

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecatrónico*

PROYECTO TÉCNICO:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASISTENTE ROBÓTICO ARTICULADO COMO
HERRAMIENTA DE SOPORTE EN LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON
DIFICULTADES MOTRICES”**

AUTORES:

BRIAN JOSUÉ PINOS CHUYA
VICTOR HUGO UGUÑA UGUÑA

TUTOR:

ING. VLADIMIR ESPARTACO ROBLES BYKBAEV, PhD.

CO-TUTOR:

ING. JOHN IGNACIO CALLE SIGÜENCIA, PhD.

CUENCA - ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Brian Josué Pinos Chuya con documento de identificación N° 0104981592 y Victor Hugo Uguña Uguña con documento de identificación N° 0105614051, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASISTENTE ROBÓTICO ARTICULADO COMO HERRAMIENTA DE SOPORTE EN LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON DIFICULTADES MOTRICES”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecatrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2021



Brian Josué Pinos Chuya
C.I. 0104981592



Victor Hugo Uguña Uguña
C.I. 0105614051

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASISTENTE ROBÓTICO ARTICULADO COMO HERRAMIENTA DE SOPORTE EN LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON DIFICULTADES MOTRICES”**, realizado por Brian Josué Pinos Chuya y Victor Hugo Uguña Uguña, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2021



Ing. Vladimir Espartaco Robles Bykbaev, PhD.

C.I. 0300991817

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Brian Josué Pinos Chuya con documento de identificación N° 0104981592 y Victor Hugo Uguña Uguña con documento de identificación N° 0105614051, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ASISTENTE ROBÓTICO ARTICULADO COMO HERRAMIENTA DE SOPORTE EN LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON DIFICULTADES MOTRICES”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, febrero del 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Brian Pinos", written over a horizontal line.

Brian Josué Pinos Chuya
C.I. 0104981592

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Victor Hugo Uguña", written over a horizontal line.

Victor Hugo Uguña Uguña
C.I. 0105614051

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecer a Dios, a mis amigos y profesores que formaron parte de mi vida en todos estos años, a mi familia en especial a mis padres Mónica y Rene que me han brindado su apoyo durante todos mis años de estudios, a mi hermana Alisson, y a mis abuelitos Elena y Bolívar que han sido como mis segundos padres durante toda mi vida, un agradecimiento a mi tutor de la tesis el Ing. Vladimir Robles y a mi compañero del trabajo de titulación Victor al cual considero como un hermano.

Brian Josué Pinos Chuya

Agradecer en primera instancia a Dios por brindarme fortaleza y salud para culminar esta primera etapa en mis estudios, a mis padres Victor y Karina que sin su esfuerzo nada de esto hubiera sido posible, a mi hermana Katthy; uno de los pilares y ejemplo a seguir en mis estudios, que siempre está para apoyarme con un consejo, a mis abuelitos Carlitos y Elvita que con un mensaje o comida siempre podían cambiarme el ánimo, al Ing. Vladimir Robles por guiarnos y apoyarnos incondicionalmente en el desarrollo de este y muchos proyectos, a mi familia en general y amigos que me han acompañado en estos 5 años de estudio, en específico a mis compañeros de clase, miembros de la Rama Estudiantil IEEE UPS Cuenca y en especial a mis mejores amigos Vicky y Brian.

Victor Hugo Uguña Uguña

DEDICATORIAS

Este trabajo y este logro van dedicado a mi abuelita Nenita que me cuida y me mira desde el cielo, siempre será mi ejemplo a seguir y todo lo que realice en esta vida será en su nombre.

Brian Josué Pinos Chuya

Este trabajo está dedicado a mis padres Victor y Karina que siempre han estado presentes para apoyarme en todas las ideas y metas que me propongo, porque sin su esfuerzo nada de esto hubiese sido posible, por ser ese ejemplo de superación y demostrarme que con amor todo se puede conseguir, gracias infinitas por sus consejos, risas, enseñanzas, por inculcarme valores y ser la base para convertirme en la persona que soy el día de hoy.

Victor Hugo Uguña Uguña

RESUMEN

En este trabajo de titulación se presenta el diseño y construcción de un robot bípedo no caminante, como herramienta de ayuda en terapias de rehabilitación motriz de niños de 3 a 7 años (edad cognitiva) que posee 13 grados de libertad, divididos de la siguiente manera: 1 en cada rodilla, 1 en cada unión de pierna-cadera, uno en cada codo, 1 en cada hombro, uno en la cabeza, 1 en cada mano y dos de movimientos de traslación.

El diseño y construcción del mismo tiene un enfoque mecatrónico, ya que cuenta con un diseño mecánico adaptado a las necesidades de movimiento y eficiencia requerido, un sistema electrónico de mando y de control de movimientos, y a su vez detalles como el rostro y las secuencias de movimientos establecidos se realiza mediante scripts de programación.

Al no tener una marcha bípeda, se opta por colocarle un soporte con el fin de darle estabilidad cuando el dispositivo este ejecutando los movimientos planteados.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIAS	VI
RESUMEN.....	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PROBLEMA DE ESTUDIO.....	2
2.1 Antecedentes	2
2.2 Importancia y alcances	3
2.3 Delimitación	3
3. OBJETIVOS	4
3.1 OBJETIVO GENERAL	4
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO.....	4
4. Fundamentación Teorica o estado del arte.....	5
4.1 La discapacidad	5
4.1.1 Discapacidad en el Ecuador	5
4.1.2 La Discapacidad Motriz	6
4.1.3 Discapacidad Motriz en Niños	7
4.2 Terapias de Rehabilitación Motriz	7
4.3 Robótica Educativa	8
4.4 Robots bípedos	11
4.4.1 Historia de los Robots Bípedos	12
5. Marco Metodológico.....	16
5.1 Diseño y desarrollo del sistema Mecánico	16
5.1.1 Dimension del asistente robotico.....	18
5.1.2 Materiales	19

	5.1.3	Cinemática	19
5.1.4		Parte Estructural Interna	23
5.1.5		Parte Estructural externa.....	26
5.2		Diseño y desarrollo del sistema electrónico de mando	27
5.3		Modos de funcionamiento	36
	5.3.1	Modo imitación	36
	5.3.2	Modo Sistema Experto.....	37
	5.3.3	Modo libre.....	38
5.4		Desarrollo de un conjunto de scripts para el control del robot.....	41
	5.4.1	Python	41
	5.4.2	IDE Arduino.....	42
5.5		Desarrollo del modelo del asistente robótico en el simulador webots	44
	5.5.1	Descripcion Plaraforma Webots	44
	5.5.2	Construcción del modelo.....	46
6.		Resultados y validación	51
	6.1	Plan de Experimentación Piloto	51
	6.2	Plan de Experimentación por la emergencia	57
	6.2.1	Estudio preliminar de la percepción de los maestros que trabajan con niños con discapacidad:	61
7.		Conclusiones y trabajos futuros	64
	7.1	Conclusiones	64
	7.2	Trabajos futuros	65
8.		Recomendaciones	66
9.		Referencias Bibliográficas	66
10.		Anexos	69
		ANEXO A: TABLAS CON NOMBRES Y MASAS DE LOS ELEMENTOS.....	69
		ANEXO B: PLANOS MECÁNICOS.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Asistente Robótico Roreas.....	9
Figura 2. Asistente Robótico Speltra	10
Figura 3. Asistente Robótico Ursus	10
Figura 4. Robot NAO.....	11
Figura 5. Asistente Robótico PABI.....	11
Figura 6. Robot Bípedo Wilson Walie.....	12
Figura 7. Robot Bípedo Elektro	12
Figura 8. Evolución Robot Bípedos empresa Honda	13
Figura 9. Robot Bípedo Toddler (MIT)	14
Figura 10. Robot Bípedo QRIO (SONY).....	14
Figura 11. Robot Bipedo Partner	15
Figura 12. Movimiento rotacional de los mecanismos	16
Figura 13. Dimensiones Servomotor MG995	17
Figura 14. Dimensiones del Servomotor MG90s.....	18
Figura 15. Esquema cinemático de las extremidades superiores	20
Figura 16. Zona de trabajo de las extremidades superiores aplicando las ecuaciones de cinemática.....	21
Figura 17. Esquema cinemático de las extremidades inferiores	22
Figura 18. Zona de trabajo de las extremidades inferiores aplicando las ecuaciones de cinemática.....	23
Figura 19. Estructura interna del asistente robótico (Versión 1.0).....	24
Figura 20. Estructura interna del asistente robótico (Versión 4.0).....	25
Figura 21. Comparación del centro de gravedad.....	26
Figura 22. Estructura Externa del Asistente Robótico.	27
Figura 23. Esquema General Asistente Robótico.....	28
Figura 24. Rostros del asistente robótico	28
Figura 25. Menú de opciones de funcionamiento	29
Figura 26. Diagrama comunicación serial entre Raspberry y Arduino.....	30
Figura 27. Conexión módulo Bluetooth HC-05.....	31
Figura 28. Conexión motores de las manos con Driver L293.....	31
Figura 29. Conexión motores de los pies con Driver L293	32
Figura 30. Conexión Driver PCA9685 con microcontrolador	33

Figura 31. Esquemático del PCB	35
Figura 32. Board del PCB	36
Figura 33. Programa para detectar la posición de las extremidades superiores	37
Figura 34. Entradas / Salidas sistema experto.....	37
Figura 35. Interfaz gráfica Sistema Experto.....	38
Figura 36. Interfaz gráfica aplicación móvil	39
Figura 37. Interfaz gráfica modo "Terapias"	40
Figura 38. Interfaz gráfica "Control Manual"	40
Figura 39. Diagrama de flujo en Python	42
Figura 40. Diagrama flujo del programa en Arduino.....	43
Figura 41. Diagrama de GDL del asistente robótico.....	46
Figura 42. Estructura jerárquica de los nodos del asistente robótico	47
Figura 43. Estructura jerárquica del movimiento de los antebrazos	48
Figura 44. Estructura jerárquica del movimiento de las ante piernas y la traslación	49
Figura 45. Modelo del asistente robótico en la plataforma Webots.....	50
Figura 46. Movimientos del sistema experto	54
Figura 47. Validación del Asistente Robótico	59
Figura 48. Validación del Asistente Robótico	60
Figura 49. Validación del Asistente Robótico	60
Figura 50. Percepciones de los expertos con respecto a las preguntas 1, 2, 3 y 4	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Asistentes Robóticos	9
Tabla 2. Parámetros extremidad superior.....	21
Tabla 3. Parámetro de las extremidades inferiores	22
Tabla 4. GDL y Número de piezas de las distintas versiones	24
Tabla 5. Pines Bus SPI Raspberry.....	29
Tabla 6. Pines protocolo I2C.....	32
Tabla 7. Anchos de Pulso MG995	33
Tabla 8. Anchos de Pulso MG90s.....	33
Tabla 9. Conexión servomotores con driver P9685	34
Tabla 10. Consumo energético del asistente robótico.....	34

Tabla 11. Rangos de entrada del sistema experto	38
Tabla 12. Estadísticos descriptivos de los años de experiencia de los participantes .	61

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo moderno que se ve monopolizado por la nueva ola de tecnología, la robótica ha llegado a copar prácticamente todos los espacios de la sociedad actual. Un claro ejemplo de ellos es en el ámbito industrial, donde tareas que antes conllevaban días o semanas de trabajo humano, ahora con la ayuda de los robots se los realiza en una fracción de tiempo, es importante indicar que la gama de robots que se usan en la actualidad pueden ir desde pequeños robots que puedan interactuar con niños, hasta robots con inteligencia artificial que son capaces de caminar evitando obstáculos y de tener un razonamiento lógico para distintas tareas. Bajo estas premisas una de las ramas de la robótica es la educativa que se puede considerar como una mezcla de constructivismo y tecnología con el fin de crear prototipos funcionales que muchas de las veces nacen de abstracciones mentales de personas multidisciplinarias ligadas a este ámbito que de una manera u otra ayuden en tareas pedagógicas, la misma va teniendo desarrollos agigantados en los últimos años especialmente en países desarrollados como Japón o China, por beneficios de los robots tales como una interacción mucho más atractiva con los pacientes y que no presentan agotamiento, una condición en que los humanos no podemos competir. [1]

Es por esto que esta tecnología en el Ecuador y más específicamente en Cuenca sigue creciendo y para formar parte del desarrollo, se propone la construcción de un robot bípedo no caminante con los grados de libertad necesarios para convertirse en una herramienta de apoyo en las terapias de discapacidad motriz.

2. PROBLEMA DE ESTUDIO

2.1 ANTECEDENTES

En Ecuador existen 471020 personas con algún tipo de discapacidad de las cuales 219815 tienen discapacidad física, en la ciudad de Cuenca el número de personas que tienen discapacidad física es de 9755 personas.

El objetivo del asistente robótico es trabajar con niños de 3 a 7 años (edad cognitiva) con discapacidad motriz y parálisis cerebral, en Azuay existen 154 personas con estas características [2], el problema radica en que estas personas con dificultades motrices tienen problemas de concentración y falta de interés al momento de realizar las rutinas propuestas por los especialistas. Además, en la mayoría de los centros especializados para personas con discapacidad física e intelectual del país no cuenta con herramientas tecnológicas que soporten o ayuden en dichas terapias, esto debido a la falta de presupuesto o grupos involucrados en el desarrollo de los mismos, por eso dichas herramientas pueden contribuir al desarrollo de nuevas estrategias dentro de estos centros mejorando la calidad y los resultados de la rehabilitación en los pacientes.

La pregunta es:

¿Se puede desarrollar un dispositivo mecatrónico que sea capaz de interactuar con niños con discapacidad motriz y que brinde un aporte significativo a las terapias de rehabilitación?

2.2 IMPORTANCIA Y ALCANCES

En la actualidad a nivel mundial se ha optado por el uso de asistentes robóticos para trabajar con personas que presentan discapacidad motriz en las distintas etapas de rehabilitación, ya que al ser herramientas tecnológicas nuevas y llamativas motivan en la concentración de los pacientes obteniendo mejores resultados que las terapias convencionales, ejemplo de eso es el asistente robótico ROREAS desarrollado en Alemania, que motivó a los paciente a realizar las rutinas de manera novedosa y llamativa obtenido mayor interés en las personas y como resultado mayores jornadas de terapia [3], aumentando la velocidad de recuperación del paciente comparando con los métodos tradicionales.

El Grupo GIIATA en conjunto con la cátedra UNESCO ha buscado fortalecer a las personas que sufren diversos tipos de discapacidad empleando para ellos novedosas técnicas, siendo la Universidad Politécnica Salesiana pionera en este campo, por esa razón es necesario crear un asistente robótico que se encuentre a la par de todos los sistemas implementados que existen en la actualidad y que mejoran en gran medida la vida y todos los aspectos relacionados con el paciente.

La importancia del uso de asistentes robóticos como herramientas de apoyo en rehabilitación es la mejora considerable en el resultado de las terapias, ya que se utiliza como fuente de motivación y entrenamiento más personalizado porque se pueden adaptar al estado del paciente, todo esto sin verse afectado por el cansancio o fatigación que los seres humanos presentan

2.3 DELIMITACIÓN

El asistente robótico estará destinado a estudios en el Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y Tecnología de Asistencia (GIIATA) de la Universidad Politécnica Salesiana y apoyo en las instituciones de educación especial con las que tiene convenios suscritos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- ★ Diseñar y construir un asistente robótico articulado capaz de realizar movimientos 2D de miembros superiores e inferiores y de cabeza a fin de brindar ejercicios y estímulos kinestésicos¹ (imitación de movimientos) para favorecer el proceso de rehabilitación de niños con discapacidad motriz

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO

- ★ OE1. Analizar los principales tipos y niveles de discapacidad motriz, además tecnologías existentes de asistentes robóticos utilizados en la rehabilitación motriz empleadas en niños de 3 a 7 años (edad cognitiva) dentro del contexto ecuatoriano.
- ★ OE2. Diseñar un sistema mecatrónico mediante software de ingeniería con la finalidad de ejecutar los movimientos 2D (contando con un punto de apoyo) requeridos en función de las condiciones que fueron establecidas por los expertos de la Cátedra UNESCO de la UPS.
- ★ OE3. Construir el sistema mecatrónico mediante procesos de manufactura a fin de dotar con 9 grados de libertad al asistente robótico de modo que se pueda ejecutar todas las actividades de rehabilitación planteadas. (ver Anexo 1)
- ★ OE4. Validar el funcionamiento del sistema mecatrónico mediante un plan de pruebas en conjunto con las instituciones de educación especial adscritas a la Cátedra UNESCO de la UPS.

¹ Kinestésico: Procesamos la información asociada a nuestras sensaciones y movimientos de nuestro cuerpo

4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA

4.1 LA DISCAPACIDAD

De acuerdo con CIF (Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y la Salud) el concepto de discapacidad tomando un enfoque bio-psicológico y biomédico es aquello que abarca las deficiencias, las limitaciones de la actividad y las restricciones en la participación activa en la sociedad. De acuerdo con este organismo la participación de las personas con discapacidad depende de la accesibilidad del ambiente en donde se desarrollen las personas. [4]

4.1.1 DISCAPACIDAD EN EL ECUADOR

En el Ecuador existen alrededor de 471020 personas con algún tipo de discapacidad registrados en el Consejo Nacional de Discapacidades (CONADIS), los tipos de discapacidades reconocidas son auditiva, visual, física, intelectual y psicosocial, del número total 264039 son de género masculino y 206981 de género femenino. [2]

En la última década uno de los aspectos que más ha influido en el desarrollo de una vida digna y con igualdad de derechos para personas con discapacidad, es el aspecto laboral, el cual ha brindado muchas más oportunidades y fuentes de trabajo, actualmente 65804 poseen un trabajo, del cual el 66.65% son de género masculino y el 33.35% son de género femenino. [2]

Del total de personas con discapacidad, 7242 personas presentan discapacidad física o intelectual entre los 0 y los 7 años de edad, en la ciudad de Cuenca, Azuay existen 154 personas que presentan estos tipos de discapacidad y están comprendida en el mismo rango de edad. [2], [5]

El estado ecuatoriano basado en los artículos 47 y 48 de la Constitución Nacional reconoce los siguientes derechos de las personas con discapacidad:

- Atención especializada en las entidades públicas y privadas que presten servicios de salud con la provisión de medicamentos de forma gratuita,

servicios de rehabilitación integral y permanente, dotación de ayudas técnicas; y atención psicológica gratuita para las personas con discapacidad y sus familias, en particular en caso de discapacidad intelectual

- Acceso a la educación inclusiva y especializada, implementando un sistema de becas acorde a las condiciones económicas de los estudiantes con discapacidad; con infraestructura accesible.
 - Trabajo en condiciones de igualdad de oportunidades para el fomento de sus potencialidades y capacidades.
 - Exenciones tributarias, rebajas en servicios básicos, así como en transporte y espectáculos públicos.
 - Vivienda accesible, así como entornos accesibles sin barreras arquitectónicas, para el disfrute de todas las actividades cotidianas, incluyendo las recreativas. De igual manera a través de medios y formas alternativas de comunicación.
- [5]

4.1.2 LA DISCAPACIDAD MOTRIZ

La discapacidad motriz constituye una alteración de la capacidad del movimiento que afecta, en distinto nivel, las funciones de desplazamiento, manipulación o respiración, y que limita a la persona en su desarrollo personal y social.

La discapacidad motriz se clasifica en los siguientes trastornos:

4.1.2.1 Trastornos físicos periféricos

Afectan huesos, articulaciones, extremidades y músculos. Se presentan desde el nacimiento (por ejemplo, algunas malformaciones de los huesos), o bien, son consecuencias de enfermedades en la infancia (como la tuberculosis ósea articular). Algunos accidentes o lesiones en la espalda dañan la médula espinal e interrumpen la comunicación de las extremidades (brazos y piernas) hacia el cerebro y viceversa.

4.1.2.2 Trastornos neurológicos

Significan el daño originado en el área del cerebro (corteza motora cerebral) encargada de procesar y enviar la información de movimiento al resto del cuerpo. Origina dificultades en el movimiento, y en el uso, sensaciones y control de ciertas

partes del cuerpo. Los más comunes son la parálisis cerebral, los traumatismos craneoencefálicos y los tumores localizados en el cerebro. [6]

4.1.3 DISCAPACIDAD MOTRIZ EN NIÑOS

Existen distintos tipos de discapacidad motriz presentes en los niños, por lo que resulta complicado generalizar algunas estrategias para enfrentar a esta situación, ya que estas dependen de factores como el nivel de funcionalidad del niño, de sus habilidades motrices y sus posibilidades de comunicación, por lo que cuando se trabaja con estas personas es primordial: [7]

- Darle el tiempo que requiera sin que exista presiones.
- Dividir las actividades e indicaciones en pasos pequeños y poco a poco ir aumentando la dificultad.
- Ofrecer apoyos motrices
- Utilizar medios de comunicación que se adapten a cada persona.
- Colocar objetos dentro del espacio motriz de la persona.

Los juegos físicos motrices son recursos positivos ya que permite que las personas valoren sus capacidades y a su vez comprendan sus limitaciones, que incluso pueden ser actividades acuáticas ya que son terapéuticas y lúdicas que suelen complementar el tratamiento fisioterapéutico, también pueden ser juegos mentales simples o basados en tecnologías de apoyo, todas estas representan actividades idóneas para que la persona presente autonomía para poder eliminar las barreras físicas que le permitan tener el control de su cuerpo. [7]

4.2 TERAPIAS DE REHABILITACIÓN MOTRIZ

Las terapias de rehabilitación motriz se realizan con el objetivo de recuperar o mejorar zonas afectadas, mediante la repetición continua de distintas actividades motrices. Estas terapias resultan intensas y con una duración alta en la mayoría de los casos, por lo que el paciente en ocasiones pierde interés en el mismo y esto produce que el objetivo inicial no se cumpla y que la dependencia tratamiento-paciente se rompa. [8]

El uso de la tecnología de apoyo para este tipo de actividades de rehabilitación es relativamente nuevo, pero según la OMS (Organización Mundial de la Salud) esta tiene una amplia aceptación.

Uno de los objetivos de estas terapias es mejorar la calidad de vida del paciente, la OMS define este término como la percepción del individuo de su posición en la vida, en el contexto cultural y valórico en el que vive y en relación con sus objetivos, expectativas, patrones y preocupaciones. [9]

Por ejemplo, en [9] se analiza si un programa de estimulación audiovisual en niños con discapacidad motriz puede mejorar su calidad de vida, en el mismo se demostró que estas estimulaciones no producen modificaciones en variables biológicas (presión arterial, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria), pero si una mejoría en variables cognitivas, por lo tanto, se puede concluir que la hipótesis inicial es válida.

En [10] se determina en qué medida un programa psicomotor de intervención en niños con distintos tipos de discapacidades, contribuye a la mejoría de dichos trastornos psicomotores y a su adaptación en el medio ambiente. En el mismo se realizan test psicomotores para cada participante en función de su edad, y después de todo el proceso se nota una mejoría en cuatro variables (coordinaciones dinámicas, motricidad fina, esquema corporal y estructuración espacial).

