos en los cuales funciona es Alexa quien fue lanzada de la mano de Amazon en el 2014, Cortana que le pertenece a Microsoft y se implementa y sale al mercado en el 2015, y finalmente el Asistente Google que mira la luz por primera vez en mayo del 2016. (De la Torre et al., 2022)

En el caso de diferentes asistentes virtuales como Alexa y Google Assistant han logrado abarcar gran parte del mercado ya que estos pueden ser integrados de manera sencilla a altavoces inteligentes los cuales le permiten al usuario interactuar de manera sencilla con el entorno digital que se ha implementado, con dispositivos que poseen tecnología integrada del internet de las cosas e incluso con sectores industriales a los cuales se les ha implementado varios dispositivos y tarjetas que procesan los datos para ejecutar las órdenes que los usuarios han establecido, en la actualidad incluso automóviles integran estos asistentes virtuales y le permiten al usuario ejecutar varias acciones con mucha más facilidad y de esta manera la experiencia de manejo sea mucho más agradable. Lo importante y principal de este tipo de sistemas es que integran inteligencia artificial lo cual le permite conocer de manera más adecuada al usuario y aprender desde la base de datos que recopila las diferentes interacciones con otros dispositivos o usuarios que utilizan el asistente virtual, entre las acciones más comunes se encuentra la asignación de tareas a dispositivos IoT, recordatorios, temporizadores, accionamiento de electrodomésticos de manera remota, solicitar la predicción meteorológica, enviar mensajes, realizar llamadas, establecer alarmas y recordatorios o la asignación de fechas o programas dentro del calendario que posteriormente saltará como una notificación en un cualquier dispositivo inteligente que integre el software (Kepuska & Bohouta, 2018).

Es así que una de las principales metas de los asistentes virtuales y las integraciones a los distintos altavoces es mejorar la calidad de vida, el status y la experiencia de las personas cuando se interactúa con diferentes entornos, mejorando tiempos de ejecución en diferentes actividades e incluso simplificar varias tareas con una sola orden. De acuerdo a (Bravo, 2020) la tecnología que es usada en los dispositivos IoT busca establecer una forma diferente de comunicación entre las máquinas de un sistema con el objetivo de estas realicen eventos programados y establecidos por el usuario, esto se debe a que los dispositivos que son capaces de conectarse al internet pueden digitalizarse de manera que el usuario pueda interactuar con estos desde otro dispositivo que se encuentre conectado a internet, en la actualidad todas estas aplicaciones usadas en el internet de las cosas actualmente son ocupados en diferentes campos

como la educación, la medicina e incluso en la industria en donde toma el nombre de IIoT que de acuerdo a sus siglas no es nada más que Internet Industrial de las cosas.

Cuando se pretendan conectar dispositivos que no contengan tecnología del internet de las cosas es importante que se cree un sistema de comunicación entre los actuadores y el asistente virtual, el cual permita en primera instancia adquirir las señales establecidas en el asistente virtual y posteriormente ejecutarlas en el sistema por medio de tarjetas electrónicas o microcontroladores, en el caso de estudio realizado por (Chimarro, 2020), se propone el uso de una tarjeta Arduino Uno y un Módulo ESP8266 para que un robot pueda conectarse a una red WiFi establecida para el efecto, esto además le permitirá al usuario identificar en tiempo real cual es el estado en el que se encuentra el robot para poder ejecutar los comandos de control los cuales son establecidos por medio de una aplicación móvil desarrollada para Android, esta permite como se menciona teleoperar el robot de forma remota, además de ejecutar un monitoreo de las variables y actuadores del robot en tiempo real.

Por otro lado, en el trabajo realizado por (Zambrano, 2022) en donde se combinan las IoT con redes neuronales, se analiza el uso de la tarjeta ESP8266 NodeMCU debido a las características similares que presenta con relación a Arduino pero sobre todo por la característica de conectarse de manera sencilla al internet, es por esta razón que esta tarjeta es usada con gran frecuencia cuando se realizan proyectos orientados al internet de las cosas, cuyo objetivo es procesar y ejecutar información que ha sido adquirida en el internet, con respecto al trabajo de investigación que se propone, justamente lo que se busca es controlar los motores que comandan al exoesqueleto por medio de los comandos de voz, de esta manera al no poseer integrada la característica de IoT sobre estos motores, se desarrollará la interfaz de comunicación con ayuda de tarjetas Aruino, ESP32 o ESP8266 dependiendo de las características y requerimientos del sistema que se vayan encontrando en la etapa de desarrollo.

1.2. Proceso investigativo metodológico

Para poder desarrollar de manera adecuada un proceso de investigación, es importante considerar algunas características que el proyecto debe contemplar, solamente de esta manera se puede establecer un diseño metodológico adecuado que abarque de manera objetiva las actividades y metas que deben ser alcanzadas en el desarrollo del proyecto, por otro lado, es importante que todos los procesos de investigación se sujeten al método científico para que los resultados que sean hallados puedan aportar de manera adecuada al o las áreas de conocimiento sobre las cuales se está investigando, y que estos resultados no sean solamente sean especulaciones u opiniones personales del grupo de investigación o el autor del trabajo, es así que de acuerdo a González (2020):

El diseño metodológico de una investigación puede ser descrito como el plan general que dicta lo que se realizará para responder a la pregunta de investigación, la clave para el diseño metodológico es encontrar la mejor solución para cada situación. Este diseño es el marco que se crea para encontrar las respuestas a las preguntas que nacen en la investigación. El diseño metodológico especifica los grupos de información que serán recolectados, hacia qué grupos se recolectará información y cuándo ocurrirá la intervención. El éxito del diseño metodológico y las posibles predisposiciones del diseño dependerán del tipo de preguntas que se aborden en el estudio, el diseño metodológico le dará identidad propia, única y muy particular a la investigación que se desea realizar y ayudará al lector a comprender adecuadamente en qué consistirá la investigación. (p.19)

Es por esta razón que con ayuda del diseño metodológico se establecerán de forma precisa y detallada todas los procedimientos y estrategias que deben ser considerados para realizar el control del exoesqueleto construido para niños aplicando asistentes virtuales, para esto se relacionarán de manera adecuada, eficaz, lógica y congruente las actividades a desarrollarse en esta investigación aplicada, partiendo desde una búsqueda bibliográfica en donde se muestre la información relevante y los avances puntuales que existen en torno a este sistema hasta un levantamiento de datos que permita identificar de manera adecuada el funcionamiento del sistema con todos sus componentes, para alcanzar el objetivo o meta final del proyecto se deberán desarrollar una serie de actividades las cuales se deben cumplir de manera obligatoria en cada una de las etapas, las cuales deberán ser comprobadas de manera práctica partiendo inicialmente desde una simulación.

En una primera etapa es importante realizar una investigación documental referente a los trabajos realizados a nivel nacional e internacional en relación a los exoesqueletos, con el

objetivo de definir cuáles son sus características de funcionamiento y aplicaciones, principalmente cuales son los avances que se han generado y construido en los últimos años en las aplicaciones en el campo o área de conocimiento de la salud, por otro lado, se deben definir también las aplicaciones que tienen los asistentes virtuales y como estos han sido considerados en la actualidad no solamente en el campo de la domótica sino que actualmente con ayuda de las IIOT son aplicados hoy en día a nivel industrial, la meta es poder establecer de manera clara el proceso que se utilizarán para integrar el asistente virtual, específicamente Alexa, en el control del exoesqueleto, por esta razón con la ayuda de la revisión bibliográfica se podrá establecer cómo se encuentran los avances en este campo de conocimiento, permitiendo además que el proceso de construcción, el diseño y el proyecto final no se encuentre dentro de modelos o prototipos anteriormente construidos.

En una segunda etapa se aplicará la investigación aplicada, ya que esta permite resolver problemas prácticos del día a día, junto con la investigación básica la humanidad ha podido evolucionar de manera significativa, dando solución a sus necesidades y problemas (Hernández Sampieri et al., 2015). Es así que para esta etapa se recopilarán los conceptos y teorías que han sido identificadas en la revisión bibliográfica y se las utilizará en la construcción del sistema de control del exoesqueleto, como primera actividades si identificarán los actuadores a utilizar en el sistema considerando el tipo de movimiento que debe ejecutar el exoesqueleto y el tipo de control que se debe ejecutar y ejercer en el movimiento del sistema, posteriormente se identificarán las señales que deben ser enviadas a cada uno de los actuadores desde el controlador para ejercer los movimientos y secuencias establecidas, con estos datos se podrá realizar una primera selección del controlador o tarjeta electrónica a utilizar, finalmente se seleccionará el tipo de asistente virtual a integrar en el sistema, una vez que se ha identificado de manera clara estas características se realizará la selección definitiva del controlador o tarjeta electrónica ya que se debe considerar que la misma debe soportar una conexión a internet de manera sencilla e integrarse con la plataforma del asistente virtual seleccionado.

Finalmente en una tercera etapa se evaluará el funcionamiento del sistema por medio de fichas de observación, que permitan plantear correcciones a errores que se presente en el sistema al momento de funcionar en diferentes ambientes, esto además, permitirá realizar la propuesta de mejoras continuas hacia el prototipo propuesto así como la integración de nuevas tecnologías y características que hagan más fácil la aplicación y uso para personas que sufren de movilidad reducida en las extremidades inferiores, realizar ajustes necesarios de acuerdo a las necesidades y sobre todo realizar mejoras para reducir y mejorar costos con el objetivo de que el prototipo pueda ser adquirido con facilidad por diferentes personas.

Es importante que la etapa final con las conclusiones y la triangulación de los datos obtenidos por medio de las fichas de observación que serán aplicadas al momento de que el sistema se encuentre operando, se puedan ampliar las aplicaciones de este tipo de sistemas, posiblemente no solo utilizadas en el campo de la medicina, sino que también pueden ser aplicadas en otras actividades, una de estas y con un requerimiento bastante importante es en la obra civil o de actividades cotidianas realizadas en talleres por operarios los cuales constantemente se encuentran realizando actividades que requieren una mayor cantidad de esfuerzo físico o jornadas laborales, cabe mencionar que sistemas con estas características y el prototipo propuesto en el presente trabajo de aplicación no podrá ser aplicado, sin embargo, cuenta como inicio o punto de partida para poder seguir investigando, innovando y mejorando en este tipo de sistemas.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Fundamentos teóricos aplicados

2.1.1. Exoesqueleto

2.1.1.1. Definición

Los mecanismos han sido utilizados en varios campos de la industria con diferentes propósitos, en el caso de los exoesqueletos es importante que se conozca la definición debido a que son aplicados no solamente a un área de conocimiento en específico, como la medicina, sino a muchos de estos sistemas se les puede integrar tecnología con los avances que se han generado principalmente de la robótica, según (Molina, 2008):

Un exoesqueleto es un mecanismo o estructura externa que tiene uniones que corresponden a las del cuerpo humano. Este es usado por el humano y el contacto físico que existe entre el operador y el exoesqueleto permite una transferencia directa de la potencia mecánica y las señales de información. (p. 129)

Es así que, se puede considerar la factibilidad en el uso de un exoesqueleto, ya que este tipo de sistemas mecánicos se encuentran compuestos por diferentes grados de libertad de acuerdo a los movimientos que se necesita que se realicen y las aplicaciones que se pretenda dar a los mismos, dependiendo de la cantidad de grados de libertad que tenga el exoesqueleto que se pretende construir, dependerán factores como la precisión en la ejecución de movimientos o repetición con exactitud del movimiento de las extremidades de una persona que se pretende simular o replicar, sin embargo, se debe considerar que de acuerdo a cuántos movimientos se desea replicar y con la precisión que se pretende realizar dependerá un gran factor, el costo, es esta una de las razones por las cuales muchas de las personas e incluso entidades que se encargan de la rehabilitación de pacientes que han sufrido la pérdida del movimiento en sus extremidades no pueden adquirir este tipo de sistemas.

Un exoesqueleto es de gran beneficioso para las personas que han perdido el movimiento en sus extremidades ya sea por enfermedades congénitas, degenerativas o patológicas, e incluso personas que han sufrido algún accidente y producto de esto han ido perdiendo el movimiento o la calidad del mismo, producto de esto el cuerpo está en una misma posición por largas jornadas, los músculos se terminan atrofiando y el resto del cuerpo comienza a tener una serie de complicaciones. Es por esta razón que desde el campo de la medicina se realizan sesiones de rehabilitaciones para las personas, sin embargo, para los encargados muchas de las veces es una tarea ardua y complicado por los diferentes tipos de pacientes, es así que con los exoesqueletos propuestos desde la robótica se ha pretendido dar una solución factible para las personas que han perdido la motricidad en sus extremidades.

Figura 1

Exoesqueleto para mano



Nota. En la imagen presentada se puede observar un exoesqueleto para la rehabilitación de mano. Tomado de Enríquez et al (2014). <https://n9.cl/o9csr>

2.1.1.2. Historia

Para Dunai et al. (2019) los exoesqueletos son desarrollados con diversos dispositivos, partes y conjunto de mecanismos que permiten la rehabilitación motora de las personas, ya sea en extremidades inferiores o superiores o aumentar la fuerza de una persona para realizar trabajos de mayor esfuerzo al que puede estar sometido un cuerpo humano normal o promedio.

Los exoesqueletos no son nada más que mecanismos que utilizan tarjetas electrónicas, mecanismos, actuadores e incluso sensores para ejecutar los movimientos que se requieren o replicar el movimiento de las personas en sus extremidades o algunas partes del cuerpo que requieren movilidad.

Los exoesqueletos nacen inicialmente como proyectos militares, los cuales buscaban que los soldados puedan ejercer mejor sus actividades, mejorar la fuerza en el campo de batalla y sobre todo proteger a las personas en la ejecución de actividades de peligro a las cuales posiblemente puedan ser sometidos, con la gran aceptación que tuvieron en el campo militar, el campo de la medicina comenzó a interesarse para que estos sistemas puedan ser aplicados a personas que han perdido la movilidad en sus extremidades. En la actualidad, existen varios tipos de exoesqueletos aplicados en la rehabilitación de personas, sin embargo, los costos que estos tienen no les permiten a las personas acceder con facilidad a su uso o adquisición.

Se puede mencionar también, que el exoesqueleto es desarrollado con diversos dispositivos que lo hacen especial, esto se debe a la integración de diferentes componente o dispositivos tecnológicos para que puedan ejecutar los movimientos establecidos o requeridos por los pacientes o los que se establezca por el terapeuta encargado de acuerdo al tipo de enfermedad o patología que se pretenda tratar. Con el paso del tiempo la tecnología avanza y con ella nuevas ideas surgen con el propósito de rehabilitar la parte inmóvil de la persona al haber sufrido un accidente, esto sistemas están orientados principalmente a las extremidades.

La mayoría de exoesqueletos que existen hoy en día están orientados principalmente a la movilidad de extremidades inferiores o superiores, ya que es aquí en donde se han podido identificar una gran cantidad de patologías que hacen que las personas pierdan la movilidad de las extremidades, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, una gran parte de la población tiene capacidades especiales que provocan la pérdida de movilidad de las

extremidades y eso se debe principalmente a problemas neurológico o accidentes que los pacientes han sufrido. (Dunai et al., 2019)

Figura 2

Exoesqueleto robótico



Nota. En la imagen presentada se puede observar un exoesqueleto robótico de rehabilitación. Tomado de Cardona et al. (2021). <https://n9.cl/ctmzx>

2.1.1.3. Aplicaciones

Las aplicaciones de los exoesqueletos se enfocan en realizar la movilidad de las extremidades superiores o inferiores de las personas, ya sea por rehabilitación o por la pérdida parcial o total del movimiento en los pacientes que han sufrido diferentes tipos de patologías. Desde que los exoesqueletos vieron la luz por primera vez en los años 60, las aplicaciones principales de los exoesqueletos están orientadas hacia las recuperaciones terapéuticas de personas que sufren de pérdida de movilidad de las extremidades o para la amplificación de la fuerza de las personas que realizan trabajos forzados. En la actualidad, estos exoesqueletos incluso son llamados robots portátiles por su amplia aplicación de tecnología que poseen en su constitución y lo complejo que resultan los sistemas al momento de ejercer o ejecutar las actividades de movimientos establecidos por los controladores. (Veslin et al., 2009).

El avance tecnológico es indescriptible en diversos sectores de la sociedad, por esta razón, las aplicaciones de los exoesqueletos se han centrado en devolver la movilidad de extremidades superiores e inferiores de las personas, permitiendo ejecutar acciones necesarias que se les ha imposibilitado por la pérdida del movimiento e incluso de dotar de mejores movimientos o más fuerza para la ejecución de actividades en las que se requiera más destreza o fuerza, es importante considerar que varios de los exoesqueletos son aplicados no solamente en la medicina sino que también son aplicados en campamentos militares con el objetivo de dotar al soldado de características que normalmente este no tendría.

Figura 3

Exoesqueleto ajustado a un brazo



Nota. En la imagen presentada se puede observar un exoesqueleto ajustado a una persona a la cual se enfoca en el movimiento de una de las extremidades superiores. Tomado de Gil y Balza (2015). <https://n9.cl/tzsvg>

2.1.1.4. Tipos de exoesqueletos

Los exoesqueletos son diseñados con diversas características acorde a la necesidad de las personas o de acuerdo a las aplicaciones que se pretenda dar al sistema, de acuerdo a Orenes, en el 2021, existen cuatro tipos de exoesqueletos, los cuales juegan un papel principal para

definir las actividades que estos van a ejecutar, el primero son los exoesqueletos militares que fueron los primeros sistemas en ver la luz en este tipo de sistemas, fueron creados con el objetivo de reducir las dimensiones de infantería o mejorar la fuerza en los soldados que lo utilizaban, uno de los casos más sonados es del ejército español, el cual planea en el 2035 crear su propio ejército de tierra basado en estos sistemas. El segundo tipo de exoesqueletos son los infantiles y estos se centran principalmente en las actividades de rehabilitación para niños que han sufrido o sufren enfermedades relacionadas con la parte neurológica que les han impedido la movilidad de las extremidades o en alguno de los casos de todo el cuerpo, la principal característica es que este tipo de exoesqueletos está diseñado en cuánto a dimensiones y el peso que tienen los niños.

