

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

DISEÑO DE MUQUI: UN ROBOT NARRADOR DE CUENTOS

**Tesis para optar por el Título de Ingeniero Mecatrónico, que
presenta el bachiller:**

Rodrigo Vega Centeno Ponce de León

ASESOR: Francisco Fabián Cuéllar Córdova

Lima, julio del 2015



© 2015, Rodrigo Vega Centeno Ponce de León

Se autoriza la reproducción total o parcial,
con fines académicos a través de cualquier
medio o procedimiento, incluyendo la cita
bibliográfica del documento.

Resumen

El periodo de constante modernización que se vive en la actualidad, en particular la urbanización de zonas rurales de Latinoamérica, amenaza una de las formas más usadas para transmitir y preservar la cultura, costumbres y anécdotas de una comunidad: la tradición oral. Se hace importante rescatar la identidad cultural de dichas comunidades para lo cual se quiere aprovechar otro aspecto del contexto actual como es la robótica social. En la década reciente se tiene una emergente categoría de robots de servicio que está ganando una presencia significativa en las actividades de la vida diaria.

En este contexto, la presente tesis desarrolla el diseño de MUQUI, un robot compañero de comunidad que forme parte de ella y comparta su cultura y tradiciones. Este trabajo se enfoca en la problemática técnica en el desarrollo de MUQUI, centrándose en los requerimientos y funciones que deben ser cubiertos en el diseño, haciendo énfasis en la estética e interacción.

En el presente documento se describe a detalle el sistema mecánico y electrónico del robot planteado obteniendo un diseño que posee formas antropomórficas con movimiento de la cabeza, una pantalla para mostrar ojos que permitan comunicar emociones, un proyector en la cabeza para la emisión de imágenes y un sombrero distintivo para identificarlo con la comunidad a la que pertenece. Cuenta con brazos, los cuales mueve mientras habla para reforzar las ideas que busca transmitir y finalmente posee un sistema de locomoción en base a ruedas para desplazamiento. Las formas antropomórficas del robot son logradas a través de carcasas de plástico ABS elaboradas por impresión 3D, todas estas sujetas a una estructura interna formada por planchas de acero que soporta todos los componentes del robot.

Con el fin de validar el diseño de la estructura se realiza una simulación por elementos finitos y se implementa y prueba el funcionamiento de la tarjeta que regula la distribución de energía a todo el robot.

Con los resultados satisfactorios obtenidos, se puede concluir que se consigue un diseño satisfactorio de un robot proveedor de servicios capaz de desempeñarse como un narrador de cuentos de manera automática.

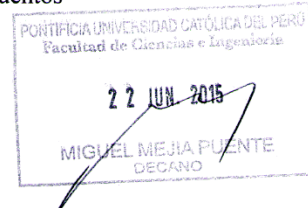
Aprobación del temario de tesis

 FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA

 PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TRABAJO DE FIN DE CARRERA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

Título : Diseño de MUQUI, un robot narrador de cuentos
 Asesor : Francisco Fabián Cuéllar Córdova
 Alumno : Rodrigo Vega Centeno Ponce de León
 Código : 20097194
 Tema N° : 104
 Fecha : 10/06/2015



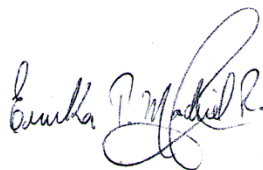
Descripción y Objetivos

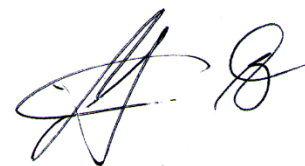
Actualmente vivimos en un periodo de constante modernización. Los países de Latinoamérica se encuentran en permanente cambio y crecimiento abarcando diferentes escenarios; entre ellos la urbanización de zonas rurales y remotas de Sudamérica. A lo largo de muchos siglos, las comunidades andinas han preservado sus historias, costumbres y anécdotas a través de la tradición oral y en la actualidad, la urbanización de zonas rurales hace importante rescatar y preservar la identidad cultural de estas comunidades. Por otro lado, la robótica social es uno de los campos que más ha evolucionado en la década reciente y con la inserción de los robots en la sociedad, se tiene una categoría emergente de robots de servicio que está ganando una presencia más significativa en las actividades de la vida diaria.

En este contexto, el presente trabajo se plantea el diseño de MUQUI, un robot compañero de comunidad que forme parte de ella y comparta su cultura y tradiciones. La presente tesis enfoca la problemática técnica en el desarrollo de MUQUI, centrándose en los requerimientos y funciones que deben ser cubiertos en el diseño, haciendo énfasis en la estética e interacción. Se plantea el diseño de un robot que: i) posea formas antropomórficas con movimiento de la cabeza y una pantalla para mostrar ojos que permitan comunicar emociones; ii) posea un rasgo distintivo para identificarlo con la comunidad; iii) cuente con brazos, los cuales mueve mientras habla para reforzar las ideas que busca transmitir; iv) posea un proyector para la emisión de imágenes; v) tenga sistema de locomoción en base a ruedas para desplazamiento.

El documento se divide en 6 capítulos; en el primero se realiza la presentación de la problemática a resolver, los antecedentes, requerimientos y alcances del trabajo; en el segundo capítulo se detalla el sistema mecatrónico tanto en su sistema mecánico, como sistema electrónico y de control; en el tercer capítulo se detallan las simulaciones y experimentos realizados; en el cuarto capítulo se detalla el presupuesto para implementar el sistema y finalmente en el quinto y sexto capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó con este trabajo.

MÁXIMO: 100 páginas



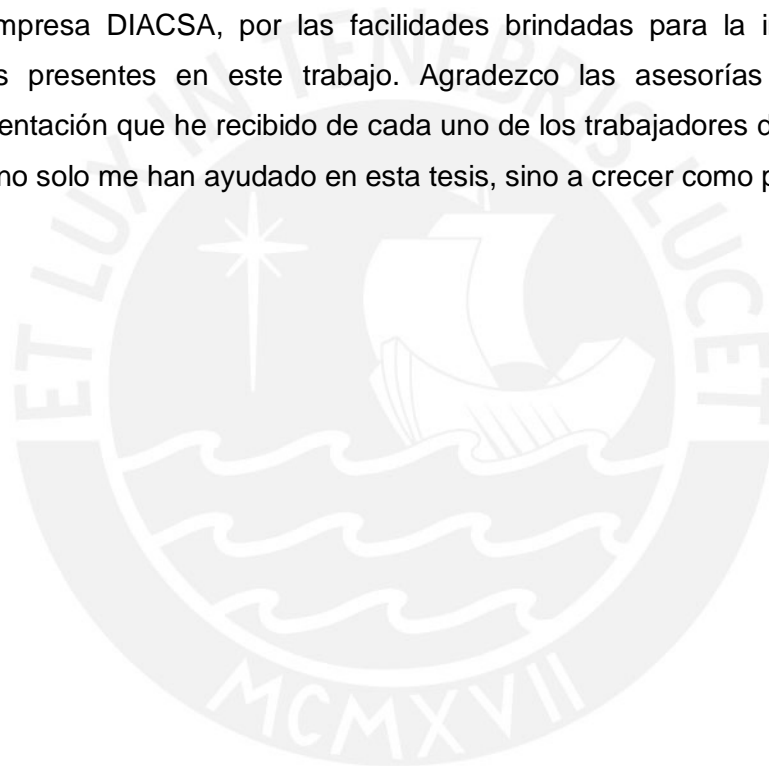


Agradecimientos

A mi familia, porque suponen el cimiento de mi desarrollo, de mi esfuerzo y dedicación. A mi padre, a mi madre y a mi hermana que han estado presentes en el desarrollo total de mi tesis y sin cuyo aliento hubiera sido imposible culminarla satisfactoriamente.

A mis compañeros y amigos, por su compañía y consejo durante este proceso. Espero haber podido darles tanta ayuda y apoyo, como el que he recibido de ellos.

A la empresa DIACSA, por las facilidades brindadas para la implementación y pruebas presentes en este trabajo. Agradezco las asesorías en el diseño e implementación que he recibido de cada uno de los trabajadores de la empresa, las cuales no solo me han ayudado en esta tesis, sino a crecer como profesional.