4.3 ROBÓTICA EDUCATIVA

A lo largo de la historia, la robótica se ha ido introduciendo poco a poco en diferentes tareas del ser humano y ha ido formando parte de nuestra sociedad, como en la educación dotando a las personas de herramientas tecnológicas propias del siglo XXI.


La robótica educativa “es una disciplina que tiene por objeto la concepción, creación y puesta en funcionamiento de prototipos robóticos y programas especializados con fines pedagógicos”, que busca crear construcciones reales a partir de construcciones mentales, que permite trabajar diferentes áreas de conocimiento. [1]




Por lo tanto, la robótica educativa se convierte en una sinergia de conocimientos y de áreas que interactúan, se puede unir conceptos de mecánica (engranajes, diseño mecánico, mecánico), de electricidad (carga y potencia eléctrica, niveles de voltajes),


de electrónica (sensores, circuitos electrónicos) y de programación y en casos de dispositivos avanzados se puede utilizar inteligencia artificial. Todo esto nos lleva a entender que los dispositivos que se crean a partir de la robótica educativa son mecatrónicos. [1], [11]

En los últimos años diversos asistentes robóticos han sido construidos con el fin de brindar soporte a la educación de niños y ayudar en las distintas terapias de aquellos que presentan algún tipo de discapacidad. Por ello y, con el fin de que dichos asistentes robóticos sean accesibles y útiles para sus usuarios, se deben tomar en cuenta aspectos como los costos, el diseño, la facilidad de uso y demás. A continuación, se describen algunos ejemplos de dichos asistentes.

Tabla 1 Asistentes Robóticos

Proyecto	Propósito	Modelo
ROREAS	<p>En la figura 1 se aprecia al robot Roreas que se utiliza para pacientes con accidentes cerebrovasculares, llevando control de los ejercicios realizados y el resultado obtenido de los mismos, en el estudio con ayuda del asistente robótico los pacientes lograron aumentar las rutinas y duración de estas en comparación al ejercicio realizado sin el robot. [2]</p>	 <p>Figura 1. Asistente Robótico Roreas [2]</p>

<p>SPELTRA</p>	<p>SPELTRA es un asistente robótico que está diseñado especialmente para la terapia de lenguaje como se aprecia en la figura 2, cuyo objetivo es ayudar a los Patólogos de Habla y Lenguaje en las diversas actividades que estos deben realizar durante las terapias. [12]</p>	 <p>Figura 2. Asistente Robótico Speltra [12]</p>
<p>URSUS</p>	<p>En la figura 3 se aprecia a Ursus el cual ayuda en la rehabilitación de niños con parálisis cerebral, o que tengan problemas de movilidad en los miembros superiores. [13]</p>	 <p>Figura 3. Asistente Robótico Ursus [13]</p>
<p>NAO</p>	<p>Como se aprecia en la figura 4, el robot Nao es usado en terapias con niños, el cual indica los ejercicios que se deben realizar gracias al cuerpo articulado que presenta el robot, en el caso que el niño no realice los ejercicios correctamente el robot es capaz</p>	

	de indicar mediante la voz y el color de los ojos que debe corregir su postura [14].	Figura 4. Robot NAO [14]
PABI	El robot PABI está dotado para generar movimientos de las alas, cabeza, ojos y pico con el fin de expresar emociones frente a los niños como se aprecia en la figura 5, también permite el uso de una Tablet para interactuar con el niño y establecer una comunicación con el asistente robótico. [15]	 <p>Figura 5. Asistente Robótico PABI [15]</p>

4.4 ROBOTS BÍPEDOS

La robótica como tal ha ido evolucionando en lo que a líneas de investigación se refiere, inicialmente se enfocaba en el avance del sector industrial como nos muestra la historia con la revolución industrial y los primeros sistemas automáticos de producción. Sin embargo, con el pasar de los años la investigación de robots humanoides tomó fuerza al igual que su aplicación en el ámbito de la rehabilitación en beneficio de las personas. Cabe recalcar que estos avances se pueden notar especialmente en países asiáticos como Japón o China, donde la misión de un robot bípedo es emular la caminata humana utilizando dispositivos que hagan la función de piernas, estos se pueden clasificar:

- **Activos:** Este utiliza motores o cualquier tipo de actuadores para producir el movimiento, incluso puede usar sensores para distintas tareas determinadas.
- **Pasivos:** No utiliza ningún tipo de dispositivo eléctrico o electrónico para el movimiento, se vale de acciones como la gravedad o su diseño propio, el uso de energía se reduce en gran escala en este modelo.
- **Semiactivos:** Es una combinación entre los dos anteriores. [16], [17]

4.4.1 HISTORIA DE LOS ROBOTS BÍPEDOS

4.4.1.1 Wilson Wakie

La empresa “Walter Toys” presentó en 1938 una patente de este juguete que era capaz de caminar sin necesidad de energía en una rampa, lo que constituye el primer robot bípedo pasivo como se muestra en la figura 6. [16], [17]



Figura 6. Robot Bípedo Wilson Walie [16]

4.4.1.2 Elektro

Como se aprecia en la figura 7, en el año de 1938, se presentó a Elektro, este robot bípedo era capaz de caminar por medio de un comando de voz, además de mover los brazos y la cabeza. [16], [17]

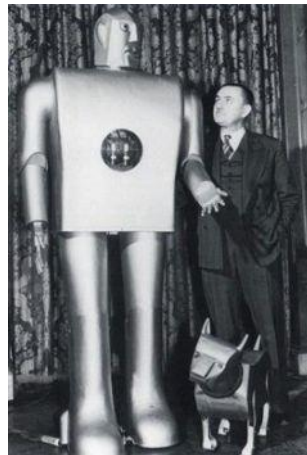


Figura 7. Robot Bípedo Elektro [16]

4.4.1.3 Honda

Honda actualmente se ha posicionado como la empresa más representativa en el desarrollo de robots humanoides, su desarrollo en este campo data de 1986 cuando lanzó el E0 un robot que podía caminar en línea

recta con una velocidad muy baja, ha evolucionado hasta el modelo E5 que fue presentado en 1992 que ya poseía una locomoción autónoma y velocidades de caminata más altas.

Acto seguido Honda lanza el P1 en 1993, que fue el primero prototipo con una forma que asemeja la humana, que era capaz de encender y apagar interruptores y de agarrar objetos, el estudio de la gama P continuó hasta el año de 1997 con el P3 que poseía una forma de andar humana completamente independiente.

En el 2000 Honda lanza Asimo que fue producto de todos los años de investigación y desarrollo basado en sus modelos previos de la misma compañía, y se ha ido perfeccionando con el paso del tiempo, actualmente se lo considera el robot bípedo humanoide más avanzado en todo el mundo, en la figura 8 se presenta la gama de robots de la marca Honda. [16], [17]



Figura 8. Evolución Robot Bípedos empresa Honda [16]

4.4.1.4 Robot Toddler (MIT)

Este modelo de robot bípedo puede caminar en otras direcciones haciéndolo más sofisticado que diseños previos, su diseño se presenta en la figura 9. [16], [17]



Figura 9. Robot Bípido Toddler (MIT) [16]

4.4.1.5 Robot QRIO

En el año 2003 SONY lanza a este pequeño robot de 61 cm que era capaz de caminar por terrenos inestables debido a su avanzado sistema de equilibrio, además poseía una red wirelles, capacidad para lanzar pelotas y reconocimiento de cara y voz como se presenta en la figura 10. [16], [17]



Figura 10. Robot Bípido QRIO (SONY) [16]

4.4.1.6 Robot Partner

En el año 2005 es lanzado el robot partner como se muestra en la figura 11, este robot de 180 cm que tenía la capacidad de tocar la trompeta y además ayudar en la ayuda a personas de la tercera edad. [16], [17]



Figura 11. Robot Bipedo Partner [16]

5. MARCO METODOLÓGICO

Una vez se analiza el estado del arte de los distintos asistentes robóticos existentes en la actualidad, así como una gran cantidad de robots bípedos que han ido evolucionando con el paso del tiempo, se tiene una idea clara de lo que se plantea hacer en este proyecto de titulación.

El primer paso que se debe realizar para una estructura robótica es el diseño, por lo que se analizaron programas informáticos para seleccionar el adecuado.

5.1 DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA MECÁNICO

Para el diseño del asistente robótico se emplea mecanismos de dos eslabones y dos articulaciones que permiten el movimiento rotacional en dos dimensiones propuestos de las extremidades superiores e inferiores.

El efector final en las extremidades superiores se encuentra en el extremo del segundo eslabón y está compuesto por un actuador rotacional y un modelo de la mano impresa en 3D y en las extremidades inferiores al final del segundo eslabón se encuentra un eslabón fijo como soporte para un actuador rotacional con la finalidad de brindar el desplazamiento del asistente robótico.

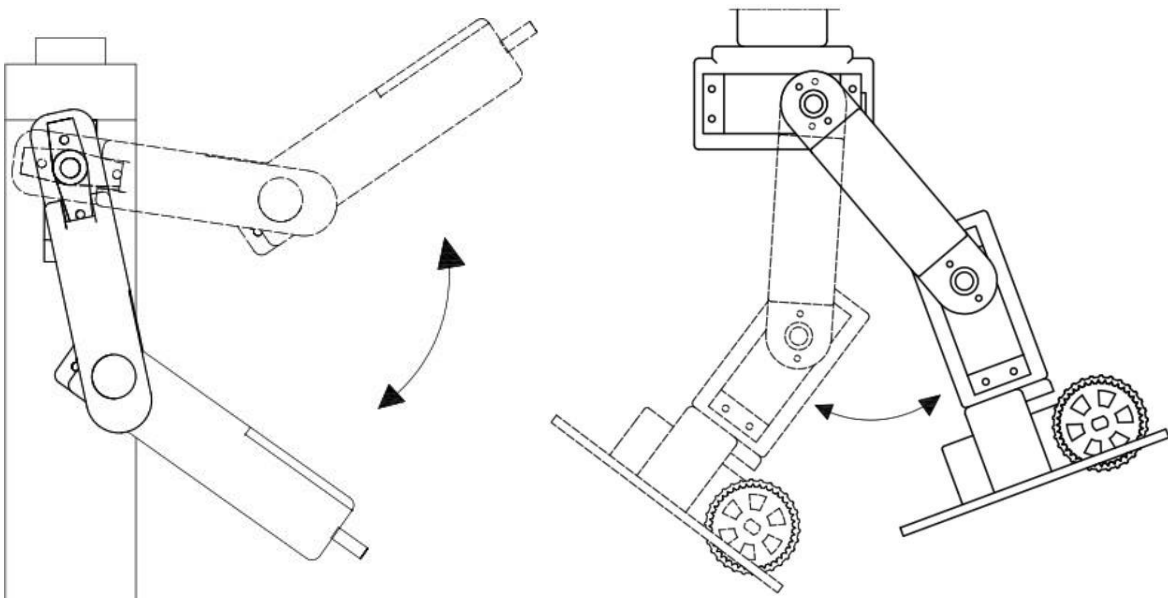


Figura 12. Movimiento rotacional de los mecanismos

Fuente: Autor

Los actuadores que están presentes en las articulaciones rotacionales son servomotores con engranes metálicos y al otro extremo de la articulación se colocaron rodamientos en los eslabones unidos por un eje para brindar soporte y reducir la fricción con el objetivo de que el torque brindado por los actuadores al momento de realizar los movimientos se reduzca.

Los servomotores que son los MG995 y los MG90s que poseen un torque de 15 Kg/cm y de 2.2 Kg/cm respectivamente. Al ser un asistente robótico que actuara en terapias de rehabilitación física de manera individual y sin sostener ningún tipo de carga, el torque solo debe vencer la barrera del peso del material.

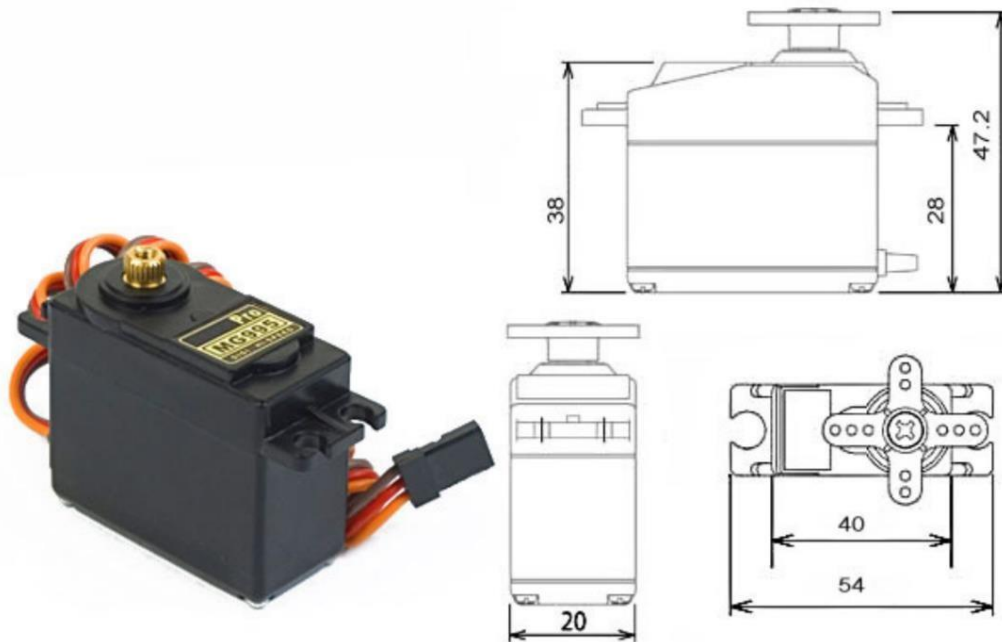


Figura 13. Dimensiones Servomotor MG995.

Fuente: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995_Tower-Pro.pdf

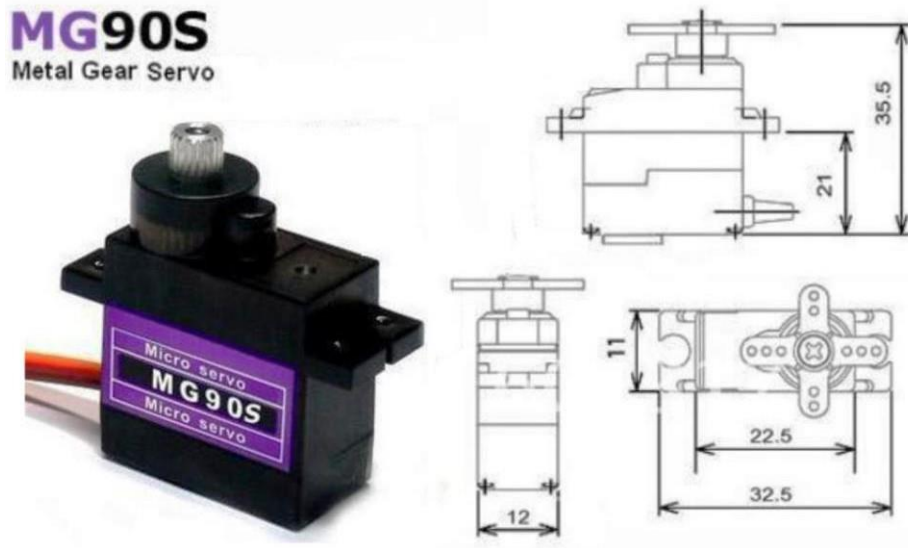


Figura 14. Dimensiones del Servomotor MG90s.

Fuente: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG90S_Tower-Pro.pdf

5.1.1 DIMENSION DEL ASISTENTE ROBOTICO

Para la selección del tamaño del asistente robótico se tomó en cuenta la opinión de los expertos en el área de trabajo con niños en terapias, los cuales nos recomendaron que el tamaño no debe ser excesivo para que los pacientes puedan sentirse cómodos con el asistente. La dimensión del asistente robótico es de 40 cm aproximadamente, para el cálculo del tamaño de los eslabones se realizó un proceso de escalamiento de 1:4.25, tomando como referencia una persona promedio con una estatura de 1,70 m.

Se modificaron algunas medidas dimensionales de las extremidades para mantener el centro de gravedad en la zona de la pelvis, ya que es un parámetro para tomar en consideración ya que el asistente robótico no cuenta con un control de estabilidad, ese análisis se presenta en el punto 5.1.4.

5.1.2 MATERIALES

Para la construcción del asistente robótico se utiliza tecnología de impresión 3D y el material seleccionado fue el PLA tanto para las partes de la estructura interna como para la externa que tiene las siguientes características:

- Es inodoro, permanente, claro y brillante.
- Es altamente resistente ante la humedad y la grasa.
- Es similar al polietileno en cuanto a desarrollar barreras para sabores y olores.
- Es suficientemente extensible y elástico.
- Su nivel de inflamabilidad es muy bajo lo que lo hace estable a la luz UV.
- Aunque es flexible el PLA 3D puede formularse a fin de que sea rígido.
- Su proceso de fabricación puede variarse a fin de adoptar características mecánicas.

Sus características físicas son:

- Densidad: 1,25 g/cm³
- Módulo de elasticidad (Young): 3.5 GPa
- Elongación a la rotura: 6%
- Módulo de flexión: 4 GPa
- Resistencia a la flexión: 80 MPa
- Temperatura de transición vítrea: 60°C
- Temperatura de deflexión del calor (a 455 kPa): 65°C
- Comienzo de fusión: 160°C
- Módulo de corte: 2,4 GPa
- Capacidad calorífica específica: 1800 J/kg-K
- Relación fuerza-peso: 40 kN-m/kg
- Resistencia a la tracción (UTS): 50 MPa
- Conductividad térmica: 0,13 W/m-K [18].

5.1.3 CINEMÁTICA

La cinemática es el estudio del movimiento espacial de un robot en función del tiempo sin considerar las causas que producen dicho movimiento, y en concreto

el estudio de la cinemática se interesa por la relación de la posición y la orientación del extremo final con los valores que toman sus coordenadas articulares [19][20].

Para el análisis cinemático se trabajan con las extremidades superiores e inferiores por separado, al estar compuesto por mecanismos de dos eslabones con dos articulaciones se empleará el método geométrico para obtener las relaciones.

Las coordenadas articulares se representan con las variables q_1 para el movimiento del hombro y q_2 para el movimiento del codo en las extremidades superiores, como se puede observar en la Figura 13.

Los parámetros geométricos L_1 y L_2 , indican la longitud de los eslabones en mm y la posición final está determinada por el par de coordenadas x , y .

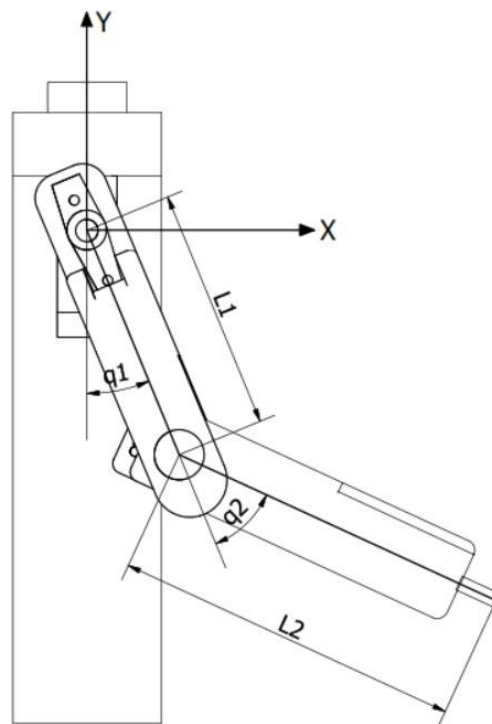


Figura 15. Esquema cinemático de las extremidades superiores

Fuente: Autor

Tabla 2. Parámetros extremidad superior

Variable	Descripción	Valor
L_1	Longitud del eslabón del hombro al codo	49 mm
L_2	Longitud del eslabón del codo al efector final	62 mm
q_1	Articulación rotacional hombro	-90° a 90°
q_2	Articulación rotacional codo	0° a 135°

Aplicando el método geométrico y tomando en consideración el esquema cinemático y los valores de los parámetros, el par coordenado que indica la posición se muestra a continuación:

$$x = L_1 \cos(q_1) + L_2 \cos(q_1 + q_2) \quad (1)$$

$$y = L_1 \sin(q_1) + L_2 \sin(q_1 + q_2) \quad (2)$$

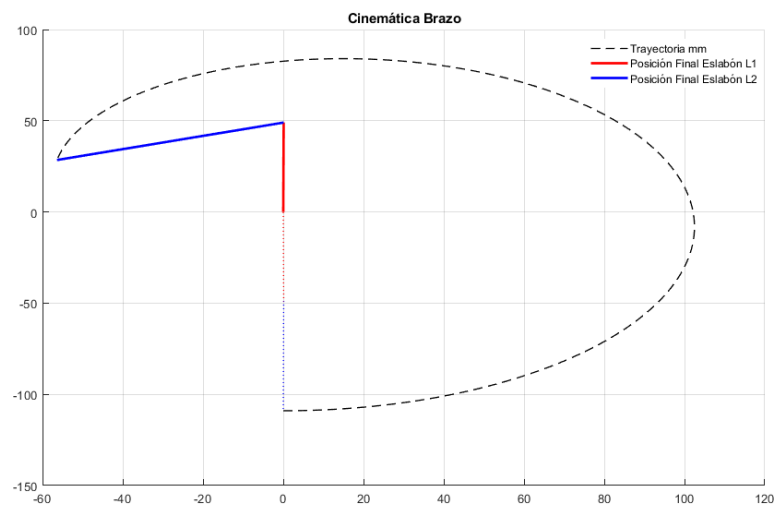


Figura 16. Zona de trabajo de las extremidades superiores aplicando las ecuaciones de cinemática.

Fuente: Autor

Se presenta el mismo análisis para las extremidades inferiores, se representa con las variables q_1 y q_2 el movimiento rotacional de la cadera y la rodilla, respectivamente, como se puede observar en la Figura 17.

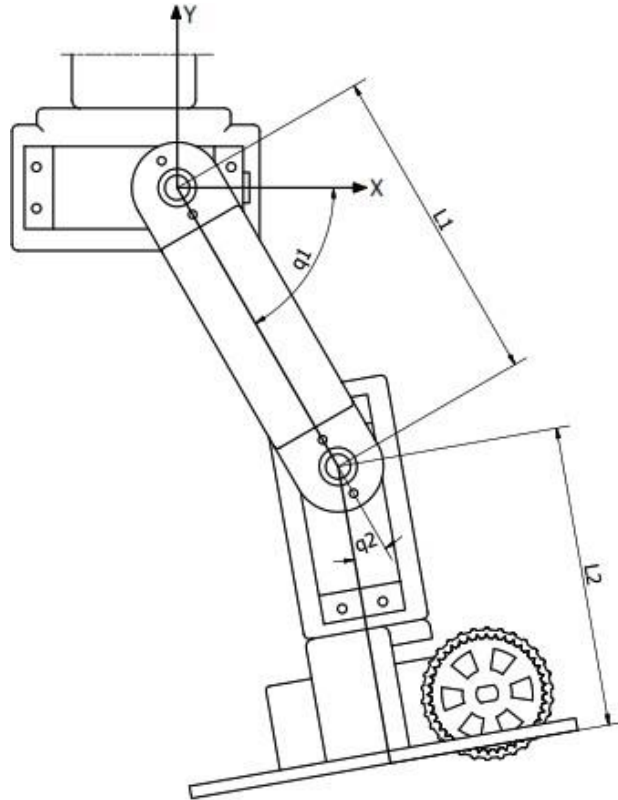


Figura 17. Esquema cinemático de las extremidades inferiores
Fuente: Autor

Tabla 3. Parámetro de las extremidades inferiores

Variable	Descripción	Valor
L_1	Longitud del eslabón de la cadera a la rodilla	78 mm
L_2	Longitud del eslabón de la rodilla al efector final	73 mm
q_1	Articulación rotacional cadera	0° a 90°
q_2	Articulación rotacional rodilla	0° a 90°

Tomando las ecuaciones (1) y (2) y reemplazando los valores que se muestran en la Tabla 3, la zona de trabajo de las extremidades inferiores aplicando las ecuaciones cinemáticas se indica en la Figura 18.