El tercer tipo son los exoesqueletos que están orientados a la rehabilitación de los pacientes, a diferencia de los exoesqueletos infantiles, el sistema está provisto de más fuerza y diferentes movimientos ya que se usan para diferentes patologías las cuales se van desde la rehabilitación de extremidades por lesiones o pérdidas de movimiento o para evitar que los músculos terminen atrofiándose. Finalmente, se tienen los exoesqueletos que son usados como uniformes de trabajo, estos permiten que los trabajadores puedan realizar actividades físicas mucho más robustas a las que normalmente está sometido el cuerpo humano, como por ejemplo, soportar cargas más pesadas o permanecer por mucho más tiempo en posiciones complicadas, este tipo de exoesqueletos actualmente ha tenido una gran acogida en el campo automotriz.

Es por esta razón que, los exoesqueletos son creados con diversas características y propiedades que los hacen únicos y especiales en el campo en el cual van a ser aplicados, ya que brinda compensación a la movilidad de extremidades inferiores y permite realizar actividades de acuerdo a la necesidad de las personas, los exoesqueletos hoy en día se están considerando para ayuda de los trabajadores en sus ámbitos laborales. Se utilizan para soportar posiciones forzadas durante más tiempo.

Figura 4

Exoesqueleto infantil



Nota. En la imagen presentada se observa un exoesqueleto infantil colocado a un niño para la movilidad de sus extremidades. Tomado de Orenes (2021). <https://n9.cl/otuea>

2.1.1.5. Partes del exoesqueleto

2.1.1.5.1. Sistema de control

Algunos sistemas usan control de par directo, sobre lo cual se aplican o consideran varios parámetros que establecen el modo de funcionamiento del sistema dentro de ciertos rangos que son importantes y necesarios al momento de ejecutar el movimiento, es importante tomar en cuenta que como se había mencionado antes, esto dependerá de manera directa de las aplicaciones del sistema, por un lado se encuentran las aplicaciones terapéuticas y por otro se encuentran las aplicaciones que buscan amplificar la fuerza de las personas cuando desarrollan actividades las cuales el cuerpo humano no puede ejecutar de manera directa y se requiere o de mayor precisión o fuerza. (Grosso y Tibaduiza, 2009).

De esta manera, se pueden establecer los movimientos que se pretenden ejecutar sobre el sistema, para esto es necesario que se consideren varias variables como el peso, la velocidad, los actuadores a utilizar en el sistema y la aplicaciones o el campo en el cual va a ejecutar sus actividades, por mencionar un ejemplo, si es en el campo de la medicina para la rehabilitación de los pacientes, se deberá establecer de manera clara cuales son los movimientos que se establece en el cuerpo humano, para esto varios estudios han considerado el análisis de estos movimientos por medio de la cinemática directa y la cinemática inversa.

En la actualidad, existe un sinnúmero de exoesqueletos que tienen diferentes tipos de control, los cuales van desde controles manuales que están basados en botoneras o joystick para lo cual es necesario tener precisión en el movimiento de acuerdo a lo que se quiera realizar, hasta redes neuronales que le permiten al usuario ejecutar las órdenes en el sistema como si fuera parte de su propio cuerpo, se debe tomar en cuenta que este tipo de controles hace que los exoesqueletos terminen siendo más costosos y no muchas personas pueden adquirirlos, es por esta razón que se deben realizar trabajos de investigación que permitan vincular tecnología existente y económica para mejorar el control que se ejerce sobre este tipo de sistemas, entre ellos se encuentran los comando por voz en los que se pueden utilizar asistentes virtuales que se usa para la automatización de una vivienda.

2.1.1.5.2. Joystick

Para Mena y Veloz (2013), el joystick es uno de los modos por el cual puede ser controlado el exoesqueleto y varios sistemas mecánicos aplicados incluso a la industria, este dispositivo le permite al paciente realizar diversas acciones de forma manual, sin embargo, se debe considerar que muchos de los pacientes son incluso niños para los cuales será complicado el manejo del dispositivo o incluso para pacientes que sufren de patologías como la cuadriparaplejia, algunas de las actividades que permite realizar el joystick son:

- Seleccionar, si el paciente debe hacer ejercicio o volver a realizar prueba de motores.

- Apuntar la altura, peso y algunas otras características que deben ser consideradas en el paciente.
- Seleccionar el ejercicio de rehabilitación de acuerdo a las características del paciente.
- Seleccionar parámetros de ubicación de inicio y finalización.
- Control directo del movimiento de actuadores que ejecutan el movimiento del exoesqueleto.
- Mostrar todos los parámetros anteriores, así como el porcentaje de batería utilizando el GLCD.

2.1.1.5.3. Control por comandos de voz

Es importante que para la ejecución de actividades que desea desarrollar una persona, se reconozca de manera adecuada y eficiente el habla de las personas, esto permite la comunicación como tal, este reconocimiento de la voz de las personas está basado específicamente en el espectro y la frecuencia que presenta o construye la voz de una persona cuando esta la emite. Muchas disciplinas participan en proyectos que integren el control por voz de diferentes y diversos sistemas, entre los principales proyectos se tienen a los sistemas domóticos que integran a los asistentes virtuales y los dispositivos IoT. El proceso que utilizan los sistemas controlados por voz no es nada más que el procesamiento de los datos cuando se reconoce el habla de una persona, el gran obstáculo que se ha intentado romper cuando se trabaja con este tipo de controles es el cuidado de la sintáctica, semántica, fonética, fonológica, léxica y pragmática, ya que si el sistema no reconoce adecuadamente lo que el usuario menciona las órdenes no serán las adecuadas sobre los sistemas. (Espinoza y Pacheco, 2016).

Cuando se comenzaron a utilizar este tipo de sistemas, se tuvo que sortear varios obstáculos que hacían que el sistema tenga ambigüedad e incertidumbre al momento de recibir los mandos, lo que provocaba errores inevitables sobre las acciones o tareas del sistema. Actualmente, reconocimiento por voz es utilizado de mejor manera por varios sistemas, esto se debe a los avances con pasos agigantados que se han dado sobre los sistemas, es así que los asistentes

virtuales que se conocen hoy en día usan este modo de comunicación para recibir las peticiones por parte de los usuarios.

Es por esta razón que, los comandos de voz son de suma importancia en diversas aplicaciones ya que permite el reconocimiento del habla de las personas y permite captar y transmitir información con mayor facilidad en diferentes ambientes sobre los cuales se desarrollan las actividades, se debe considerar como punto de partida que la comunicación que se realiza en este tipo de casos son directamente con máquinas o sistemas que están diseñados para este fin, uno de los ejemplos que se podría considerar y se tratará más adelante son los asistentes virtuales que permiten interconectar diversos dispositivos orientados a la IoT, estos asistentes reciben las órdenes directas del usuario y ejecutan las acciones que han sido solicitadas. Como todo sistema, es necesario considerar varias características que tienen estos sistemas antes de que sean aplicados.

2.1.1.5.4. Tarjeta electrónica

Las tarjetas electrónicas son fundamentales ya que todos los elementos están vinculados a la misma y es donde se almacenan los algoritmos y envía una cierta cantidad de pulsos de señal. Las tarjetas electrónicas tienen la capacidad de albergar las conexiones de los sensores y actuadores que son usados por un sistema o mecanismo. Cualquier tarjeta electrónica que procese datos generalmente está compuesta de un microcontrolador para los fines pertinentes, además de un microprocesador que se encarga de recibir las señales de los sensores o las señales externas del sistema para ejecutar acciones de mando o control sobre los actuadores. (Janampa, 2021).

De esta manera, para la construcción de un exoesqueleto es necesario que se integren sistemas de control o tarjetas electrónicas que procesen los datos y envíen las señales para que los actuadores ejecuten los movimientos de acuerdo a como sea necesario, como ejemplo, se puede establecer que en una sesión terapéutica el paciente debe estar moviendo una de

extremidades a una velocidad establecida en un tiempo determinado, estas variables de velocidad y tiempo las ejecuta y las procesa una tarjeta electrónica para poder establecer la orden o señal específica para que los motores se muevan de acuerdo a los requerimientos propuestos por el terapeuta.

2.1.1.5.5. Motores empleados en los exoesqueletos

Según Guerrero y Martínez (2020) los exoesqueletos contienen motores que en algunos de los casos son los encargados de recopilar ejecutar acciones sobre los mecanismos a los cuales están conectados, los motores que son utilizados en los exoesqueletos son dispositivos que deben cumplir ciertas características en cuanto al peso, torque, alimentación y velocidad máxima y mínima establecida sobre el sistema. La cantidad de motores que un exoesqueleto debe utilizar, estará establecida por quien diseña el mecanismo una vez que se hayan establecido los movimientos que se desean desarrollar de acuerdo a los grados de libertad seleccionados en el mecanismo.

Es así que, los exoesqueletos son estructuras que permite realizar movimientos de extremidades inferiores o superiores, de acuerdo al tipo de exoesqueleto sobre el cual sea implementado, algunos de ellos contienen motores que son activados por sistemas inteligentes que permite recopilar y procesar datos que las personas desean ejecutar brindando la movilidad que se requiere sobre cierta extremidad o las órdenes ejecutadas por el personal de la salud que está a cargo de las sesiones de rehabilitación de un paciente. En el caso de los exoesqueletos, existe un sinnúmero de tipo de motores que pueden ser utilizados, los cuales cumplen con las características mínimas requeridas en el sistema.

2.1.1.5.6. Grados de libertad

Como se había mencionado anteriormente, los grados de libertad son parámetros que deben ser considerados como fundamentales para la construcción de un exoesqueleto ya que existen diversas características en las extremidades inferiores o superiores que deben ser

consideradas por las personas que diseñan el sistema. En el caso de los exoesqueletos es necesario realizar un análisis de los movimientos que va a ejecutar una persona para poder definir la cantidad de grados de libertad a utilizar, para definir los grados de libertad a utilizar, quien diseñe el sistema deberá centrarse de manera específica sobre las articulaciones que son quienes soportan los movimientos en las extremidades. (Martínez et al. 2020).

Una gran cantidad de exoesqueletos que existen hoy en día han realizados un análisis minucioso de cómo se mueven las extremidades de una persona, es así que existen sistemas o mecanismos aplicados a los exoesqueletos que tienen hasta 8 grados de libertad y otros sistemas mucho más sencillos que tienen hasta dos grados de libertad, es importante hacer mención en que de acuerdo a la cantidad de grados de libertad que posea un sistema mucho más preciso será el movimiento que ejecute el sistema, sin embargo, el costo de estos dispositivos también será elevado debido a los altos niveles de precisión que manejan.

Es por esta razón que los grados de libertad son de suma importancia en la construcción de los exoesqueletos, debido a que ayudan a determinar el número de actuadores para realizar la actividad que se requiere, como ejemplo, se debe considerar el movimiento que realiza el cuerpo humano en ciclo de la marcha, para esto es necesario que se analicen por medio de diferentes métodos, entre los más usados como se mencionó en los anteriores apartados, se encuentra el análisis de la marcha humana por medio de cinemática inversa o directa, para esto es necesario que se ponga la atención adecuada sobre el movimiento que realiza la cadera, la rodilla y el tobillo de la persona.

Figura 5

Plano sagital del exoesqueleto



Nota. En la imagen presentada se puede observar la representación del plano sagital del exoesqueleto de dos grados de libertad. Tomado de López et al (2014). <https://n9.cl/9tb14>

2.1.2. Asistente virtual

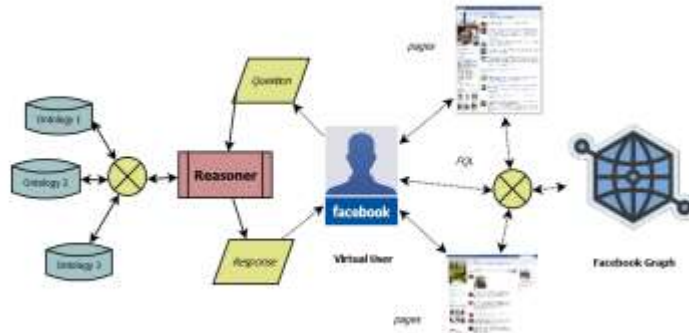
2.1.2.1. Definición

De acuerdo a Campos (2018), un asistente virtual es un robot inteligente virtual que permite simular una conversación con el mismo lenguaje de la persona, es importante considerar que los principales asistentes virtuales funcionan por reconocimiento de voz, aunque existen sistemas que interactúan con la persona también por medio de un lenguaje de señas. Un asistente virtual es considerado como un bot, este término hace referencia de manera directa a robot, y no es nada más que un programa informático el cual es encargado de realizar la automatización de procesos por medio del reconocimiento de voz adherido a otros algoritmos que le permiten ejecutar un sinnúmero de actividades.

Considerando lo anteriormente mencionado, un asistente virtual no es nada más que un sistema que ejecuta tareas automatizadas y repetitivas con ayuda del internet, es por esta razón que, para que este tipo de asistentes funcionen de manera adecuada los dispositivos sobre los cuales reposa el asistente virtual, tengan conexión a internet, de esta manera se puede entablar conversaciones de diversos temas con las personas brindando mayor información de lo deseado a los usuarios. Además, es importante tomar en cuenta que varios de los asistentes virtuales que son utilizados hoy en día utilizan algoritmos de inteligencia artificial.

Figura 6

Asistente Virtual Social



Nota. En la imagen presentada se observa la arquitectura del Asistente Virtual Social. Tomado de Medina et al. (2013). <https://n9.cl/rgqbs>

2.1.2.2. Historia

Lo que mencionan los principales historiadores, es que los asistentes virtuales aparecen cuando Turing crea un test el cual permite participar a personas y una máquina de manera directa, el objetivo es lograr descifrar quién es la persona y quién es la máquina por medio de la interacción que se ejecutaba, Eliza fue el chatbot que presentaba las características de lo requerido por Turing. (Zarabia, 2018).

Es por esta razón que, los chatbots aparecieron cuando Alan Turing crea un test en el que participan dos personas y una máquina, el objetivo es lograr identificar quien de los participantes es la persona, es de esta manera que da inicio a la interacción directa con las máquinas y lo que ahora se conoce como asistentes virtuales, esta interacción directa permitió establecer varias de las características que deben tener este tipo de sistemas, a partir de esto varias empresas han participado en la creación de diferentes asistentes virtuales, integrando diversas características que les permitan cada vez tener mejores aplicaciones.

Lo que llama la atención en la actualidad es que estos sistemas cuentan con inteligencia artificial, que les permite a los asistentes conocer de mejor manera a los usuarios y así brindar

mejores prestaciones para las cuales fueron construidas, para esto es necesario que los algoritmos de inteligencia artificial puedan acceder a la información que ha sido utilizada, almacenarla en una base de datos para que posteriormente pueda ser utilizada con mayor eficiencia y rapidez.

2.1.2.3. Aplicaciones

Como expresa Gutiérrez (2019) los chatbots son asistentes virtuales que ayudan a las personas a solventar cualquier inquietud, con el paso del tiempo fueron evolucionando y sus aplicaciones fueron incrementando, hoy en día realiza diversas funciones que van desde establecer recordatorios, asignar alarmas, seleccionar música de acuerdo a las preferencias del usuario, realizar búsquedas en internet e incluso controlar dispositivos que poseen tecnología IoT. Las aplicaciones de los asistentes virtuales en la actualidad no están ligada solamente a un área de conocimiento en específico, uno de los mejores sistemas y que ha tenido gran acogida en los últimos años es Duolingo que está orientado al aprendizaje de diferentes idiomas y sobre todo es gratuito, esta plataforma contiene una serie de chatbots que les permite a los usuarios interactuar de mejor manera.

De esta manera se puede establecer que, los asistentes virtuales han sido construidos principalmente para que las personas puedan ejecutar varias actividades de una mejor manera y sobre todo más sencilla, lo que se busca de forma principal es que la interacción hombre máquina sea la mínima, la petición de las actividades o acciones generalmente se las realiza por medio de voz en donde el asistente virtual recopila información, la procesa y responde de manera natural.

2.1.2.4. Tipos

2.1.2.4.1. Siri de Apple

Siri es el asistente virtual más conocido, uno de los principales problemas para los usuarios y que por esta razón no pueda ser utilizado con facilidad y por cualquier usuario es que

su software privado, es una asistente virtual de la marca Apple que responde a todo tipo de pregunta realizadas y ejecuta un sinnúmero de acciones cuando interactúa con otros dispositivos conectados al sistema o a la misma red y que permite la comunicación, pero con ciertas limitaciones. De acuerdo (López, 2020) uno de los principales que tiene este asistente virtual es que al momento de desarrollar aplicaciones para simplificar el trabajo y funcionar mejor con el usuario final es el software privado y la gran dificultad para los desarrolladores que existe para lograrlo.

Sin embargo, es importante considerar que con las mejoras de las versiones, los usuarios en la actualidad pueden generar sus propias herramientas con parámetros personalizados que le permiten interactuar con el asistente virtual, pero estas herramientas solo son interacciones o comunicaciones directas con otras aplicaciones, esta es la limitación más grande con la que se ha encontrado la empresa hasta el momento, por otro lado, este asistente virtual no puede funcionar fuera de dispositivos que no sean de la marca.

Figura 7

Esquema general de funcionamiento de Siri



Nota. En la imagen presentada se puede visualizar el esquema de funcionamiento genérico de Siri para manejar las intenciones de una aplicación. Tomado de Parniés (2021). <https://n9.cl/a1x4z>

2.1.2.4.2. Google Assistant

El asistente virtual de Google cumple diversas funciones como lo hace Siri tales como brindar información en el contexto de la persona, ubicación, tiempo, entre otros factores importantes, se caracteriza por ser una plataforma que brinda información sin limitación como lo hace Siri, este asistente virtual es multiplataforma y funciona en un sinnúmero de dispositivos, incluso en los que tienen el sistema operativo iOS.

La ventaja que posee frente a otros asistentes virtuales, es que el motor de búsqueda que usa es el propio de Google, que en la actualidad es el motor de búsqueda más utilizado en el mundo, con esto la respuesta que se brinda al usuario es más rápida ya que el algoritmo de inteligencia artificial que posee le va a permitir predecir en menor tiempo cuales son los requerimientos del usuario y las actividades que este quiere que desarrolle con otros dispositivos.