Contenidos

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	1
1.2	ANTECEDENTES	2
1.3	FORMULACIÓN DE PROPUESTA DE SISTEMA MECATRÓNICO	4
1.3.1	<i>Objetivos y Alcances</i>	4
1.3.2	<i>Hipótesis</i>	6
1.4	METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO.....	7
2	DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO	8
2.1	PRESENTACIÓN DE CONCEPTO.....	10
2.2	SISTEMA ELECTRÓNICO.....	12
2.3	SISTEMA MECÁNICO.....	37
2.4	SISTEMA DE CONTROL.....	50
2.5	PRESUPUESTO	55
3	EXPERIMENTOS Y RESULTADOS	57
3.1	SIMULACIONES	57
3.2	EXPERIMENTOS	59
3.3	RESULTADOS.....	61
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES	68
	REFERENCIAS	70
	ANEXOS	72

Glosario de Términos

ADC.....	Analog to Digital Converter (Conversor Análogo-Digital)
AN.....	Analog (Analógico)
DIN.....	Data In (Data de Entrada)
DOUT.....	Data Out (Data de Salida)
GND.....	Ground (Tierra)
RPM.....	Revoluciones por Minuto
SPI.....	Serial Peripheral Interface (Interfaz de Periféricos Serial)
TTL.....	Transistor Transistor Logic (Lógica Transistor Transistor)
UART.....	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
USB.....	Universal Serial Bus
VCC.....	Voltaje de Corriente Continua
VDD.....	Voltaje de Alimentación positiva
DC.....	Direct Current (Corriente directa)
LIPO.....	Litio - Polimero
ABS.....	Plástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno
ID.....	Identificador
MHL.....	Mobile High-definition Link (Enlace de Alta Definición Móvil)
HD.....	High Definition (Alta Definición)
HDMI.....	High Definition Media Interface (Interfaz Multimedia de Alta Definición)
PWM.....	Pulse Width Modulation (Modulación por Ancho de Pulso)
PCB.....	Printed Circuit Board (Tarjeta de Circuito Impresa)
MISO.....	Master Input Slave Output (Salida de Esclavo Entrada de Maestro)
MOSI.....	Master Output Slave Input (Salida de Maestro Entrada de Esclavo)
CLK.....	Clock (Reloj)
CS.....	Chip Select (Selector de Chip)

Listado de Figuras

Figura 1.1 Robots sociales con la capacidad de narrar historias	2
Figura 2.1 Diagrama de funcionamiento de MUQUI	8
Figura 2.2 Diagrama de bloques de los componentes de MUQUI	9
Figura 2.3. Bosquejo de MUQUI y la ubicación de sus componentes.....	9
Figura 2.4 Diseño de propuesta	10
Figura 2.5 Diagrama de conexiones	12
Figura 2.6 Samsung Galaxy S4	14
Figura 2.7 Arduino Mega ADK	15
Figura 2.8 P2 Jr. Pico Proyector	16
Figura 2.9 P2 Jr. Pico Proyector	17
Figura 2.10 Modelos disponibles de cajas reductoras para motor 25D.....	18
Figura 2.11 Metal Gearmotor with 48 CPR Encoder	19
Figura 2.12 Pololu MC33926 Motor Driver mounted on Arduino.....	20
Figura 2.13 Ejemplo de conexión y Servomotores Dynamixel AX-12	21
Figura 2.14 Servomotor SparkFun Servo-Hitec HS-35HD (Ultra Nano Size).....	22
Figura 2.15 SparkFun Electret Microphone Breakout	22
Figura 2.16 DealExtreme Ultra mini altavoz USB portátil.....	23
Figura 2.17 Bateria LiPo Rhino de 1550mAh 3S 30C	23
Figura 2.18 WF111-E Módulo Wifi	24
Figura 2.19 Dynamixel AX/MX bus Driver Board CDS55xx	25
Figura 2.20 SparkFun Voltaje-Level Translator Breakout – TXB0104.....	25
Figura 2.21 SparkFun DC Barrel Jack Adapter - Female.....	26
Figura 2.22 ATMEL ATmega 88 Microcontrolador	26
Figura 2.23 Ubicación de los componentes electrónicos de MUQUI	27
Figura 2.24 Conexión y uso de puertos del Smartphone, proyector, parlantes y micrófono..	28
Figura 2.25 Esquemático de Módulo WiFi.....	29
Figura 2.26 Esquemático de Módulo WiFi conectado al Voltaje Translator	30
Figura 2.27 Esquemático de la tarjeta reguladora de energía.....	31
Figura 2.28 Esquemático de conversor DC Switching a 6V	32
Figura 2.29 Esquemático de conexiones de Arduino MEGA ADK	33
Figura 2.30 Esquemático de conexiones del control de motores DC	34
Figura 2.31 Esquemático de conexiones del control de motores DC	34
Figura 2.32 Esquemático de conexiones de los servomotores nano	35
Figura 2.33 Esquemático general	36
Figura 2.34 Vista exterior del robot	37
Figura 2.35 Vista isométrica de la estructura interior	38
Figura 2.36 Vista frontal e isométrica del sombrero de MUQUI en la versión chullo.....	39
Figura 2.37 Vista isométrica de la cabeza de MUQUI sin sombrero	40

Figura 2.38 Vistas isométricas de los componentes internos de la cabeza de MUQUI	40
Figura 2.39 Vistas del mecanismo de movimiento de la cabeza y del proyector	41
Figura 2.40 Sujeciones Bioloid de plástico de tipo 2 y tipo 3.....	42
Figura 2.41 Vista frontal y lateral de la carcasa que forma el torso de MUQUI.....	42
Figura 2.42 Vista isométrica de los brazos de MUQUI.....	43
Figura 2.43 Vista lateral interior de un brazo de MUQUI.....	43
Figura 2.44 Vista isométrica inferior de la parte inferior de MUQUI	44
Figura 2.45 Vistas de corte de MUQUI con la transmisión de engranajes cónicos visible	45
Figura 2.46 Acople y ruedas para motor DC	46
Figura 2.47 Pololu Ball caster with 3/4" Metal Ball	46
Figura 2.48 Acople lineal de Servocity y sus medidas	47
Figura 2.49 Engranaje cónico de Servocity para ejes de 4mm y su distancia de montaje	47
Figura 2.50 Cojinete con flanco y su esquema de sus medidas	48
Figura 2.51 Plano de los dos ejes de 4mm en acero	48
Figura 2.52 Anillo de seguridad DIN471 de 4mm.....	49
Figura 2.53 Diagrama de flujo del programa principal de la tarjeta reguladora de energía ...	51
Figura 2.54 Diagramas de flujo de subrutinas de sensado en la tarjeta reguladora.....	51
Figura 2.55 Diagrama de flujo del programa principal del controlador Arduino MEGA ADK .	52
Figura 2.56 Diagrama de flujo del programa principal del Smartphone	53
Figura 2.57 Diagrama de flujo de la subrutina de interrupción del Smartphone.....	54
Figura 3.1 Mallado y fuerzas para el análisis de esfuerzos.....	58
Figura 3.2 Elementos utilizados y colocación de equipos para la prueba	60
Figura 3.3 Esfuerzos de Von Mises en la estructura interna	61
Figura 3.4 Desplazamiento, deformaciones y factores de seguridad de la estructura	61
Figura 3.5 Ejemplo de medición de Prueba de funcionamiento	62
Figura 3.6 Disposición de equipos para la tercera prueba de funcionamiento de la tarjeta ..	65

Listado de Tablas

Tabla 2.1 Características Técnicas del Celular	15
Tabla 2.2 Características Técnicas del Controlador	16
Tabla 2.3 Características Técnicas del Proyector.....	17
Tabla 2.4 Características Técnicas Metal Gearmotor with 48 CPR Encoder.....	19
Tabla 2.5 Características Técnicas del driver de motores MC33926.....	20
Tabla 2.6 Características Técnicas del driver de motores MC33926.....	20
Tabla 2.7 Características Técnicas del driver de motores MC33926.....	21
Tabla 2.8 Características Técnicas del Servo-Hitec HS-35HD	22
Tabla 2.9 Características Técnicas de la batería LiPo	24
Tabla 2.10 Características Técnicas del módulo WiFi WF111-E	24
Tabla 2.11 Características Técnicas del módulo CDS55xx.....	25
Tabla 2.12 Características Técnicas del Microcontrolador ATmega 88	26
Tabla 2.13 Presupuesto de componentes importados.....	55
Tabla 2.14 Presupuesto por piezas de impresión 3D	55
Tabla 2.15 Presupuesto de componentes electrónicos comprados localmente	56
Tabla 2.16 Presupuesto de estructura interna	56
Tabla 2.17 Presupuesto total.....	56
Tabla 3.1 Peso de los componentes principales y la fuerza que ejercen.....	58
Tabla 3.2 Resultados de la prueba con alimentación externa DC.....	63
Tabla 3.3 Resultados de la prueba con alimentación de la entrada de batería	64
Tabla 3.4 Resultados de la prueba con ambas alimentaciones y carga a la salida. 65	

1 Introducción

1.1 Presentación de la Problemática

La robótica social ha sido uno de los campos que más ha evolucionado en la década reciente [1, 2, 3]. Con la inserción de los robots en la sociedad, una emergente categoría de robots de servicio está teniendo una presencia más significativa en las actividades de la vida diaria, funcionando como agentes sociales [1, 4, 5] y cuyos diseños no consideran solo la funcionalidad como una prioridad, sino también la interacción y estética, que juegan un rol importante en las características finales del robot [6].

En este contexto, los robots de compañía son considerados agentes que exhiben un comportamiento dinámico e interactúan de forma personal con los usuarios realizando tareas: informativas, ofreciendo consejos o guía [16]; educativas, asistiendo a niños especiales [17]; o en tareas de entretenimiento, ofreciendo compañía o conversación [12].