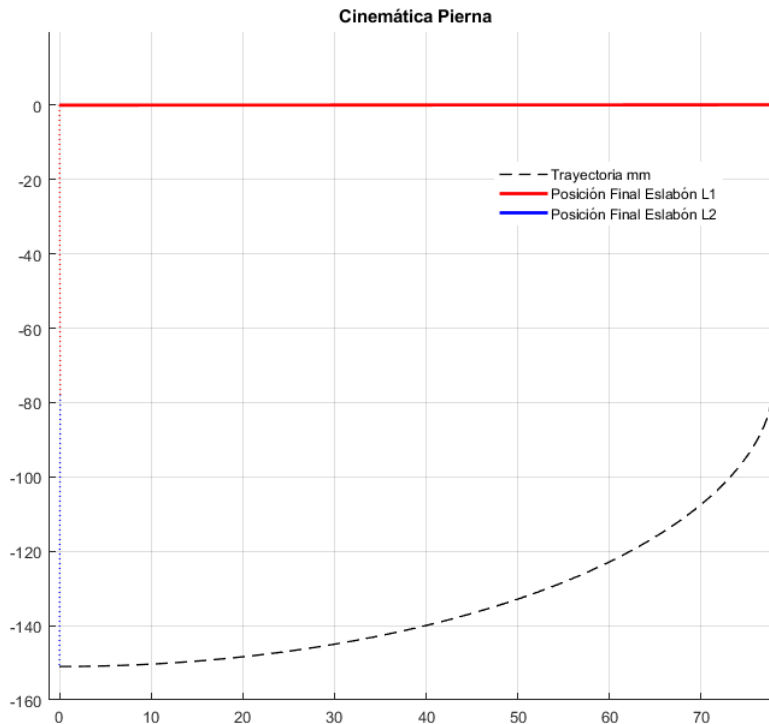


Figura 18. Zona de trabajo de las extremidades inferiores aplicando las ecuaciones de cinemática.

Fuente: Autor

El diseño mecánico del asistente se divide en dos partes:

5.1.4 PARTE ESTRUCTURAL INTERNA

Constituye básicamente de todas las partes del esqueleto interno del asistente robótico donde se colocarán todas las articulaciones y los actuadores necesarios para el movimiento óptimo del robot, para lo cual incluyen 4 servomotores MG995 para el movimiento de las extremidades inferiores, 5 servomotores MG90s para el movimiento de las extremidades superiores y de la cabeza, 2 micro motores DC para la rotación de las manos y 2 motores DC para la traslación.

El mismo fue diseñado en AutoDesk Inventor por ser un programa al cual los estudiantes tienen acceso libre y que cuenta con licencia, además de poseer un entorno gráfico amigable y la función de poder realizar ensamble de las piezas diseñadas, lo cual resulta de vital importancia al momento de validar medidas y movimientos.

Con el desarrollo de la versión 1 que consta de 23 piezas y con el cual se pudo conseguir los 9 grados de libertad que fueron planteados en los objetivos

(Figura 19), a su vez también se pudo constatar que el asistente robótico tenía un margen de mejora, es decir poder agregarles más grados de libertad y a su vez reducir el número de piezas, todas estas ideas fueron obtenidas una vez que ya se imprimió en 3D cada una de las piezas que lo conforman y de una manera experimental y práctica se notó que eran posibles estas mejoras acotadas.



Figura 19. Estructura interna del asistente robótico (Versión 1.0)
Fuente: Autor

Tabla 4. GDL y Número de piezas de las distintas versiones

Versión	GDL	Número de Piezas
Versión 1	9	23
Versión 2	11	23
Versión 3	11	20
Versión 4	13	18

Como indica la tabla 4, en la segunda versión del asistente robótico el número de GDL aumentó a 11 debido a que se colocó 2 motores DC para el movimiento rotatorio de las manos, pero el número de piezas se mantuvo en 23. En la versión 3 se redujo el número de piezas a 18 y se mantuvo el mismo número de GDL.

En la versión 4 se vio en la necesidad de aumentar 2 grados de libertad para la traslación del asistente robótico mediante un juego rotatorio compuesto por un motor DC y un par de llantas en cada pie, por lo que la versión final cuenta con 13 GDL y 18 piezas (Figura 20). La reducción de piezas supone una baja considerable en el costo final del asistente y los GDL se fueron aumentando, viendo las necesidades de los pacientes y apoyados por expertos en el tema.

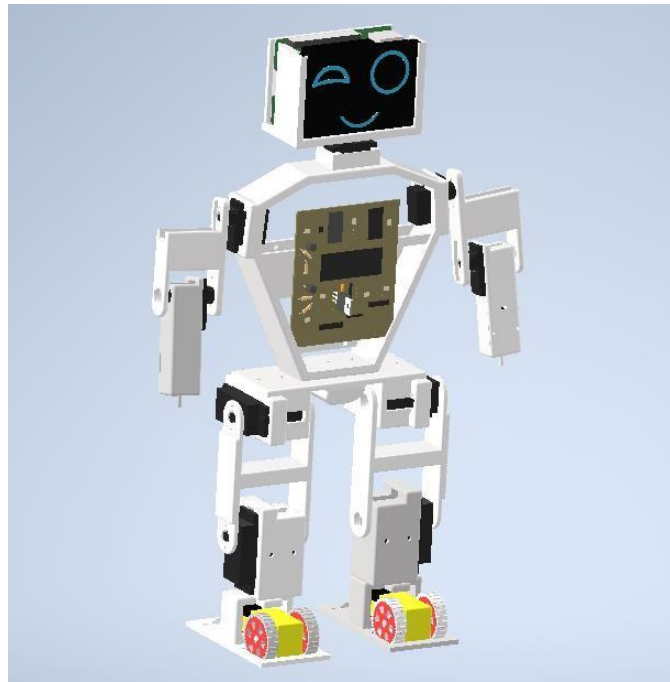


Figura 20. Estructura interna del asistente robótico (Versión 4.0)

Fuente: Autor

Uno de los puntos a tener en consideración dentro del análisis estático del asistente robótico es su centro de gravedad, ya que al ser un robot de tipo humanoide y no contar con un control de estabilidad el centro de gravedad debe ser semejante al de un ser humano para mantener el equilibrio.

La figura 21, muestra una comparación entre el centro de gravedad de un ser humano y del asistente robótico en posición erguida con los brazos hacia abajo, en dicha posición el centro de gravedad se encuentra en la pelvis.

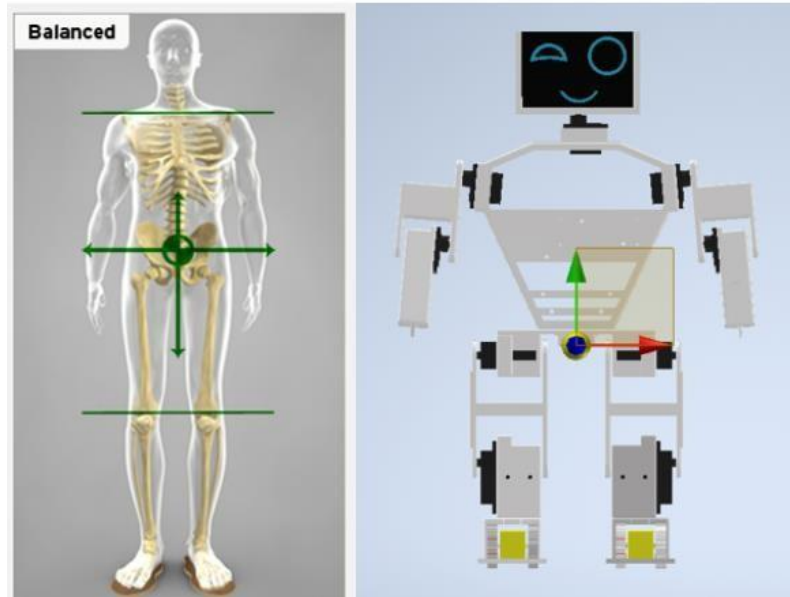


Figura 21. Comparación del centro de gravedad
Fuente: <https://whynotpilates.net/tag/centro-de-gravedad/>

5.1.5 PARTE ESTRUCTURAL EXTERNA

El asistente robótico cuenta con una estructura externa como se aprecia en la figura 22, con el objetivo que posea un diseño agradable para los niños y para cualquier persona, además de no poseer aristas vivas para la seguridad de los usuarios. Para esta parte se decidió trabajar con AutoDesk Fusión 360 que al igual que Inventor los estudiantes poseen una licencia para el mismo, se seleccionó este programa ya que los diseños de curvas y de sectores críticos se trabajan de una manera más eficiente y sencilla en este programa debido a sus características y funciones de moldeado.

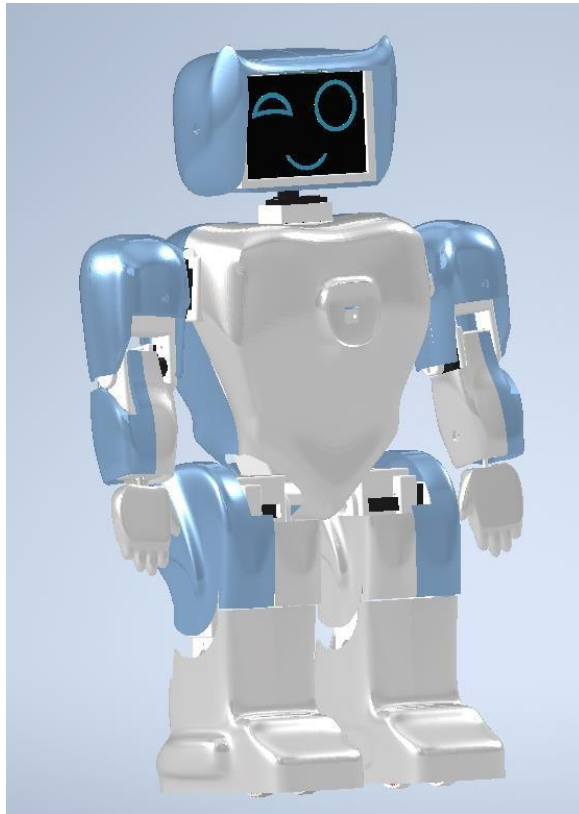


Figura 22. Estructura Externa del Asistente Robótico
Fuente: Autor.

5.2 DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE MANDO

El robot cuenta con 4 servomotores MG995 y 5 servomotores MG90s para brindar el movimiento de las extremidades inferiores, superiores y de cabeza, 2 micro motores DC para la rotación de las manos, 2 motores DC para la traslación, una pantalla táctil de 3.5 pulgadas para la visualización de la interfaz gráfica, una Picamera para la detección de rostros, Raspberry Pi 3B+ para el procesamiento de imágenes y control de terapias, una tarjeta electrónica con un Arduino nano encargado de controlar el movimiento de los actuadores y un módulo bluetooth HC-05 para la conexión inalámbrica.

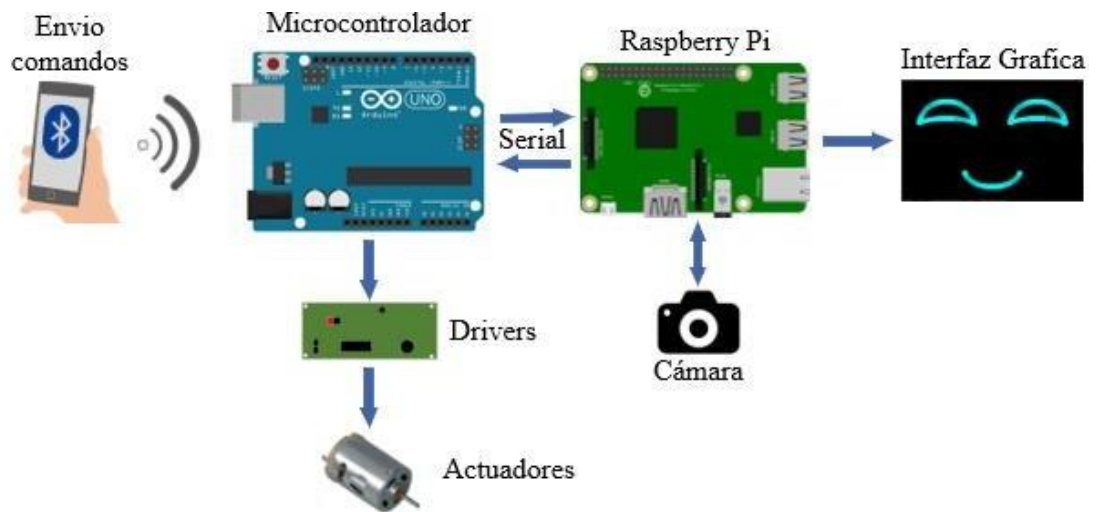


Figura 23. Esquema General Asistente Robótico
Fuente: Autor

La pantalla de 3.5 pulgadas encargada de la interfaz gráfica se conecta al Raspberry Pi 3B + y tiene dos funcionalidades, la primera es mostrar el rostro durante las terapias como se observan en la figura 23, los rostros se alternan cada 3 segundos para dar la percepción de un aspecto dinámico.



Figura 24. Rostros del asistente robótico
Fuente: Autor

La segunda funcionalidad se muestra en la figura 25, como se observa es un menú con las opciones del modo de funcionamiento que tiene disponible al asistente robótico que son:

- Modo Imitación
- Modo Libre
- Modo Sistema Experto



Figura 25. Menú de opciones de funcionamiento
Fuente: Autor

La pantalla usa el Bus SPI para la transferencia de información con el Raspberry Pi 3B+, el protocolo SPI utiliza 4 señales principalmente para realizar la sincronización y la transferencia de información que son: SCLK, MOSI, MISO y SS. Los pines utilizados en el Raspberry se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Pines Bus SPI Raspberry
Fuente: https://es.pinout.xyz/pinout/pitft_plus_35

Señal	Pin BCM
MOSI	10
MISO	9
SCLK	11
Backlight Control	18
Chip Select	7
TFT Data/Command	25
GND	GND
5V	5V

El pulsante para cambiar el modo de funcionamiento se encuentra conectado al pin 40 (BCM 21) del Raspberry utilizando la resistencia interna en modo Pull-Down, es decir cuando se detecta un estado HIGH o TRUE sale del modo de funcionamiento actual y muestra el menú con las opciones de funcionamiento

(Figura 25), en este estado los actuadores del robot permanecen en reposo consumiendo la mínima cantidad de energía.

El asistente robótico también cuenta con una cámara de 8 megapíxeles y 1080p conectada en el puerto de cámara CSI del raspberry Pi 3B +, con la finalidad de detectar los rostros de los pacientes al momento de realizar las terapias. Según la planificación, al asistente robótico se le aplicará más fases de desarrollo y diseño a futuro, siendo una de las fases la detección de emociones, por tal motivo es necesario la implementación de una cámara funcional en la presente versión.

Para la comunicación entre el Raspberry y el microcontrolador Arduino Nano se utiliza comunicación serial mediante los puertos GPIO Rx y Tx del raspberry Pi 3B+ con los pines 14 (Rx) y 15 (Tx) del Arduino Nano, como se indica en la figura 19 la conexión entre los puertos serial no se puede realizar directo ya que el voltaje máximo de entrada/salida de los puertos GPIO es de 3.3 V y del Arduino Nano es 5V, por esa razón se utilizan transistores para trabajar en los rangos adecuados de voltaje tanto para el raspberry como el Arduino nano.

El raspberry envía los comandos de los modos de funcionamiento al Arduino Nano y este se encarga de llamar a la respectiva función y colocar los actuadores en las posiciones iniciales y espera a los comandos recibidos por bluetooth.

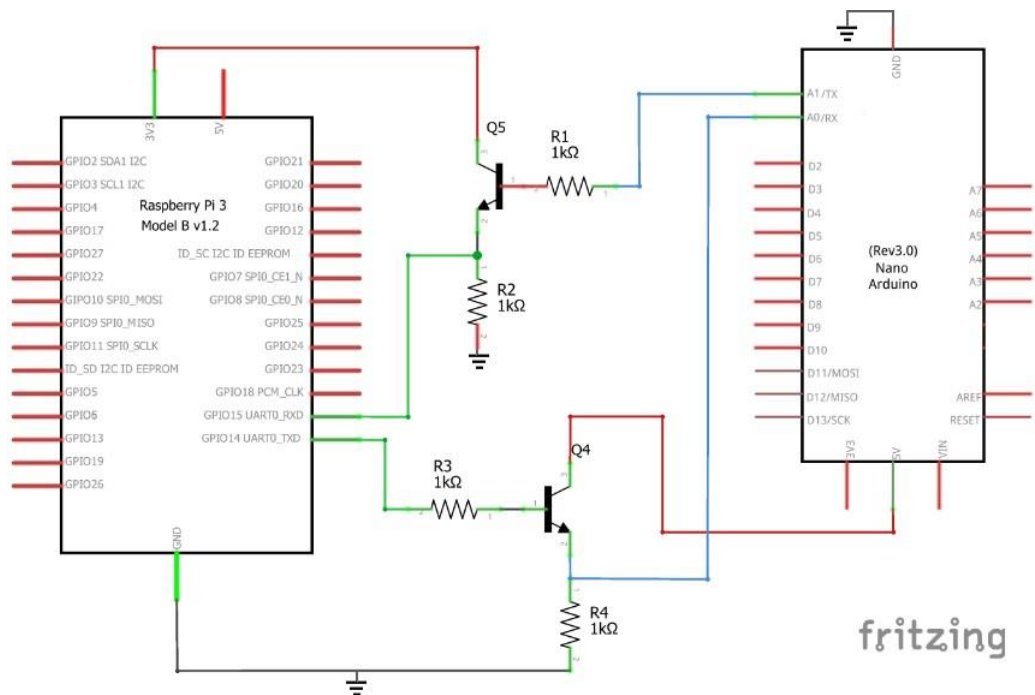


Figura 26. Diagrama comunicación serial entre Raspberry y Arduino
Fuente: Autor

Para realizar el movimiento de los actuadores los comandos son enviados mediante bluetooth al microcontrolador y este se encarga de realizar el movimiento de los actuadores según el comando que se reciba, como se muestra en la figura 26, el módulo bluetooth que se utiliza es el modelo HC-05 y se comunica con el microcontrolador mediante comunicación Serial con los puertos seriales Rx (pin 0) y Tx (pin 1).

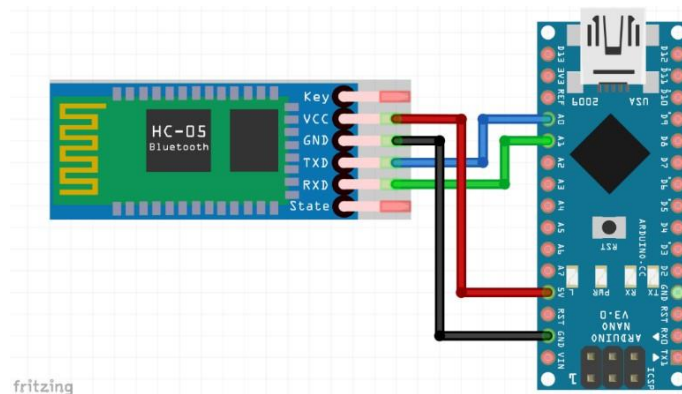


Figura 27. Conexión módulo Bluetooth HC-05

Fuente: Autor

Para el movimiento rotacional de las manos del asistente robótico se utiliza el driver L293 que permite el movimiento bidireccional de la corriente, lo que sirve para controlar el sentido de giro del motor, este driver se utiliza para controlar tanto velocidad como sentido de giro de los motores colocados en las manos, las señales de Enable y dirección del movimiento de los motores son las mismas para los dos motores ya que las dos manos del asistente robótico rotan al mismo tiempo, el diagrama de conexión se puede observar en la Figura 28.

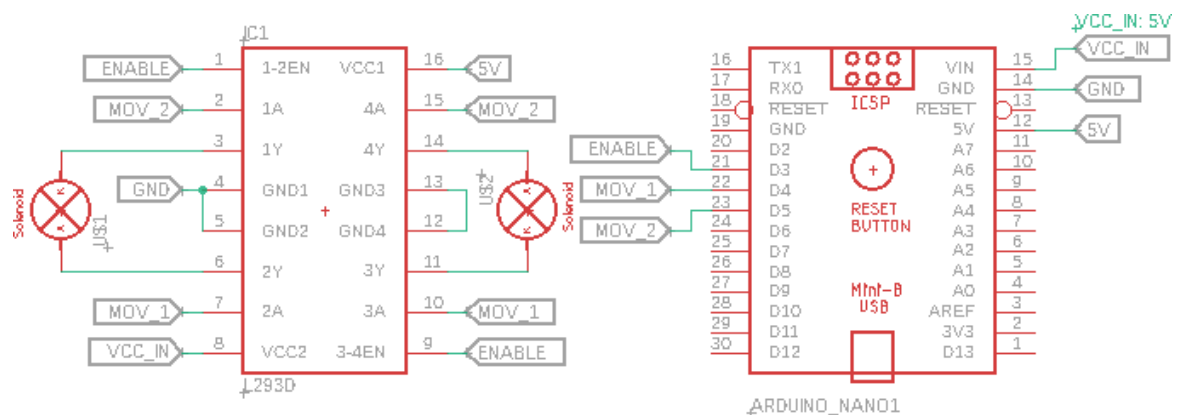


Figura 28. Conexión motores de las manos con Driver L293

Fuente: Autor

El mismo driver se utiliza para los motores colocados en los pies encargados de la traslación del asistente robótico, las señales de Enable y el sentido de giro son independientes para cada motor como se observa en la Figura 29.