2.1.2.4.3. Bixby de Samsung, Cortana de Microsoft

Bixby es un asistente virtual que se la puede encontrar en teléfonos de marca Samsung, esta asistente en comparación de marcas como Apple, Amazon y Google representa una minoría en su uso o aplicaciones usadas en diferentes dispositivos tecnológicos, de acuerdo a (López, 2022) los asistentes virtuales por parte de Samsung y de Microsoft se unieron en el 2018 y conjuntamente trabajan con toda aquella información recopilada para brindar un mejor servicio a las personas, sin embargo a diferencia de Apple, Google y Amazon el motor de búsqueda utilizado es una herramienta sobre la cual aún se deben desarrollar trabajos.

Figura 8

Bixby



Nota. Bixby la asistente virtual de Samsung. Tomado de Montecatine (2019). <https://n9.cl/l7h1y>

2.1.2.4.4. Alexa

Mancheno (2022), menciona que Alexa es una asistente virtual creada por Amazon controlada por comandos de voz, permite dar órdenes para ser ejecutadas ayudando de esta forma a las personas según su requerimiento. Entre las principales aplicaciones que se le da a este asistente virtual es que se le solicita música, la búsqueda de información, la configuración de recordatorios, la interacción con dispositivos IoT y principalmente la compra de artículos por medio de la plataforma en la que se le dio vida.

Alexa ha ayudado a muchas personas a minimizar el tiempo en algunas actividades, sobre todo en la casa y compras, además, funciona en una serie de dispositivos que incluso no son propios de la marca y tiene una gran gama de parlantes inteligentes que posee el asistente virtual integrado, es así que en la actualidad ha ganado gran parte del mercado internacional y ha llegado a competir con Siri que fue el asistente virtual más usado en el 2018.

Figura 9

Alexa



Nota. En la imagen presentada se observa la representación de Alexa. Tomado de Montecatine (2019). <https://n9.cl/l7h1y>

Román (2021), menciona que Alexa apareció en el año 2014 cuando Amazon dio a conocer a su asistente virtual permitiendo un vínculo entre Alexa y el usuario, desde la perspectiva de los desarrolladores, la creación de skills para minimizar actividades u orientar de mejor manera al asistente virtual es mucho más versátil que con Siri, es así que una gran comunidad de desarrolladores ha comenzado a crear un sinnúmero de skill para conectarse de manera directa con otras plataformas, esto le ha permitido ganar puntos en el mercado debido a la integración que tiene con otros dispositivos.

Los dispositivos que alojan al asistente virtual Alexa tienen una gran tecnología y prestaciones para el usuario, esto le ha permitido abarcar de mejor manera el mundo y campo de la domótica permitiendo la colaboración con diversas empresas que aportan al lanzamiento en el mercado, esta versatilidad que le permite integrarse con un gran número de dispositivos ha abierto el campo a que la empresa se encuentre desarrollando cada vez más mejores dispositivos que van desde parlantes inteligentes hasta gafas para los usuarios las cuales tienen el asistente virtual integrado.

De acuerdo a (Ballester, 2022), Alexa se ha convertido en uno de los principales servicios de voz que se encuentra ubicado en la nube, de la mano con Alexa, Amazon ha creado una serie de parlantes inteligentes que se han convertido en los productos estrella de la marca ya que tienen el asistente virtual integrado y que puede integrarse no solamente en un dispositivo sino

en varios con una misma cuenta y desde diferentes ubicaciones, es así que, el usuario podrá tener un conjunto de parlantes inteligentes en toda su casa e incluso en su oficina, interactuando de manera directa los unos con los otros incluso sin encontrarse conectados a la misma red.

2.1.2.5. Parlantes inteligentes

Los parlantes inteligentes recopilan información valiosa y son capaces de realizar diversas actividades tales como búsquedas en sitios web, domotización de viviendas, oficinas e incluso edificios, como se ha mencionado anteriormente la característica de estos parlantes es que tienen integrada el asistente virtual, convirtiéndose en el eje central que le permite al usuario interactuar de manera directa con Alexa. (Myers, 2019).

Es importante tomar en cuenta que los parlantes inteligentes permiten captar toda información confidencial de las personas a través del habla natural, por medio de su sistema integrado de micrófonos de alta gama. Al ser uno de los productos estrella de Amazon existen varias generaciones de parlantes inteligentes, en la actualidad se ha presentado ya en el mercado la cuarta generación de parlantes inteligentes, entre los cuales existen diferentes prestaciones, uno de estos incluso posee la tecnología Zigbee integrada lo cual facilita la domotización en viviendas.

Figura 10

Características de Alexa



Nota. En la imagen presentada se puede observar una Alexa con sus características. Tomado de Beltrán (2020). <https://n9.cl/kmmq7>

2.1.2.5.1. Echo Auto

Según Fuentes (2019), el Echo Auto es un dispositivo con asistente virtual Alexa, permite adherirse a los vehículos de manera fácil y sencilla, este se integra o vincula por bluetooth a un smartphone o tablet del usuario, el audio puede ser arrojado a los parlantes del vehículo por medio de un conector auxiliar integrado y cuenta con micrófonos para detectar las peticiones del usuario. La característica principal de este dispositivo en comparación con sus hermanos de la familia Echo es que no posee parlantes integrados, es por esta razón que el audio debe ser arrojado a los parlantes del vehículo vía bluetooth o el cable auxiliar como se menciona anteriormente.

Entre las principales características que posee es un peso extremadamente ligero lo que le permite adherirse de manera sencilla a cualquier parte del vehículo de acuerdo a los requerimientos del usuario, en cuanto al peso es extremadamente ligero lo que no complica la instalación y la ubicación incluso sobre el tablero o sistema de ventilación del automóvil, la característica que más llama la atención a los usuarios es que se puede integrar con smartphones Android o iOS, sin embargo, es importante tomar en cuenta que para que funcione el dispositivo celular deberá siempre estar conectado al internet.

A diferencia de sus hermanos de la familia Echo, el Echo Auto puede alimentarse eléctricamente sin problema desde un puerto USB que posea el vehículo e incluso con el transformador que viene integrado para conectarlo a la cigarrera del vehículo, en cuanto al consumo eléctrico, al ser un dispositivo bastante sencillo y sin bocinas no representa problema alguno en el esquema o circuitos eléctricos del automóvil. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que la alimentación de 5VCC que debe recibir para su funcionamiento debe ser la adecuada para que no existan problemas de avería en el futuro.

Figura 11

Echo Auto



Nota. En la imagen presentada se puede observar un Echo Auto. Tomado de Amazon (2022).

<https://n9.cl/nz1cmn>

2.1.3. ESP32

2.1.3.1. Historia

Para González (2019) la ESP32 es una tarjeta electrónica que nace como una evolución de la ESP8266, fue creado para solventar una serie de necesidades que no podían ser cubiertas por su antecesora, la tarjeta ESP8266 es lanzada al mercado en el mes de agosto del año 2014 pero para los desarrolladores de programas, así como los profesionales relacionados con el área de la electrónica la documentación que existía en base al uso y aplicaciones de esta tarjeta era muy escasa sin embargo, los trabajos y avances desarrollados en base a esta tarjeta no se detuvieron, es así que en septiembre del 2016, dos años después, sale a la luz el modelo ESP32 para solventar carencias que tenía la ESP8266.

Figura 12

ESP32



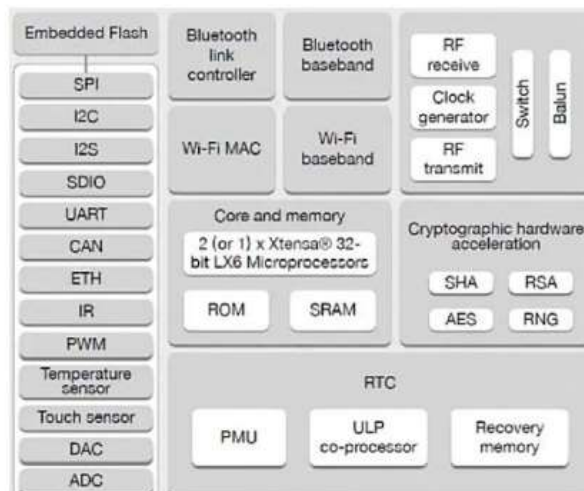
Nota. En la imagen presentada se puede observar Módulo ESPWROOM-32. Tomado de Benito (2019).

2.1.3.2. Definición

ESP32 es un Soc en el cual lo componen diversos elementos que le permiten realizar funcionalidades y brindar soluciones a lo requerido según (Bertoleti, 2019), entre las principales características que posee esta tarjeta es su limitado tamaño, las conexiones que puede soportar, la potencia de operación baja y hardware dedica estrictamente a seguridad.

Figura 13

Diagrama en bloques



Nota. En la imagen presentada se puede observar el diagrama en bloques del ESP32. Tomado de Bertoleti (2019). <https://n9.cl/43nlh>

2.1.3.3. Características

Las tarjetas de la familia ESP son diseñadas con diversas características que las hacen únicas al igual que su composición, el ESP32 cumple con diversas funciones sin limitantes y con mejoras a diferencia de los demás. Entre las principales características técnicas y de funcionamiento se encuentra el voltaje de funcionamiento que se encuentra entre los 3.3VCC, una corriente de operación que se encuentra entre los 80mA, el voltaje de salida en cada uno de los pines de 3.3VCC, constitución tipo So, una frecuencia de reloj alojada en los 240 MHz, una memoria flash externa de 4MB, un total de 34 pines GPIO que incluyen los periféricos, capacidad para funcionar con touch sensor, un total de 16 canales PWM, comunicación WiFi que se encuentra en el rango de 2.4 a 2.5GHz, comunicación bluetooth y un tamaño de 18x25x0.15 mm. (Vilaña, 2019).

De acuerdo a las características mencionadas, se puede ver claramente que este tipo de tarjetas tiene muchas características que el Arduino el cual ha tenido una gran acogida en proyectos principalmente relacionados con el campo académico o de enseñanza, para que el Arduino alcance estas características de funcionamiento se deben integrar una gran cantidad de shields para acciones como conectarse a internet o tener una comunicación con otro dispositivo o máquina por medio de bluetooth.

2.1.3.4. Tipos de programación para la ESP32

Herranz (2019) menciona que la tarjeta ESP32 cuenta con diversas funciones para su programación que facilita a las personas su uso y aplicación en diferentes tipos de sistemas o proyectos, por otro lado, le permite también al usuario el acceso a una amplia documentación que se encuentra alojada en la web. En cuanto a la programación que se ejecuta sobre la tarjeta se puede mencionar que se basa en diversos códigos nativos para el desarrollo de funciones. La programación de la tarjeta se basa en C y C++.

Los recursos que se pueden encontrar en la web para el desarrollo de proyectos y uso de la tarjeta ESP32 para proyectos son abundantes, lo interesante de esta tarjeta es que la

programación o desarrollo de programas se lo puede realizar desde el IDE de Arduino, esto facilita el uso y la aplicación en proyectos de investigación, ya que para los usuarios que conocen Arduino bastará que utilicen la misma lógica de programación que generalmente se usa para una tarjeta Arduino, es así que la instalación y uso de librerías desarrolladas se la maneja de la misma manera debido a que un gran grupo de desarrolladores siempre se encuentra construyendo una serie de librerías que permitan simplificar el código de programación pero sobre todo permita la integración con otras tarjetas.

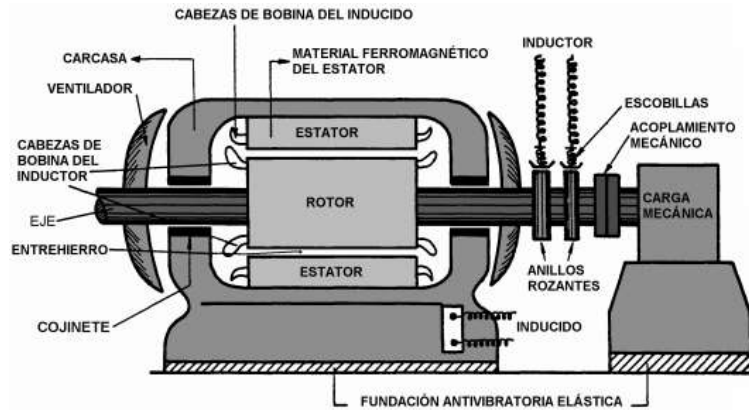
2.1.4. Motores eléctricos

Son conocidos también como máquinas eléctricas rotatorias, estos dispositivos son máquinas que transformará energía eléctrica que recibe en sus terminales en energía mecánica, el principio de funcionamiento se realiza a través de sus diversos campos magnéticos de acuerdo a su constitución, los motores son aplicables en diversos campos, principalmente en la industria con el objetivo de mover mecanismos que son necesarios en los procesos industriales. Existen diferentes tipos de motores eléctricos, sin embargo, es importante que para la hora de definir de que tipo utilizar, se definan variables importantes como la cantidad de revoluciones por minutos máximas y mínimas requeridas, el torque necesario, el tipo de alimentación eléctrica y sobre todo el tipo de control que se va a ejercer para el sistema. (Fiallos & Guallichico, 2013).

Es importante tomar en cuenta que para sistemas como los exoesqueletos se deben considerar máquinas con torques elevados pero alimentados desde baterías, por lo cual, el motor que se debe utilizar obligatoriamente deberá ser un motor de corriente continua, sin embargo, este tipo de motores no presentan grandes torques como lo requiere el sistema, es por esta razón que estos motores obligatoriamente deben poseer cajas reductoras, a muchos de estos motores con este sistema se les conoce como motorreductores, cuya principal característica es disminuir la velocidad sin perder el torque.

Figura 14

Constitución de máquinas eléctricas



Nota. En la imagen presentada se puede observar la constitución de máquinas eléctricas rotatorias. Tomado de Pozueta (2019). <https://n9.cl/7uutr>

2.1.4.1. Motores de corriente continua

Pernía (2011) describe a los motores de corriente continua son aquellas máquinas eléctricas que transforman de energía eléctrica en energía mecánica, este tipo de motores en cuanto a su constitución son más complejos que los motores de corriente alterna, esto se debe a las prestaciones que deben ejecutar y las características que deben tener para un funcionamiento adecuado. Uno de los principales problemas que tienen es que deben ser alimentados de manera obligatoria por medio de rectificadores si van a ser conectados a la red de 120VAC/60Hz en el caso de nuestro país.

La característica principal de este tipo de motores es que su par de arranque es bastante elevado pero la velocidad de funcionamiento puede ser regulada de manera sencilla de acuerdo a sus límites y características de funcionamiento, esto hace que este tipo de máquinas sean ideales para el funcionamiento en sistemas en donde se necesita un control minucioso y una regulación perfecta en relación a la velocidad. En el caso de los exoesqueletos, pueden ser utilizados motores de corriente continua con cajas reductoras, motores paso a paso o servomotores para los cuales se requieren drives.

Figura 15

Máquina de corriente continua



Nota. En la imagen presentada se puede observar el despiece de una máquina de corriente continua. Tomado de Pernía (2011). <https://n9.cl/c732z>

2.2 Descripción de la propuesta

a. Estructura general

A continuación, se detalla el proceso y las actividades que se han cumplido para construir el sistema completo, para lo cual es importante considerar que se han dividido en 4 etapas distintas y están orientadas de manera objetiva a alcanzar la meta propuesta, aplicando los conocimientos y principios propios del área de la electrónica:

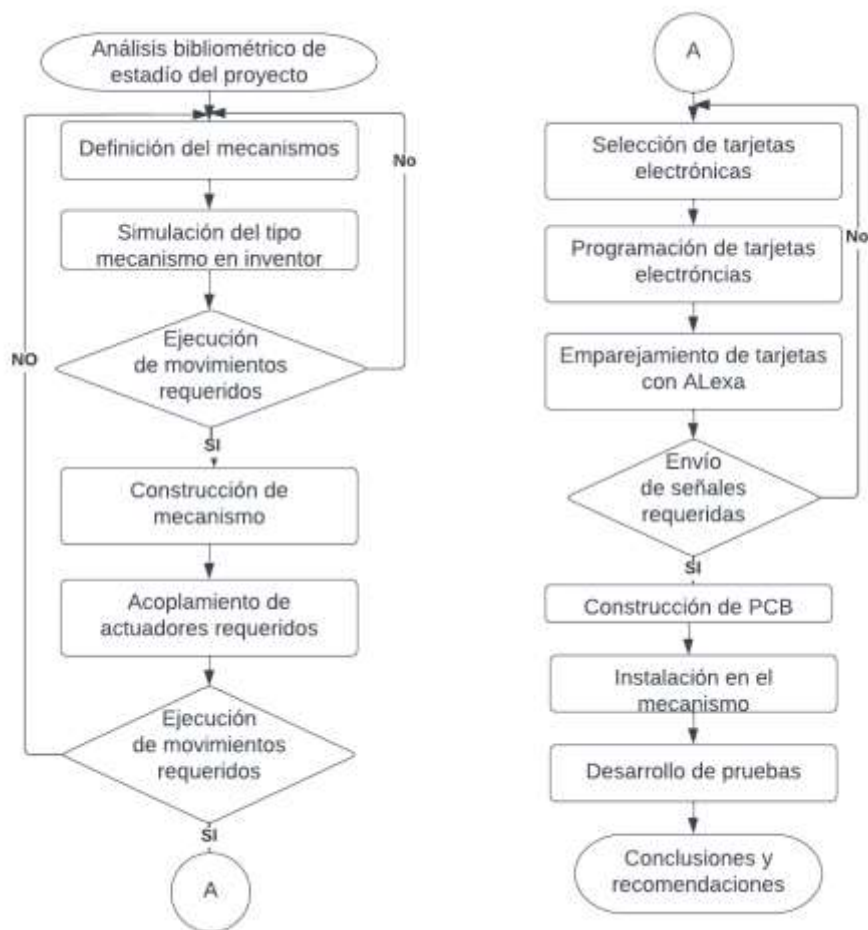
- Diseño y construcción del sistema mecánico para el movimiento de extremidades de los pacientes que usen el prototipo del exoesqueleto.
- Diseño y construcción del circuito impreso que contendrá las tarjetas electrónicas para el control del sistema.
- Programación de las tarjetas electrónicas para el envío de señales necesarias de acuerdo al movimiento que se requiere.
- Pruebas de funcionamiento y control utilizando el asistente virtual de Alexa propio de Amazon.