Se plantea la problemática de diseñar un robot que se desempeñe como un compañero de comunidad bajo el siguiente contexto social: Las comunidades andinas han preservado sus historias a través de la tradición oral. En la actualidad, la urbanización de zonas rurales hace importante rescatar y preservar la identidad cultural de estas comunidades.

Bajo este escenario, se propone a MUQUI, un robot compañero de comunidad que forme parte de ella y comparta sus historias y tradiciones.

La presente tesis enfoca la problemática técnica en el desarrollo de MUQUI, centrándose en los requerimientos, funciones y características que deben ser cubiertos en el diseño del robot y que se enfoque en dos aspectos fundamentales, la estética y la interacción. La estética del robot debe permitir que sea percibido como un compañero, que brinde comodidad al que interactúe con él. Este aspecto debe considerar la morfología del robot, el cual puede incluir aspectos visuales que permitan al robot ser fácilmente identificado como un miembro de la comunidad a la que pertenece [7,9]. El nivel de interacción debe ser alcanzado por características técnicas que le den expresividad y capacidad de comunicarse visual y oralmente [8]. La función principal de MUQUI será narrar historias, para lo cual debe apoyarse en gestos, expresiones e imágenes para agregarle sentimientos y emociones a sus narraciones. Se tendrá esta función como objetivo en el diseño, pero se requiere de implementación y pruebas para validar el concepto planteado.

En el presente trabajo se presentará una solución al problema de diseño de MUQUI, a través de un robot que: i) posea formas antropomórficas con movimiento de la cabeza y ojos que permitan comunicar emociones; ii) cuente con brazos, los cuales mueve mientras habla para reforzar las ideas que busca transmitir; iii) posea un proyector para la emisión de imágenes; iv) tenga sistema de locomoción en base a ruedas para desplazamiento.

1.2 Antecedentes

El campo de la robótica social ha producido diversos robots y diseños que buscan establecer una relación más personal con los humanos con los que interactúan comunicando gestos, expresiones y sentimientos.

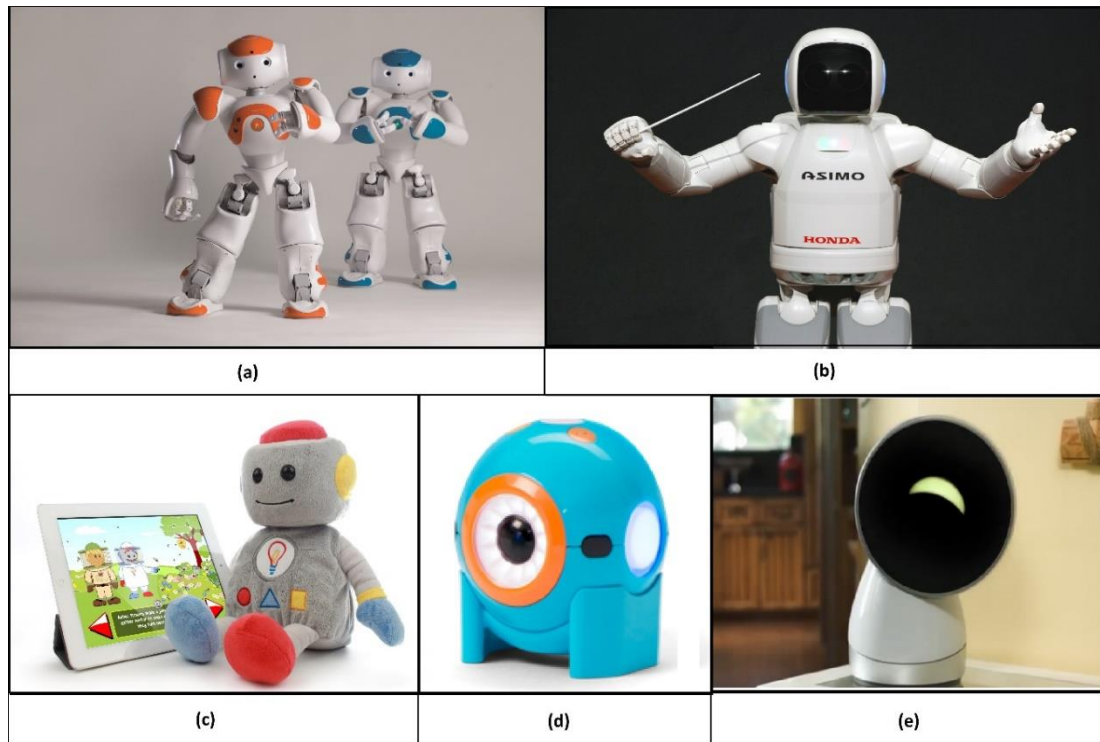


Figura 1.1 Robots sociales con la capacidad de narrar historias
a) Robots NAO [11], b) Robot ASIMO [15], c) TROBO, the storytelling robot [13],
d) DOT the storyteller [14] y e) JIBO [12]

Existen robots como NAO y ASIMO [11, 15] que tienen una morfología similar a la humana y esta permite crear la sensación de estar conversando con un ser viviente. Estos robots tienen una amplia gama de aplicaciones y son usados para diversos tipos de investigaciones y experimentos de robótica social; uno de ellos ha sido usarlos para contar historias y para escucharlas, reaccionando con gestos y preguntas ante las narraciones que captan. Su amplia gama de movimientos genera grandes ventajas en lo concerniente a los gestos que puede realizar, como levantar los brazos, rascarse la cabeza, etc. Y reforzarlos con el cambio de color en sus ojos, para poder generar sentimientos como enojo o alegría. Sin embargo, sus rasgos faciales no permiten mayor cantidad de gestos ya que la forma de sus ojos es fija y la complejidad de sus movimientos hace que se pierda naturalidad al querer realizar movimientos que reflejen emociones. Por otro lado, se tiene robots como TROBO y DOT [13, 14], identificados como cuentacuentos. Ambos ejemplos tienen fines

educativos y están destinados a ser usados por niños pequeños pero no pueden comunicarse por sí solos, requieren de trabajar en conjunto con una Tablet y una aplicación a través de la cual se interactúa con ellos. Aunque TROBO y DOT sean narradores de historias, ninguno es capaz de moverse o hacer gestos para agregarle emociones a sus relatos. Finalmente, se tiene robots más completos, que ofrecen una gran gama de habilidades y que buscan funcionar como un compañero del hogar como JIBO [12]. Este es un robot de escritorio compuesto por una cabeza giratoria, el cual puede comunicarse con fluidez y transmitir emociones a través de su pantalla frontal que utiliza como rostro y para mostrar imágenes. Su desempeño como un cuentacuentos aprovecha su capacidad de girar y proyectar imágenes para reforzar lo que dice, sin embargo carece de la habilidad de desplazarse o de brazos con los cuales gesticular mientras habla, lo cual es una respuesta natural cuando se cuentan historias.

Por lo tanto, para tener un robot capaz de desempeñarse como un narrador de cuentos [10], se plantea el diseño de un robot que puede transmitir emociones y expresiones a través de los ojos y dar vida a sus narraciones con el movimiento de su cabeza y brazos; siendo capaz de proyectar imágenes sobre una superficie para complementar sus historias.

1.3 *Formulación de Propuesta de Sistema Mecatrónico*

1.3.1 **Objetivos y Alcances**

El objetivo principal del presente trabajo de tesis es el desarrollo de MUQUI, un robot social interactivo con la capacidad de desempeñarse como un narrador de cuentos; capaz de relatar historias de manera automática, proyectar imágenes y acompañar sus narraciones con gestos, sonidos y expresiones.

Objetivos Específicos:

- Otorgar una apariencia física (estética) al robot que permita que sea reconocido como un miembro de la comunidad a la que pertenece.
- Diseñar la estética del robot basada en formas antropomórficas para poder ser percibido como un compañero, que brinde comodidad al que interactúe con él.
- Dotar al robot de expresividad con la cual apoyar sus narraciones, ya sea con gestos, movimientos, imágenes y sonidos así como una voz propia.
- Desarrollar mecanismos de locomoción para el robot, que permitan su desplazamiento autónomo sobre superficies planas.
- Dotar al robot de un sistema de energía que le brinde autonomía durante la narración completa de una historia.
- Agregar capacidad de almacenamiento multimedia a través de imágenes, video y audio que den soporte a los relatos que transmite.

Requerimientos (Alcances):

Requerimientos Mecánicos

- La estructura del robot debe ser portátil y no debe superar los 50 cm de altura.
- La estructura debe albergar y proteger a los módulos electrónicos.
- La estructura debe poseer un rasgo personalizable que permita modificar la estética del robot según la comunidad.
- El robot debe poseer brazos y cabeza móviles para gesticular.
- El robot debe contar con un sistema de desplazamiento de ruedas diferencial.