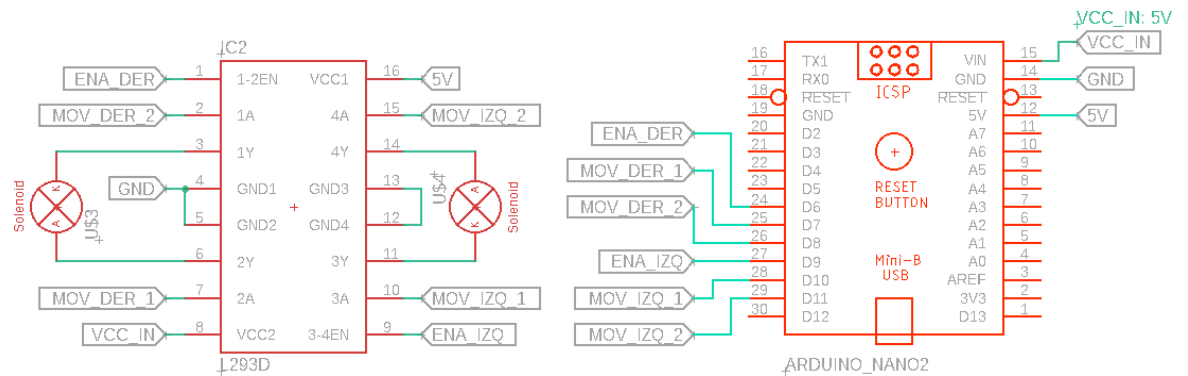


Figura 29. Conexión motores de los pies con Driver L293

Fuente: Autor

Para el movimiento de los servomotores se utiliza el driver PCA9685 para controlar la posición mediante pulsos PWM independientes para cada actuador, el driver se comunica mediante protocolo I2C con el microcontrolador (figura 30) mediante las señales mostradas en la Tabla 6.

Tabla 6. Pines protocolo I2C

Señal	Pin Arduino
OE	GND
SCL	A5
SDA	A4
GND	GND
Vcc	5V

La resolución del driver PCA9685 es de 12 bits, por tal motivo la señal PWM para controlar la posición de los servomotores debe estar entre 0 y 4095 (12 bits), para obtener el valor de la señal PWM es necesario conocer el ancho de pulso (ms) para las posiciones de 0° y 180° de cada servomotor y la frecuencia de la señal PWM. [21]

- Servomotor Mg995

Tabla 7. Anchos de Pulso MG995

Fuente: <https://components101.com/motors/mg995-servo-motor>

Posición	Ancho Pulso
0°	0.5 ms
180°	2.5 ms

- Servomotor Mg90s

Tabla 8. Anchos de Pulso MG90s

Fuente: <https://components101.com/servo-motor-basics-pinout-datasheet>

Posición	Ancho Pulso
0°	1 ms
180°	2 ms

Para el funcionamiento óptimo del asistente robótico se alimenta con una fuente de 12V-5A, la cual da energía a todo el sistema electrónico como los actuadores, microcontroladores, drivers y todos los dispositivos electrónicos, mediante dos reguladores de voltaje LM2596 se estabilizan las tensiones a los rangos óptimos según sea el elemento electrónico que se alimente.

El primer regulador se estabiliza a un valor de 5V para alimentar el raspberry y la placa electrónica con el microcontrolador, el segundo regulador se utiliza para alimentar el driver PCA9685 encargado del control de posición de los servomotores con un valor de 6V.

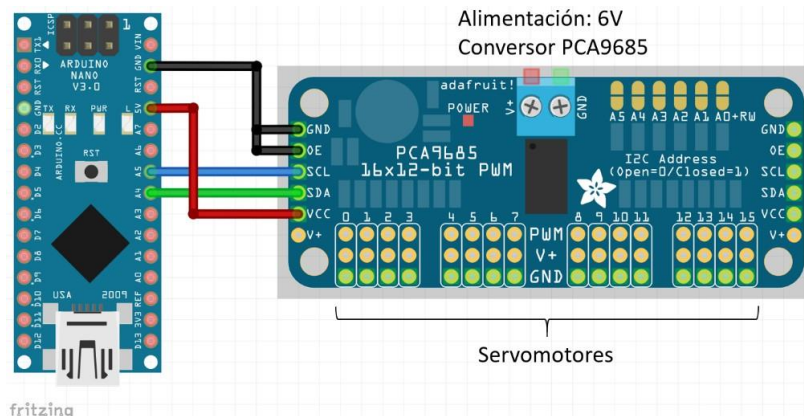


Figura 30. Conexión Driver PCA9685 con microcontrolador

Fuente: Autor

En la tabla 9, se indica el orden de la conexión de los servomotores del asistente robótico con el driver PCA9685.

Tabla 9. Conexión servomotores con driver P9685

Puerto PCA9685	Modelo	Función
0	Mg995	Rotación rodilla derecha
1	Mg995	Rotación rodilla izquierda
2	Mg995	Rotación cadera derecha
3	Mg995	Rotación cadera izquierda
4	Mg90s	Rotación hombro derecho
5	Mg90s	Rotación hombro izquierdo
6	Mg90s	Rotación codo derecho
7	Mg90s	Rotación codo izquierdo
8	Mg90s	Rotación cabeza

En la tabla 10, se observa el consumo energético del asistente robótico cuando permanece en tiempo de reposo y al realizar los ejercicios que requieren el movimiento de más actuadores durante las terapias, como indica la tabla 10 el ejercicio que más amperios requiere son 4.7, siendo este el consumo máximo del asistente robótico, esta información se utilizó para determinar el ancho de las pistas de la placa electrónica, tomando como referencia [23] una pista de 1.5 milímetros, permite el flujo óptimo de una corriente máxima de 5 amperios a 20 °C.

Tabla 10. Consumo energético del asistente robótico

Estado	Consumo [A]
Reposo - Consumo del PCB y raspberry	0.8
Ejercicio con movimientos de 2 servomotores Mg90s	2.6
Ejercicio con movimiento de 4 Servomotores Mg90s y 1 motor DC combinados	3.82
Ejercicio con movimientos de 2 servomotores Mg995	3.7
Ejercicio con movimientos de 4 servomotores Mg995 y dos motores DC combinados	4.32
Baile	4.8

Tomando en consideración los protocolos de comunicación, controladores, ancho de las pistas y los elementos electrónicos que son necesarios para el funcionamiento del asistente robótico, se desarrolló en el software Eagle el PCB para controlar al robot, en la figura 31 se puede observar el esquemático que indica la conexión de todos los elementos que se utilizan.

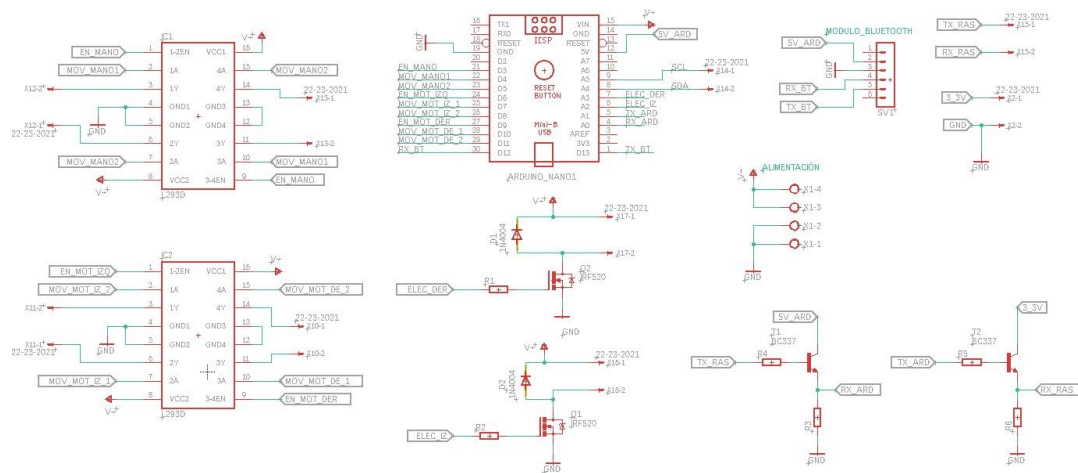


Figura 31. Esquemático del PCB

Fuente: Autor

La figura 32, muestra la placa electrónica con las posiciones finales de los elementos y las rutas o pistas que conectan los mismos, la zona donde se coloca la placa es en la parte frontal del torso por lo que el tamaño máximo del PCB es de 75 x 100 mm.

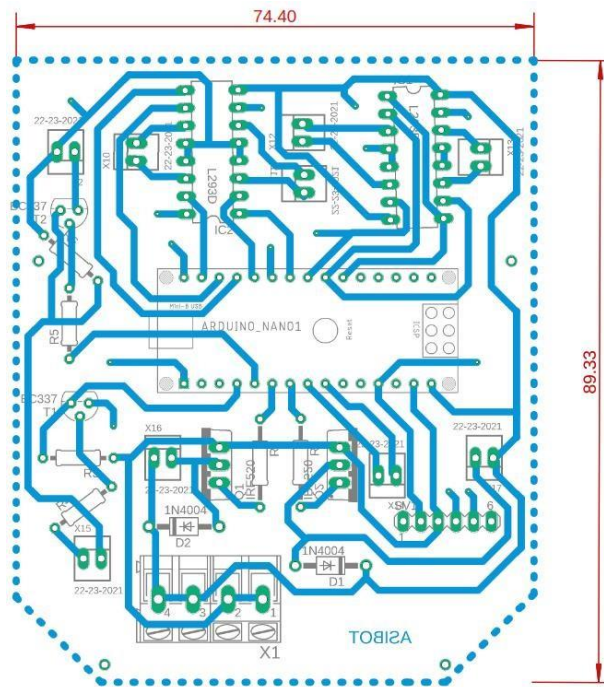


Figura 32. Board del PCB
Fuente: Autor

5.3 MODOS DE FUNCIONAMIENTO

El asistente robótico cuenta con 3 modos de funcionamiento los cuales fueron analizados en colaboración con expertos en el tema, como se indica en la sección 2 se pueden seleccionar mediante la interfaz gráfica (figura 24), los modos de funcionamiento son los siguientes.

5.3.1 MODO IMITACIÓN

En este método, el asistente robótico imita al terapeuta o usuario el movimiento de las extremidades superiores en tiempo real mediante el uso de un sensor Kinect, esta terapia está enfocada sobre todo en pacientes con ataxia, que es un trastorno el cual dificulta la coordinación en movimientos, caminata, recoger objetos, etc.

El programa se desarrolló en la plataforma UNITY, detecta la posición de las extremidades superiores del usuario y las envía mediante bluetooth al asistente robótico para que este efectúe el movimiento de los actuadores.

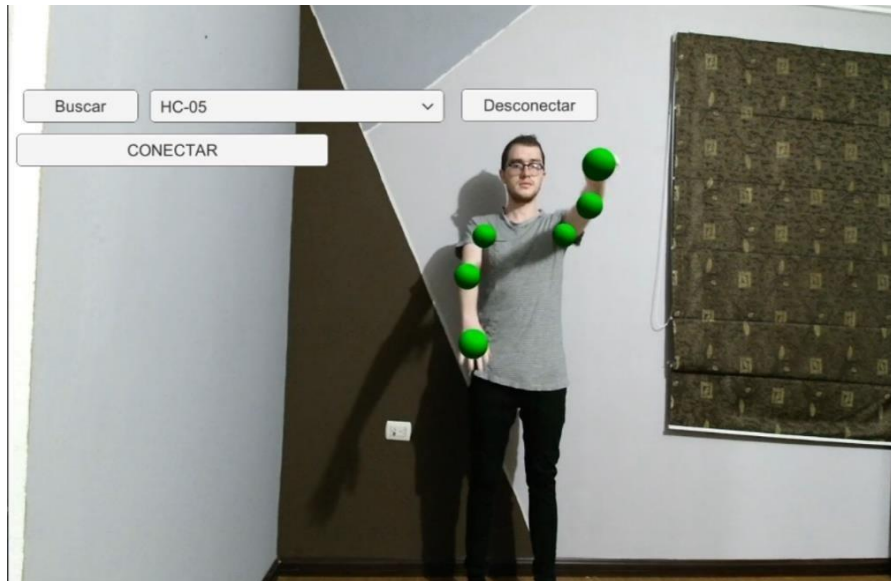


Figura 33. Programa para detectar la posición de las extremidades superiores
Fuente: Autor

5.3.2 MODO SISTEMA EXPERTO

Un sistema experto es una rama de la Inteligencia Artificial que simula a un profesional experto en un determinado campo o área de conocimiento, en este caso el sistema experto calcula un plan de ejercicios determinados a una velocidad adecuada según los rasgos del paciente, es decir establece automáticamente la velocidad de los motores para los ejercicios seleccionados. [22]



Figura 34. Entradas / Salidas sistema experto
Fuente: Autor

En la figura 35, se indica las entradas que el sistema experto necesita para realizar el cálculo de la velocidad de los motores para las terapias, los rangos mínimos y máximos de cada entrada se observan en la tabla 11, estos valores fueron obtenidos con el apoyo de terapeutas profesionales, la salida del sistema experto es la velocidad de los motores y tiene tres opciones Lento, Medio, Rápido.

Tabla 11. Rangos de entrada del sistema experto

Entrada	Valor Mínimo	Valor Máximo
Edad	35 meses	84 meses
Porcentaje de Discapacidad	30 %	74 %
Coficiente intelectual	48	75

En la figura 35, se observa la interfaz gráfica del sistema experto, los valores de las variables de entrada y el número de repeticiones se seleccionan mediante slides y para realizar el ejercicio se selecciona el icono de la terapia y automáticamente se comunica con el asistente robótico mediante bluetooth para realizar el movimiento de los actuadores, en la presente versión este modo de funcionamiento está enfocado al calentamiento previo a realizar las terapias.



Figura 35. Interfaz gráfica Sistema Experto

Fuente: Autor

5.3.3 MODO LIBRE

El modo libre permite un control más personalizado del asistente robótico, mediante una aplicación móvil desarrollada para sistema operativo android, el

objetivo principal es crear terapias personalizadas a criterio del terapeuta y la necesidad de cada paciente, como se observa en la figura 36 para este modo de funcionamiento se puede escoger entre dos opciones: Terapias pre programadas y control Manual.



Figura 36. Interfaz gráfica aplicación móvil
Fuente: Autor

En la opción “Terapias” aparece una nueva ventana con los ejercicios que están pre programados en el asistente robótico, como se puede observar en la figura 37, la lista de ejercicios se encuentra en modo de lista, el momento de elegir el ejercicio manda el comando al asistente robótico para que lo realice, entre los ejercicios propuestos se encuentran: movimiento de los brazos, antebrazos, muñecas, movimientos combinados, giro de la cabeza, piernas y hasta incluso un baile, los ejercicios que solamente incluyen el movimiento de las extremidades superiores se puede realizar con el asistente robótico parado o sentado.

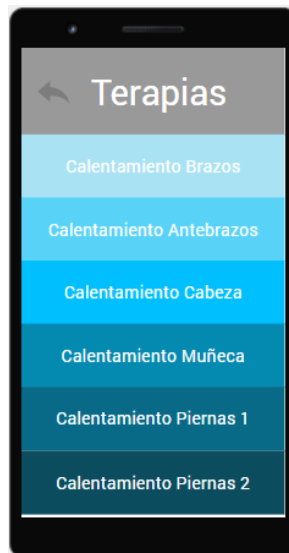


Figura 37. Interfaz gráfica modo "Terapias"

Fuente: Autor

En la opción “Control Manual” se presentan las opciones para mover al robot hacia adelante, atrás, girar hacia la derecha o izquierda y mover sus extremidades superiores libremente, además tiene la opción de activar “Andador”, el cual coloca se coloca en una postura óptima para simular caminatas con un andador, en este modo el movimiento de los servomotores de la cadera y las rodillas queda desactivado para evitar accidentes en este modo.



Figura 38. Interfaz gráfica "Control Manual"

Fuente: Autor

5.4DESARROLLO DE UN CONJUNTO DE SCRIPTS PARA EL CONTROL DEL ROBOT

Para el funcionamiento del asistente robótico se manejan dos scripts, desarrollados en IDE Arduino y Python.

5.4.1 PYTHON

Los programas realizados en Python son ejecutados en la Raspberry y tienen dos funciones, la primera es un menú para seleccionar el modo de funcionamiento (figura 24) y la segunda es interactuar con el usuario mediante la interfaz gráfica (figura 25).

Al momento de seleccionar un modo de funcionamiento el programa manda un comando al Arduino mediante comunicación serial para identificar el tipo de terapia que el robot debe realizar y llama al programa para dibujar los rostros o si se selección la opción “Terminar Terapia” el asistente robótico se apaga y los actuadores quedan deshabilitados para evitar consumos innecesarios de energía.

La interfaz gráfica del asistente robótico se realizó con la librería Pygame, en este script están creados distintos rostros y se alternan cada 3 segundos para dar la percepción de un rostro dinámico y brindar un aspecto más amigable al momento de realizar las terapias, también al momento de accionar el pulsante conectado en el pin 40 manda un comando mediante comunicación serial al Arduino que indica que debe salir del modo actual de funcionamiento y ejecuta el programa que contiene el menú con los modos de funcionamiento.

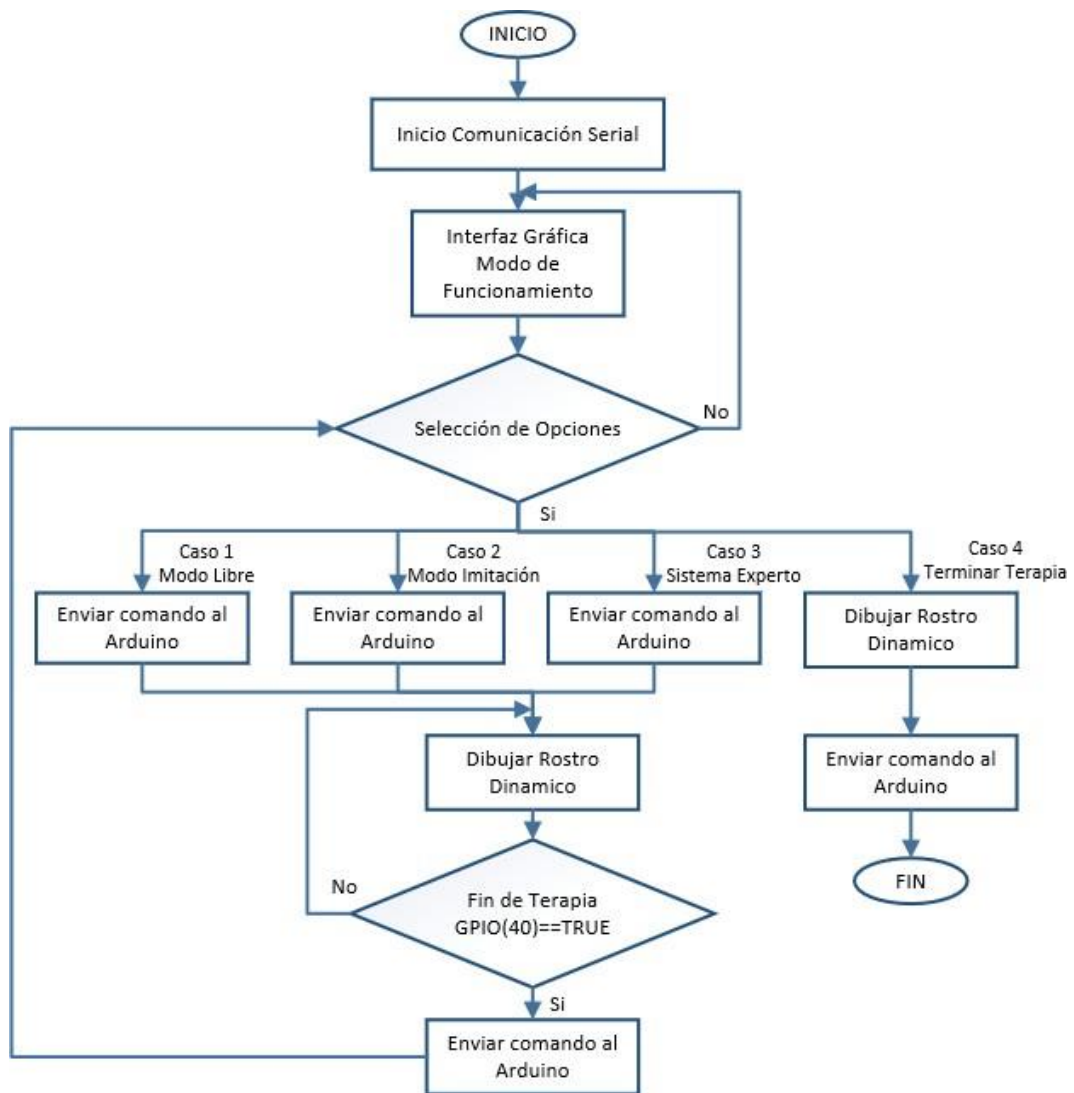


Figura 39. Diagrama de flujo en Python
Fuente: Autor

5.4.2 IDE ARDUINO.

La función del programa en Arduino es recibir los comandos mediante comunicación serial con el Raspberry para seleccionar el modo de funcionamiento llamando a las respectivas funciones, el robot toma la posición inicial según sea el modo de funcionamiento seleccionado y queda en espera de los comandos recibidos mediante bluetooth.

Con los comandos que recibe mediante bluetooth el programa se encarga de mandar los valores de las posiciones a los servomotores, velocidad y sentido de giro a los motores de las manos y de los pies, además el programa desactiva los

actuadores que no se utilizan en la terapia o ejercicio con la finalidad de reducir el consumo de corriente.

Para salir del modo de funcionamiento el programa recibe un comando desde el Raspberry que es enviado al momento de accionar el pulsante colocado en la parte posterior del asistente robótico, este comando lo que realiza es salir de la función en la que se encuentra y queda a la espera del nuevo comando para entrar a otro modo de funcionamiento, en la figura 40 se puede observar el diagrama de flujo del programa.