Para desarrollar de manera adecuada el proyecto propuesto se establecieron actividades en cronograma de Gantt de acuerdo a las metas que se espera alcanzar estas metas devienen principalmente de los objetivos específicos que se han propuesto en el presente informe, de este cronograma establecido a modo de planificación de trabajo el cual ha sido seguido de manera rigurosa, se puede obtener como resumen el siguiente diagrama de flujo a seguir para la construcción total del control del exoesqueleto en el que se aplicarán asistentes virtuales. Es

importante mencionar que se han desarrollado diferentes actividades y etapas de experimentación que han permitido obtener de manera definitiva el sistema funcional de acuerdo a los parámetros establecidos, por otro lado, ha sido valorado y evaluado por profesionales del área de electromecánica y electrónica en relación a los principios técnicos aplicados en el exoesqueleto y por otro lado, ha sido verificado por un profesional del área de salud en relación a la pertinencia y la aplicación que se pretende dar al sistema desde el punto de vista de la rehabilitación de pacientes con el uso de este prototipo, se debe considerar que la propuesta realizada se basa principalmente en la aplicación de los asistentes virtuales orientados al control de estos sistemas por medio de comando de voz para facilitar el control tanto a pacientes como terapeutas.

Figura 16

Diagrama de flujo de la estructura del proyecto



Nota. En la imagen anterior se puede identificar de manera clara cuál es el proceso que se debe seguir para la construcción del sistema de control para el exoesqueleto.

b. Explicación del aporte

De acuerdo a lo propuesto por Stengel en el 2008, en la marcha humana se deben considerar los ángulos de movimiento que son provocados por las articulaciones, estos ángulos a considerarse están situados principalmente en el tobillo, la rodilla y la cadera, con esto se puede definir una simulación bastante acertada de cómo se mueven las extremidades inferiores cuando una persona se encuentra desarrollando el ciclo de marcha normal, como este sistema construido funcionará como prototipo que de paso a futuras investigaciones y sobre todo para la rehabilitación de niños o niñas que hayan perdido la movilidad en las extremidades inferiores por diferentes situaciones.

Como punto de partida se tomaron las medidas de una niña, que si bien es cierto no sufre de paraplejia o perdida de movimiento de las extremidades inferiores, se realiza en base a ella con el objetivo de conocer de manera adecuada las proporciones del cuerpo, ya que es una persona que se puede mantener de pie sin problema, con esto los movimientos que se ejecuten serán bastante cercanos a la marcha de una persona.

Figura 17

Medidas tomadas para la construcción del mecanismo

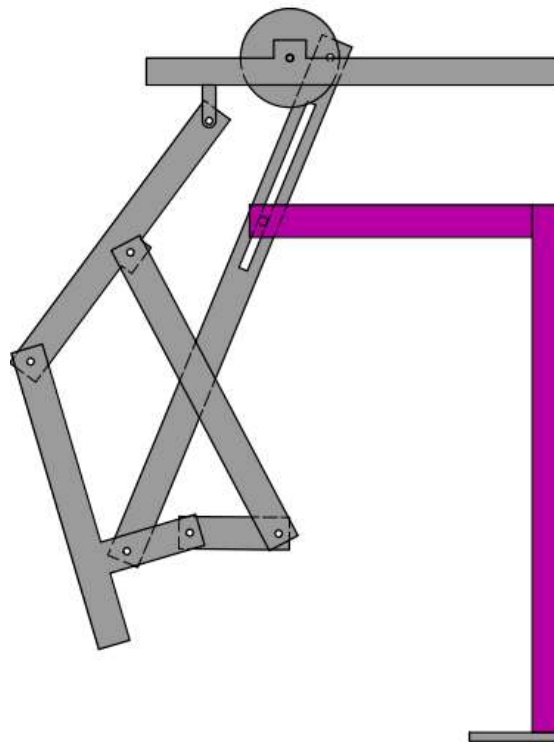


Nota. En la imagen anterior se puede identificar las medidas que han sido tomadas a una niña, esto sirve para dimensionar el mecanismo a construir.

Es así que, para la construcción del mecanismo del exoesqueleto se utiliza el software inventor con el objetivo de diseñar cada una de las piezas y la ubicación de los puntos de movimiento, soportes y la ubicación del actuador, con el objetivo de que se pueda simular de manera adecuada cómo funcionará el sistema, con ayuda de este software además se puede establecer las dimensiones que debe tener el material sobre el cual se va a construir la base del mecanismo, el material que se ha seleccionado luego de las pruebas de resistencia de material para que ejecute el movimiento sin problema son placas de acero A36.

Figura 18

Diseño de las articulaciones



Nota. En la imagen se puede ver el mecanismo construido, el mismo que irá anclado a las piernas de los pacientes para que simule el ciclo de marcha

Cada una de las partes del mecanismo fueron diseñadas y construidas en base a las medidas tomadas de la persona que participa como modelo de construcción del mecanismo, en el simulador el mecanismo se realizó la simulación de la marcha sin problema, sin embargo, en este punto se tuvo que sortear el primer problema, el cual se basaba en la estructura soporte que sujete al mecanismo y al mismo tiempo brinde estabilidad y seguridad a la persona que sufre de pérdida del movimiento de las extremidades y no puede mantenerse en pie. En la figura

19 se puede identificar las bases marcadas con color violeta, las cuales constituyen los soportes base para el mecanismo.

Para sortear este problema se seleccionó una silla de ruedas controlada por un joystick, la cual fue modificada en su estructura para que brinde el espacio necesario para la ubicación del mecanismo y al mismo tiempo pueda seguir funcionando para lo que fue construida, es así que al momento de sortear este problema se le agrega da un valor agregado al sistema que se ha comenzado a construir, partiendo de un problema propio de los pacientes, las personas que sufren de paraplejia o de pérdida de movimiento de sus extremidades permanecen largas jornadas de tiempo sentadas o en la misma posición, esto a más de que provoca que los músculos se atrofién hace que en el cuerpo de las personas comiencen a aparecer llagas.

De esta manera el sistema partirá de la estructura de la silla de ruedas, que le permitirá al paciente moverse sin problema y posteriormente en las actividades que desee realizar de pie bastará con seleccionar los comandos adecuados y el exoesqueleto se activará, activando el mecanismo para que la persona pueda permanecer de pie, posterior a esto se ejecutará el movimiento para que se pueda simular sin ningún problema la marcha en la persona.

Figura 19

Desarticulación de la estructura de la silla de ruedas



Nota. En la imagen se puede identificar como se ha desarticulado completamente la silla con el fin de modificar su estructura y las dimensiones de la misma.

Basados en las dimensiones de la persona que colabora como modelo de prueba, se ha seleccionado que el ancho interno de la silla no debe ser menor a 45 centímetros, es así que las dimensiones de la silla para que otra persona pueda ingresar sin problema han sido seleccionadas en 50 cm, considerando que son las dimensiones promedio de un niño o joven de hasta 15 años.

Una vez seleccionada la medida se procede a reconstruir a silla con las nuevas dimensiones, manteniendo los motores que ejecutan el movimiento de la silla de ruedas, como se ha mencionado anteriormente, lo que se busca es que el sistema tenga a partir de este momento un doble uso, en el que la persona a más de transportarse o realizar ciertas actividades de pie, pueda moverse también usando la estructura base de la silla de ruedas.

Figura 20

Modificación de la estructura de la silla de ruedas



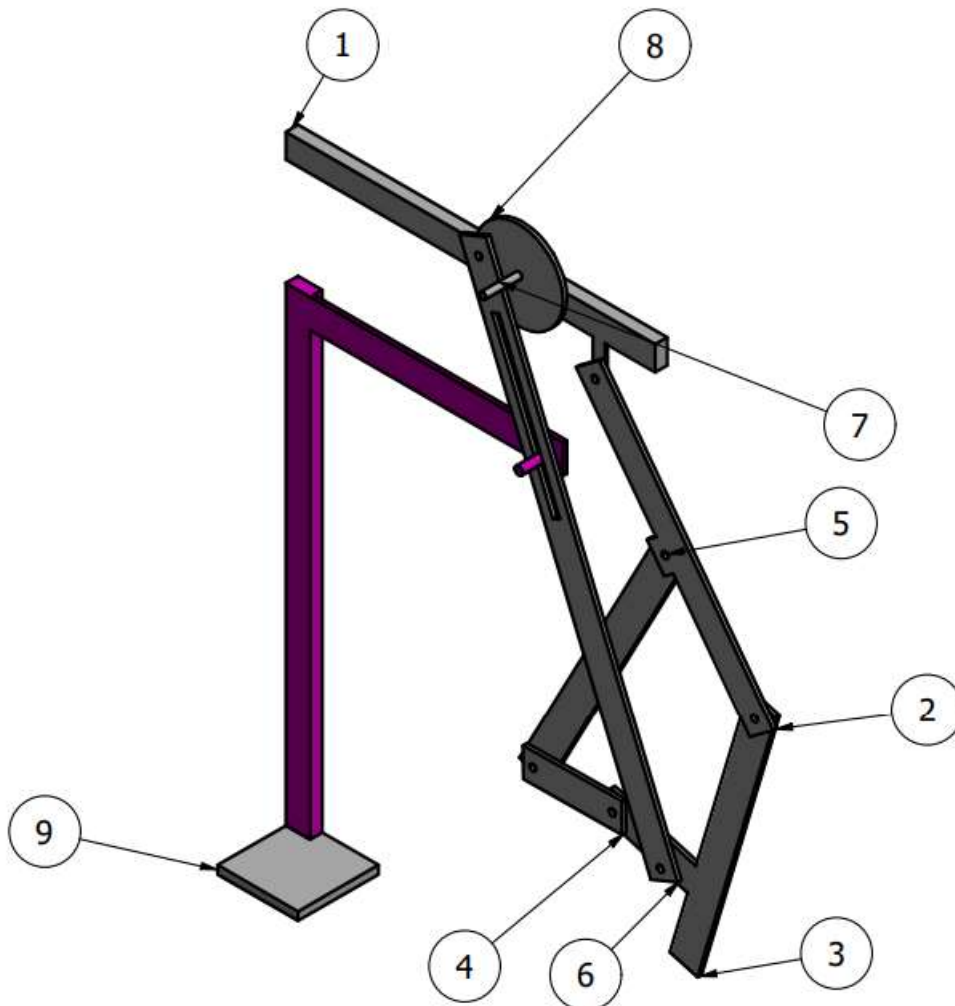
Nota. En la imagen se puede identificar que la silla de ruedas ha sido modificada en dimensiones a la cual se le ha retirado incluso parte de su estructura.

Finalmente se ensambla y se simula el mecanismo en inventor con el objetivo de que pueda ser utilizado en la nueva estructura de la silla de ruedas, para lo cual se realiza la simulación de

movimiento y la toma de medidas de en donde se ubicarán los actuadores que provoquen el movimiento del mecanismo del exoesqueleto, además, de la selección del centro de apoyo para la ubicación del actuador que le permitirá al paciente ponerse de pie al momento que se encuentre sentado.

Figura 21

Mecanismo ensamblado en la silla de ruedas



Nota. En la imagen se pueden identificar las partes del mecanismo en donde se dan a conocer cada uno de los ejes articulados.

Tabla 1

Listado de piezas de las extremidades del exoesqueleto

Elemento	Cantidad	N° de pieza
----------	----------	-------------

1	2	Apoya brazo
2	1	Articulación Muslo
3	1	Articulación pierna
4	1	Guía de movimiento
5	1	Pasador de articulación
6	1	Platina de movimiento
7	1	Eje del motor
8	1	Circular del motor
9	1	Placa de simulación (anclaje)

Nota. Se debe tomar en cuenta que las cantidades establecidas son solamente para una extremidad.

Realizada la simulación se ha ejecutado satisfactoriamente, se procede con la construcción del mecanismo de cada uno de las piezas para ensamblarlas de manera física en la estructura de la silla, para esto se ha utilizado el proceso de soldadura Mig en uno de los talleres del Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, cada uno de los ejes ha sido construido con pasadores para que los movimientos se ejecuten sin ningún problema.

Figura 22

Construcción de las articulaciones



Nota. En la imagen se puede identificar el proceso de soldadura utilizado para ajustar los puntos de articulaciones.

Construidas las piezas se ha procedido con la selección de los actuadores que ejecutarán los movimientos, en el primer caso uno de los actuadores debe ser un motor que permita el movimiento lineal, esto le va a permitir a la persona que se ponga de pie y vuelta a sentarse en el momento en el que se ejecuta la serie de comandos u órdenes adecuada para el movimiento del mecanismo, en el segundo caso se debe seleccionar el motor que le permita a la persona realizar una simulación de la marcha de igual manera una vez que se ha establecido las órdenes adecuadas.

Para estos dos casos se han seleccionado motores de corriente continua, para el primer caso uno motor con una alimentación a 24 voltios y con un consumo de 3 amperios, este motor tiene la característica de que su eje está acoplado con engranes a un tornillo sin fin, esto le permite ejecutar el movimiento lineal que se necesita, para ser más exactos, estos motores son utilizados en las camas de los hospitales y levantan la cama de acuerdo a las necesidades de los paciente o el personal de salud.

Figura 23

Motor de corriente continua con tornillo sin fin



Nota. En la imagen se puede identificar la constitución interna del motor, para lo cual fue necesario desactivar los finales de carrera que tenía incluido.

Una vez seleccionado el motor se procede a realizar la instalación en la silla de ruedas y el mecanismo de las articulaciones para ejecutar las pruebas de funcionamiento en las cuales el

sistema se ponga de pie por si solo sin que el paciente realice ninguna actividad en sus extremidades, para esto fue necesario instalar ya las articulaciones en la estructura de la silla de ruedas e identificar la altura que deberá alcanzar el sistema de acuerdo a las medidas tomadas.

Además, fue necesario que se instalen también los motores que desarrollarán el movimiento en las articulaciones. Como se había mencionado este motor es un motor de corriente continua que soporta desde 48 voltios hasta un mínimo de 3 voltios, el consumo máximo en amperios cuando aplica su torque máximo es de 3,5 amperios y la cantidad de torque que posee es gracias a la caja reductora instalada, la relación de revoluciones por minuto y voltaje aplicado es directamente proporcional, esto quiere decir que a menor voltaje aplicado el motor girará a menor rpm.

Figura 24

Ubicación de motores para articulaciones



Nota. En la imagen se puede identificar la ubicación de los motores de acuerdo a los planos con los cuales ha sido simulado el sistema.

Ejecutada la instalación de los motores se procede a verificar que el mecanismo diseñado en primera instancia ejecuta las actividades que le permitan ponerse de pie y volverse a sentar gracias al motor de corriente continua que posee un tornillo sin fin anclado a su eje, para la instalación de este motor y el adecuado funcionamiento se tomó el centro del espaldar de la

silla de ruedas en donde estará apoyado el peso de la persona, así como el mecanismo de las articulaciones.

Figura 25

Instalación del motor para movimiento vertical



Nota. En la imagen se puede identificar el movimiento la instalación del motor de corriente continua que le permita al paciente ponerse de pie y sentarse nuevamente.

Una vez que se han incluido todos los mecanismos se procedió nuevamente a ejecutar procesos de soldadura para reforzar los puntos críticos que soporten el peso del paciente y los movimientos bruscos que puedan realizarse al momento del uso del sistema, al mismo tiempo esto permitirá que se refuerce toda la estructura del exoesqueleto y los soportes de los actuadores que realizarán los diferentes movimientos en el exoesqueleto. Posteriormente se procede a realizar el proceso de pintado del exoesqueleto utilizando pintura automotriz, la cual protegerá a la estructura metálica y que pueda funcionar sin problema en diferentes ambientes de acuerdo a las necesidades del paciente.

Figura 26

Proceso de pintura del exoesqueleto



Nota. En la imagen se puede identificar como se le realiza un proceso de pintura al exoesqueleto en el cual se ha utilizado pintura automotriz.

Se procede a realizar pruebas de funcionamiento del exoesqueleto alimentado de manera directa los motores de corriente continua por medio de una fuente externa que arroja hasta 12 amperios para que no exista problema de sobre calentamiento en la misma o avería en los devanados de los motores. Con la ayuda de esta prueba de funcionamiento se podrán establecer puntos críticos de funcionamiento del sistema, los cuales deberán ser tomados en cuenta para la corrección de los mismos o futuras investigaciones que permitan obtener mejores resultados.

En este punto del proceso de construcción fue necesario realizar la instalación de férulas que son utilizadas por los pacientes que les permiten inmovilizar las extremidades inferiores, para esto fueron utilizados dos inmovilizadores de rodillas, los cuales fueron acoplados al las articulaciones con ayuda de las platinas que poseen en su interior y a platinas construidas con placas de acero A36, esto le va a permitir al paciente que se encuentra sujeto al sistema y al mismo tiempo brinde la seguridad necesaria para que en el caso de que se ejecuten movimientos bruscos se mantenga de pie o sentado anclado al sistema sin problema alguno.

Figura 27

Instalación de férulas y pruebas de funcionamiento



Nota. En la imagen se puede identificar como las férulas y el espaldar de la silla de ruedas han sido acoplados para que el paciente pueda sentirse cómodo.

Con el mecanismo funcional, lo que procede es construir la tarjeta electrónica que comandará a los actuadores, que en este caso son los motores de corriente continua, el primero que realiza el movimiento de pararse y sentarse en el paciente es un motor de corriente continua que debe girar en ambos sentidos, para esto se utiliza un puente H que soporta hasta 5 amperios de corriente. La señal para la inversión de giro del motor debe ser dada desde una tarjeta electrónica que hasta el momento no ha sido seleccionada.