Requerimientos Electrónicos

- El sistema debe ser alimentado con una sola batería de alrededor de 12 voltios.
- El sistema debe tener una autonomía de operación no menor a media hora.
- El sistema debe contar con un sistema de recarga de baterías que opere conectado a una fuente de alimentación DC.
- El sistema debe garantizar la correcta distribución de energía para proteger los equipos electrónicos en su interior.
- El sistema debe poder proyectar imágenes en una pared con un proyector de por lo menos 20 Lumens y una resolución de 800x600.
- El sistema debe poseer altavoces con una potencia mínima de 1 Watt para comunicarse y contar con un micrófono para reconocer sonidos o voces.
- El sistema debe contar con una pantalla para hacer la función de rostro del robot y donde se muestren sus ojos.

Requerimiento de Control

- El sistema debe tener la capacidad de realizar el control de la proyección de imágenes, el movimiento, expresiones y la emisión de voz de forma sincronizada para que el relato se transmita adecuadamente.

1.3.2 Hipótesis

Si se implementa un robot móvil con características antropomórficas y rasgos propios de una comunidad, con la capacidad de narrar una historia de manera automática y apoyar sus relatos con gestos visuales y proyecciones de imágenes entonces se tendrá un robot proveedor de servicios; una herramienta interactiva capaz de ayudar a conservar la tradición oral. Será además, una plataforma de experimentación en el campo de la robótica social y la interacción humano-robot que ayude a evaluar la capacidad de los robots de transmitir emociones en las personas.



1.4 Metodología y Plan de Trabajo

En primer lugar, se revisará literatura científica y tecnológica que apoye el diseño de un robot social capaz de contar historias y transmitir emociones como un compañero de comunidad. Se realizará luego una revisión exhaustiva de material bibliográfico sobre robots interactivos para evaluar: i) estética del robot, y ii) características interactivas y funcionales que debe poseer el robot para poder generar gestos a través de los ojos, cabeza y brazos, apoyándose de material visual proyectado en una pantalla; seleccionando así los elementos adecuados y presentar una propuesta.

En segundo lugar, se seleccionarán: i) los mecanismos de locomoción y de expresión del robot con una descripción básica de su cinemática y dinámica, así como los cálculos que justifiquen su elección; ii) los componentes electrónicos conformados por sensores, actuadores, fuentes de alimentación, pantallas, sistemas de control y de comunicaciones; iii) los materiales que conformarán la estructura del robot. Los entregables de esta etapa contienen planos mecánicos, circuitos esquemáticos, diagramas de flujo de programas y lista de materiales con sus cotizaciones.

En tercer lugar se realizarán simulaciones y pruebas para validar los sistemas mecánicos y electrónicos diseñados. En esta etapa se comprobará el correcto funcionamiento o desempeño de las selecciones realizadas.

Finalmente, se procederá a elaborar correcciones en el diseño a partir de las conclusiones obtenidas luego de los resultados de las simulaciones, así como futuras mejoras para el robot social en base a la información recopilada.

2 Diseño del Sistema Mecatrónico

A continuación, se presenta el diagrama del sistema a implementar y un diagrama de bloques con los elementos de los que dispone MUQUI. En la Figura 2.1 se presenta el funcionamiento de MUQUI y sus componentes electrónicos principales asociados a sus componentes mecánicas. El sistema será alimentado a través de baterías, o puede trabajar conectado a una fuente de alimentación externa DC. El controlador se encarga del manejo de los servomotores; que regulan el movimiento y posición de los brazos y cabeza del robot; y de los motores DC que permiten el desplazamiento del robot. Este controlador trabaja en comunicación con el celular Smartphone que se encarga de mostrar los ojos del robot en su pantalla y a su vez controlar el proyector, micrófono y parlantes.

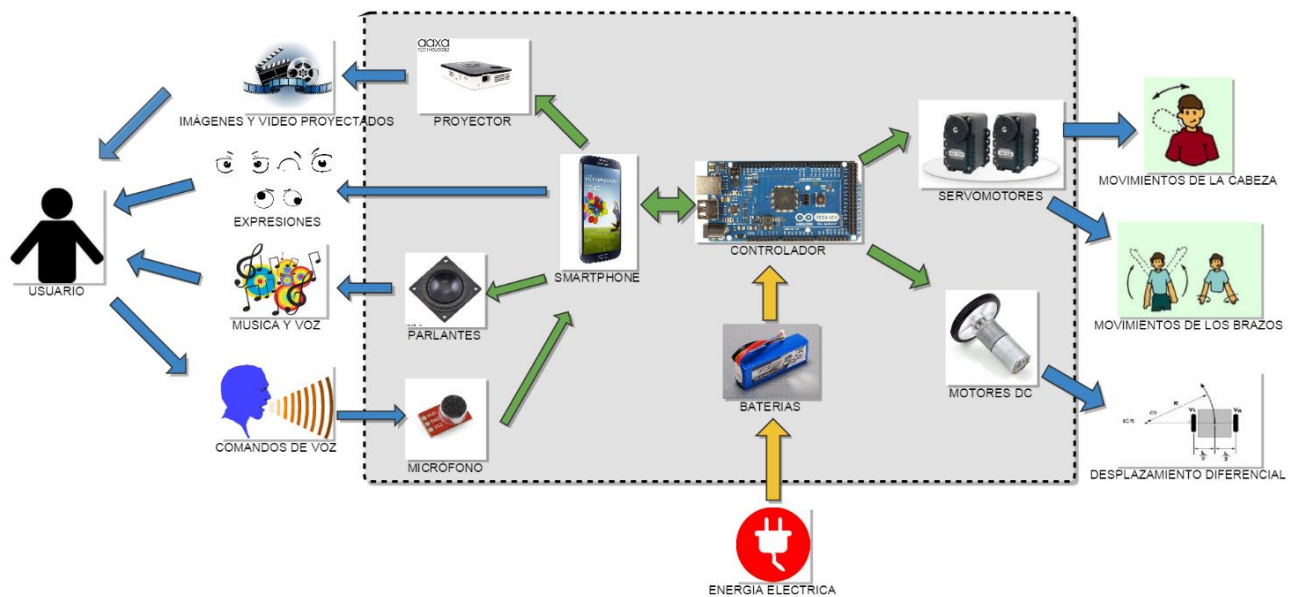


Figura 2.1 Diagrama de funcionamiento de MUQUI
Fuente: Propia

En el diagrama de la Figura 2.2 se muestran los componentes electrónicos de MUQUI, y como se conectan entre sí. El controlador se comunica con los motores y servomotores a través de sus respectivos drivers. Por otro lado, la energía de la batería se encarga de alimentar sólo al controlador, driver de motores DC y servomotores; ya que el proyector y el celular cuentan cada uno con una batería interna. Para la comunicación del controlador con el celular se utiliza un módulo WiFi para establecer una conexión inalámbrica.

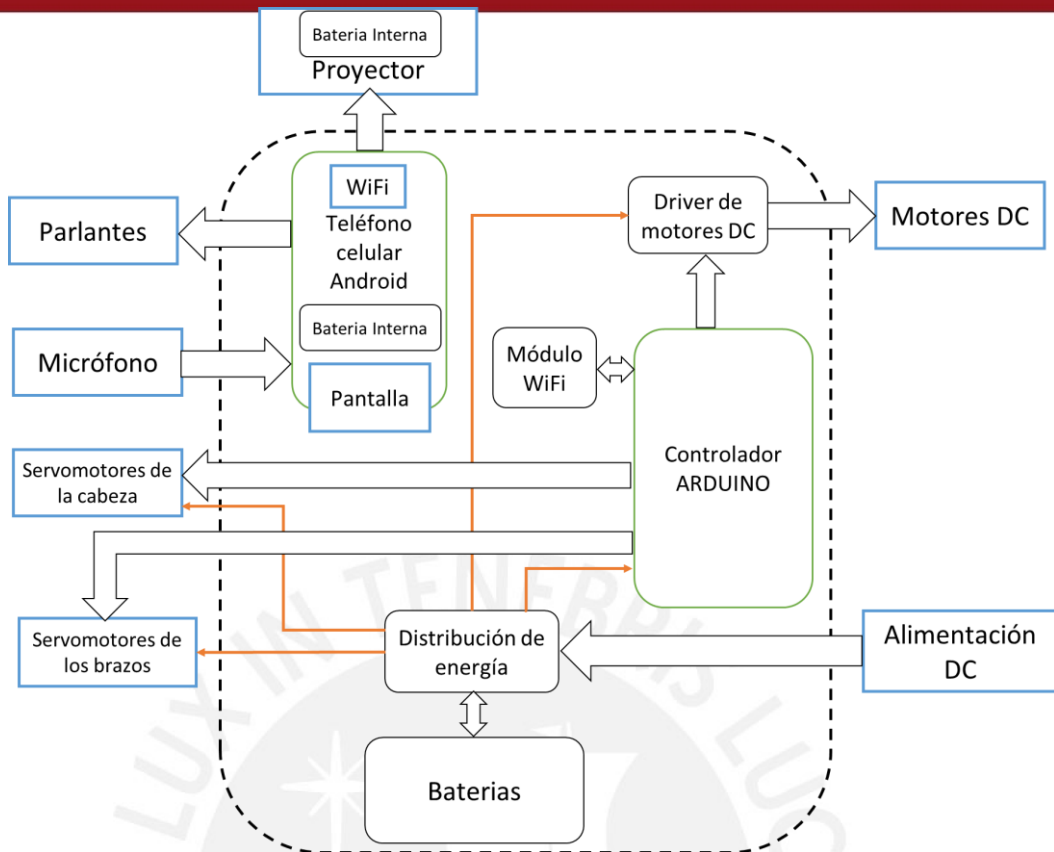


Figura 2.2 Diagrama de bloques de los componentes de MUQUI

Fuente: Propia

Los aspectos físicos del robot MUQUI se pueden apreciar en la Figura 2.3, y cumplen con dar morfología antropomórfica, capacidad de hacer gestos y generar sentido de pertenencia a una comunidad. Todos los componentes necesarios para cumplir las funciones previamente definidas y la evaluación del mejor concepto solución han sido obtenidos siguiendo la metodología de diseño mecatrónico, la cual se encuentra en el Anexo 1. En la Figura 2.3 se muestra el concepto solución obtenido a través de la metodología de diseño y la ubicación de los componentes del sistema.