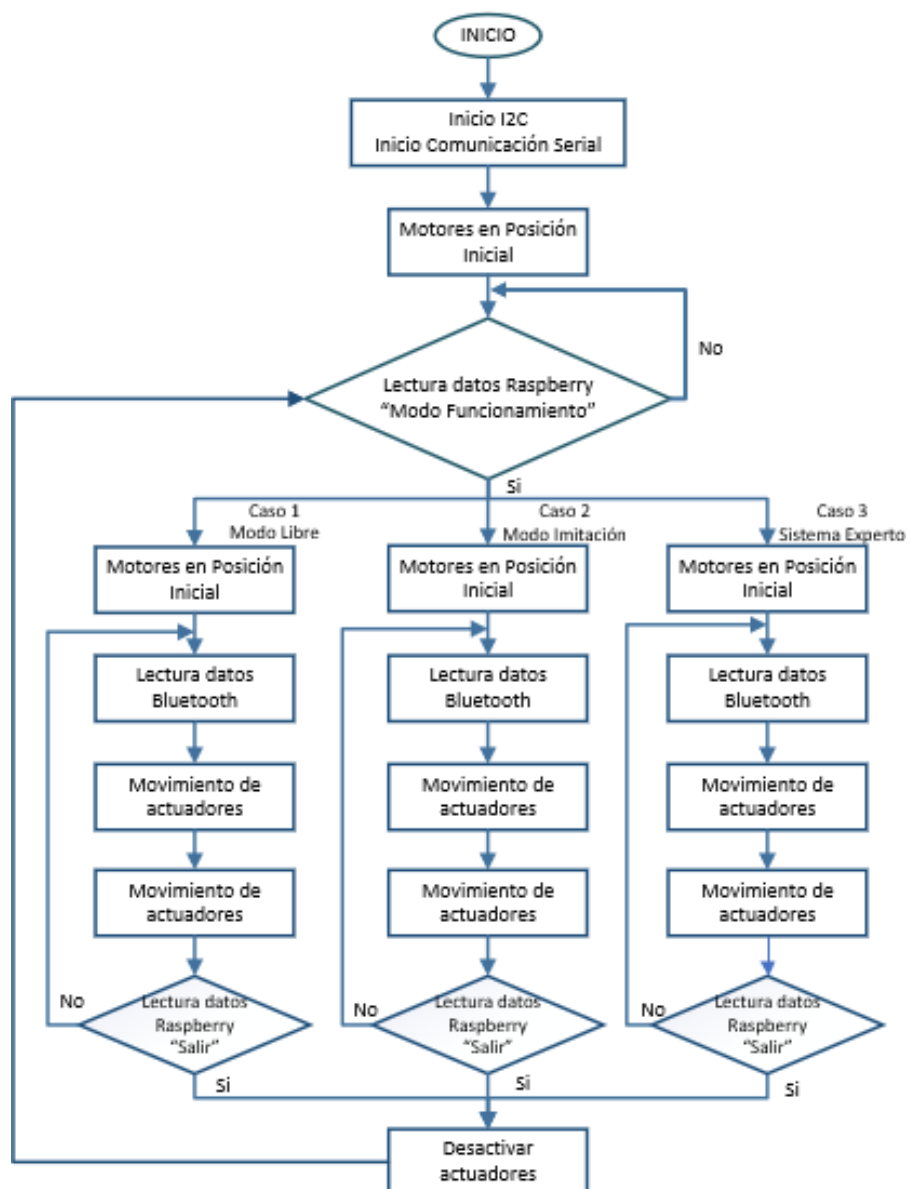


Figura 40. Diagrama flujo del programa en Arduino

Fuente: Autor

5.5DESARROLLO DEL MODELO DEL ASISTENTE ROBÓTICO EN EL SIMULADOR WEBOTS

Partiendo del ensamble en 3D del asistente robótico tanto de la estructura interna como de la estructura externa, se realizó la simulación dinámica del asistente robótico en la plataforma Webots con el objetivo de comprobar la movilidad de los eslabones y evitar colisiones, así como también pruebas de estabilidad al momento de trasladar al asistente robótico

5.5.1 DESCRIPCION PLARAFORMA WEBOTS

Webots es una aplicación de escritorio de código abierto que es utilizado para la simulación de robots. El software facilita un entorno de desarrollo para modelar o importar modelos CAD y colocar colores, texturas, sensores, etc., el control para simular el asistente robótico puede ser programado en C, C++, Python, Java, Matlab o ROS. [23]

Los nodos principales que se utilizaron en la construcción de la simulación del robot son: Robot, Shape, Solid, Group y HingeJoint

5.5.1.1 Nodo Robot

Es el nodo Base para construir un robot ya sea de tipo humanoide, articulado, móviles con ruedas, etc. El campo más importante del nodo robot es “Controller” que indica la dirección del programa que controla al asistente robótico simulado.

5.5.1.2 Nodo HingeJoint

Se utiliza para modelar el movimiento rotacional de un eje con 1 GDL, este nodo tiene 3 campos que deben ser configurados para lograr el movimiento rotacional al momento de ejecutar la simulación que son:

- JointParameters: En el campo “anchor” se colocan las coordenadas del punto por donde pasa el eje de rotación y en el campo “axis” se indica el eje de giro.

- Device: Se especifica el tipo de actuador, puede ser motor rotacional, dispositivo de freno o un sensor de posición.
- EndPoint: Indica que solido estará sujeto a las restricciones de la articulación. [24]

5.5.1.3 Nodo Solid

Representa a un objeto con propiedades físicas como dimensión, material, masa, etc., los campos que son necesarios configurar son:

- BoundingBox: Indica el objeto delimitador, el campo se utiliza para la detección de colisiones.
- Physics: Añade un campo opciones denominado “Physics” para simular efectos como gravedad, inercia, y fuerzas de fricción y contacto.

5.5.1.4 Nodo Shape

Utiliza para crear objetos renderizados, estos objetos están constituidos por una geometría y una apariencia, se trabajó con elementos CAD importados solo es necesario modificar el campo Appearance ya que el campo Geometry se configura con la forma generada en el software CAD.

- Appearance: Indica los atributos visuales como textura, color, material, transparencia, rugosidad, etc.
- Geometry: Contiene un nodo con la forma geométrica de la pieza como Caja, Cilindro, Cono, plano, etc.

5.5.1.5 Nodo Group

Contiene nodos secundarios o children que permite agrupar un sistema de coordenadas de un nodo hijo con respecto al sistema de coordenadas del nodo padre. [24]

5.5.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

El asistente robótico cuenta con 13 GDL como se puede observar en la figura 41 donde se indica la distribución y el nombre de los nodos de tipo junta encargados de brindar el movimiento rotacional a los elementos.

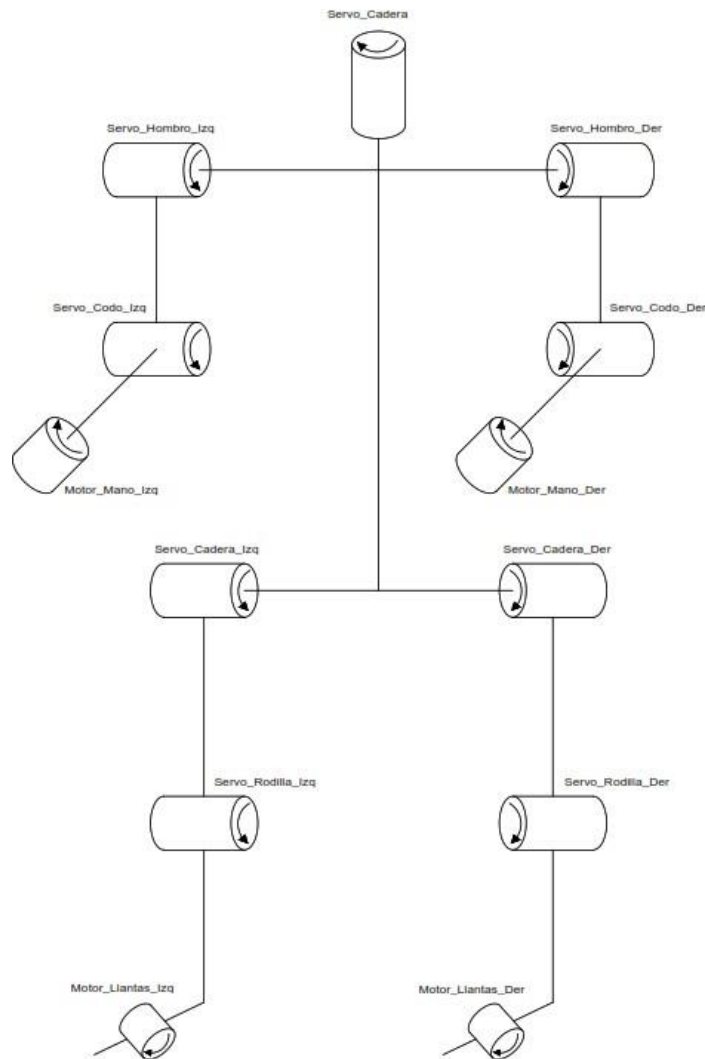


Figura 41. Diagrama de GDL del asistente robótico

Fuente: Autor

En la tabla A.1 y A.2 (Apéndice A) se indica el nombre de los elementos que se toman como referencia para crear la estructura jerárquica y facilitar la construcción del modelo. El robot cuenta con un total de 18 piezas de la estructura interna y 20 piezas de la estructura externa, el modelo es ensamblado en el software Inventor y se importan en la plataforma Webots en formato VRML.

La figura 42, muestra la estructura jerárquica principal de los nodos del asistente robótico que se toma como referencia para la construcción del modelo, cuenta con un nodo de tipo *Group* denominado CUERPO cuyos hijos son los elementos que tipo *Shape* compuesto por 5 servomotores, la estructura interna y externa del torso y la cadera, la estructura jerárquica principal también cuenta con 5 nodos de tipo *HingeJoint* que representan los GDL para el movimiento de la cabeza, extremidades superiores e inferiores, cada nodo tiene sus respectivos hijos compuestos por un grupo de eslabones para conectar las articulaciones con otros los otros hijos de tipo *HingeJoint* de menor nivel o estructura jerárquica indicados en las figuras 42 y 43.

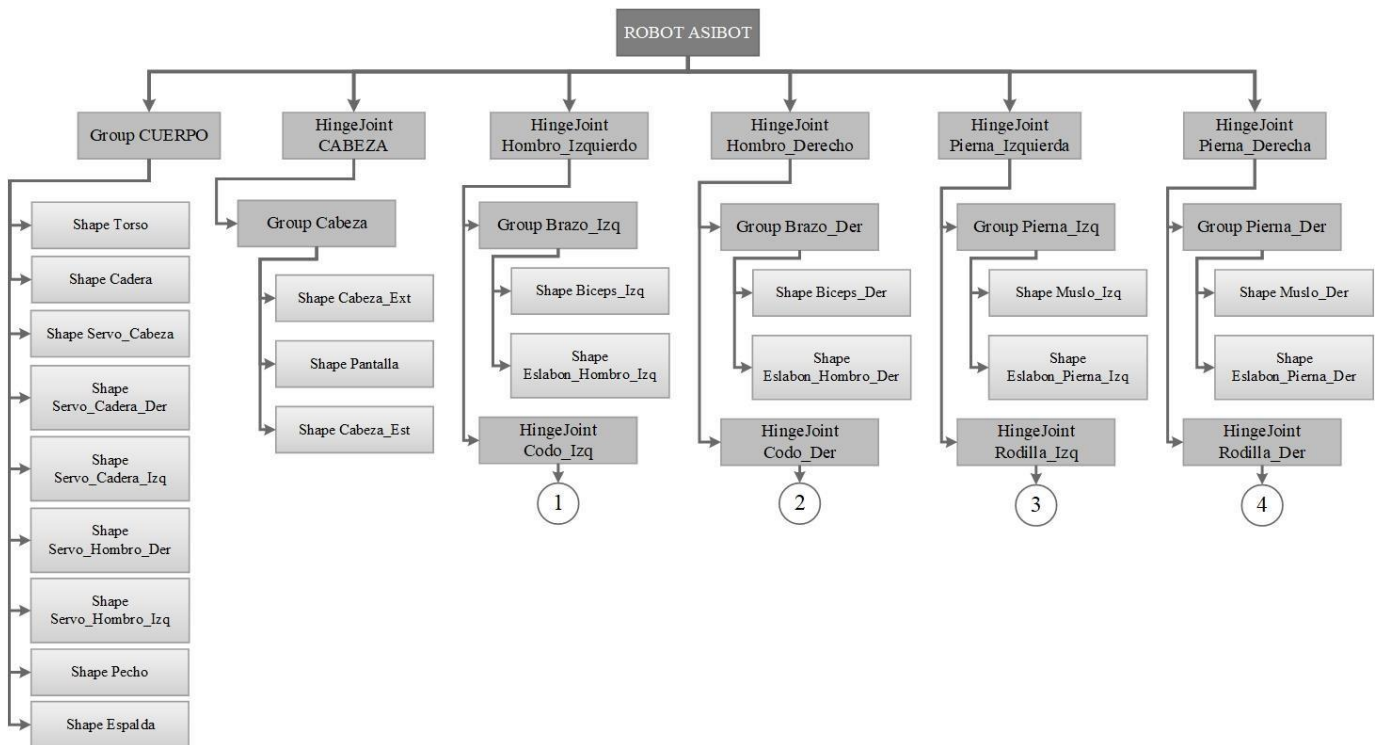


Figura 42. Estructura jerárquica de los nodos del asistente robótico

Fuente: Autor

La figura 43 indica la estructura jerárquica para el movimiento rotacional del antebrazo y de las manos, está compuesto principalmente por un grupo de eslabones para conectar la articulación del codo con el nodo de tipo *HingeJoint* para la rotación de las manos.

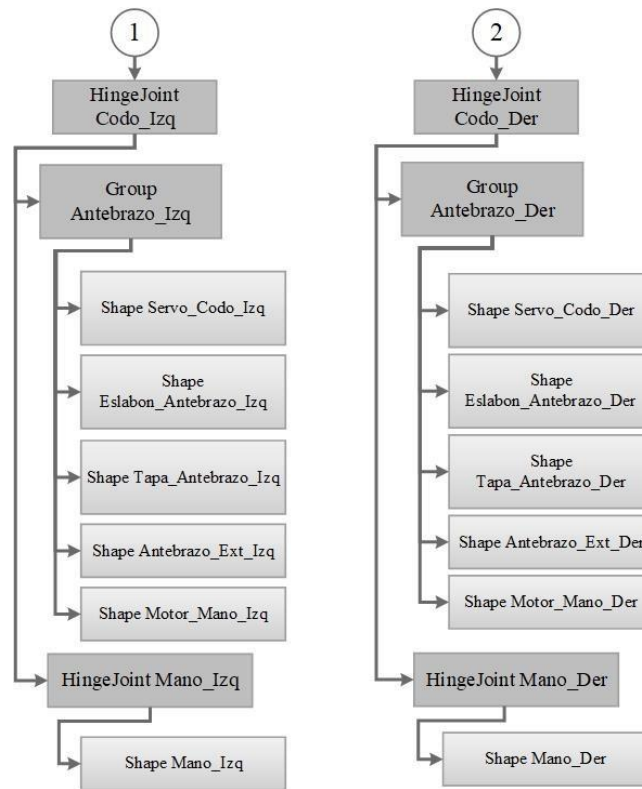


Figura 43. Estructura jerárquica del movimiento de los antebrazos
Fuente: Autor

De igual manera en la figura 44 muestra la estructura jerárquica para el movimiento rotacional de la antepierna, está compuesto por un grupo de eslabones para conectar la articulación de la rodilla o con el elemento rotacional para la traslación del robot mediante un nodo de tipo *HingeJoint* y un par de llantas para cada pie representadas por nodo de tipo *Group*.

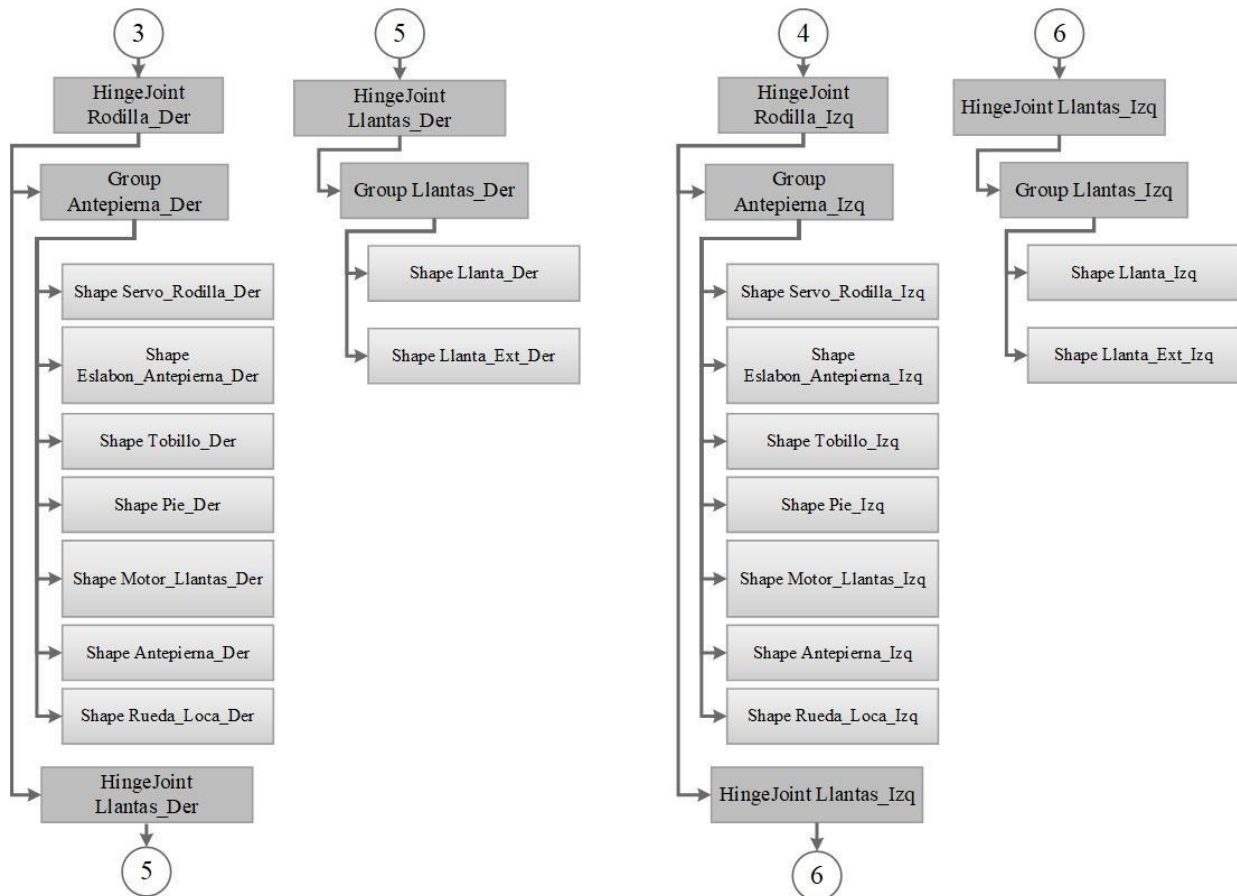


Figura 44. Estructura jerárquica del movimiento de las ante piernas y la traslación

Fuente: Autor

El modelo final del asistente robótico se indica en la figura 45, para comprobar la movilidad se tiene un controlador realizado en C el cual permita el movimiento de los 13 GDL mediante la pulsación de las teclas del computador, la ventaja de utilizar un simulador para el asistente robótico es comprobar el movimiento correcto de los elementos rotacionales de cada GDL evitando colisiones entre elementos, análisis de estabilidad o validar el funcionamiento ahorrando recursos económicos y de tiempo ya que no es necesaria la construcción del robot o de una nueva sección para probar el funcionamiento y en el caso de encontrar fallas las mejoras se realizarían en software hasta tener un modelo optimo y así tener un porcentaje bajo de fallas al comento de construir el prototipo final.

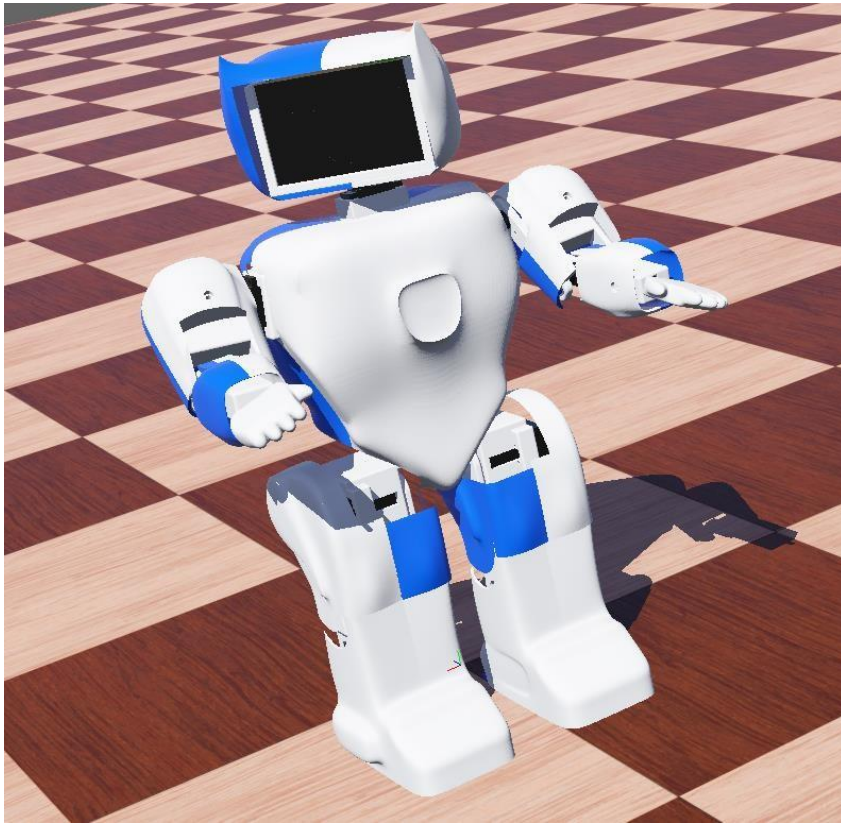


Figura 45. Modelo del asistente robótico en la plataforma Webots

Fuente: Autor

6. RESULTADOS Y VALIDACIÓN

Para la validación de un proyecto de cualquier índole es necesario realizar un plan de experimentación para obtener resultados cuantitativos acerca del proyecto que validen o no el objetivo general. En este capítulo mostramos el plan de experimentación que usamos para este proyecto, el cual se alteró en el tiempo debido a la crisis sanitaria que atraviesa el mundo actualmente.

6.1 PLAN DE EXPERIMENTACIÓN PILOTO

La primera propuesta para el plan de experimentación en base a lo acordado entre los autores, el director del proyecto y las personas en el ámbito de educación que nos asesoran era la siguiente:

Tabla 9. Plan de Experimentación Piloto

Lugar	Las instituciones de educación especial con las cuales la Universidad mantiene convenios activos.
Tiempo	15 Días
Fecha	Finales del mes de Marzo.
Muestra	Se esperaba contar con al menos 30 pacientes definidos por los objetivos del proyecto.
Actividades	Realizar terapias utilizando al Asistente Robot Asibot.
Método de Comprobación	Se iba a realizar una encuesta a los profesionales que trabajan en las terapias, al menos con una muestra de 30 personas.

Para las actividades dentro de las terapias se tenía pensado en trabajar todas las articulaciones y grados de libertad del asistente, además de todos los modos con los

que también cuenta. A continuación, se coloca los movimientos del Asistente tanto de pie como acostado cabeza hacia arriba y hacia abajo.

MOVIMIENTOS DEL ROBOT DE PIE

CALENTAMIENTO

Para esta primera parte de la terapia, se sugiere que el paciente realice un calentamiento para que tome una postura idónea hacia los distintos movimientos que se va a realizar a lo largo de la misma.

Se comienza con movimientos simultáneos, de parte de los brazos, al menos unas 5 repeticiones en todos los ejercicios de esta parte.

MOTOR	GRADOS INICIAL	GRADOS FINAL
HOMBRO IZQUIERDO	0	180
HOMBRO DERECHO	0	180

Así mismo, el calentamiento sigue en la posición de los brazos.

MOTOR	GRADOS INICIAL	GRADOS FINAL
HOMBRO IZQUIERDO	180	90
HOMBRO DERECHO	180	90

Y como ejercicio final de calentamiento en los brazos, se incluirá el movimiento de los codos.

MOTOR	GRADOS INICIAL	GRADOS FINAL
HOMBRO IZQUIERDO	90	90
HOMBRO DERECHO	90	90
CODO IZQUIERDO	0	110
CODO DERECHO	0	110

Una vez acabado el calentamiento, todos los motores que ejecutan los movimientos vuelven a su estado inicial o a 0 grados.