Para la selección de la tarjeta electrónica que emitirá las señales es necesario establecer las características de funcionamiento del sistema completo, el segundo caso de control se debe ejercer sobre los motores de corriente continua de los motores que están ubicados en las articulaciones, la característica de funcionamiento de estos motores no es compleja ya que no deben desarrollar movimientos en ambos sentidos sino que más bien solamente deben girar en un sentido, se debe considerar que ambos motores están ubicados en espejo y es por esta razón que el uno girará en sentido horario, mientras que el otro girará en sentido antihorario.

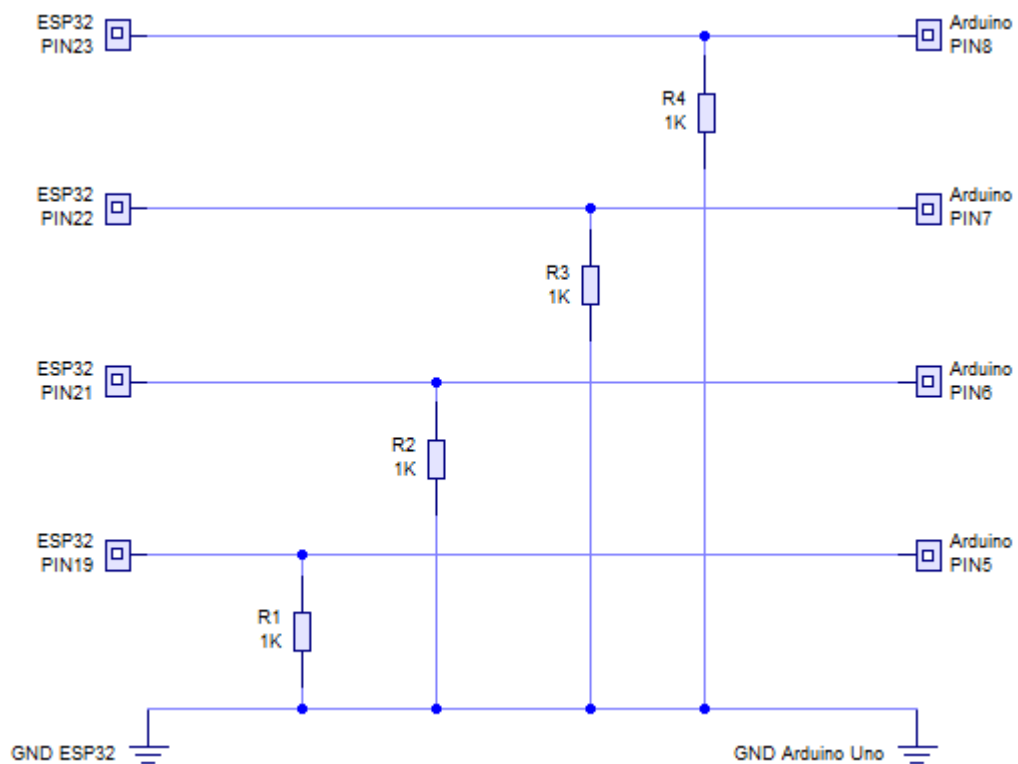
Inicialmente se selecciona la tarjeta Arduino Uno para el control de motores y es aquí en donde se encuentra otro problema, el Arduino Uno por sí solo no tiene conexión a internet, por lo cual será necesario instalar algún shield que le permita alcanzar esta característica, lo cual no

es viable de acuerdo a la cantidad de entradas y salidas que se necesitan para el sistema, es por esta razón que como segunda opción se considera a la tarjeta ESP32 la cual tiene más pines GPIO en comparación con el Arduino Uno y puede conectarse de manera directa a internet, sin embargo, el voltaje y amperaje de salida en los terminales no es el adecuado para que el puente H funcione de manera adecuada.

Es así que, se define que la tarjeta ESP32 realizará las conexiones al internet y quien se comunicará con el asistente virtual seleccionado, que para este proyecto es Alexa, y posteriormente realizará la activación de salidas de acuerdo a las necesidades, salidas que serán enviadas al Arduino y quien procesará las señales y ejecutará las órdenes sobre los actuadores de acuerdo a los requerimientos establecidos. Se utiliza un total de 4 salidas en la ESP32 que envían señales de manera directa al Arduino Uno por medio de un Pull Up.

Figura 28

Esquema para señales del ESP32 a Arduino Uno



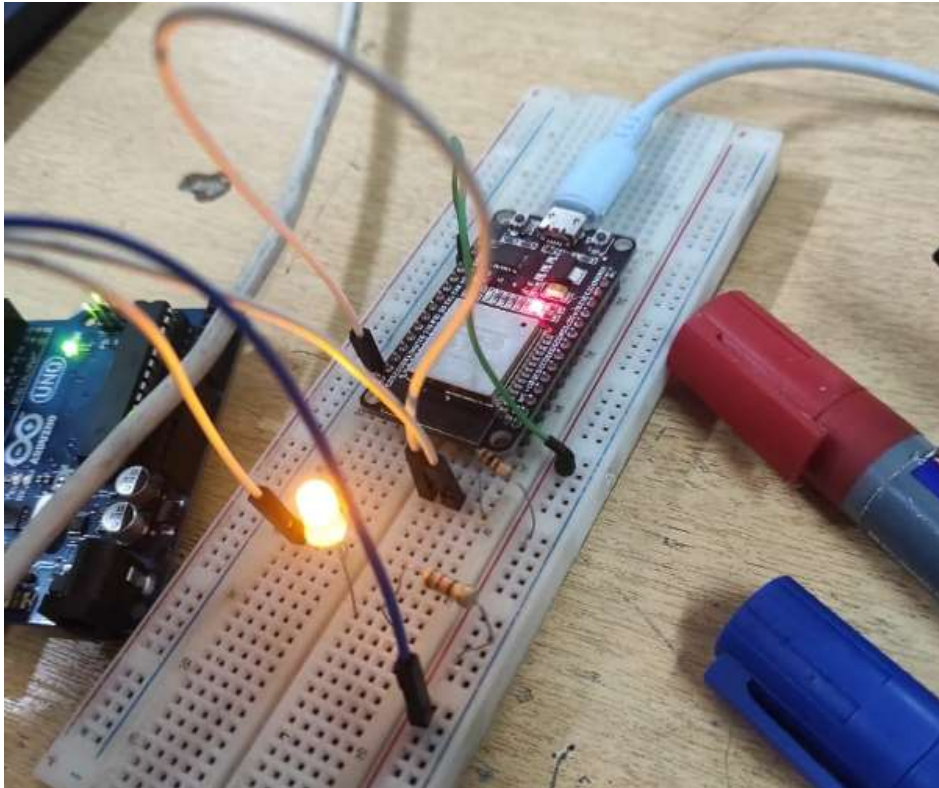
Nota. En la imagen se puede identificar el esquema eléctrico a construir para que las señales emitidas por el ESP32 puedan ser receptadas de manera adecuada por el Arduino.

Para comprobar que el circuito propuesto está funcionando de manera adecuada, se construyen dos programaciones a modo de prueba, la una que reposará en el ESP32 generando una señal intermitente con intervalos de tiempo de 1 segundo, mientras que la otra

programación reposará en el Arduino Uno quien recibirá la señal y emitirá otra de respuesta que encenderá el led, esto quiere decir que la programación se basa en la lectura de una entrada encendiendo o apagando el led de acuerdo a la presencia del led.

Figura 29

Señal enviada desde el ESP32 hacia Arduino Uno

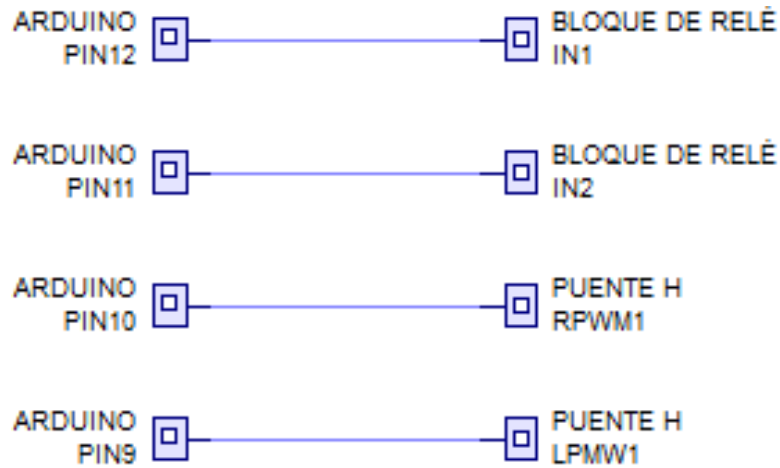


Nota. En la imagen se puede ver la intermitencia de un led conectado Arduino Uno con una señal enviada desde un ESP32.

Una vez que se ha comprobado que el envío de señales desde el ESP32 y la recepción de estas en el Arduino Uno funciona de manera adecuada se procede a realizar la asignación de pines de salida que como se había mencionado anteriormente permitirán la inversión de giro del motor con ayuda de un puente H, mientras que los otros dos motores en cambio estarán conectados a un bloque de relés que realizarán la activación o desactivación de los motores cuando sea necesario y dependiendo de los comando que sean ejecutados por el paciente o terapeuta que se encuentre a cargo del proceso de rehabilitación. Es importante tomar en cuenta que tanto el puente H como el bloque de relé se alimentan por medio de 5VCC del Arduino, esto le permitirá a cada uno de los dispositivos ejercer las acciones de acuerdo a la programación establecida tanto en el ESP32 como en el Arduino Uno.

Figura 30

Conexiones de salidas de Arduino Uno



Nota. En la imagen se puede identificar que pines del Arduino han sido seleccionadas como salida hacia el bloque de relés y el puente H.

Es importante tomar en cuenta la característica de los motores que han sido seleccionados, debido a que cada uno de estos funciona con características diferentes para lo cual se debe realizar conexiones específicas para cada caso. Como se ha mencionado anteriormente para el caso del motor que realiza el movimiento para vertical para que el paciente pueda pararse la alimentación del motor es de 24VCC mientras que los motores que se encuentran conectados a las articulaciones serán alimentados con 5 VCC o 6 VCC dependiendo de la velocidad que se requiera.

Tabla 2

Selección de motores

Motor - ubicación	Alimentación	Amperaje	Controlador
Motor para movimiento vertical	24VCC	3A	Puente H
Motor para articulaciones	5VCC – 6VCC	3.5A	Bloque de relé

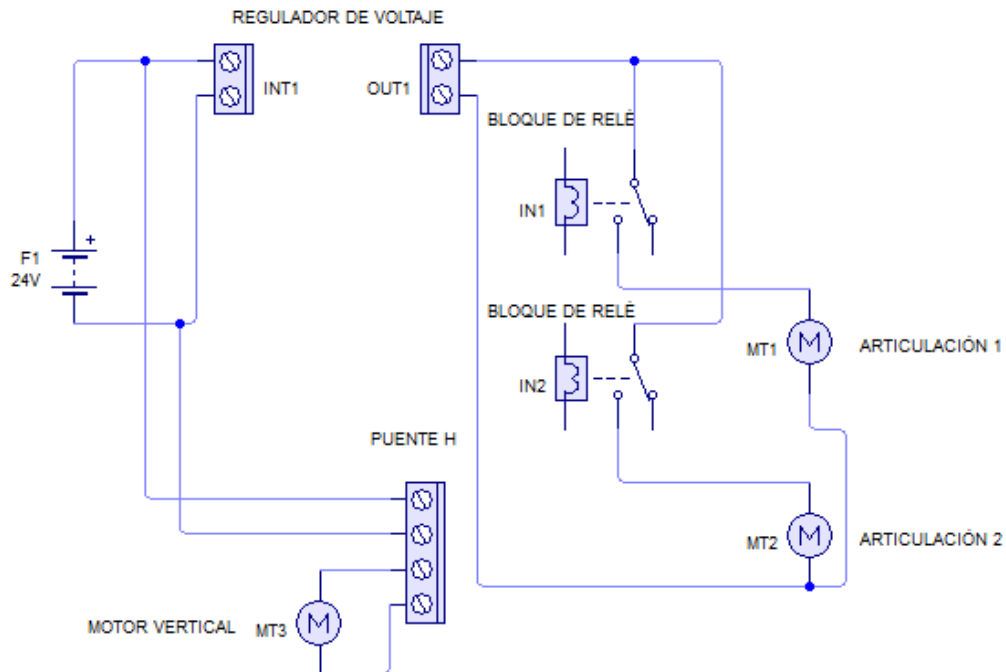
Nota. Se debe tomar en cuenta que las cantidades establecidas son solamente para una extremidad.

De acuerdo a los datos que se tienen de los motores en cuanto a la alimentación y al controlador que se utilizará, se diseña el siguiente circuito, con el objetivo de que la alimentación para cada uno de los motores sea la adecuada y los movimientos que debe ejecutar el sistema

sean los correctos, es así que para el caso de los motores de las articulaciones se ha utilizado un regulador de voltaje que brinda hasta 8 amperios en los terminales de salida y permite regular desde 38 VCC hasta 1.5VCC cuando se tienen entradas de 3VCC hasta 45 VCC.

Figura 31

Esquema eléctrico para alimentación de motores



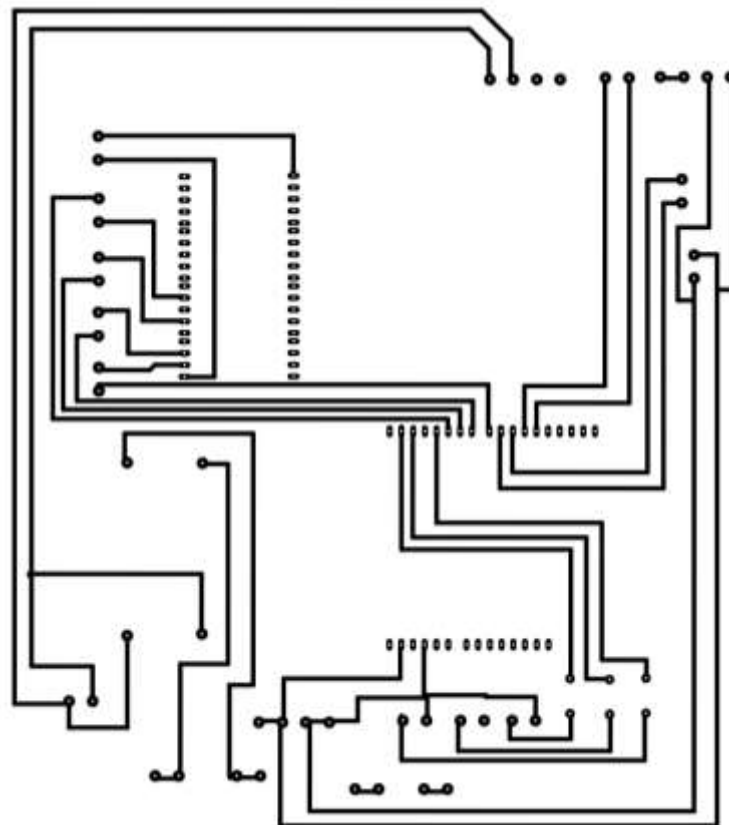
Nota. En la imagen se puede apreciar la alimentación eléctrica de cada uno de los motores de corriente continua utilizados en el sistema.

Al momento de realizar las pruebas de funcionamiento con los circuitos armados en protoboard, se pudo identificar otro problema, la pregunta fue, ¿qué sucede si por alguna razón desconocida el sistema se queda sin conexión a internet? Para solventar esta interrogante y futuro problema en el sistema se instalan 4 pulsadores conectados a pines del Arduino, estos ejecutarán ordenes específicas de acuerdo a la programación seleccionada, el primero será para activar el exoesqueleto (persona de pie), el segundo para activar la silla (persona sentada), el tercero para hacer que el exoesqueleto camine o realice pasos y el último como reserva en el caso de que se requiera instalar un nuevo control en el proceso de desarrollo, es necesario definir las conexiones finales sobre el ESP32 y el Arduino Uno para construir el circuito impreso en el cual reposará el bloque de relé, el puente H, el regulador de voltaje, el Arduino Uno y el ESP 32.

Para ejecutar la marcha, es necesario que la silla también se mueva hacia adelante, para que el mecanismo de las articulaciones no realice todo el trabajo de marcha y posteriormente los motores terminen averiándose y el sistema quede obsoleto, al ser un sistema automático, es necesario que la silla comience a moverse hacia adelante cuando comience el proceso de marcha, para esto se instala un servomotor al joystick que envía las señales eléctricas a los motores de la silla de ruedas, de esta manera el sistema será automático totalmente y cuando se realicen las órdenes por medio de comandos de voz todas las acciones que se ejecuten sobre el sistema sean electrónicas. Con todas estas variables consideradas se construye el circuito impreso que será instalado para el control del sistema.

Figura 32

Circuito impreso del sistema



Nota. En la imagen se puede apreciar el circuito impreso construido en el cual se encontrarán todas las tarjetas utilizadas.

Una vez construido el circuito impreso se procede soldar todos los elementos que han sido considerados para un correcto funcionamiento, posteriormente se realiza una prueba de continuidad para verificar que no exista ningún problema en la pista o en los elementos y finalmente se da inicio al proceso de programación del ESP32 y del Arduino Uno para que se

ejecuten los movimientos y órdenes sobre los motores de acuerdo a los requerimientos establecidos y a las necesidades de cada uno de los pacientes.

Figura 33

Ubicación de la tarjeta en el exoesqueleto



Nota. En la imagen se puede identificar la instalación del circuito impreso en el exoesqueleto y como el mismo se encuentra ya enviado órdenes hacia los actuadores.

La etapa de programación fue ejecutada en dos partes, la primera basada en las acciones que debe desarrollar la ESP32 considerando que es la tarjeta que se conectará a internet y la segunda es la programación que desarrollará para el Arduino Uno, tomando en cuenta que es quien procesará las señales enviadas por el ESP32 y emitirá señales de respuesta hacia los actuadores para que los mismos ejecuten el movimiento establecido en la programación. Se ha decidido que los movimientos de los motores sean ejecutados en base a tiempos para lo cual se ha construido la siguiente tabla en la que se tienen las actividades que ejecutarán los motores instalados en el sistema.