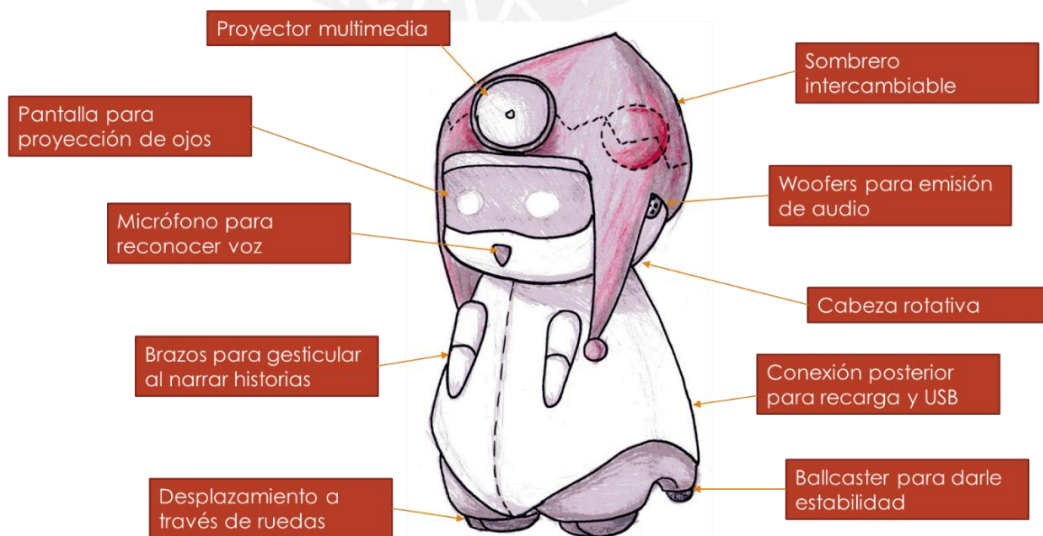


Figura 2.3. Bosquejo de MUQUI y la ubicación de sus componentes

2.1 Presentación de Concepto

En la Figura 2.4 se presenta la propuesta del robot MUQUI, un robot narrador de cuentos diseñado para relatar historias propias de una comunidad con la que se identifica, simulando emociones y expresiones en su tono de voz, ojos y movimiento de brazos y cabeza. El cuerpo posee forma antropomórfica para dar comodidad al oyente en interactuar con él [7,9] y un sombrero de dos partes que es propia de la comunidad donde se desempeñará.

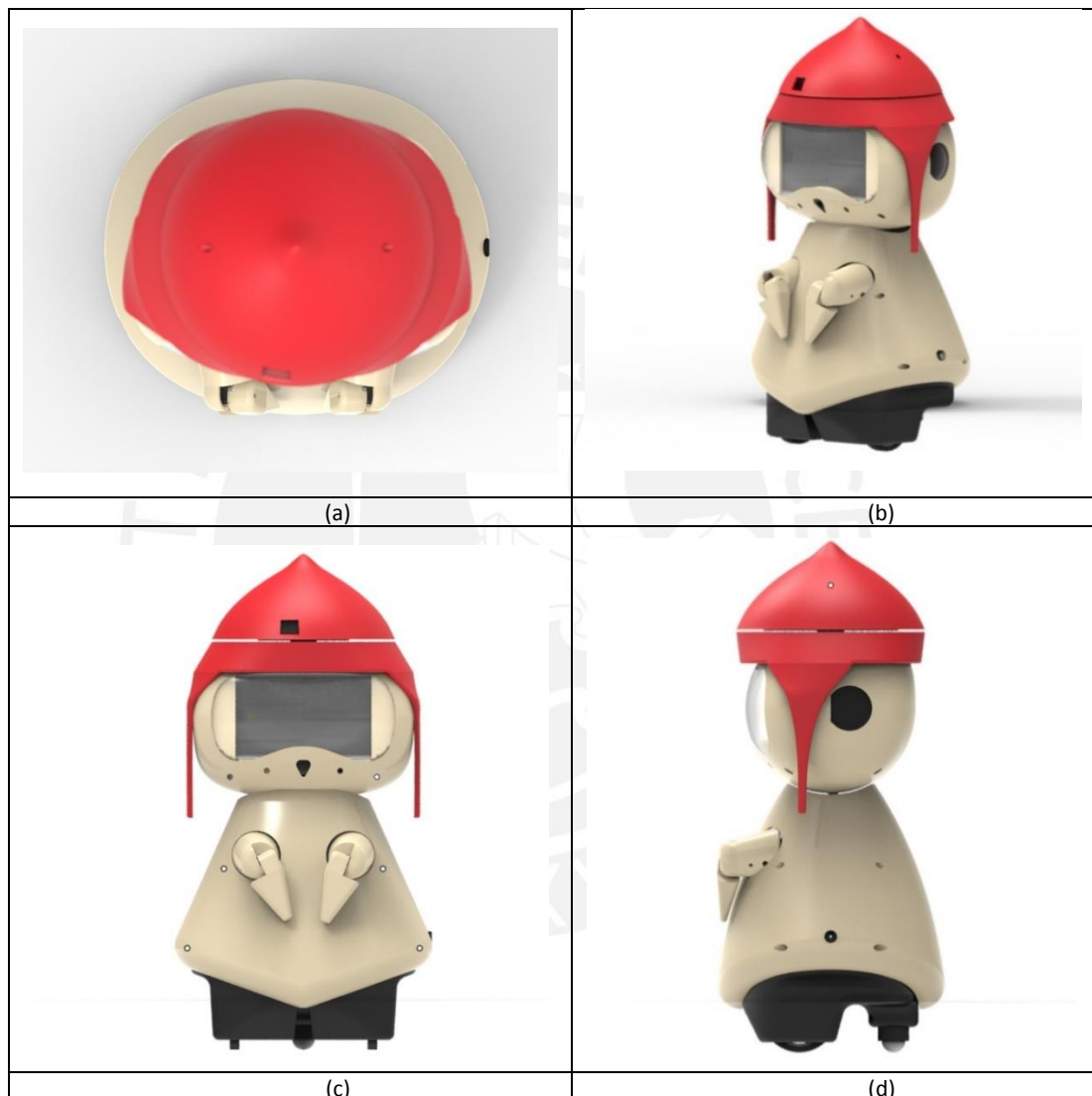


Figura 2.4 Diseño de propuesta
a) Vista superior, b) Vista isométrica, c) Vista frontal y d) Vista lateral
Fuente: Propia.

La primera interacción con el robot será a través de comandos de voz reconocidos a través de un micrófono frontal. Una vez que el usuario manifieste su deseo de escuchar una historia, el robot iniciará la narración emitiendo su propia voz a través de parlantes laterales. Cada historia, tiene almacenada en la memoria interna del robot imágenes y videos que serán proyectados a través del mini-proyector ubicado

encima de la cabeza del robot y disfrazado en el sombrero del mismo. El robot acompaña sus narraciones con diversos tipos de gestos que son: giro vertical de la cabeza para expresiones como asentir o bajar la cabeza; ojos mostrados en una pantalla para todo tipo de emoción como alegría, tristeza, sorpresa; movimientos de brazos con dos grados de libertad para semejar los movimientos naturales que hace cualquier persona al contar una anécdota para darle énfasis a sus palabras.

Finalmente, el desplazamiento del robot se realiza utilizando dos motores DC en una configuración diferencial, es decir que el robot gira haciendo que cada motor vaya a una velocidad diferente. Para darle estabilidad, el robot utiliza un ball caster metálico, que da libertad de giro al robot. El desplazamiento de la base del robot puede utilizarse para movilizar al robot o para hacer otro tipo de gestos como negarse, retroceder de golpe como un susto o giros rápidos para denotar felicidad.