Finalmente se calentará toda la parte de las extremidades inferiores.

Se comenzará con leves movimientos, apoyados en la cadera, al igual que en el calentamiento anterior, se sugiere que se realicen al menos 5 repeticiones, estos movimientos de los pies no serán de manera simultánea, sino secuencial.

MOTOR	GRADOS INICIAL	GRADOS FINAL
CADERA IZQUIERDA	0	30
CADERA DERECHA	0	30

Ahora se incluirá movimientos de rodilla, así mismo de manera secuencial y no simultánea.

MOTOR	GRADOS INICIAL	GRADOS FINAL
RODILLA IZQUIERDA	0	90
RODILLA DERECHA	0	90

El calentamiento termina con el movimiento de las manos y de la cabeza, así mismo estos movimientos serán secuenciales.

MOTOR	GRADOS INICIAL	GRADOS FINAL
CABEZA	90	180
CABEZA	180	0

Las manos al poseer motores reductores y no servomotores, no se les pueden asignar un grado específico, por lo que se trata de que el movimiento sea libre e idónea para calentamiento.

MOVIMIENTOS DEL ROBOT ACOSTADO (CABEZA HACIA ARRIBA)

Después de un análisis con expertos en el área de terapia física, se concluyó que dentro de terapias debe existir movimientos mientras el robot esté acostado, de tal manera que los pacientes adopten una posición tanto boca arriba como boca abajo.

Dentro de la posición cuando el paciente queda boca arriba, se tiene los siguientes movimientos, al igual que en los calentamientos se realizarán al menos 5 repeticiones.

Se comienzan por los brazos, estos movimientos serán simultáneos.

MOTOR	GRADOS INICIAL	GRADOS FINAL
HOMBRO IZQUIERDO	0	90
HOMBRO DERECHO	0	90

Otro ejercicio validado en esta posición es utilizar las caderas y las rodillas, en este caso los movimientos serán secuenciales, tanto para la izquierda como para la derecha.

MOTOR	GRADOS INICIAL	GRADOS FINAL
CADERA IZQUIERDA	0	90
RODILLA IZQUIERDA	0	90
RODILLA IZQUIERDA	90	0
CADERA DERECHA	0	90
RODILLA DERECHA	0	90
RODILLA DERECHA	90	0

MOVIMIENTOS DEL ROBOT ACOSTADO (CABEZA HACIA ABAJO)

De igual manera el robot tendrá que tomar una posición acostada de manera invertida, para que los pacientes queden boca abajo, se trabajaran con la siguiente secuencia de movimientos, así mismo al menos 5 repeticiones de cada ejercicio.

MOTOR	GRADOS INICIAL	GRADOS FINAL
RODILLA IZQUIERDA	0	90
RODILLA DERECHA	0	90

MOVIMIENTOS DEL ROBOT SENTADO.

Otra posición que adoptan los pacientes dentro de las terapias es la de hacer movimientos mientras están sentados, es por eso que el asistente robótico también adoptará esta posición en el proceso de las terapias. Al igual que todas las anteriores posiciones y movimientos, se recomienda como mínimo 5 repeticiones y de una manera secuencial.

Se comenzará con el movimiento de las rodillas, ya que son las que presentan más movilidad en esta posición.

MOTOR	GRADOS INICIAL	GRADOS FINAL
RODILLA IZQUIERDA	0	90
RODILLA DERECHA	0	90

Por otro lado, en esta posición también se sugiere que realice movimientos de la cabeza y de las manos, como se explicó anteriormente las manos se mueven de una manera libre al no contar con servomotores.

MOTOR	GRADOS INICIAL	GRADOS FINAL
CABEZA	90	180
CABEZA	180	0

MOVIMIENTOS SIMPLES PARA EL SISTEMA EXPERTO

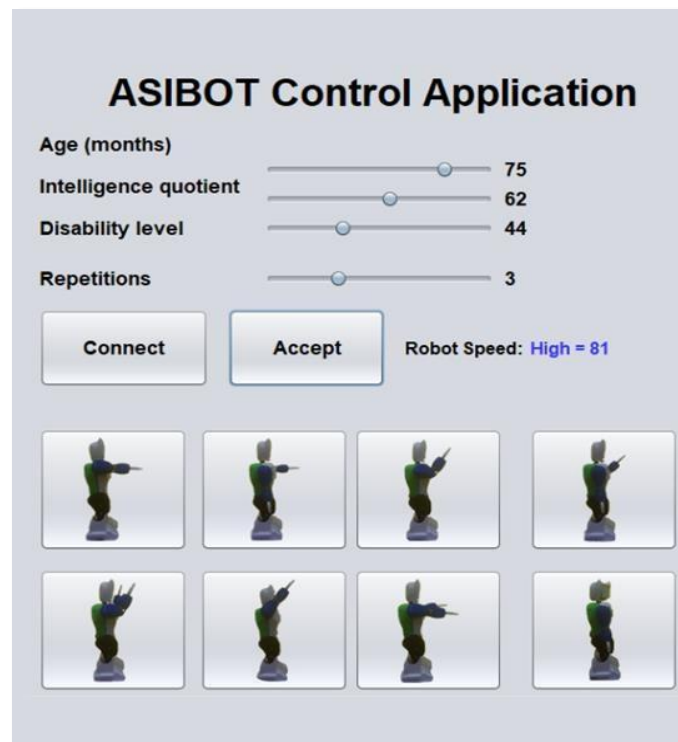


Figura 46. Movimientos del sistema experto
Fuente: Autor

La encuesta que se realizó para la experimentación piloto fue validada por la Dra. Yaroslva Robles y el Dr. Vladimir Robles, el mismo consta de 12 preguntas relacionado con el Asistente Robótico ASIBOT, la encuesta está estructurado de la siguiente manera:

ENCUESTA SOBRE LA PERCEPCIÓN DE DOCENTES DEL INSTITUTO DE PARÁLISIS CEREBRAL DEL AZUAY (IPCA) ACERCA DEL DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DEL ASISTENTE ROBÓTICO PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ “ASIBOT”

Esta encuesta tiene por objetivo determinar la percepción de los docentes del Instituto de Parálisis Cerebral del Azuay acerca del diseño y funcionamiento del Asistente Robótico para niños con discapacidad motriz “ASIBOT”

- Apellidos _____ y _____ Nombres: _____
 - Indique su género: Femenino Masculino
 - Edad: _____
 - **Indique su profesión:** _____
 - **Si es docente, indique clases de qué asignatura imparte:** _____
 - **Indique sus años de experiencia profesional:** _____
 - **Indique si trabaja con niños que presentan discapacidad motriz: Sí No**
 - **Indique cuántos años de experiencia tiene trabajando con niños que presentan discapacidad motriz: _____**
1. **¿Usted cree que las instituciones (Educación Especial) del país deben tener algún dispositivo de asistencia para sus terapias (asistente robótico)?:**
[] Si
[] No
 2. **¿El Instituto de Parálisis Cerebral del Azuay posee algún dispositivo de asistencia para terapias de niños con discapacidad motriz?:**
[] Si
[] No
 3. **¿Usted cree que se debería usar asistentes robóticos en las terapias con niños que presentan discapacidad motriz?:**
[] Totalmente de acuerdo
[] De acuerdo
[] Ni de acuerdo ni en desacuerdo
[] En desacuerdo
[] Totalmente en desacuerdo

4. ¿Qué opina del diseño del robot?:

- Me gusta muchísimo
- Me gusta mucho
- Me gusta
- Me gusta muy poco
- No me gusta en lo absoluto

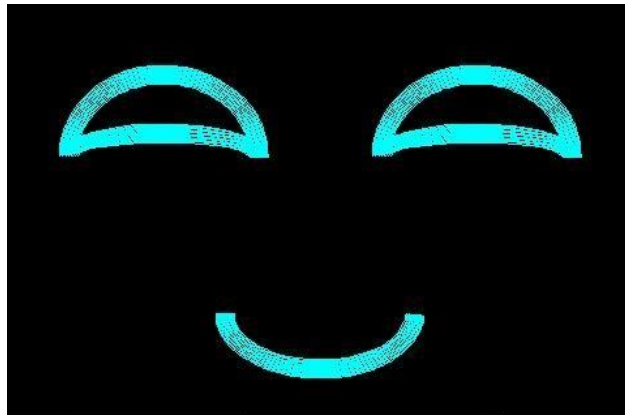
5. ¿Qué opina acerca de los colores del robot?:

- Totalmente adecuados
- Adecuados
- Ni adecuado ni Inadecuado
- Inadecuado
- Totalmente Inadecuado

6. ¿Qué opina de las dimensiones del robot?:

- Demasiado grande
- Grande
- Suficiente
- Un poco pequeño
- Demasiado pequeño

7. ¿Qué opina que el asistente robótico muestre expresiones a través de la pantalla?:



- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

8. ¿Qué opina acerca de las velocidades de los movimientos de las articulaciones del asistente robótico?:

- Totalmente adecuados
- Adecuados
- Ni adecuado ni Inadecuado
- Inadecuado
- Totalmente Inadecuado

- 9. ¿Cree usted que el asistente robótico cuenta con los grados de libertad necesarios (movimientos de cada articulación)?:**
- Totalmente de acuerdo
 - De acuerdo
 - Ni de acuerdo ni en desacuerdo
 - En desacuerdo
 - Totalmente en desacuerdo
- 10. ¿Qué opina acerca de la selección de tipo de terapia en la pantalla del asistente?:**
- Totalmente útil para el terapeuta
 - Útil para el terapeuta
 - Ni útil ni no útil
 - Poco útil para el terapeuta
 - Nada útil para el terapeuta
- 11. ¿Cree usted que el asistente robótico puede incrementar la motivación de los niños para realizar ejercicios que mejoren la habilidad motriz?:**
- Totalmente de acuerdo
 - De acuerdo
 - Ni de acuerdo ni en desacuerdo
 - En desacuerdo
 - Totalmente en desacuerdo
- 12. ¿Cree usted que el asistente robótico pueda ayudar a los niños con discapacidad motriz a desarrollar habilidades motrices?:**
- Totalmente de acuerdo
 - De acuerdo
 - Ni de acuerdo ni en desacuerdo
 - En desacuerdo
 - Totalmente en desacuerdo

6.2 PLAN DE EXPERIMENTACIÓN POR LA EMERGENCIA

Una crisis sanitaria azoto y cambio el mundo por completo, el 17 de marzo de 2020 se estableció la emergencia sanitaria obligatoria para todos los ciudadanos del país, lo cual supuso un cese en todas las funciones y proyectos que se realizaban en la Universidad. Por este motivo no se puso realizar el plan piloto de experimentación presentado anteriormente debido a que actualmente todas las escuelas, colegios y centros especializados continúan cerradas debido al alto riesgo que presentan los estudiantes. Por este motivo se tuvo que reestructurar este objetivo y se realizó un nuevo plan de experimentación por la emergencia.

Al no poder acceder de manera presencial a los centros, se buscó la manera de poder contactarnos con profesionales del área de la discapacidad física y de terapias de rehabilitación, por lo que el grupo en base a los convenios que mantiene con varias instituciones y apelando siempre a la buena voluntad de todos estos profesionales, se les pidió de la manera más comedida participar de un encuentro virtual para la validación del Asistente Robótico Asibot. La socialización tuvo el siguiente orden del día:

1. Presentación del evento

2. Intervención de la Lcda. Paola Suquilanda, estudiante de la Maestría en Educación Especial de la Universidad Politécnica Salesiana

3. Demostración de la funcionalidad del asistente robótico por parte de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, Sr. Víctor Uguña y Sr. Brian Pinos de la Universidad Politécnica Salesiana.

4. Invitación a la validación del asistente robótico mediante el link que se encuentra en el chat del evento.

A continuación, se describe la propuesta del plan de experimentación y validación por Emergencia:

Tabla 10. Plan de Experimentación por la Emergencia

Lugar	Mediante la plataforma Zoom, mismo que fue prestado por el Grupo de Investigación.
Número de Participantes	Alrededor de 60 personas
Instituciones Participantes.	Centro Stephen Hawking, Fundación Hope, Unidad Educativa Especial Agustín Cueva tamariz, Escuela de Educación Básica San José de Calasanz entre otras.
Fecha	21/08/2020

Actividades	Se realizó la validación del Asistente, para eso se presentó un documento con los puntos más importantes de proyecto y se hizo una demostración en vivo en la plataforma del encuentro.
Método de Comprobación	Se realizó una encuesta a todos los participantes, para este punto se utilizó la encuesta mostrada anteriormente.
Muestra	La encuesta fue respondida por 45 personas, lo que representa un número aceptable para una distribución normal.



Figura 47. Validación del Asistente Robótico.

Fuente: Autor

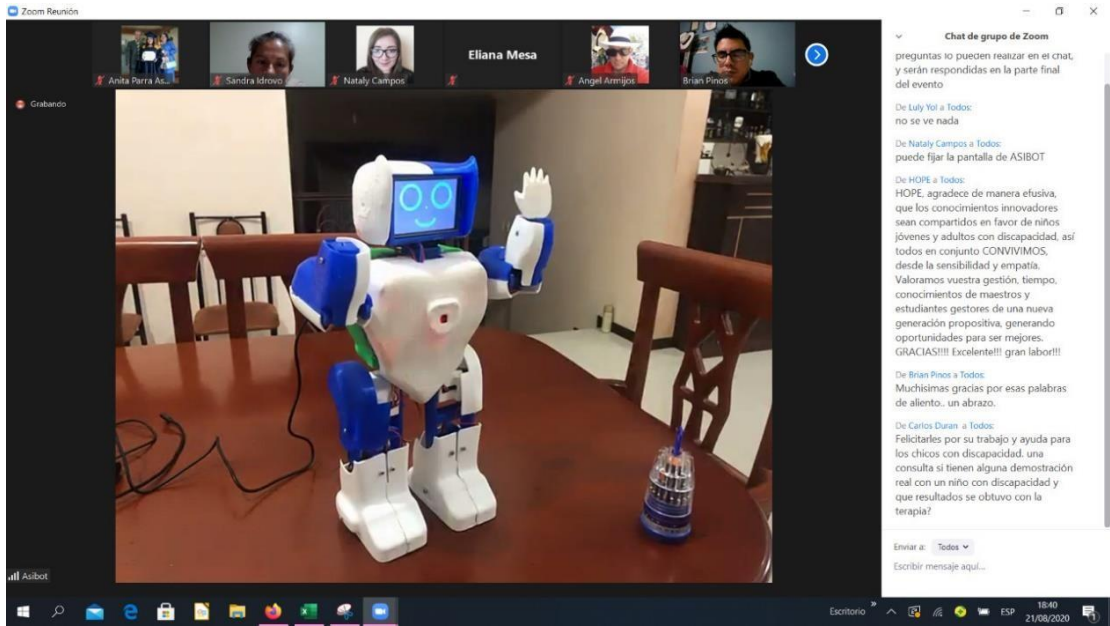


Figura 48. Validación del Asistente Robótico.
Fuente: Autor

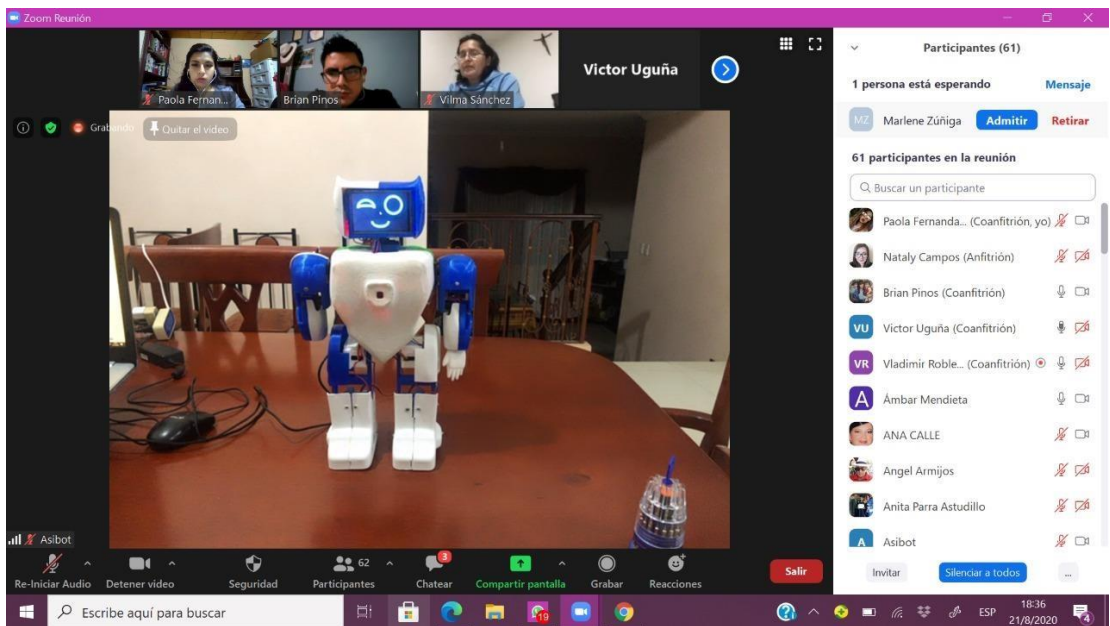


Figura 49. Validación del Asistente Robótico.
Fuente: Autor

6.2.1 ESTUDIO PRELIMINAR DE LA PERCEPCIÓN DE LOS MAESTROS QUE TRABAJAN CON NIÑOS CON DISCAPACIDAD:

A fin de determinar la real posibilidad de incorporar el asistente robótico en el trabajo que se lleva a cabo en instituciones de educación especial, se realizaron varias sesiones demostrativas del robot con expertos del área de educación especial. Asimismo, el objetivo de este proceso se centró en establecer la percepción que tienen los maestros que trabajan con niños con dificultades motoras con respecto a diversas características del robot, como las que se detallan a continuación:

- Funcionalidades (grados de libertad, velocidad de movimiento del robot, estímulos kinestésicos, tipos de terapia que brinda).
- Características físicas (dimensiones, colores y acabados, diseño/forma del robot).
- Posibilidad de integración en los centros (nivel de motivación que podría generar en los niños, soporte en el desarrollo de habilidades motrices/rehabilitación)

Para ello, se diseñó una encuesta consistente en 12 preguntas relacionadas con el asistente robótico y 6 preguntas que permitieron obtener información demográfica de los expertos participantes. Dicha encuesta se aplicó a un total de 43 participantes de diversas instituciones de educación especial del Azuay (Instituto de Parálisis Cerebral del Azuay – IPCA, Fundación HOPE, Escuela de Educación Especial “San Juan de Jerusalén”). Como se puede apreciar en la Tabla 10, el rango de experiencia de los participantes va desde los 5 meses (0.41 años) hasta los 30 años, teniendo una desviación estándar amplia de 9.41 y un promedio de 12.56.

Tabla 12. Estadísticos descriptivos de los años de experiencia de los participantes.

Fuente: Autor

<i>Número de participantes</i>	<i>Min (años de experiencia)</i>	<i>Max (años de experiencia)</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación estándar</i>
43	0.41	30	12.56	9.41

De este grupo participaron 34 mujeres y 9 hombres, distribuidos principalmente en las siguientes áreas de trabajo:

- Educación Inicial
- Expresión Artística y Computación – DECE (Departamento de Consejería Estudiantil)
- Lengua y Literatura
- Educación Básica Funcional
- Fisioterapia
- Terapia Física
- Estimulación Temprana
- Educación Sexual
- Educación Especial

En la Figura 50 se puede apreciar los resultados que se obtuvieron en relación a las siguientes preguntas:

- Pregunta 1: ¿Usted cree que se debería usar asistentes robóticos en las terapias con niños que presentan discapacidad motriz?
- Pregunta 2: ¿Qué opina acerca de los colores del robot?
- Pregunta 3: ¿Qué opina que el asistente robótico muestre expresiones a través de la pantalla?
- Pregunta 4: ¿Cree usted que el asistente robótico cuenta con los grados de libertad necesarios (movimientos de cada articulación)?

Como se puede observar, el 62,79% de los expertos está totalmente de acuerdo en que considera oportuno usar asistentes robóticos para las terapias que se llevan a cabo con niños con discapacidad motriz. Dentro de ese mismo criterio, el 34,8% está de acuerdo, y únicamente el 2,3% no está de acuerdo ni en desacuerdo. Este punto es clave, ya que la mayoría de los expertos coinciden en la utilidad de contar con este tipo de herramientas para el proceso de rehabilitación de niños con discapacidad motriz.

En cuanto a los colores del robot, el 32,55% está totalmente de acuerdo, el 62,79% está de acuerdo y únicamente el 4,6% no está de acuerdo ni en desacuerdo. Esto es muy positivo ya que indica que el aspecto visual es considerado adecuado para los expertos que trabajan con los niños.

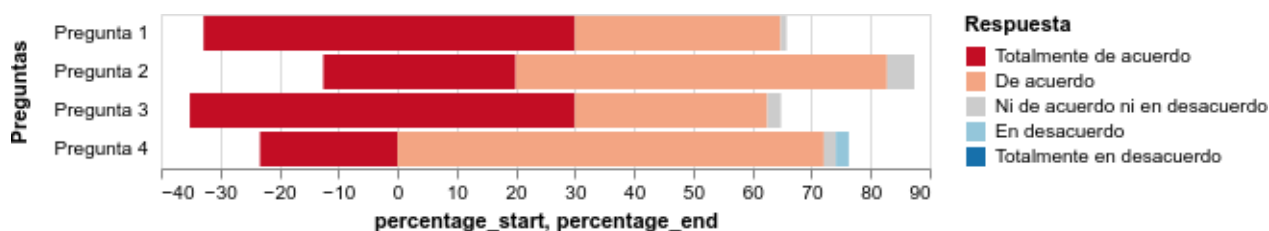


Figura 50. Percepciones de los expertos con respecto a las preguntas 1, 2, 3 y 4
Fuente: Autor

Por otra parte, en cuando a la opinión que tienen los expertos acerca de que el robot muestre expresiones en pantalla, el 65,11% está totalmente de acuerdo, el 32,55% está de acuerdo y sólo el 2,3% no está de acuerdo ni en desacuerdo. Con ello, se confirma que las expresiones son fundamentales para poder brindar estímulos kinestésicos a los niños que reciben la terapia con apoyo del asistente robótico.

En cuanto a los grados de libertad del robot (pregunta 4), el 23,25% de los encuestados coinciden en que están totalmente de acuerdo con los movimientos que puede hacer el robot, el 72,09% está de acuerdo, el 2,3% no está de acuerdo ni en desacuerdo y el 2,3% no está de acuerdo con los movimientos que puede realizar el robot. Con ello, igualmente se confirma que el robot posee un adecuado número de grados de libertad, lo que permitirá que las terapias se puedan realizar de la mejor manera.

7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

7.1 CONCLUSIONES

Se realizó una investigación sobre la discapacidad y tecnología basada en robótica educativa para pacientes con discapacidad física, este análisis en conjunto a las reuniones que se mantuvo con expertos en el área de terapia física con niños que fueron necesarias para las ideas y diseños preliminares del Asistente Robótico Asibot, además se comprobó que en el país no existe este tipo de tecnología por distintos factores siendo el más importante el recurso económico.