Tabla 3

Tiempo de accionamiento de los actuadores

Movimiento	Tiempo de activación	Orden ejecutada	Actuador requerido
Paciente de pie	10 segundos	Activa exoesqueleto	Motor vertical
Paciente sentado	10 segundos	Activa silla	Motor vertical
Inicio de marcha	20 segundos	Activa marcha	Servomotor Motor articulación derecha e izquierda

Nota. Se debe tomar en cuenta que las cantidades establecidas son solamente para una extremidad.

Se ha decidido que los motores instalados en las articulaciones, ejecuten el proceso de marcha solamente por 20 segundos ya que se debe considerar que el sistema está construido para procesos de rehabilitación en niños, sin embargo, si las sesiones de terapia consideran que el proceso de marcha debe realizarse por más tiempo es necesario que se cambie solamente la programación y ninguna otra variable más, ni tampoco algún acondicionamiento sobre el mecanismo, aquí se identifica la primera mejora a la que puede ser objeto el sistema construido, ingresar una entrada que le permita al usuario seleccionar o establecer por cuánto tiempo se requiere el movimiento del exoesqueleto.

Por otro lado, se debe considerar que el proceso de marcha que se ejecuta es un pie a la vez, esto quiere decir que nunca se encontrarán los dos motores que están instalados en las articulaciones activados al mismo tiempo, esto puede provocar un desequilibrio en el paciente y no se estará ejecutando una rehabilitación adecuada, es así que la programación que se establecerá en el Arduino Uno controlará solamente un motor a la vez y sin permitir que el otro se encienda por accidente, por otro lado, cuando se ejecute la marcha no podrá funcionar el motor que hace que el paciente se ponga de pie o se siente, ya que con estas acciones se provocarán daños en la persona y/o el mecanismo, por otro lado, el paciente esté sentado, no se podrán mover ninguno de los motores que realizan la marcha, para esto es necesario que siempre el exoesqueleto se encuentre activado, ya que el mecanismo que se encuentra construido para que se ejecute el movimiento cuando las articulaciones están extendidas o el paciente se encuentra de pie.

Figura 34

Declaración de variables en el Arduino Uno

```

const int re1=11; // IN1 BLOQUE DE RELÉ
int re2 = 12; // IN2 BLOQUE DE RELÉ
const int BO1=5; // ENTRADA 1
int val1=false;
const int BO2=6; // ENTRADA 2
int val2=false;
|
const int BO3=7;
int val3=false;
const int BO4=8;
int val4=false;

int MOT3AR=10; //POSITIVO MOTOR B
int MOT3AB=9; //POSITIVO MOTOR B
int T1=3000; //TIEMPO DE ESPERA

```

Nota. En la imagen se puede identificar la asignación de variables de acuerdo al circuito desarrollado.

En una segunda parte de la programación se establece la activación de los motores de acuerdo a las señales recibidas en el pin de entrada del Arduino Uno, en este caso los motores que se moverán serán los que están ubicados en las articulaciones y como se había mencionado se moverá uno a la vez.

Figura 35

Secuencia de activación/desactivación de salidas

```

val1=digitalRead(BO1);
if (val1==HIGH){
digitalWrite(re1,LOW);
delay (4000);
digitalWrite (re1, HIGH);
digitalWrite(re2,LOW);
delay (4000);
digitalWrite(re2,HIGH);
delay (4000);|

```

Nota. En la imagen se muestra la programación para que se muevan los motores de las articulaciones uno a la vez.

En este punto de la programación en donde se ejecuta la marcha es importante tomar en cuenta que se activa también el servomotor que activa o mueve el joystick para que los motores de la silla de ruedas se activen a la par, no se ha considerado en el diseño ni en la propuesta

debido a que esto es un extra que se le añadió al sistema durante el proceso de construcción del exoesqueleto y hacer frente de manera adecuada a los requerimientos y problemas que se iban presentando.

Figura 36

Activación del exoesqueleto

```
//activación de exoesqueleto
val2=digitalRead(BO2);
if (val2==HIGH){
digitalWrite(MOT3AR,HIGH);
delay (10000);
digitalWrite(MOT3AR,LOW);
delay (10000);
}
```

Nota. En la imagen se puede identificar la programación usada para que el motor lineal funcione por los 10 segundos establecidos y el paciente pueda ponerse de pie.

Figura 37

Activación de la silla de ruedas

```
//activación de silla de ruedas
val3=digitalRead(BO3);
if (val3==HIGH){
digitalWrite(MOT3AB,HIGH);
delay (10000);
digitalWrite(MOT3AB,LOW);
delay (10000);
}
```

Nota. En la imagen se puede identificar la programación usada para que el motor lineal funcione por los 10 segundos establecidos y el paciente pueda sentarse.

Por medio de este control realizado en el Arduino Uno, el sistema se asegura que los motores se muevan en los tiempos establecidos y definidos, sin embargo, es necesario también realizar la programación del ESP32 para que este pueda conectarse al internet y realice la interacción con Alexa, es así que, en la programación se deberá inicialmente descargar las librerías necesarias para que se pueda programar el ESP32 por medio del IDE de Arduino, posteriormente será necesario gestionar las tarjetas para que se reconozca de manera efectiva en la

programación y finalmente instalar la librería de Alexa para que la programación se ejecute sin contratiempos.

Inicialmente se establecen las variables que se van a utilizar, entre las cuales se encuentran los pines de salida del ESP32, el nombre de la red WiFi y la contraseña a la cual se conectará el ESP32, las funciones establecidas para la activación de la silla, el exoesqueleto y la marcha, y la inclusión de librerías que previamente fueron instaladas, estas permiten en primera instancia realizar una adecuada programación del ESP32 y la integración de las funciones que se requieren con Alexa.

Figura 38

Variables declaradas para el ESP32

```
#ifndef ARDUINO_ARCH_ESP32
#include <WiFi.h>
#else
#endif
#include <Espalexa.h>
int exoesqueleto = 19;
int silla = 21;
int caminata = 21;
const char* ssid = "CRRG2";
const char* password = "12345678";
Espalexa proyecto;
void funcionexoesqueleto(uint8_t brightness)
void funcionsilla(uint8_t brightness);
void funcioncaminata(uint8_t brightness);
```

Nota. En la imagen se pueden identificar las variables y funciones que han sido creadas para el ESP32.

Es necesario que la tarjeta siempre se encuentre conectada a internet y de ser el caso de que se haya desconectado por diversos factores, la programación realizada debe permitir que el ESP32 busque de manera inmediata a la red y pueda realizar nuevamente la comunicación con internet para poder interactuar de manera efectiva con el asistente virtual que ha sido seleccionado para el efecto. Por esta razón, en la programación se han creado rutinas en las que siempre la tarjeta va a estar preguntándose si se encuentra conectada a internet y si la conexión de la misma es la estable.

Figura 39

Programación de rutina de conexión a WiFi e invocación desde el loop

```
void loop() {
  conectarwifi();
  proyecto.loop();
  delay(5);
}

void conectarwifi() {
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.println("");
    Serial.println("Connecting to WiFi");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
      delay(500);
      Serial.print(".");
    }
    Serial.print("Connected to ");
    Serial.println(ssid);
    Serial.print("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
  }
}
```

Nota. En la imagen se puede identificar la subrutina creada para que la tarjeta se encuentre comprobando la conexión a internet de manera indefinida.

En la rutina seleccionada y la programación establecida solamente se ejecuta un pulso de salida en el pin del ESP32, este pulso no tiene más de medio segundo de activación y una desactivación inmediata, esto se debe a que en el ESP32 se realizará solamente el procesamiento de datos con Alexa y de acuerdo a las órdenes solicitadas establecer la salida requerida, esto se debe a que si se activa de forma intermitente o se generan pulsos demasiado grandes el sistema puede colapsar por la cantidad de datos que se encuentran procesando tanto el Arduino Uno como el ESP32.

Como ya se vio anteriormente la activación y desactivación de los motores se realizará en base a las peticiones, las cuales provocan señales de salida en respuesta por los pines seleccionados por el programador y diseñador del sistema, finalmente el Arduino recoge las señales y las procesa de acuerdo a lo establecido en la programación para la activación de los actuadores, que en este caso son los motores.

Figura 40

Activación de exoesqueleto y activación de la silla

```
//activación exoesqueleto
void funcionexoesqueleto(uint8_t brightness){
  Serial.print("Función exoesqueleto - ");
  if (brightness){
    digitalWrite(exoesqueleto, 1);
    delay (500);
    digitalWrite(exoesqueleto, 0);
    delay (500);
  }
}
//activación silla
void funcionsilla(uint8_t brightness){
  Serial.print("Función silla - ");
  if (brightness){
    digitalWrite(silla, 1);
    delay (500);
    digitalWrite(silla, 0);
    delay (500);
  }
}
```

Nota. En la imagen se puede identificar el código usado para el reconocimiento de voz y la activación de los pines de acuerdo a lo requerido.

Figura 41

Activación de caminata

```
//activación caminata
void funcioncaminata(uint8_t brightness){
  Serial.print("Función caminata - ");
  if (brightness){
    digitalWrite(caminata, 1);
    delay (2000);
    digitalWrite(caminata, 0);
    delay (500);
  }
}
```

Nota. En la imagen se puede verificar la programación realizada para el ciclo de caminata que debe realizar el exoesqueleto.

Finalmente se instala el asistente virtual en el teléfono inteligente y simplemente se siguen los pasos en el Echo Auto como en cualquier otro dispositivo o parlante inteligente, se seleccionó el Echo Auto por el tipo de alimentación que tiene el sistema, esto iba a simplificar el trabajo en el manejo y la aplicabilidad del sistema en relación a la autonomía y sistematización de las órdenes sin estar conectado a la red pública.

2.3 Validación de la propuesta

Tabla 4

Descripción de perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Tituaña Diaz Darwin Vinicio	10 años	Ingeniero Electromecánico	Tituaña Diaz Darwin Vinicio

Tabla 5

Criterios de evaluación

Criterios	Descripción
Impacto	La propuesta realiza permite que se ejecuten aplicaciones prácticas en la rehabilitación de pacientes con ayuda de equipos tecnológicos.
Aplicabilidad	Es aplicable en el campo de la medicina, se debe continuar investigando en torno al tema planteado.
Conceptualización	Se manejan conceptos y teorías de manera adecuada, esto permite que la práctica se sujete a la teoría.
Actualidad	Los contenidos manejados son usados actualmente en la industria, las tarjetas utilizadas tienen aplicabilidad en la industria.
Calidad Técnica	Los procesos técnicos aplicados son adecuados y presentan un correcto manejo de la investigación aplicada.
Factibilidad	En el campo en el que se le va aplicar es factible, pero es necesario que se siga investigando en relación al tema.
Pertinentes	Sin duda alguna la propuesta práctica que se hace es aplicable y pertinente para solucionar el problema planteado.

Tabla 6

Escala de evaluación

Criterios	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad				X	
Conceptualización					X
Actualidad					X

Calidad Técnica		X
Factibilidad		X
Pertinencia	X	

Tabla 7

Descripción de perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Machay Gómez Edwin Vinicio	4 años	Ingeniero Electromecánico Magíster en Telecomunicaciones	Docente ISTVN

Tabla 8

Criterios de evaluación

Criterios	Descripción
Impacto	En el campo de la medicina y en centros de rehabilitación del país puede ser un gran aporte.
Aplicabilidad	Se aplica de manera directa y efectiva a la rehabilitación de pacientes, considerando las dimensiones de los mismos.
Conceptualización	Los conceptos que se manejan en cuanto a lesiones y patologías son adecuados.
Actualidad	Los trabajos que se realizan desde este campo de conocimiento son totalmente actuales.
Calidad Técnica	El producto presentado presenta una gran calidad en sus detalles y el trabajo realizado.
Factibilidad	Se podría aplicar sin problema en centros de rehabilitación de pacientes que sufren pérdida de movimiento.
Pertinentes	Al momento de aplicarlos presentan una gran ventaja para los pacientes y el personal de salud.

Tabla 9

Escala de evaluación

Criterios	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Tabla 10*Descripción de perfil de validadores*

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Vásconez Merino Mónica Stephanie	5 años	Médico General	Médico General – Centro de Salud El Blanqueado

Tabla 11*Criterios de evaluación*

Criterios	Descripción
Impacto	En el campo de la medicina y en centros de rehabilitación del país puede ser un gran aporte.
Aplicabilidad	Se aplica de manera directa y efectiva a la rehabilitación de pacientes, considerando las dimensiones de los mismos.
Conceptualización	Los conceptos que se manejan en cuanto a lesiones y patologías son adecuados.
Actualidad	Los trabajos que se realizan desde este campo de conocimiento son totalmente actuales.
Calidad Técnica	El producto presentado presenta una gran calidad en sus detalles y el trabajo realizado.
Factibilidad	Se podría aplicar sin problema en centros de rehabilitación de pacientes que sufren pérdida de movimiento.
Pertinentes	Al momento de aplicarlos presentan una gran ventaja para los pacientes y el personal de salud.

Tabla 12*Escala de evaluación*

Criterios	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

2.4 Matriz de articulación de la propuesta

En la presente matriz se sintetiza la articulación del producto realizado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados en cada una de las fases o etapas en las cuales se resumen las actividades desarrolladas.

Tabla 13

Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto	Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
1 Definición: grados de libertad, tarjetas electrónicas, asistentes virtuales, motores de corriente continua.	1.1. Análisis documental de grados de libertad a seleccionar 1.2. Análisis de características de tarjetas electrónicas a utilizar 1.3. Selección de motores para movimientos en el mecanismo 1.4. Selección del asistente virtual de acuerdo a las prestaciones	Cinemática inversa Cinemática directa Electrónica Programación Inteligencia Artificial Comunicación inalámbrica	Se aplicaron fichas de observación para evaluar las características de los elementos a utilizar.
2 Diseño: mecanismo, circuitos electrónicos, circuitos eléctricos, circuitos de control, programación.	2.1. Simulación del movimiento de extremidades. 2.2. Obtención del mecanismo que se ajusta a los requerimientos 2.3. Envío de señales desde ESP32 hacia Arduino Uno 2.4 Control de velocidad y giro de motores de corriente continua 2.5 Enlace de tarjetas electrónicas a internet	Programación de microcontroladores Diseño de circuitos impresos Máquinas eléctricas rotativas Asistentes virtuales Comunicación por medio internet	Se aplicaron fichas de observación para evaluar el diseño. Multímetro Pinza amperimétrica Software LiveWire Software Inventor Circuitos impresos Puente H Bloque de Relé

<p>3 Implementación: construcción del mecanismo, construcción del circuito impreso, construcción de la programación, aplicaciones de asistentes virtuales, programación de tarjetas electrónicas.</p>	<p>3.2. Control de máquinas rotativas 3.3. Interacción con asistentes virtuales 3.4 Envío y recepción de señales digitales 3.5. Control manual 3.6. Control por comando de voz</p>	<p>Electromagnetismo Instalaciones eléctricas Análisis eléctrico de señales Sistemas de comunicaciones Protocolos de comunicación</p>	<p>Se aplicaron fichas de evaluación para verificar el funcionamiento y puesta en marcha del sistema Multímetro Pinza amperimétrica Fuente de voltaje Pirómetro</p>
---	--	---	---

2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

En las diferentes etapas de construcción se ejecutaron procesos de comprobación, para que cada uno de los sistemas cumplan una serie de características mínimas para que funcionen de manera adecuada, es así que, cuando alguno de los dispositivos no respondía al funcionamiento requerido se debía regresar a la etapa de diseño para ejecutar nuevamente las actividades y alcanzar mayor eficacia en la construcción de las partes requeridas o la instalación de los dispositivos.

Una de las partes fundamentales sobre las cuales se levantaron datos en el funcionamiento son los motores, era necesario poner atención al consumo y temperatura que alcanzaban los motores en el funcionamiento del sistema debido a que si sobrepasaban de las características establecidas se pueden provocar daños y averías en el sistema, es así que gracias a la recopilación de datos con ayuda del multímetro, pirómetro y tacómetro en las diferentes etapas de prueba se pueden proporcionar los siguientes datos de funcionamiento de los motores que han sido aplicados.

Tabla 14

Características de motores

Motor	Amperaje	Temperatura	RPM
Articulación derecha	2.26 amperios	44 °C	20 RPM
Articulación izquierda	2.12 amperios	42 °C	20 RMP
Vertical	3.1 amperios	40 °C	1200 RPM

Nota. En la tabla se observan los datos promedios obtenidos en las mediciones de las diferentes etapas de la construcción del sistema.

Otro de los puntos que deben ser considerados como importantes y de los cuales se obtuvieron datos relevantes, es el tiempo de respuesta al ejecutar las órdenes para el movimiento ya sea del motor vertical o de los motores de las articulaciones, el tiempo promedio de respuesta bordea los 2.6 segundos y esto es importante porque todo el sistema realiza una serie de acciones antes de ejecutar el movimiento, primero se activa el Echo Auto por medio de la voz para que pueda recibir la orden, se establece la orden de acuerdo a la programación realizada, la base de datos de Alexa y la inteligencia artificial que maneja comprende lo que el usuario manifiesta procesa el requerimiento y envía una señal de respuesta, la cual es ejecutada por la ESP32 y envía una señal de salida por los pines seleccionados, esta señal es recibida por el Arduino Uno y ejecuta la señal sobre el puente H o el bloque de relés, como se puede verificar

el tiempo de respuesta es bastante bueno en referencia a todas las acciones que se realizan antes de que los motores se activen.

La aplicación del asistente virtual para poder realizar el control por comandos de voz hacia los actuadores del sistema logra responder uno de los grandes problemas que existen en cuanto al control de los mecanismos, se ha identificado que el manejo del joystick es complejo cuando se requiere controlar este tipo de sistemas, en los exoesqueletos infantiles para los niños estos representa un problema más grande ya que debe articular de mejor manera el uso de sus extremidades superiores y establecer comandos adecuados para mantenerse equilibrado, es por esta razón, que con el control instalado sobre el exoesqueleto se solventa este problema incluso para los terapeutas ya que muchas de las veces los joysticks se encuentran sobre el exoesqueleto obligando al terapeuta estar bastante cerca del paciente. Cabe mencionar que el prototipo construido es bastante económico en relación a la tecnología que integra en comparación a otros sistemas existentes en el mercado.