El robot tiene 40.5 cm de altura, 21 cm de ancho y posee una estructura interna formada por planchas de metal de 1mm de espesor dobladas y empernadas para soportar a todos los componentes. Las coberturas externas que dan forma al robot son piezas fabricadas a través de impresión 3D en ABS que es un plástico muy resistente al impacto.

2.2 Sistema Electrónico

La Figura 2.5 muestra el diagrama de conexiones del sistema mecatrónico diseñado. En él, se aprecian todos los componentes electrónicos (sensores y actuadores), la conexión entre ellos, comunicación y sus respectivos voltajes de alimentación. El sistema presenta 5 bloques principales y un controlador principal que regula el correcto funcionamiento del sistema en conjunto. Más adelante se detalla cada componente seleccionado, su uso, características y ubicación.

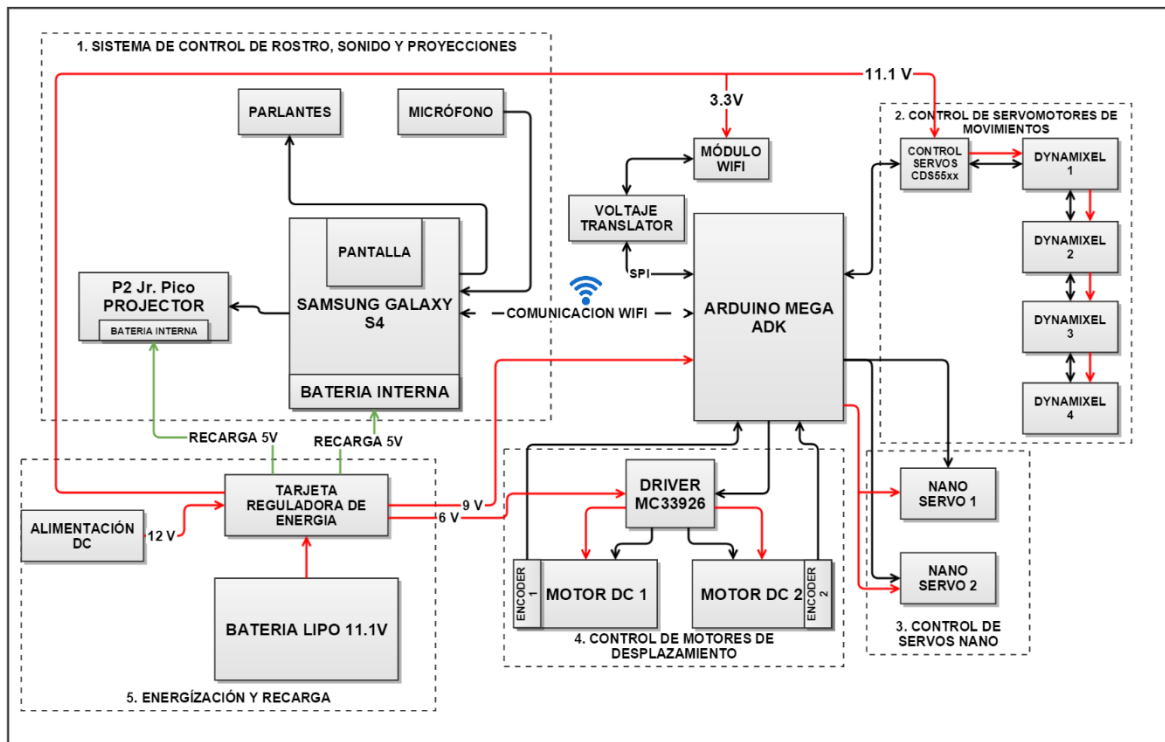


Figura 2.5 Diagrama de conexiones
Fuente: Propia

El controlador principal es el Arduino MEGA ADK, el cual establece una comunicación WiFi con el Smartphone Samsung Galaxy S4 a través del módulo WiFi de diseño propio. Se conecta, como intermediario entre el Arduino y el módulo WiFi, un traductor de voltajes debido a que uno utiliza un nivel de voltaje de 3.3V y el otro un nivel de 5V. El controlador Arduino se encarga directamente del control de todos los servomotores y motores DC del sistema.

El primer bloque representa el sistema de control del rostro, emisión de sonido, captura de audio y proyecciones. El elemento principal es el Smartphone Samsung Galaxy S4 que se ubica en la parte frontal de la cabeza del robot para utilizar su pantalla como rostro del robot. Además, se encuentra conectado al proyector P2 Jr. Pico a través de un cable MHL y a dos parlantes y un micrófono a través de su puerto jack de 3.5 mm.

El segundo bloque representa el control del movimiento de cabeza y brazos a través de los servomotores Dynamixel. Este bloque se comunica con el controlador Arduino a través de un driver CDS55xx y recibe una alimentación independiente para los servomotores de 12V proveniente de la tarjeta reguladora de energía. Los servomotores Dynamixel se encuentran conectados en cadena e identifican las órdenes que reciben a través de un ID. Dos de estos servomotores controlan el movimiento de los brazos del robot, otro controla el giro vertical de la cabeza y el último regula la dirección del proyector.

El tercer bloque corresponde al control del movimiento de los antebrazos del robot a través de 2 servomotores nano. Estos servomotores se conectan directamente al controlador Arduino debido a su bajo consumo de corriente y es este el que los energiza y controla.

El cuarto bloque corresponde al control del traslado del robot. Esto se realiza a través de dos motores DC POLOLU con encoder y caja reductora de 25mm de diámetro que permiten un desplazamiento diferencial del robot. Ambos motores son controlados por el Arduino a través de un driver de motores DC Pololu Dual MC33926 que recibe una alimentación independiente de 6V proveniente de la tarjeta reguladora de energía.

El quinto bloque corresponde al sistema que energiza a los componentes del sistema. El Smartphone y el proyector cuentan con una batería interna pero necesitan ser recargados. En este bloque se tiene una batería LiPo de 11.1 V que proporciona la energía a una tarjeta reguladora de diseño propio que ofrece una salida de 3.3 V para el módulo WiFi, una salida de 6 V para los motores DC, una salida de 9 V para el Arduino y una salida de 11.1 V o (12 V) para los servomotores Dynamixel. Adicionalmente se cuenta con una conexión DC para energizar la tarjeta y permitir la recarga de las baterías internas del sistema (excluyendo la batería LiPo) y de igual forma permitir que el sistema funcione. Cuando se cuenta con una alimentación DC de 12 V, la tarjeta brinda una salida adicional de 5 V que recarga las baterías internas de proyector y Smartphone. La batería LiPo de 11.1V no es recargada al recibir una alimentación externa DC, ya que la recarga de este tipo de baterías requiere tomar mayores precauciones y tendrá que ser retirada del robot para ser recargada.

2.2.1 Sensores y actuadores

Pantalla – Controlador del proyector

La selección de la pantalla, el controlador y el proyector comparte criterios, ya que estos deberán trabajar en conjunto. Debido a las exigencias que tiene la emisión de imágenes hacia un proyector, se decide dividir la tarea de procesamiento; en un controlador principal y en un controlador del proyector que haga la función adicional de pantalla. La compatibilidad entre el proyector y su controlador es esencial, así como la compatibilidad entre el controlador principal y el controlador del proyector. Para satisfacer estos criterios previos se opta por utilizar un Smartphone de gama alta con sistema operativo Android. Entre los modelos de Smartphone capaces de controlar un mini proyector se encuentran el Samsung Galaxy S3, S4 y Note 2. De lo anterior se selecciona un celular modelo Samsung Galaxy S4 para realizar la función de mostrar los ojos del robot. Al ser un equipo con gran capacidad de procesamiento y un sistema operativo Android, es capaz de hacerse cargo del manejo del proyector a través de una conexión HDMI y de controlar el flujo de información hacia los parlantes para la emisión de audio y desde el micrófono para el reconocimiento de voz. Adicionalmente se conectará por WiFi al controlador para coordinar que todas las acciones del robot se realicen en simultáneo. El Samsung Galaxy S4 posee una pantalla de 5 pulgadas Full HD, 2GB de memoria RAM y 16GB de memoria interna. Cuenta con sistema operativo Android 4.2.2 Jelly Bean y una batería de Li-ion de 2600 mAh de capacidad que se recarga a través de un puerto micro-USB que le debe proveer 5V y 500 mA (Revisar Anexo 11).



Figura 2.6 Samsung Galaxy S4

Fuente: <http://www.smart-gsm.com/moviles/samsung-galaxy-s4>

Tabla 2.1 Características Técnicas del Celular
Fuente: <http://www.smart-gsm.com/moviles/samsung-galaxy-s4>

Características	
Procesador	Exynos 5 Octa
Pantalla	5 pulgadas Super AMOLED-Touchscreen
Memoria RAM	2 GB
Memoria interna	16 GB
Sistema operativo	Android OS, v4.2.2 Jelly Bean
Conexiones	4G, Bluetooth, Wi-fi
Puertos	microUSB 2.0
Batería	Standard, Li-ion 2600 mAh
Masa	130 g

Controlador

Para el control de los servomotores y el driver de motores se seleccionó un Arduino Mega ADK debido a su compatibilidad con dispositivos Android y que de esta forma sea compatible con el Smartphone previamente seleccionado. Este controlador se comunicará por conexión inalámbrica WiFi con el celular Samsung Galaxy S4 para coordinar las proyecciones multimedia, sonidos emitidos y los gestos de ojos con los movimientos del robot. El Arduino Mega ADK es una tarjeta basada en un microcontrolador ATmega2560. Este dispositivo posee 54 pines de entradas y salidas digitales (de los cuales 15 pueden ser usados como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 puertos seriales (UARTs), un cristal oscilador de 16Mhz, y conexión USB. Su voltaje de operación es 5V y puede recibir entre 6 y 20V que luego la tarjeta misma lo regula. Se puede observar también que el microcontrolador ofrece salidas de 5V y 3.3V (Revisar Anexo 11).