Se utilizó softwares de Ingeniería accesibles, gratuitos y utilizados a lo largo de la carrera por parte de los autores para el diseño mecatrónico del asistente capaz de realizar movimientos 2D, en la parte mecánica se dividió en diseño interior y exterior utilizando programas CAM, logrando los 9 grados de libertad requeridos, además se sumó 4 grados de libertad adicionales, para la parte electrónica se utilizó Eagle para el diseño de las placas del asistente.

El diseño tanto mecánico como electrónico tuvo un proceso de alrededor de 8 meses desde el primer prototipo hasta la versión final, los cambios en este tipo de proyectos de índole social se dan a factores como ideas o mejoras por parte de profesionales en el campo de estudio donde actuara, recomendaciones del tutor y mejoras en base a observaciones y análisis sistemáticos que salen de los autores, todo este proceso representa una mejora continua del Asistente Robótico hasta su versión presentada.

Se utilizó el proceso de manufactura 3D para la elaboración del prototipo utilizando como material base PLA tanto para la parte interna y externa del asistente, este proceso ayuda a reducir costos y tiempo de elaboración.

Mediante la validación realizada y en base a los resultados de las encuestas, Asibot representa una nueva alternativa dentro de las terapias de rehabilitación para los niños con Discapacidad Física delimitados en los objetivos pero con la oportunidad de ampliar este límite de edad para poder ayudar a más pacientes dependiendo de cada terapia, este propósito cumple con la finalidad del Grupo de

Investigación GIATA y Catedra UNESCO de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca.

Se realizó una Interfaz Gráfica que da el acceso a cada uno de los modos de trabajo, así como la propuesta del Sistema Experto los cuales son objetivos que no estaban contemplados al inicio del proyecto, todo evoluciono a partir de las necesidades de las terapias que fuimos investigando en el camino junto a expertos en el área.

7.2 TRABAJOS FUTUROS

Dentro del diseño exterior se colocó un espacio para una cámara que se puede conectar al Raspberry dentro del Asistente Robótico, este servirá para procesos que contemplen el uso de la Inteligencia Artificial dentro de las terapias, como por ejemplo el reconocimiento de gestos de los pacientes para saber cómo avanza la terapia.

Se elaboró los diseños mecánicos de un andador que se acoplara al Asistente para que este pueda simular un recorrido ayudándose de este dispositivo, esto con la finalidad de que los pacientes que usan un andador en la vida real, se motiven a las terapias y vean las ventajas de utilizarlo.

Como mencionamos previamente el diseño mecánico y electrónico también se le puede mejorar en base a análisis previos, por lo tanto, se le puede hacer mejoras basados en los resultados que se obtengan de las primeras terapias donde actué el Asistente Robótico.

8. RECOMENDACIONES

Utilizar el asistente robótico en presencia de un profesional terapeuta para evitar daños en el sistema y prevenir golpes o mal uso.

Capacitar al personal de los centros de rehabilitación sobre los modos de funcionamiento del asistente robótico.

Realizar un mantenimiento preventivo quimestral del asistente para aumentar la vida útil.

No permitir el acceso directo al asistente robótico de usuarios ajenos a la terapia debido a que no tienen el conocimiento necesario para utilizarlo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] P. Morales, "La robótica educativa: una oportunidad para la cooperación en las aulas", *Innovación docente y uso de las TIC en educación*, Málaga: UMA editorial, 2007.

[2] "«Consejo Nacional para la igualdad de Discapacidades: CONADIS»", [En Línea].

Disponible en: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/>.

[3] S. Meyer, Ch. Fricke, "Asistentes robóticos en la terapia de apoplejía: un estudio de usuario sobre la eficacia de la robótica asistencial en 30 pacientes en rehabilitación neurológica", 2017, Simposio Internacional en Robots y comunicación interactiva humana (RO-MAN IEEE).

[4] M. Hurtado, J. Aguilar, A. Mora, C. Sandoval, C. Peña, A. León, "Identificación de las barreras del entorno que afectan la inclusión social de las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores", Colombia, 2012.

[5] "Agenda Nacional para la Igualdad de Discapacidades", Consejo Nacional para la igualdad de discapacidades, Quito, 2017.

[6] "Discapacidad Motriz: Guía Didáctica para la inclusión en educación inicial y básica", México, 2010.

[7] Organización Mundial de la Salud, “Protocolo para Detección de Alteraciones en el Desarrollo Infantil”, México, 2016.

[8] L. Calderita, P. Bustos, C. Suarez, F. Fernández, R. Viciano, A. Bandera, “Asistente Robótico Socialmente Interactivo para Terapias de Rehabilitación Motriz con Pacientes de Pediatría”, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática, Espa*, 2014.

[9] S. Barja, C. Muñoz, N. Cancino, A. Núñez, M. Ubilla, R. Sylleros, R. Riveros, R. Rosas, “Estimulación audiovisual en niños con limitación grave de la motricidad: ‘¿mejora su calidad de vida?’”, *Rev Neurol* 2013, 57:103-11.

[10] M. Heron, P. Gil, M. Sóez, “Contribución de la terapia psicomotriz al progreso de niños con discapacidades”, *Rev. Fac. Med.* 2018 Vol. 66 No. 1: 75-81.

[11] E. Velasco “*Innovación en el aprendizaje de las ciencias y la tecnología*”, Madrid, Ediciones Díaz de Santos, 2007.

[12] M. Ochoa, D. Pulla, V. Robles, M. López, M. Carpio, J. García, “Un sistema híbrido basado en asistentes robóticos y aplicaciones móviles para brindar soporte en la terapia de lenguaje de niños con discapacidad y trastornos de la comunicación”, 2017, Campus Virtual.

[13] “«Un robot de Peluche ayudara a Rehabilitar a niños con Discapacidades»”, [En Línea].

Disponible en: <https://www.fayerwayer.com/2011/03/un-robot-de-pelucho-ayudara-a-rehabilitar-a-ninos-discapacitados/>

[14] “Un robot terapeuta ayuda a los niños con sus ejercicios de rehabilitación”, *Tendencias 21*, [En línea]. Disponible en:

<https://www.tendencias21.net/Un-robot-terapeuta-ayuda-a-los-ninos-con-sus-ejercicios-de-rehabilitacion_a40256.html>.

[15] Dickstein-Fischer LA, Crone-Todd AE, Chapman IM, Fathima A, Fischer GS, “*Socially Assistive Robots: Current status and future prospects for autism interventions, Innovation and Entrepreneurship in Health*”, Vol 2018, No 15, pp 15-25, June 2018.

- [16] J. Jiménez, “Análisis y Simulación del Robot Bípedo Pasibot”, proyecto de fin carrera, Univ. Carlos III de Madrid, 2011 [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/30044283.pdf>.
- [17] J. Jiménez, “Modelado y Simulación del robot Pasibot. Estudio de la rigidez y mejora en la prevención del vuelco lateral”, proyecto de fin carrera, Univ. Carlos III de Madrid, 2011 [En línea]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7792/PFC_Victor_Espantoso_Miranda.pdf;jsessionid=9E57DF3018FF405D4143E971157AE2BB?sequence=1
- [18] Serna, Liliana & Stouvenel, Aida & A., Fred. (2011). Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones. Ingeniería y Competitividad.
- [19] A. Barrientos, “Fundamentos de Robótica”, Madrid: McGraw W-Hill, 1997.
- [20] J. Sánchez. “Análisis, Modelado, Control y Aplicaciones de Robot 2 GDL de Accionamiento Directo”, proyecto Fin de Grado, Universidad de Sevilla, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/92193/fichero/TFG-2193-SANCHEZ.pdf>
- [21] “«Tutorial Modo Controlador de Servos PCA9685 con Arduino»”, [En Línea]. Disponible en: https://www.naylampmechatronics.com/blog/41_Tutorial-M%C3%B3dulo-Controlador-de-servos-PCA9685.html
- [22] S. Badaro, L. Ibañez, M. Agüero, “Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones”, *Ciencia y Tecnología*, vol. 13, pp. 349-364, octubre, 2013.
- [23] Cyberbotics Ltd., “Webots” [En línea]. Disponible en: <https://www.cyberbotics.com/#cyberbotics>.
- [24] Cyberbotics Ltd., “Nodes and API Functions” [En línea]. Disponible en: <https://www.cyberbotics.com/doc/reference/nodes-and-api-functions>.
- [25] M. Pareja, *Diseño y desarrollo de circuitos impresos con KICAD*, [En línea]. Disponible en: http://www.rlibros.es/pdf/cap_KiCad.pdf.

10. ANEXOS

ANEXO A: TABLAS CON NOMBRES Y MASAS DE LOS ELEMENTOS

Tabla A 1. *Nombres y masas de los elementos de la estructura interna usados en Webots*

Elementos	Nombre Simulador Webots	Masa [kg]
Torso, soporte de los servomotores y placas electrónicas	Torso	0.099
Cadera y soporte de los servomotores Servo_Cadera_Der y Servo_Cadera_Izq	Cadera	0.085
Servomotor para giro cabeza	Servo_Cabeza	0.008
Servomotor para giro de la pierna derecha	Servo_Cadera_Der	0.034
Servomotor para giro de la pierna izquierda	Servo_Cadera_Izq	0.034
Servomotor para giro del brazo derecho	Servo_Hombro_Der	0.008
Servomotor para giro del brazo izquierdo	Servo_Hombro_Izq	0.008
Pantalla touch de 3.5"	Pantalla	0.037
Estructura colocada sobre Servo_Cabeza para soportar pantalla y el raspeberry	Cabeza_Est	0.037
Eslabón para conectar el hombro con la articulación del codo izquierdo	Eslabón_Hombro_Izq	0.017
Eslabón para conectar el hombro con la articulación del codo derecho	Eslabón_Hombro_Der	0.017
Eslabón para conectar la cadera con la articulación de la rodilla izquierda	Eslabón_Pierna_Izq	0.029
Eslabón para conectar la cadera con la articulación de la rodilla derecha	Eslabón_Pierna_Der	0.029
Servomotor para el giro del antebrazo izquierdo	Servo_Codo_Izq	0.008
Eslabón para conectar el codo con la articulación de la mano izquierda	Eslabón_Antebrazo_Izq	0.015

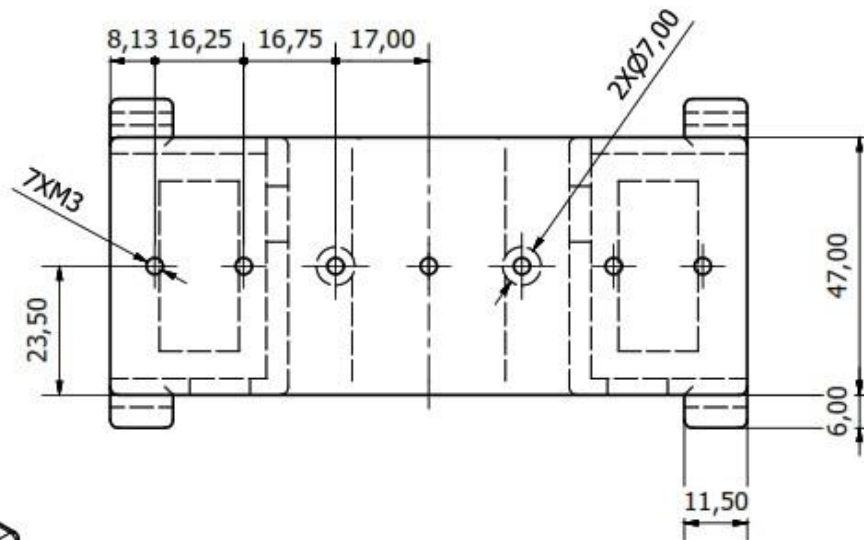
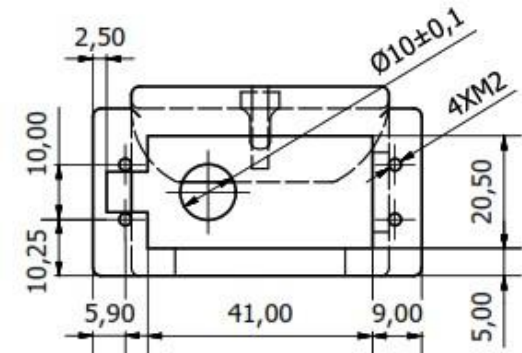
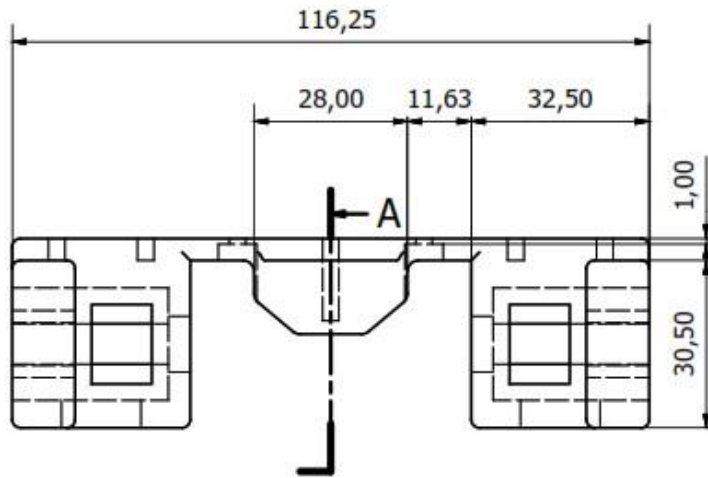
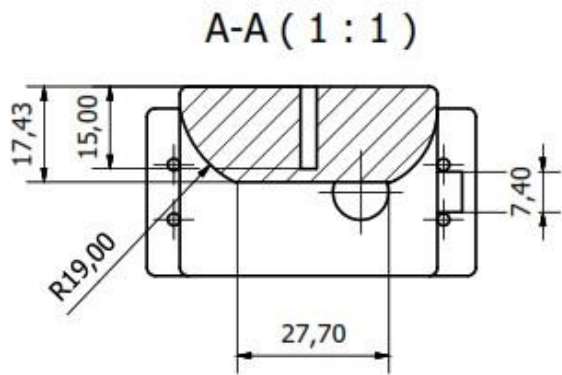
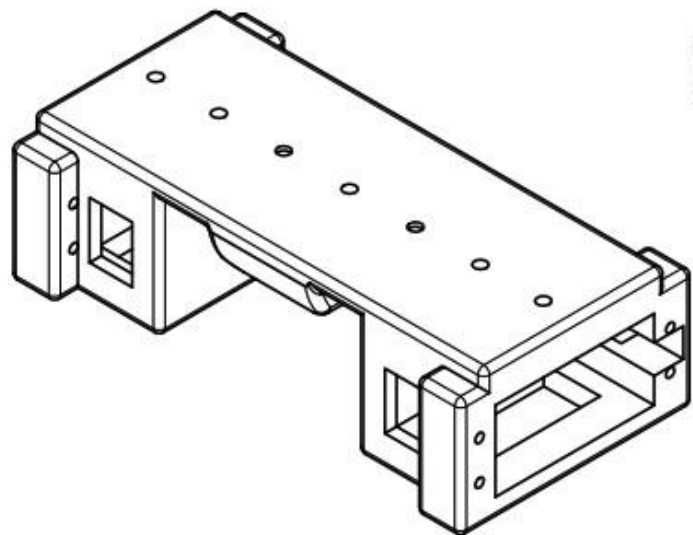
Tapa para cubrir al motor Motor_Mano_Izq para el giro de la mano	Tapa_Antebrazo_Izq	0.002
Motor DC para giro de la mano izquierda	Motor_Mano_Izq	0.003
Servomotor para el giro del antebrazo derecho	Servo_Codo_Der	0.008
Eslabón para conectar el codo con la articulación de la mano derecha	Eslabón_Antebrazo_Der	0.015
Tapa para cubrir al motor Motor_Mano_Der para el giro de la mano	Tapa_Antebrazo_Der	0.002
Motor DC para giro de la mano izquierda	Motor_Mano_Der	0.003
Servomotor para el giro de la antepierna izquierda	Servo_Rodilla_Izq	0.034
Eslabón para conectar la articulación de la rodilla con el pie izquierdo	Eslabón_Antepierna_Izq	0.03
Tobillo izquierdo	Tobillo_Izq	0.012
Pie izquierdo y soporte para el motor Motor_Llantas_Izq	Pie_Izq	0.01
Motor DC para el giro de las llantas izquierdas del robot	Motor_Llantas_Izq	0.027
Rueda loca para el giro libre y mantener el equilibrio del robot	Rueda_Loca_Izq	0.005
Par de llantas izquierdas	Llanta_Izq	0.004
Cubrimiento para las llantas izquierdas y aumentar la fricción	Llanta_Ext_Izq	0.001
Servomotor para el giro de la antepierna derecha	Servo_Rodilla_Der	0.034
Eslabón para conectar la articulación de la rodilla con el pie izquierdo	Eslabón_Antepierna_Der	0.03
Tobillo derecho	Tobillo_Der	0.012
Pie derecho y soporte para el motor Motor_Llantas_Der	Pie_Der	0.01

Motor DC para el giro de las llantas derechas del robot	Motor_Llantas_Der	0.027
Rueda loca para el giro libre y mantener el equilibrio del robot	Rueda_Loca_Der	0.005
Par de llantas derechas	Llanta_Der	0.004
Cubrimiento para las llantas derechas y aumentar la fricción	Llanta_Ext_Der	0.001

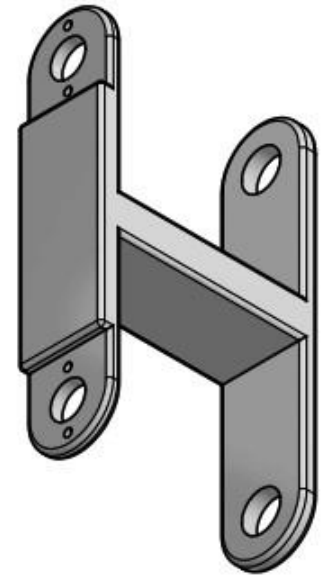
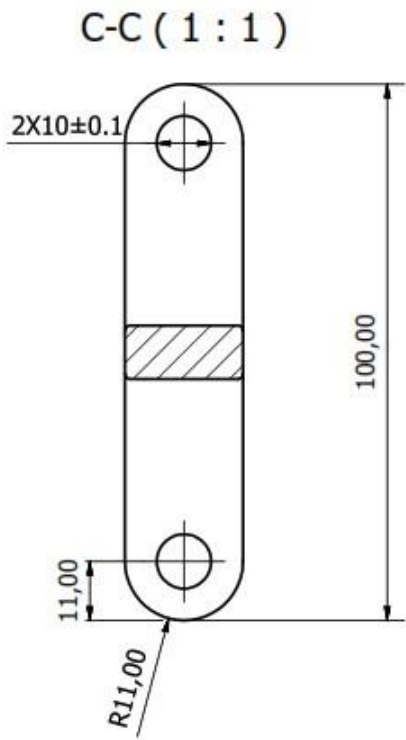
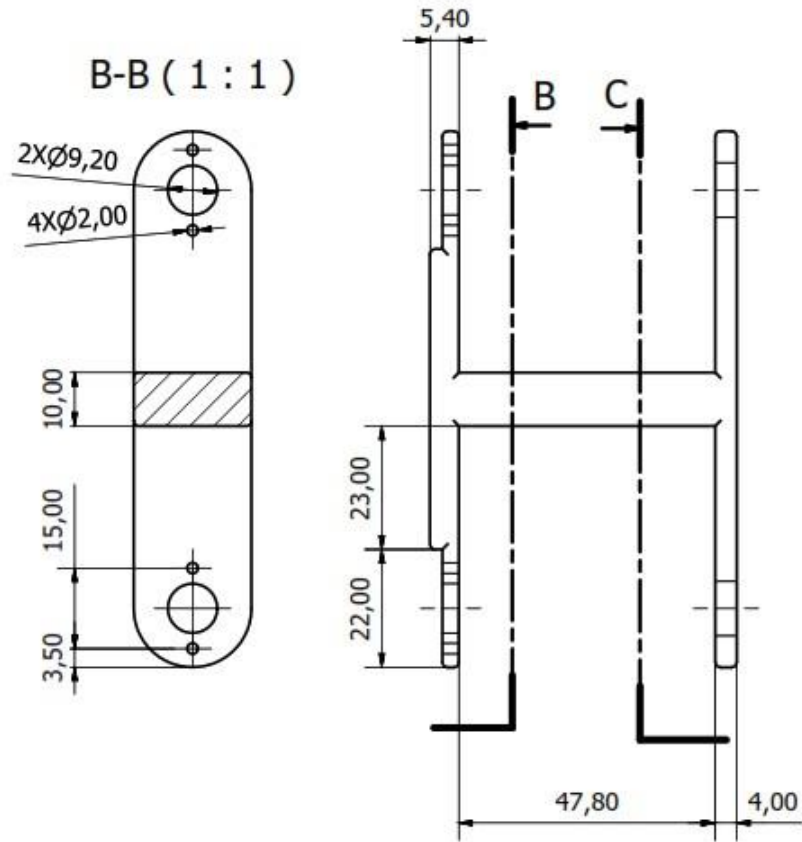
Tabla A 2. Nombres y masas de los elementos de la estructura externa usados en Webots

Elementos	Nombre Simulador Webots	Masa
Estructura externa del pecho y soporte de la cámara	Pecho	0.095
Estructura externa de la espalda	Espalda	0.09
Estructura externa de la cabeza	Cabeza_Ext	0.1
Estructura externa de los bíceps izquierdos	Biceps_Izq	0.045
Estructura externa de los bíceps derechos	Biceps_Der	0.045
Estructura externa del muslo izquierdo	Muslo_Izq	0.055
Estructura externa del muslo derecho	Muslo_Der	0.055
Estructura externa del antebrazo izquierdo	Antebrazo_Ext_Izq	0.035
Mano izquierda	Mano_Izq	0.04
Estructura externa del antebrazo derecho	Antebrazo_Ext_Der	0.035
Mano derecha	Mano_Der	0.04
Estructura externa de la ante pierna izquierda	Antepierna_Izq	0.055
Estructura externa de la ante pierna derecha	Antepierna_Der	0.055