Sin embargo, los trabajos que deben ser desarrollados en torno a este tipo de prototipos no debe detenerse solamente aquí, sino que más se debe seguir investigando y mejorando el sistema con el objetivo de que se puedan dar mejores prestaciones al usuario y principalmente a los pacientes, es importante considerar que uno de los principales problemas que se detectó al momento de iniciar la investigación son los altos costos de este tipo de sistemas, lo que le obliga a los pacientes y a los centros de rehabilitación a dejar de lado este tipo de equipos tecnológicos que le hacen tanto bien al proceso de rehabilitación de las extremidades y sobre todo a mejorar su calidad de vida.

Uno de los valores agregados que posee el sistema diseñado es que el exoesqueleto parte de la estructura de una silla o está anclado a esta, lo cual permite que el paciente tenga dos dispositivos en uno solo, esto es un beneficio ya que puede transportarse en el mismo dispositivo sentado como ejerciendo una caminata controlada, esto nace debido a que era necesario sujetar el exoesqueleto a una estructura para que posea mejor estabilidad, resolviendo de esta manera no solo un problema técnico sino también un problema en los pacientes, problemas relacionados con que los músculos se terminaban atrofiando o la aparición de llagas en distintas partes del cuerpo, esto producto de estar sentados o en una misma posición por largas jornadas de tiempo.

Con la tecnología que se integra al sistema existen ventajas para los terapeutas cuando el exoesqueleto sea utilizado en centros de rehabilitación, ya que no será necesario que el personal médico se encuentre cerca del exoesqueleto sino que más bien podrá ser comandado de manera

remota solamente por comandos de voz, por otro lado, al integrarle un asistente virtual se le agregan todas las prestaciones que estos tienen, uno de los ejemplos claves que se pueden programar rutinas o recordatorios de uso o de cambio de estado para el paciente, para esto no es necesario cambiar las programaciones del Arduino Uno o la del ESP32, sino que más bien el usuario podrá hacerlo desde su cuenta de Alexa previamente instalada en sus dispositivo inteligente, esto hace que las modificaciones que se realicen en torno al sistema sean de fácil manejo y modificación, y no se requiera necesariamente de personal calificado y especializado en el tema.

Como se ha mencionado, al integrar el asistente virtual, se le añaden todas las características que estos poseen, una de ellas es el reconocimiento de voz de cada uno de los usuarios, una característica bastante interesante en Alexa, esto va a permitir que incluso se puedan extender seguridades para el sistema y que el mismo sea comandado solamente por una persona o incluso desde una Echo diferentes que se encuentre fuera de la red que ha sido instalada en el domicilio, sin embargo, así mismo existen bastantes mejoras que se pueden hacer al sistema, una de ellas es la identificación del estado del sistema con el objetivo de conocer e identificar el estado en el que se encuentran las variables o que incluso Alexa pueda mencionar si el paciente se encuentra de pie o sentado, esto podría lograrse de diferentes maneras, la primera por medio de la instalación de sensores que permita identificar lo que se requiere en el sistema y la otra por medio de Skills que den una respuesta al usuario cuando este necesite conocer el estado del exoesqueleto, de los motores o si se ejecuta una acción repetida.

CONCLUSIONES

En el análisis del estado de arte se pudo identificar que los exoesqueletos que existen en la actualidad poseen diferentes tipos de controles, los cuales van desde el uso de mandos manuales como botoneras o joysticks hasta redes neuronales, en los que el paciente no tiene nada más que considerar y pensar que el exoesqueleto forma parte de su cuerpo para que se ejecute el movimiento correspondiente, sin embargo, la teleasistencia que manejan muchos de los exoesqueletos que actualmente se utilizan se encuentran en el mercado sirve para sistemas que son aplicados en rehabilitaciones y poseen dispositivos mucho más complejos que no permiten integrar ningún tipo de tecnología adicional, la propuesta en este proyecto tomó como iniciativa este problema para poder integrar de manera eficaz un asistente virtual al control del mecanismo del exoesqueleto.

Las aplicaciones que tienen los asistentes virtuales hoy en día son innumerables, es así que, los asistentes virtuales más usados en la actualidad son Alexa, Siri y Google Assistant, estos asistentes virtuales manejan el protocolo de comunicación HTTP, lo cual le permite interactuar de manera efectiva con el usuario y utilizar los motores de búsqueda de acuerdo a como esté establecido en su algoritmo, en el caso de Alexa y su producto inteligente, los parlantes inteligentes de la familia Echo, una serie de estos integra el conjunto de protocolos Zigbee que le permite interactuar de forma directa con dispositivos IoT, sin embargo, para el proyecto propuesto se utilizó el protocolo de comunicación HTTP nativo de los asistentes virtuales para enviar las órdenes requeridas por medio del parlante inteligente a la tarjeta ESP32, para fue necesario que en la programación de esta se establezca la comunicación a la red y la instalación de librerías correspondientes para la interacción con Alexa.

Para el control de los motores se utilizó un puente H y un bloque de relés, los cuales reciben las órdenes directas por medio de las salidas del Arduino Uno y activan los motores de acuerdo a los requerimientos del usuario y las órdenes que se han establecido, sin embargo, fue necesario que las señales de mando salgan directamente desde Arduino Uno debido a las alimentaciones de 5VCC que requerían tanto el puente H como el bloque de relés, uno de los problemas que se presentaron es que Arduino Uno no tiene comunicación directa con la nube, para lo cual se utilizó una ESP32 que es la tarjeta quien crea las variables que serán utilizadas por Alexa y envía señales de salida en respuesta, las cuales son recibidas y procesadas por el Arduino Uno para emitir las señales que controlarán a los motores de corriente continua instalado en el mecanismo.

Los tiempos de respuesta identificados sortean en el uso del sistema, borden un promedio de 2.6 segundos, esta respuesta que tiene el sistema para el control de los mecanismos es bastante adecuada considerando la transición que debe realizar la señal desde que es solicitada por el usuario, para tener claro el proceso se debe considerar que un primer instante el usuario debe activar invocar al asistente por su palabra clave posterior a esto se realiza el pedido, el asistente virtual digitaliza y contextualiza la petición del usuario generando órdenes a través de internet, las cuales son recibidas y procesadas por el ESP32, posterior a esto en respuesta el ESP32 emite señales de salida por los pines que han sido declarados para el efecto y estas señales ingresan al Arduino Uno quien las procesa nuevamente y las envía al puente H o bloque de relés dependiendo el caso y de acuerdo a programación ejecutada.

En el caso de la autonomía del sistema se comprobó que a uso constante con los motores de la silla de ruedas así como con los motores del exoesqueleto, se tiene un tiempo de uso promedio de 1 hora con 20 minutos, luego de este tiempo es necesario que las baterías vuelvan a conectarse a la red para que sean cargadas nuevamente, no se considera importante el consumo realizado por todo el circuito impreso instalado, debido a que el consumo de la tarjeta completo a pleno funcionamiento no sobrepasa los 400 mA.

Para que el movimiento del exoesqueleto sea el adecuado, es necesario que se analice la cinemática del movimiento de las extremidades de una persona y establecer características y ángulos de funcionamiento, esto debido a que siempre es necesario realizar la simulación de cualquier mecanismo para que en el momento de la construcción se consideren las medidas correspondientes de acuerdo a las características del paciente. Para este prototipo se ha utilizado una persona que podía sostenerse de pie, esto debido a la complejidad del diseño del sistema ya que se debió partir obligatoriamente desde 0, no se trabajó con personas que sufrían paraplejia debido al permiso consentido que se debía portar y por otro lado, los problemas psicológicos que se puedan derivar de este trabajo práctico.

RECOMENDACIONES

Para realizar mejoras en el sistema se debe tomar en cuenta el tiempo de respuesta como factor fundamental y primordial, debido que en algunos casos de emergencia se necesita una respuesta inmediata del sistema, como por ejemplo, cuando el paciente esté perdiendo la estabilidad, se necesitaría que el sistema se detenga de manera inmediata, si bien es cierto existen mandos instalados en la tarjeta a modo de respaldo de funcionamiento, sin embargo, si se hace uso de estos se perdería la esencia de la investigación y desarrollo del proyecto.

Es importante que para realizar los movimientos del sistema se dimensionen adecuadamente los motores que estarán conectados principalmente en las extremidades, en uno de los procesos de prueba se instaló un motor paso a paso de 12Nm, sin embargo, el torque que poseía este motor no era suficiente para levantar las extremidades del paciente modelo y cuando este llegaba a un punto de esfuerzo máximo el amperaje se elevaba hasta 4.8 amperios considerando que su máximo consumo era de 4A, por otro lado, en este punto la vibración del motor era excesiva lo cual era bastante incómodo para el paciente.

Una vez que se establezcan los actuadores a controlar se debe definir el medio de control por el cual se lo va a realizar, para una adecuada selección de la tarjeta electrónica que va a intervenir, los pines digitales que se están utilizando en el Arduino Uno se encuentran ocupados en su totalidad a excepción del pin 1, lo que obligaría a que no se pueda instalar ningún otro dispositivo externo que se necesite para mejorar las prestaciones, si se desea seguir o mantener el uso del Arduino se deberá cambiar a un Arduino Mega con el objetivo de que se tenga pines de entrada y salida de respaldo para posibles mejoras en el futuro.

La versatilidad de Alexa para funcionar en diferentes dispositivos es una ventaja para el sistema, sin embargo, si se pierde la conexión a internet lamentable se perderá el uso del asistente virtual lo que implicaría que el exoesqueleto no reciba ningún tipo de orden por medio de comando de voz, una de las mejoras que se puede implementar es un circuito de electrónico de reconocimiento de voz mucho más sencillo y con menor uso de ancho de banda del que requiere Alexa.

La estructura y diseño del sistema puede ser mejorado, con un prototipo que utilice un actuador por cada articulación que posee la persona, para este caso se han considerado tres grados de libertad de acuerdo a como lo propone Stengel en el 2008, sin embargo, en el mercado existen exoesqueletos que poseen hasta 8, por obvias razones el movimiento que ejecutan estos sistemas es mucho más preciso pero al mismo tiempo mucho más costoso, como mejoras al sistema se pueden realizar avances en los que se vayan integrando más grados de libertad.

BIBLIOGRAFÍA

- Arnay, R., & Rodríguez, I. (2015). *Simulación y Modelado de Implementación de Sillas de Ruedas Autónomas en entornos Hospitalarios* [Universidad de La Laguna]. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/5865?show=full>
- Aya, P. A. (2017). Estudio anatómico y determinación de parámetros funcionales de un prototipo de exoesqueleto de miembro inferior con dos grados de libertad. *Instname:Universidad Santo Tomás*. <http://repository.usta.edu.co/handle/11634/4395>
- Banchadit, W. (2012). Design and implementation of a new motorized-mechanical exoskeleton based on CGA Patternized Control. *Robotics and Biomimetics (ROBIO). IEEE, 92*, 1668–1673.
- Barrera, D., Ronald, F., Roca, F., & Hernando, J. (2004). *Sillas de ruedas autónomas*. Universidad Tecnológica de Bolívar Cartagena Colombia.
- Bertoletti, P. (2019). *Proyectos con ESP32 y LoRa*. Editora NCB.
- Bravo, F. (2020). *Diseño y construcción de una máquina de café con asistencia virtual controlada por IoT*. Universidad Tecnológica Israel.
- Calle Arévalo, L. A., Vidal Dávila, J. C., & Amaya Pinos, M. E. (2017). *Propuesta de un modelo mecánico y análisis cinemático de un exoesqueleto de seis grados de libertad para personas con daño en la médula espinal*. 83.
- Calleja Lecanda, J. (2021). Aplicación de Asistente Virtual para la Búsqueda de Aparcamiento en Ciudades Inteligentes.
- Campos Albuixech, A. (2018). Asistente virtual en Telegram para acceder a la información económica municipal del Ajuntament de València.
- Cano, R., & Isidro, J. (2014). Caracterización de requisitos funcionales de una silla de ruedas eléctrica usando técnicas del diseño de productos centrado en el usuario. *ResearchGate, December 2018*, 0–8.
- Cardona, M., Serrano, F., Martín, J. A., Rausell, E., Saltarén, R., & García-Cena, C. E. (2021). El exoesqueleto de rehabilitación de la marcha ALICE: análisis dinámico y evaluación del sistema de control utilizando cuaternios de Hamilton. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*.
- Cardona, A., Spitia, F. R., & López, A. B. (2010). Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación. *Revista Ingeniería Biomédica, 4*, 63–73.
- Chimarro, J. (2020). *Sistema integrado para la operación de un brazo robótico teleoperado en tiempo real mediante la plataforma Firebase con el uso de dispositivos móviles*. Universidad Tecnológica Israel.
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021 - 2025*.
- Dariush, B. (2005). Analysis and Simulation of an Exoskeleton Controller that Accommodates Static and Reactive Loads. *IEEE International Conference On Robotics And Automation*.
- De la Torre, J., Ninacuri, W., & Aguayo, J. (2022). *Estado del arte de los estudios sobre la seguridad que posee los asistentes de voz domésticos como son Alexa o Google Home* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23045/1/UPS - TTS864.pdf>

- Dollar, A. (2008). Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art. *IEEE*, 24, 144–158.
- Dunai, L., Lengua, I., Peris Fajarnes, G., & Defez Garcia, B. (2019). Diseño de un exoesqueleto de extremidades inferiores. *DYNA: Ingeniería e Industria*, 94(3), 297-303.
- Enríquez, S. C., Narváez, Y., Vivas, O. A., Díez, J., Badesa, F. J., Sabater, J. M., & Garcia-Aracil, N. (2014). Sistema robótico de tipo exoesqueleto para rehabilitación de la mano. *XXXV Jornadas de Automática. In: XXXV. Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)*, 44.
- Espejo, C. (2014). *Estado Del Arte Bioingeniería : Exoesqueletos*. 1–4.
- Espinoza Huamán, M. R., & Ore Pacheco, S. (2016). BRAZO ARTICULADO DE TRES GRADOS DE LIBERTAD CONTROLADO POR VOZ Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA, PARA APOYO EN HABILITACIÓN MOTORA DE PERSONAS DISCAPACITADAS DEL MIEMBRO SUPERIOR.
- Fiallos Silva, R. J., & Guallichico Ati, R. A. (2013). *Diseño e Implementación de un Tablero de Pruebas para Máquinas Eléctricas Rotativas AC y DC* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2013).
- Garcés, A. E. (2017). Diseño De Un Mecanismo Del Tipo Exoesqueleto De Miembros Inferiores Que Permita Reproducir Patrones De Movimiento. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*, 1–103. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/8337>
- Gil, I. A., & Balza, M. (2015). Diseño y construcción de un exoesqueleto de brazo con dos grados de libertad controlado con señales mioeléctricas para rehabilitación motora. *Multiciencias*, 15(1), 96-105.
- Grosso, J. M., & Tibaduiza, D. (2009). Diseño conceptual de un exoesqueleto para asistir la rehabilitación de miembro inferior. In *Revista UNAB–II Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica* (Vol. 1, No. 1, pp. 1-6).
- Guerrero León, O. X., Martínez Sánchez, E. B., & Terán, E. (2020). Diseño de un exoesqueleto para rehabilitación de extremidad superior empleando señales mioeléctricas (Doctoral dissertation, ESPOL. FIMCP.).
- Gutiérrez Siliceo, J. M. (2019). Desarrollo de chatbots con entornos de código abierto.
- Haro Vilaña, I. V. (2019). Implementación de un sistema de monitoreo y control automático de riego para invernaderos mediante tecnología LORA con ESP32 (Bachelor's thesis, Quito).
- Hernández, F., San, C., Urriolagoitia, G., & Romero, B. (2011). Rediseño para la Optimización de una Silla de Ruedas Eléctrica de Dos Posiciones . *10º Congreso Nacional de Mecatrónica*, 90–96. <http://www.mecamex.net/anterior/cong10/trabajos/art21.pdf>
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). Definición del alcance de la investigación a realizar: exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa. In *Metodología de la investigación*. <http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006>
- Janampa Espinoza, J. A. (2021). Diseño de un exoesqueleto de 3 grados de libertad para la rehabilitación del miembro superior derecho en pacientes con hemiplejía moderada.
- Kepuska, V., & Bohouta, G. (2018). Next-generation of virtual personal assistants (microsoft cortana, apple siri, amazon alexa and google home). *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference*, 99–103.
- Lobo, J., & Rodríguez, A. (1994). Exoesqueletos robóticos para volver a caminar. *Dossier De Actualidad*, 6–9.

- López, R., Aguilar, H., Salazar, S., Lozano, R., & Torres, J. A. (2014). Modelado y Control de un Exoesqueleto para la Rehabilitación de Extremidad Inferior con dos grados de libertad. *Revista iberoamericana de automática e informática industrial*, 11(3), 304-314.
- López López, J. (2020). Estudio de rendimiento de asistentes virtuales de voz en condiciones ruidosas (Bachelor's thesis).
- Mancheño Perez, V. (2022). Interfaz de voz (VUI), mediante el asistente virtual Alexa, para el control de dispositivos OKO SmartFrame (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Martínez-Mata, A. J., Blanco-Ortega, A., Guzmán-Valdivia, C. H., Cortes-García, C., & Arellano-Cabrera, J. A. Aspectos básicos para el diseño mecánico de un exoesqueleto de extremidades inferiores para aumento de fuerza.
- Medina, J., Eisman, E. M., & Castro, J. L. (2013). Asistentes virtuales en plataformas 3.0. IE comunicaciones: revista iberoamericana de informática educativa.
- Medrano, J. A., Zendejas-hernandez, I., & Sandoval-rodríguez, R. (2014). *Design of an exoskeleton of lower limbs for the mobility of paraplegic persons*. November, 113–122.
- Mena Yépez, N. P., & Veloz Caiza, P. C. (2013). *Diseño e implementación de un exoesqueleto mecánico lateral izquierdo para la rehabilitación humana* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2013).
- Montecatine Beltrán, L. (2019). Desarrollo de una aplicación para Alexa: atención al alumno de la UJA.
- Moreno, C. (2010). Revisión Teórica Sobre El Ajuste Psicológico Y Emocional De Los Hermanos De Personas Con Discapacidad Intelectual. *Revisión Teórica Sobre El Ajuste Psicológico y Emocional de Los Hermanos de Personas Con Discapacidad Intelectual*, 41(3), 78.
- Myers, AG (2019). Análisis de contenido de las reseñas de consumidores de la segunda y tercera generación de Amazon Echo Dot (tesis doctoral, Universidad de Wisconsin--Stout).
- Orenes, Á. (2021). *Sistema de evaluación de técnicas de rehabilitación mediante un exoesqueleto robótico*. [Universidad Politècnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/9301>
- Pamiés Montiel, J. (2021). Integración del asistente virtual SIRI para la gestión de sensores ambientales (Bachelor's thesis).
- Pernía, M. A. (2011). Conceptos Básicos de Máquinas de corriente continua. San Cristobal: Núcle de Electricidad.
- Pozueta, M. A. R. (2010). Constitución de las máquinas eléctricas. Universidad de Cantabria.
- Román Aguilar, R. (2021). Desarrollo de un prototipo de entornos virtuales para fines didácticos en empresas.
- Sánchez, C. A. (2018). *Diseño Y Simulación De Un Prototipo De Exoesqueleto De Miembro Inferior En La Asistencia De La Marcha Para Pacientes Con Paraplejia*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. 84. http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_OK.compressed1.pdf
- Tamayo, J. P. G., & Molina, J. E. (2008). Desarrollo de un sistema de control de un exoesqueleto

para asistencia del movimiento del codo. *Scientia et Technica*, 2(39), 129-134.