Figura 2.7 Arduino Mega ADK

Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK?from=Main.ArduinoBoardADK>

Tabla 2.2 Características Técnicas del Controlador

Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK?from=Main.ArduinoBoardADK>

Características	
Microcontrolador	Atmega 2560
Voltaje de Operación	5V
Voltaje de Alimentación	7-12V (Limite 6-20V)
Pines Digitales (E/S)	54 pines (15 PWM)
Pines Analógicos	16
Corriente Max. por pin E/S	40mA
Conexiones	USB Host
Masa	36 g

Proyector

Para la proyección de contenido multimedia sobre paredes u otra superficie se utilizará el proyector P2 Jr. Pico Proyector de la marca AAXA Technologies. Otras alternativas evaluadas de proyectores son fueron: L1 v2 Laser Pico Projector, S1 ASUS Mobile LED Projector y Philips PicoPix PPX3614 Projector. Sin embargo, se selecciona el P2 Jr. Pico Projector porque es el único compatible con el Smartphone y es uno de los mini proyectores comerciales más pequeños que existen y guarda una excelente relación entre tamaño y capacidades. Trabaja conectado al celular Samsung Galaxy S4 y recibirá la información a proyectar por su puerto mini-HDMI. El proyector cuenta con una batería interna que ofrece 90 minutos de funcionamiento. Este proyector es compatible con celulares y permite una máxima resolución de 1080p (Revisar Anexo 11). Su características principales de proyección son de 55 Lumens, lo cual es un valor relativamente alto para proyectores de bolsillo y puede proyectar imágenes hasta un máximo de 70 pulgadas de distancia (180 cm aprox.)



Figura 2.8 P2 Jr. Pico Proyector

Fuente: http://www.aaxatech.com/products/p2jr_pico_projector.html

Las características técnicas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.3 Características Técnicas del Proyector
Fuente: http://www.aaxatech.com/products/p2jr_pico_projector.html

Características	
Máx. Resolución de entrada	1920x1080 (1080p)
Luminosidad	55 Lumens
Contraste	1000:1
Imagen proyectada	10 – 50 pulgadas (25 – 125 cm)
Tiempo de batería	90 minutos
Consumo de potencia	6 Watts
Dimensiones	4.2" x 2.9" x 0.8"
Masa	150 g

Conexión para el proyector

Para transmitir la información del Samsung Galaxy S4 al proyector P2 Jr. Pico se utilizará un cable de micro-USB a HDMI específico para dispositivos Samsung. En la Figura 2.9 se muestra el cable AAXA MHL que se empleará.



Figura 2.9 P2 Jr. Pico Proyector

Fuente: <http://www.aaxatech.com/store/products/MHLCable.html>

Motores para desplazamiento

Para el desplazamiento de MUQUI se utilizarán 2 motores DC distribuidos por POLOLU. Para la selección de los motores se asume el caso crítico en el que todo el peso del robot se halle sobre las ruedas delanteras y este requiera superar un obstáculo. Considerando el radio de las ruedas de 60 mm, es necesario un torque de 3.75 kg*cm por rueda.

Del catálogo de motores de POLOLU se escogen los motores modelo Metal Gearmotor 25D con encoder de baja potencia. Para la selección de la reducción se tiene como premisa restringir que el robot debe tener una velocidad máxima de desplazamiento de 10cm/s; con lo cual se obtiene una reducción de 176:1.

En la Figura 2.10 se muestra los modelos disponibles y la selección realizada más próxima la reducción calculada.

Gear Ratio	No-Load Speed @ 6 V	Stall Torque @ 6 V	Stall Current @ 6 V		
				With Encoder	Without Encoder
1:1	9800 RPM	2 oz-in	6 A	motor without gearbox	
	5600 RPM	1 oz-in	2.2 A	motor without gearbox	
4.4:1	2220 RPM	8 oz-in	6 A	25Dx48L mm HP	25Dx48L mm HP
	1280 RPM	5 oz-in	2.2 A	25Dx48L mm	25Dx48L mm
9.7:1	1010 RPM	17 oz-in	6 A	25Dx48L mm HP	25Dx48L mm HP
	580 RPM	11 oz-in	2.2 A	25Dx48L mm	25Dx48L mm
20.4:1	480 RPM	36 oz-in	6 A		25Dx50L mm HP
	275 RPM	24 oz-in	2.2 A		25Dx50L mm
34:1	285 RPM	60 oz-in	6 A	25Dx52L mm HP	25Dx52L mm HP
	165 RPM	40 oz-in	2.2 A	25Dx52L mm	25Dx52L mm
47:1	210 RPM	80 oz-in	6 A	25Dx52L mm HP	25Dx52L mm HP
	120 RPM	50 oz-in	2.2 A	25Dx52L mm	25Dx52L mm
75:1	130 RPM	130 oz-in	6 A	25Dx54L mm HP	25Dx54L mm HP
	75 RPM	85 oz-in	2.2 A	25Dx54L mm	25Dx54L mm
99:1	100 RPM	160 oz-in	6 A	25Dx54L mm HP	25Dx54L mm HP
	57 RPM	110 oz-in	2.2 A		25Dx54L mm
172:1	57 RPM	260 oz-in	6 A		25Dx56L mm HP
	33 RPM	170 oz-in	2.2 A	25Dx56L mm	25Dx56L mm
227:1	25 RPM	220 oz-in	2.2 A		25Dx56L mm
378:1	15 RPM	250 oz-in	2.2 A		25Dx58L mm
499:1	12 RPM	300 oz-in	2.2 A		25Dx58L mm

Figura 2.10 Modelos disponibles de cajas reductoras para motor 25D
Fuente: <https://www.pololu.com/product/2288>

Se seleccionaron los motores de engranajes metálicos 25Dx56L mm con encoder y caja reductora de 172:1 (Revisar Anexo 11). Con esta selección se tendrá un consumo de 209 mA en el desplazamiento por motor al superar obstáculos y se consigue una velocidad de desplazamiento máxima de 10.23 cm/s. Según el catálogo del motor escogido, este motor puede proveer hasta un máximo de 170 oz.in (12.24 kg.cm), lo cual supera lo requerido y no presentará problemas. Los cálculos de selección de los motores, su reducción y consumo de potencia pueden ser vistos en el Anexo 2.



www.pololu.com

Figura 2.11 Metal Gearmotor with 48 CPR Encoder

Fuente: <https://www.pololu.com/product/2288>

Las características técnicas de los motores DC se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 2.4 Características Técnicas Metal Gearmotor with 48 CPR Encoder

Fuente: Propia

Características Generales	
Modelo	172:1 Metal Gearmotor 25Dx56L with 48 CPR Encoder
Marca	Pololu
Dimensiones	2.69" x 0.98" x 0.98"
Reducción	171.79:1
Masa	3.73 oz. (105 g)
Encoder	8246 cuentas por revolución
Eje	4mm de diámetro y forma de D
Voltaje de funcionamiento	6 V Nominal (3 – 9 V)
Alimentación de Encoder	3.5 – 20 V
Características de funcionamiento a 6V	
Velocidad sin carga	33 RPM
Consumo sin carga	80 mA
Torque máximo	170 oz-in (12.2 kg-cm)
Consumo con rotor trabado	2.2 A

Controlador de motores

Para el control de los motores DC es necesario contar con un controlador de motores brushed adecuados que permitan variar la velocidad, así como el sentido de giro de los motores. El Controlador Pololu Dual MC33926 para motores DC con Shield para Arduino, como se muestra en la Figura 2.12, permite realizar un control adecuado de los motores, ya que puede manejar dos motores en simultáneo y permite el control de velocidad a través de PWM (Revisar Anexo 11). Su compatibilidad con Arduino facilita el montaje y su uso, es además un driver que soporta hasta 3 A de corriente en cada canal, lo cual es suficiente para controlar los motores seleccionados que requieren un máximo de 2.2 A.