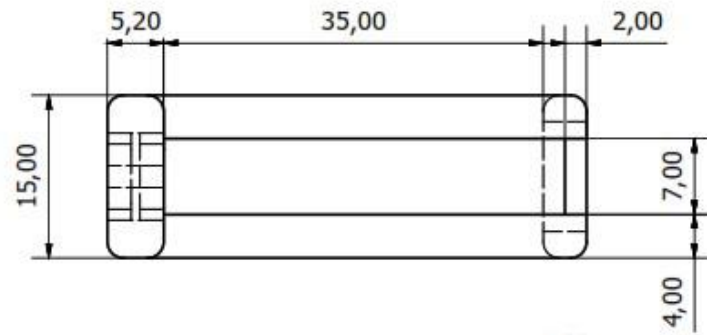
ANEXO B: PLANOS MECÁNICOS



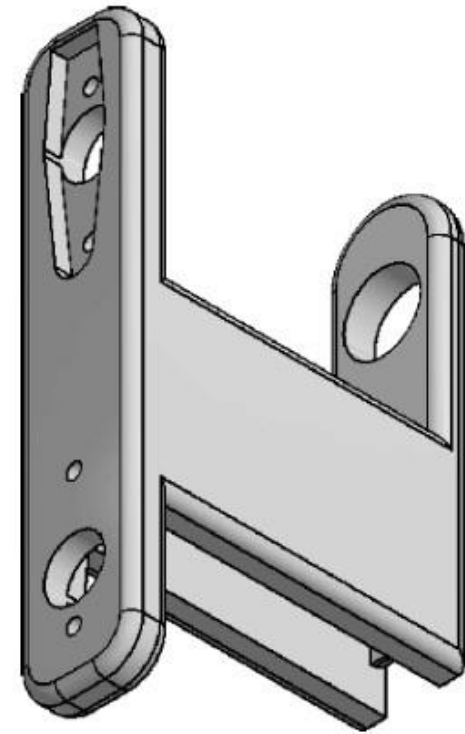
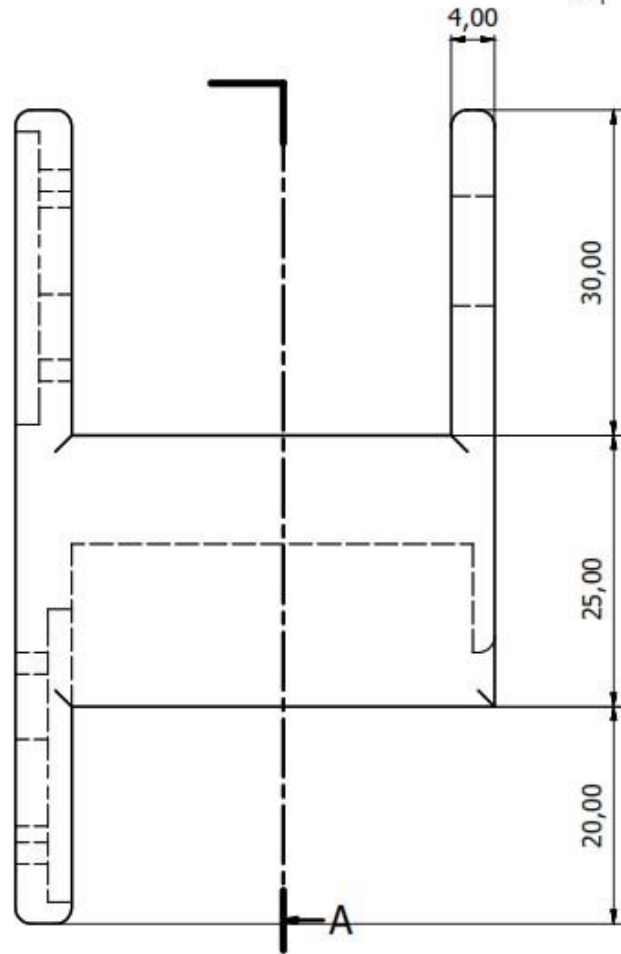
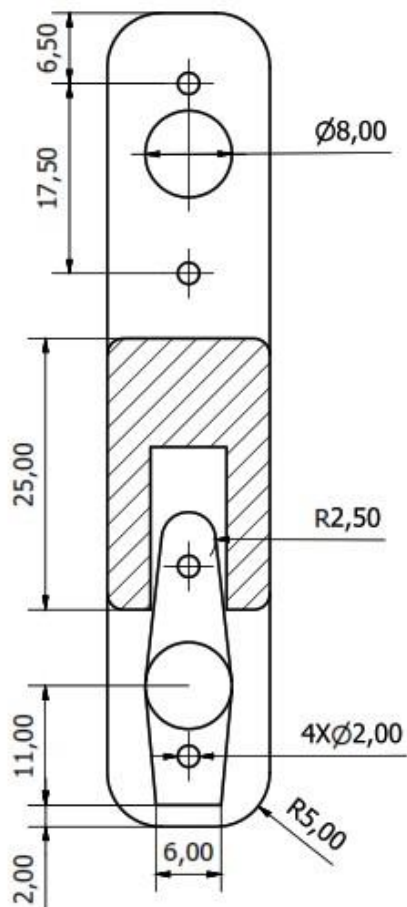
Diseño de Pinos B. - Uguña V.	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 5/2/2021
Universidad Politecnica Salesiana			Cadera	
			Cadera	Edición 1 / 1



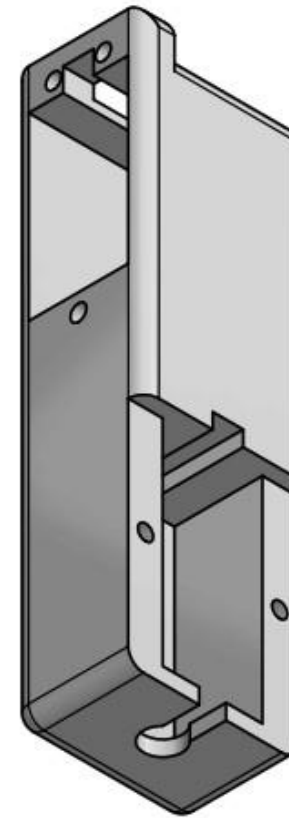
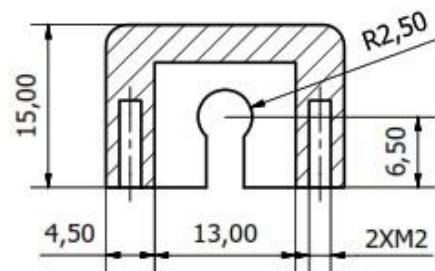
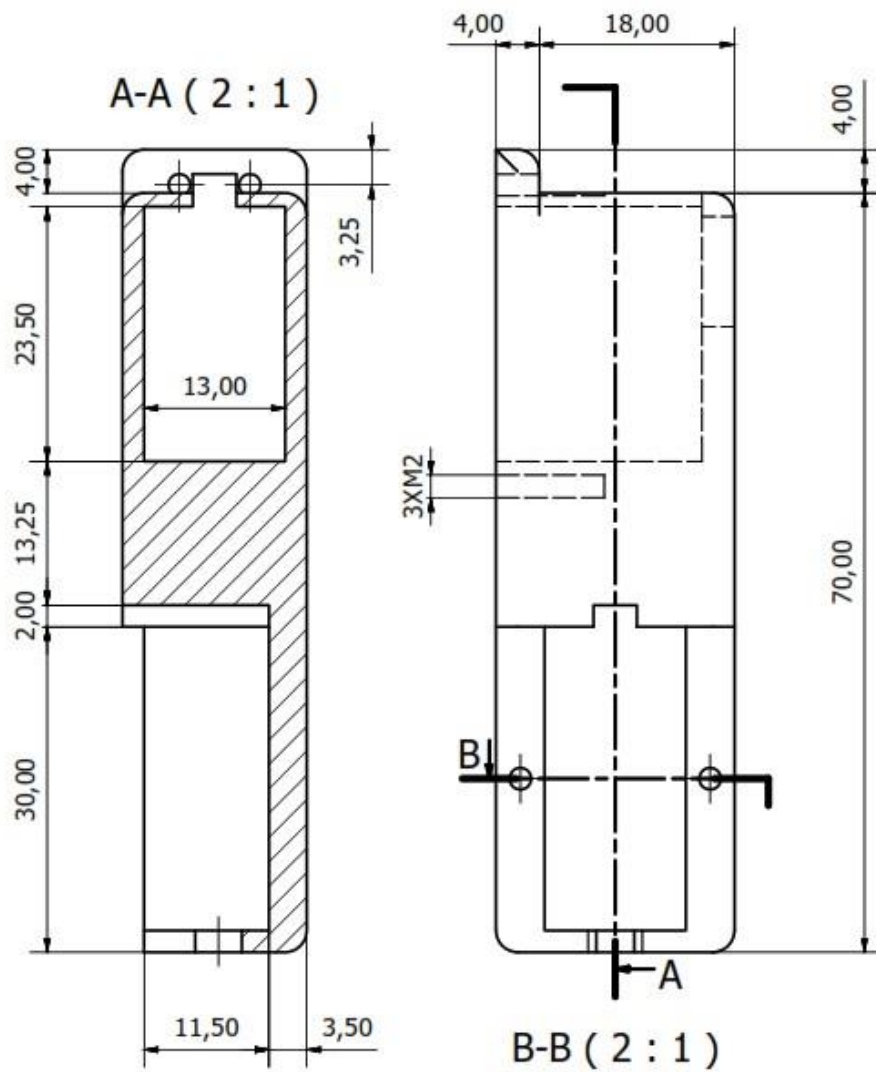
Diseño de Pinos B. - Uguña V.	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 4/2/2021	
Universidad Politecnica Salesiana			Union Cadera - Rodilla		
Union_Rodilla			Edición	Hoja 1 / 1	



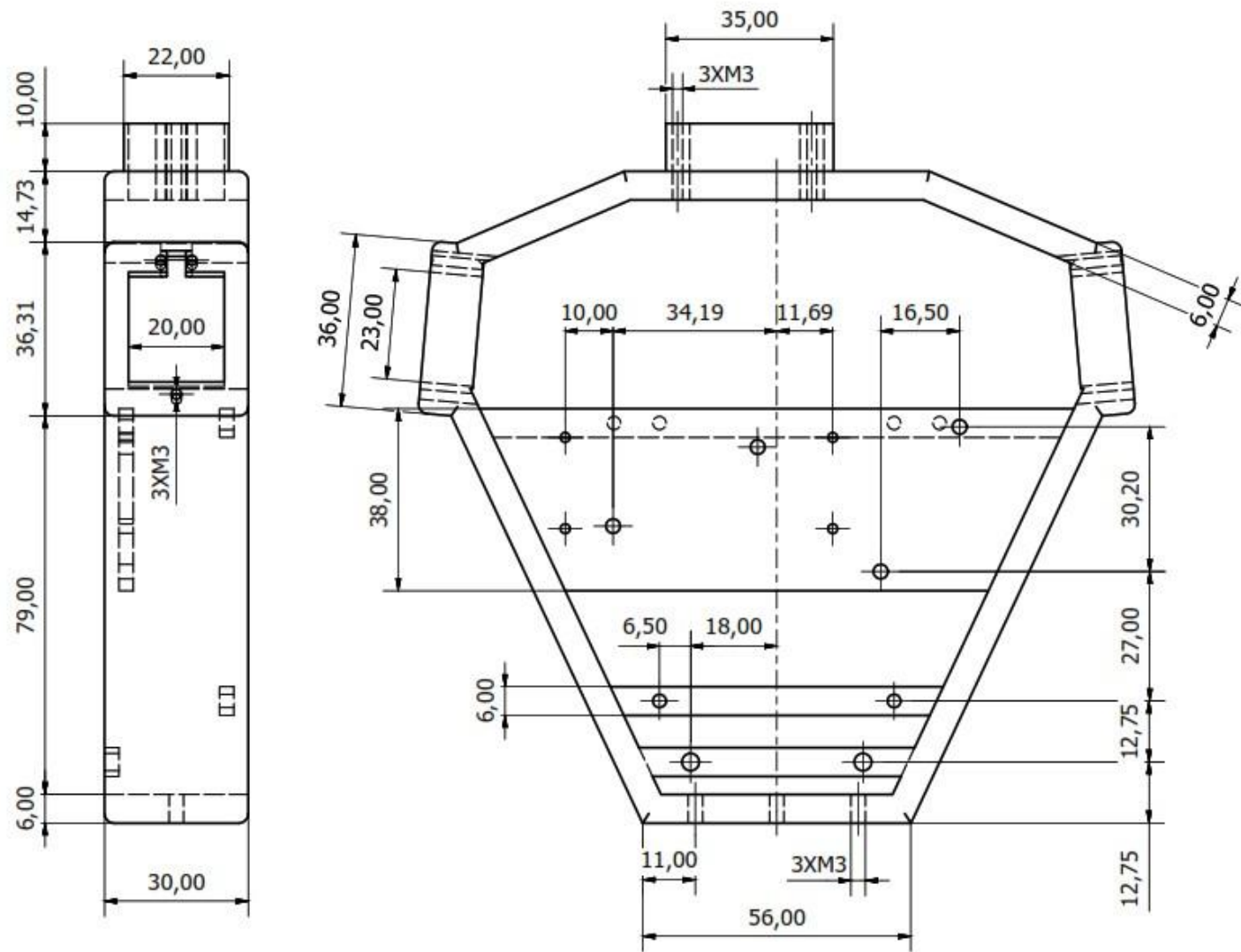
A-A (2 : 1)



Diseño de Pinos V. - Uguña V.	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 4/2/2021
Universidad Politecnica Salesiana			Union Hombro-Codo	
Union_codo-1			Edición	Hoja 1 / 1

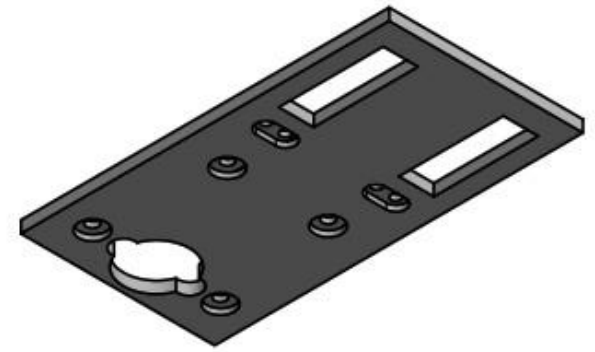
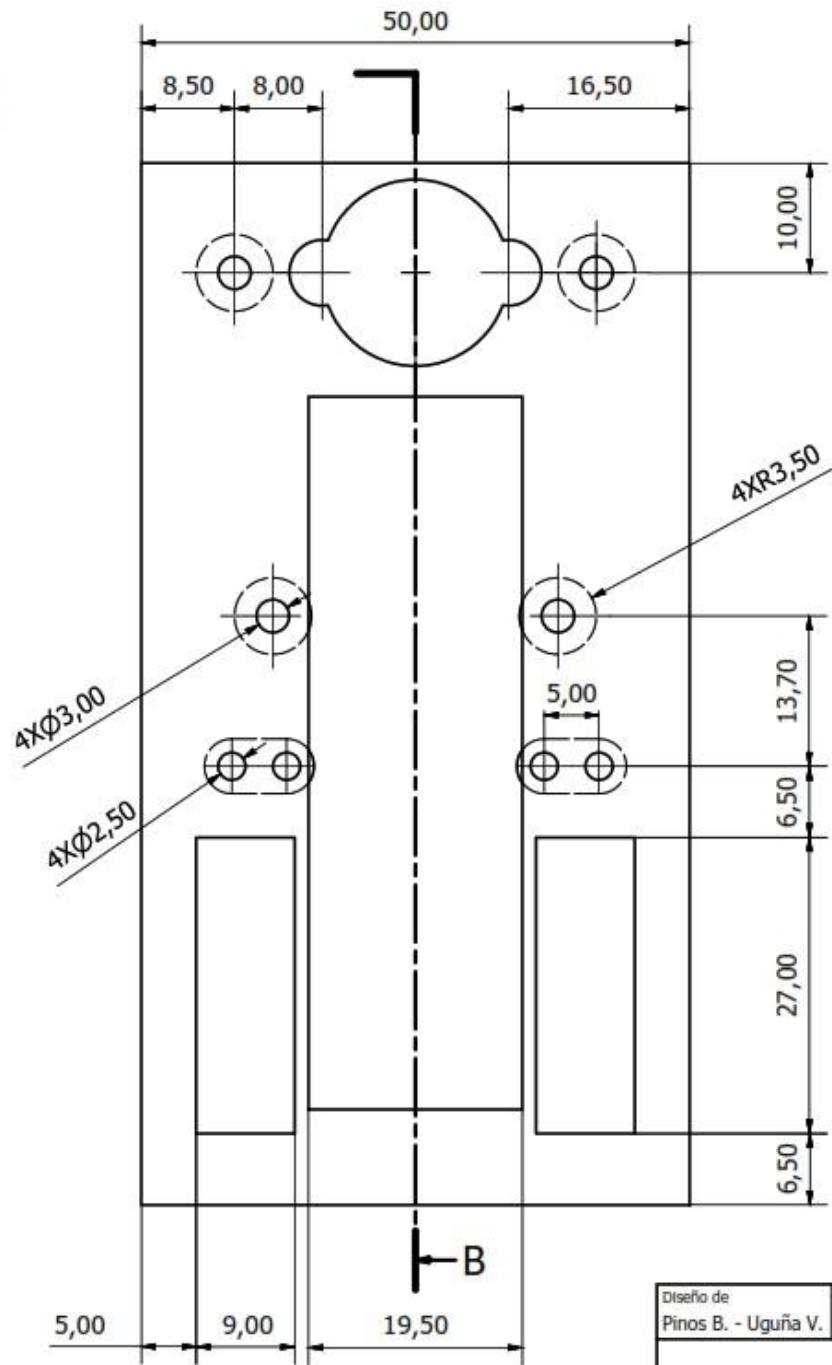
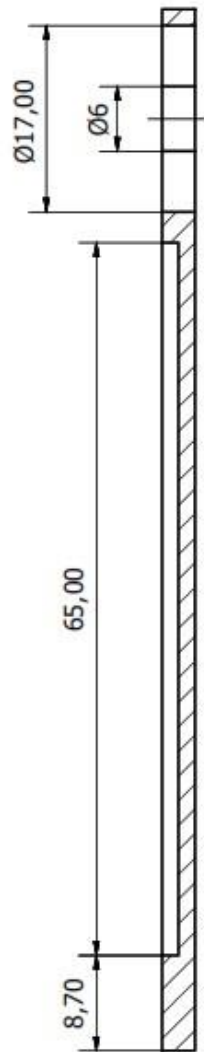


Diseño de Pinos B. - Uguña V.	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 5/2/2021	
Universidad Politecnica Salesiana			Union Codo - Mano		
Union Codo Mano			Edición	Hoja 1 / 1	

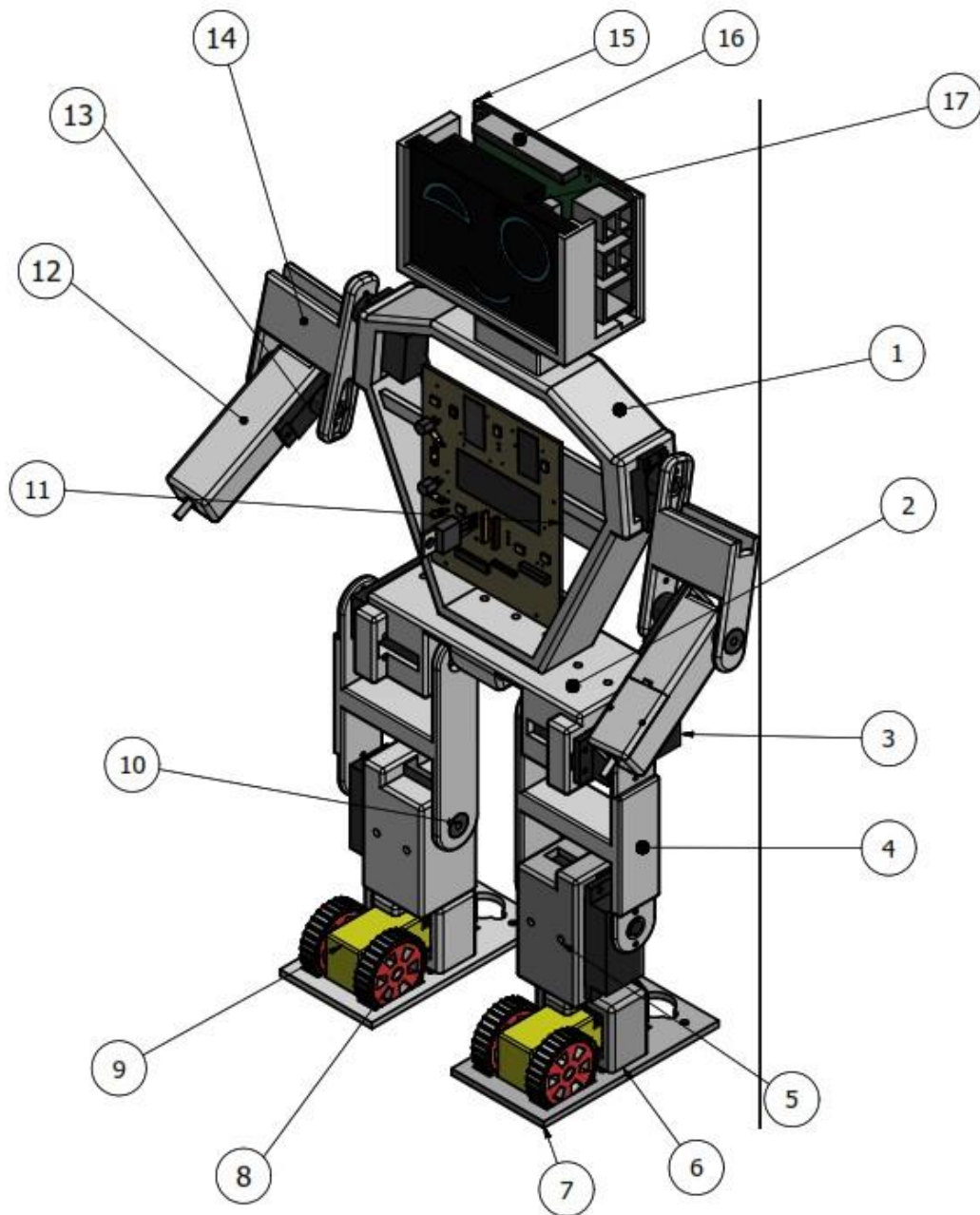


Diseño de PinosB. - Uguña V.	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 4/2/2021	
Universidad Politecnica Salesiana			Torzo		
			torzo	Edición	Hoja 1 / 1

B-B (2 : 1)



Diseño de Pinos B. - Uguña V.	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 5/2/2021
Universidad Politecnica Salesiana			Pie	
Pie			Edición	Hoja 1 / 1



LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Tronco
2	8	Rodamiento Ø10 x 3 mm
3	4	Servomotor MG995
4	2	Union Cadera - Rodilla
5	2	Union Rodilla - Tobillo
6	2	Eslabon Tobillo
7	2	Pie
8	4	Llantas
9	2	Motor DC 5V eje doble
10	1	Cadera
11	1	Tarjeta electrónica
12	2	Union Codo - Efector final
13	4	Servomotor MG90s
14	2	Union Hombro - Codo
15	1	Cabeza
16	1	Raspberry
17	1	Pantalla 3,5 "
18	4	Tornillos M3X10
19	8	Tornillos M3X15
20	8	Tornillos M3X20
21	8	Tornillos M3X25
22	9	Tornillos M2X5
23	14	Tornillos M2,5X5
24	4	Eje Ø3 x 5 mm
25	2	Ruedas Locas
26	2	Tapa Motores Dc 5V Manos
27	2	Motores DC Reductores 5V

Diseño de Pinos B. - Uguña V.	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
				5/2/2021	
Universidad Politecnica Salesiana			Conjunto AsiBot		
Ensamble_final			Edición	Hoja 1 / 1	