Valle, I. (2013). *Sillas de ruedas eléctricas. Opciones de mandos de control y cambios de postura*. 4, 55.
<http://www.ceapat.es/InterPresent2/groups/imsero/documents/binario/sillasderuedas.pdf>

Veslin, E., Slama, J., Dutra, M., & Lengerke, O. (2009). Análisis cinemático de un Exoesqueleto de Partes Superiores de 7 GDL. In *Proceedings of II Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica*, Bucaramanga, Colombia, Sept (Vol. 30, pp. 1-2).

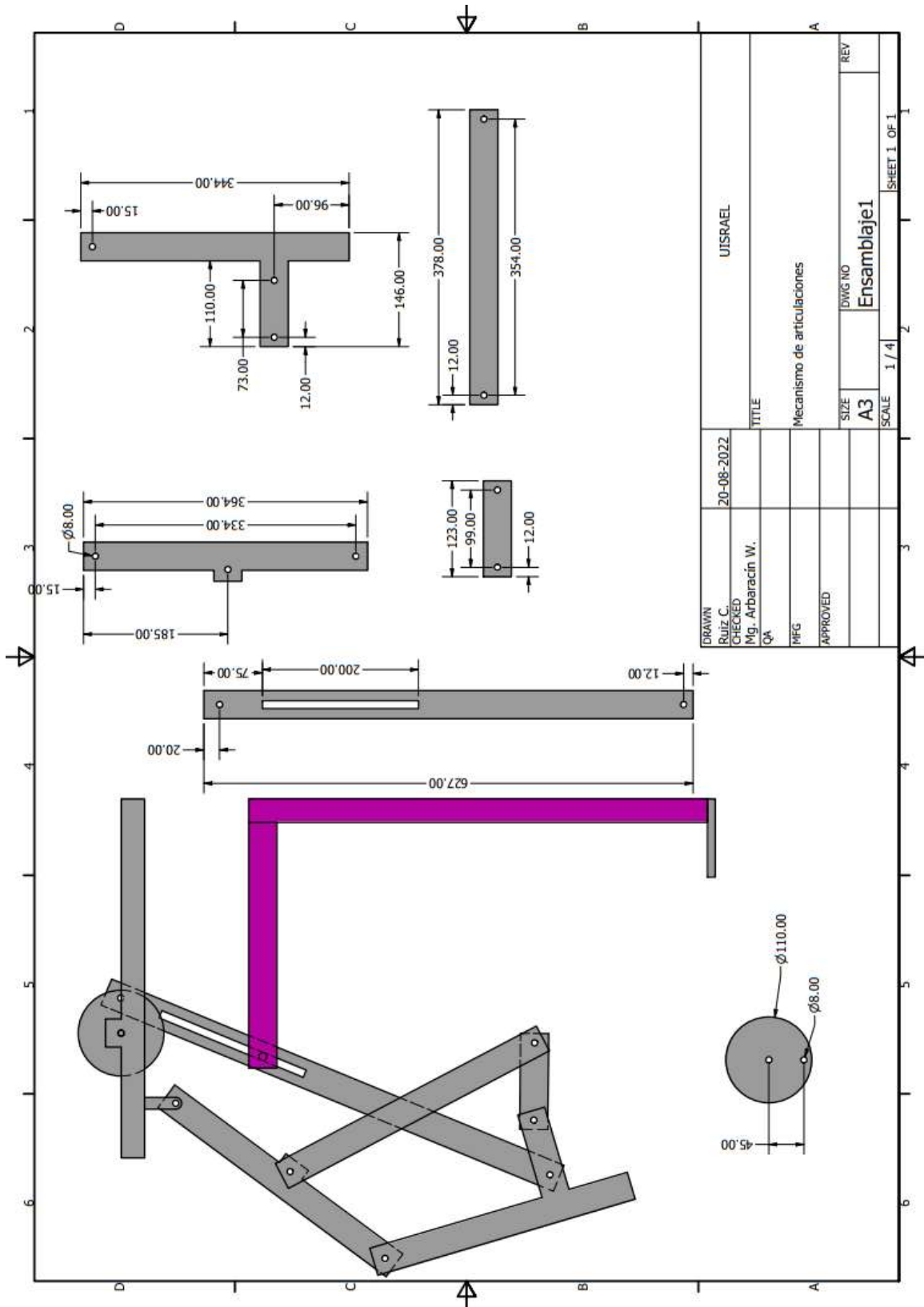
Zambrano, E. (2022). *Sistema de monitorización y control inteligente autónomo para vehículos combinando tecnología IoT y Redes Neuronales*. Universidad Tecnológica Israel.

Zarabia Zuñiga, O. H. (2018). Implementación de un chatbot con botframework: caso de estudio, servicios a clientes del área de fianzas de seguros Equinoccial (Bachelor's thesis, Quito, 2018.).

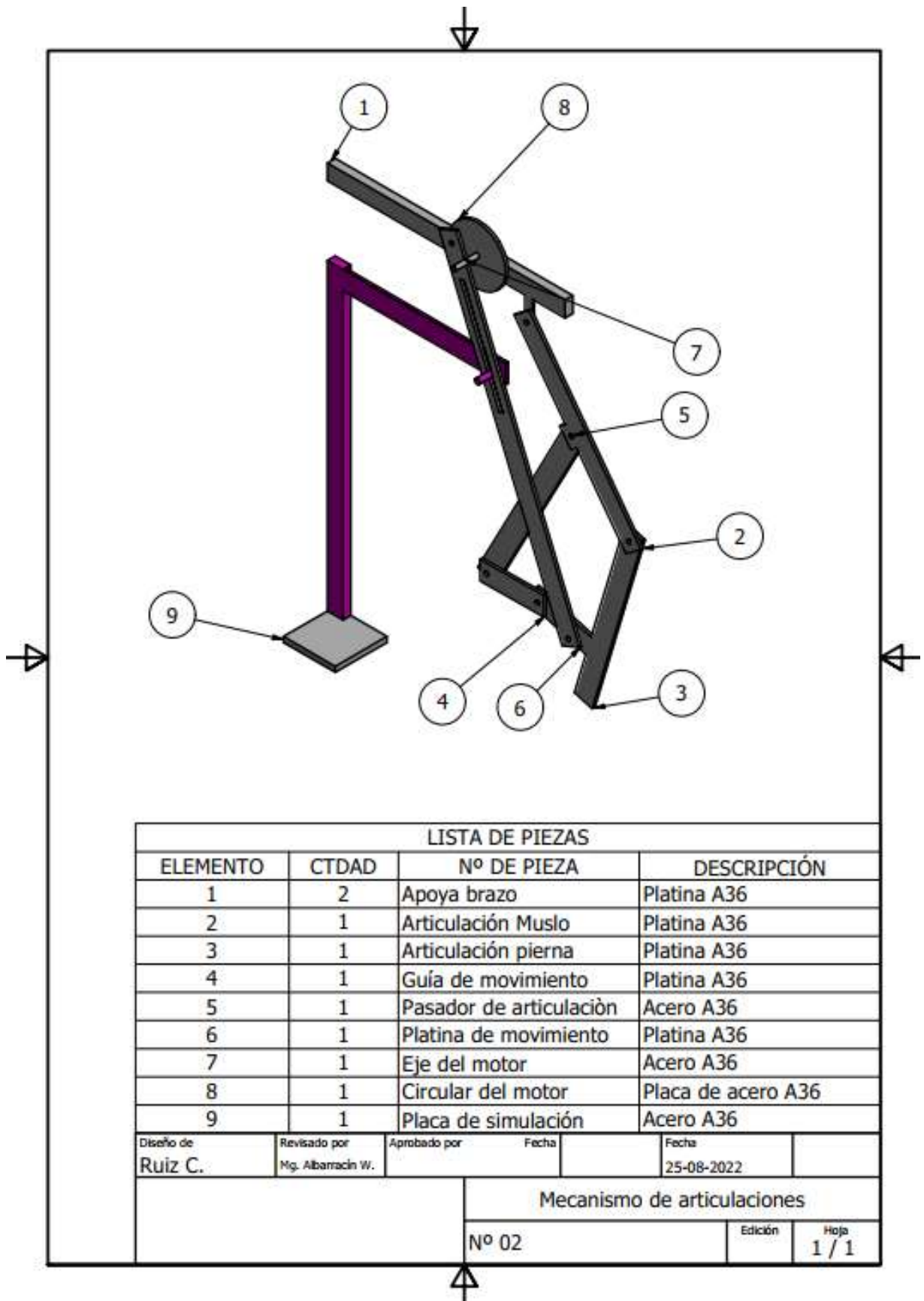
ANEXOS

ANEXO 1

CONSTRUCCIÓN DE LAS ARTICULACIONES EN INVENTOR



DETALLE DE PIEZAS DE LAS ARTICULACIONES EN INVENTOR



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	Apoya brazo	Platina A36
2	1	Articulación Muslo	Platina A36
3	1	Articulación pierna	Platina A36
4	1	Guía de movimiento	Platina A36
5	1	Pasador de articulación	Acero A36
6	1	Platina de movimiento	Platina A36
7	1	Eje del motor	Acero A36
8	1	Circular del motor	Placa de acero A36
9	1	Placa de simulación	Acero A36
Diseño de Ruiz C.	Revisado por Mg. Albarracín W.	Aprobado por	Fecha 25-08-2022
		Mecanismo de articulaciones	
		Nº 02	Edición Hoja 1 / 1

ADAPTACIÓN DE FÉRULAS



PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA EN LA MODELO DE PRUEBA



PRUEBAS DEL PROCESO DE SENTADO



PRUEBA DEL PROCESO DE PARADO



EXOESQUELETO ACTIVADO



RESUMEN DE VALIDADOR 1

RESUMEN VALIDADOR

Tabla 10

Descripción de perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Darwin Vinicio Tituaña Díaz	15 años	Ingeniero en Electromecánica Magíster en Seguridad y Prevención de Riesgos del Trabajo	Técnico en Electromecánica Técnico en Seguridad Industrial Docente de Nivel Superior

Tabla 11

Criterios de evaluación

Criterios	Descripción
Impacto	En el campo de la medicina y en centros de rehabilitación del país puede ser un gran aporte.
Aplicabilidad	Se aplica de manera directa y efectiva a la rehabilitación de pacientes, considerando las dimensiones de los mismos.
Conceptualización	Los conceptos que se manejan en cuanto a lesiones y patologías son adecuados.
Actualidad	Los trabajos que se realizan desde este campo de conocimiento son totalmente actuales.
Calidad Técnica	El producto presentado presenta una gran calidad en sus detalles y el trabajo realizado.
Factibilidad	Se podría aplicar sin problema en centros de rehabilitación de pacientes que sufren pérdida de movimiento.
Pertinentes	Al momento de aplicarlos presentan una gran ventaja para los pacientes y el personal de salud.

Tabla 12

Escala de evaluación

Criterios	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad				X	
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

Ing. Darwin Vinicio Tituaña Díaz Mg.



DARWIN
VINICIO
TITUANA DIAZ

C.I 1716233539

Registro SENESCYT 1004-09-886659

Registro SENESCYT 1032-2017-1787222

ACTA DE VALIDADOR 1



Yo, **Darwin Vinicio Tituaña Díaz**, con C.I 1716233539, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **CONTROL DE UN EXOSQUELETO PARA MOTRICIDAD EN NIÑOS POR MEDIO DE COMANDOS DE VOZ Y ASISTENTES VIRTUALES**.

Elaborado por el Ing. **Carlos Rodrigo Ruiz Guangaje**, con C.I 0604030635, estudiante de la Maestría en Telecomunicaciones, mención gestión de las telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 05 de septiembre de 2022



SENECYT
DARWIN
VINICIO
TITUANA DIAZ

Ing. Darwin Vinicio Tituaña Díaz Mg.

C.I 1716233539

Registro SENESCYT 1004-09-886659

Registro SENESCYT 1032-2017-1787222

RESUMEN DE VALIDADOR 2

RESUMEN VALIDADOR

Tabla 10

Descripción de perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Edwin Vinicio Machay Gómez	4 años	Ingeniero Electrónico Magíster en Telecomunicaciones	Docente ISTVN

Tabla 11

Criterios de evaluación

Criterios	Descripción
Impacto	En el campo de la medicina y en centros de rehabilitación del país puede ser un gran aporte.
Aplicabilidad	Se aplica de manera directa y efectiva a la rehabilitación de pacientes, considerando las dimensiones de los mismos.
Conceptualización	Los conceptos que se manejan en cuanto a lesiones y patologías son adecuados.
Actualidad	Los trabajos que se realizan desde este campo de conocimiento son totalmente actuales.
Calidad Técnica	El producto presentado presenta una gran calidad en sus detalles y el trabajo realizado.
Factibilidad	Se podría aplicar sin problema en centros de rehabilitación de pacientes que sufren pérdida de movimiento.
Pertinentes	Al momento de aplicarlos presentan una gran ventaja para los pacientes y el personal de salud.

Tabla 12

Escala de evaluación

Criterios	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo	En Total Desacuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X



Machay Gomez Edwin Vinicio

C.I 0503646275

Registro SENESCYT

Magister en Telecomunicaciones: 1051-2021-2375383

Ingeniero en Electromecánica: 1020-15-1349101

ACTA DE VALIDADOR 2



Yo, **Machay Gomez Edwin Vinicio**, con C.I **0503646275** en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **CONTROL DE UN EXOESQUELETO PARA MOTRICIDAD EN NIÑOS POR MEDIO DE COMANDOS DE VOZ Y ASISTENTES VIRTUALES**.

Elaborado por el Ing. **Carlos Rodrigo Ruiz Guangaje**, con C.I **0604030635**, estudiante de la Maestría en Telecomunicaciones, mención gestión de las telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 12 de septiembre de 2022

Machay Gomez Edwin Vinicio

C.I 0503646275

Registro SENESCYT

Magister en Telecomunicaciones: 1051-2021-2375383

Ingeniero en Electromecánica: 1020-15-1349101

RESUMEN DE VALIDADOR 3

RESUMEN VALIDADOR

Tabla 10

Descripción de perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Vásquez Merino Mónica Stephanie	5 años	Médico General	Médico General – Centro de Salud El Blanqueado

Tabla 11

Criterios de evaluación

Criterios	Descripción
Impacto	En el campo de la medicina y en centros de rehabilitación del país puede ser un gran aporte.
Aplicabilidad	Se aplica de manera directa y efectiva a la rehabilitación de pacientes, considerando las dimensiones de los mismos.
Conceptualización	Los conceptos que se manejan en cuanto a lesiones y patologías son adecuados.
Actualidad	Los trabajos que se realizan desde este campo de conocimiento son totalmente actuales.
Calidad Técnica	El producto presentado presenta una gran calidad en sus detalles y el trabajo realizado.
Factibilidad	Se podría aplicar sin problema en centros de rehabilitación de pacientes que sufren pérdida de movimiento.
Pertinentes	Al momento de aplicarlos presentan una gran ventaja para los pacientes y el personal de salud.

Tabla 12

Escala de evaluación

Criterios	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente de Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Mónica Stephanie Vásquez Merino

0604077339

Registro SENESCYT 1002-2017-1848917



**Escanea el código QR para
MÓNICA STEPHANIE
VÁSQUEZ MERINO**

ACTA DE VALIDADOR 3



Yo, **Vásconez Merino Mónica Stephanie**, con C.I 0604077339, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **CONTROL DE UN EXOESQUELETO PARA MOTRICIDAD EN NIÑOS POR MEDIO DE COMANDOS DE VOZ Y ASISTENTES VIRTUALES.**

Elaborado por el Ing. **Carlos Rodrigo Ruiz Guangaje**, con C.I 0604030635, estudiante de la Maestría en Telecomunicaciones, mención gestión de las telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 05 de septiembre de 2022



Firma digitalizada por:
MONICA STEPHANIE
VASCONEZ MERINO

Vásconez Merino Mónica Stephanie

C.I 0604077339

Registro SENESCYT 1002-2017-1848917

FICHA DE OBSERVACIÓN



NOMBRE:

CARGO:

FECHA:

Dimensiones	Grado de funcionamiento					Observación
	1	2	3	4	5	
Calidad de trabajo						
Velocidad de respuesta a comandos de voz						
Velocidad de movimientos ejecutados por los motores						
Autonomía de batería para ejecución de movimientos						
Control adecuado por medio de comandos de voz						
Velocidad de respuesta a comandos por medio de smartphone						
Desplazamiento de exoesqueleto en caminata						
Desplazamiento de la silla por medio del joystick						
Seguridad en las conexiones eléctricas y electrónicas desarrolladas						
Permite la reprogramación y ejecución de secuencias						
Permite la activación de movimientos programados con facilidad						

CIRCUITO IMPRESO FINAL