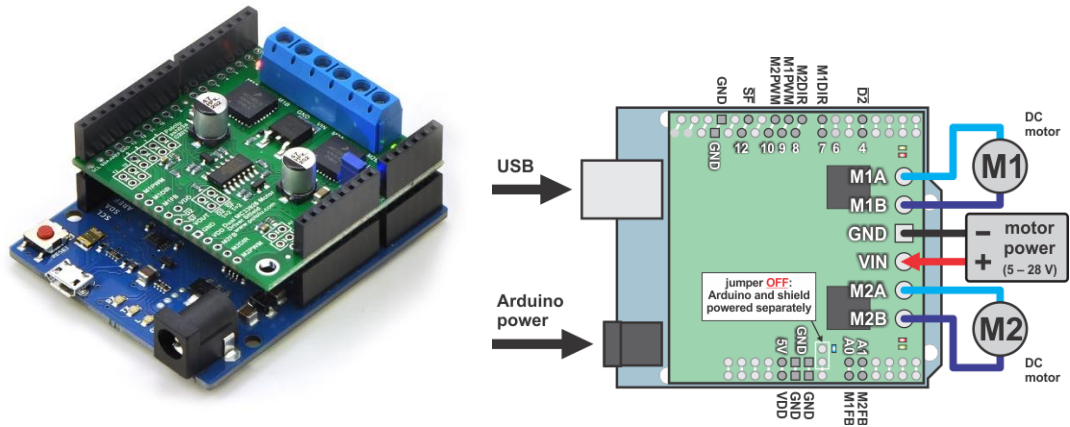


Figura 2.12 Pololu MC33926 Motor Driver mounted on Arduino
Fuente: <https://www.pololu.com/product/2503>

Tabla 2.5 Características Técnicas del driver de motores MC33926
Fuente: Propia

Características Generales	
Modelo	Pololu Dual MC33926 Motor Driver Shield Arduino
Cantidad de canales para motores	Capacidad para controlar 2 motores DC
Voltaje de operación	5 – 28 V
Corriente de salida	3 A continuos (5 A pico) por canal
Voltaje de control	Compatible con sistemas de 5V y 3.3 V
Operación con PWM	Hasta 20kHz

Servomotores

Para el movimiento de los brazos son necesarios dos servomotores por cada uno y para la cabeza son necesarios dos servomotores. Del total de 6 servomotores a seleccionar se opta por 2 modelos: 4 servomotores Dynamixel AX-12A para el movimiento del proyector, la cabeza y el giro de los brazos de MUQUI y 2 servomotores Servo-Hitec HS-35HD Ultra Nano Size distribuidos por Sparkfun para el giro de los antebrazos del robot (Revisar Anexo 11). En la Tabla 2.6 se resumen los servomotores, modelo, ubicación, función y velocidad de funcionamiento.

Tabla 2.6 Características Técnicas del driver de motores MC33926
Fuente: Propia

Modelo	Voltaje de Alimentación	Rango de movimiento	Función	Velocidad de giro con carga (RPM)
Dynamixel AX-12A	12 V	0 – 35°	Giro de la cabeza	52.3
Dynamixel AX-12A	12 V	0 – 300°	Giro del Proyector	57.8
Dynamixel AX-12A	12 V	0 – 270°	Giro del Brazo	58.8
Dynamixel AX-12A	12 V	0 – 270°	Giro del Brazo	58.8
Servo-Hitec HS-35HD	5 V	0 – 160°	Giro del Antebrazo	98.9
Servo-Hitec HS-35HD	5 V	0 – 160°	Giro del Antebrazo	98.9

Los servomotores Dynamixel son servomotores inteligentes que incluyen driver, controlador y protocolos de comunicación en un solo equipo. Para su uso se realiza una conexión en serie de todos los servomotores Dynamixel y cada uno tiene una ID para identificarse. La comunicación con el Arduino se realiza a través de comunicación serial y de una red TTL que funciona para distancias cortas a voltajes entre 0 y 5 V. Es necesario un chip tri state buffer para conexión con el Arduino que se selecciona más adelante. El Arduino puede dar órdenes a todos los servomotores gracias a la conexión en serie y la identificación a través de un ID. A continuación se muestran los servomotores seleccionados y sus principales características.

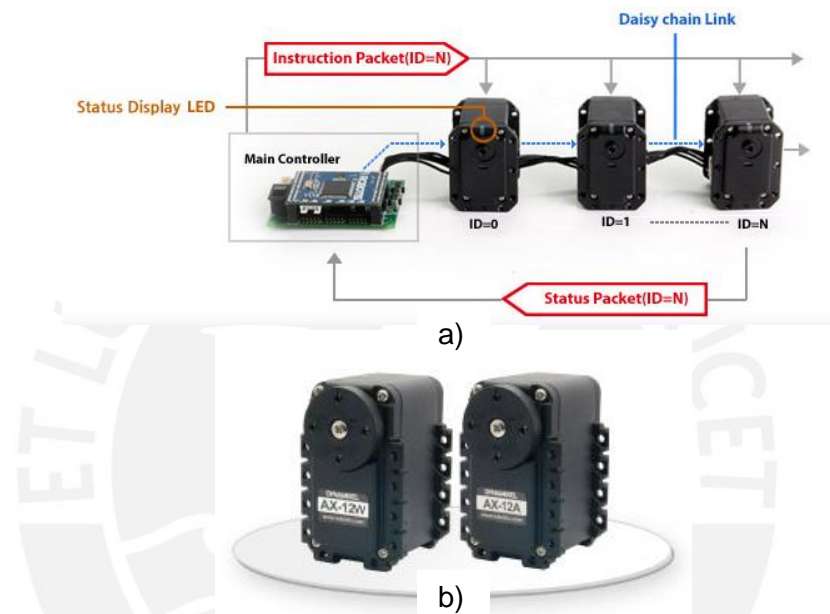


Figura 2.13 a) Ejemplo de conexión entre Arduino y Dynamixel, b) Servomotores Dynamixel AX-12A
Fuente: http://www.robotis.com/x/dynamixel_en#d04

Tabla 2.7 Características Técnicas del driver de motores MC33926
Fuente: http://www.robotis.com/x/dynamixel_en#d04

Características Generales	
Masa	54.6 g
Dimensiones	32x50x40 mm
Juego de engranajes	254:1
Interfaz de red	TTL
Sensor deposición (Resolución)	Potenciómetro (300°/1024)
Voltaje de operación	9 – 12 V.
Torque máximo	1.5 N.m a 12 V
Corriente máxima	1.5 A
Velocidad sin carga	59 RPM

Con estos servomotores se tiene una velocidad de movimiento de aprox. 58 RPM para el giro del proyector, el movimiento vertical de la cabeza y el giro de los brazos de MUQUI. El cálculo de la velocidad de movimiento, el torque necesario de cada servomotor y el consumo de potencia se puede revisar en el Anexo 3.

Los servomotores Hitec HS-35HD son de tamaño reducido para poder caber en el brazo del robot y son los que se encargan de mover los antebrazos. No necesitan de un gran torque ya que solo mueven los antebrazos que no superan los 20 gramos de masa. La velocidad de movimiento que otorga este servomotor es de 98.9 RPM y al igual que para los Dynamixel, se tienen los cálculos respectivos en el Anexo 3. A continuación, se muestra el servomotor y un resumen de sus características.



Figura 2.14 Servomotor SparkFun Servo-Hitec HS-35HD (Ultra Nano Size)
Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/11882>

Tabla 2.8 Características Técnicas del Servo-Hitec HS-35HD
Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/11882>

Características Generales	
Peso	4.5 g
Dimensiones	18.6 x 7.6 x 15.5 mm
Voltaje	4.8 V
Torque	11.11 oz-in (0.8 kg-cm)
Velocidad	0.1 sec/60° (100 RPM)
Rotación	180°

Micrófono

Es necesario un micrófono omnidireccional que permita un amplio rango de interacción con MUQUI, por lo cual se opta por SparkFun Electret Microphone Breakout que trabaja con voltajes de 2.7 a 5.5V. Este micrófono trabajará conectado al celular Samsung Galaxy para el procesamiento de comandos de voz (Revisar Anexo 11).

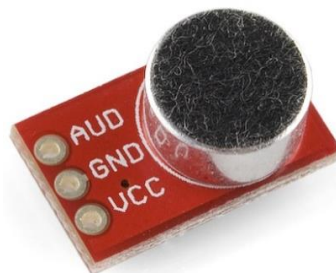


Figura 2.15 SparkFun Electret Microphone Breakout
Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/9964>

Parlantes

Se utilizan dos parlantes Ultra mini portátiles distribuidos por Deal Extreme de 52mm de diámetro con una potencia de 2.4W. Ambos trabajarán en simultáneo y serán controlados por el celular Samsung Galaxy S4 para emitir la voz de MUQUI y cualquier otro sonido o audio necesario en sus narraciones. Se conectan directamente al celular a través del puerto Jack de 3.5mm.



Figura 2.16 DealExtreme Ultra mini altavoz USB portátil

Fuente: http://www.dx.com/es/p/ultra-mini-usb-rechargeable-portable-speaker-black-3-5mm-dc-5v-39798#.VVLDufl_Okp

Batería

Las baterías LiPo (Litio – Polimero) son las ideales para MUQUI por sus excelentes capacidades de carga y poco peso. Se utilizará una batería LiPo Rhino de 1550mAh 3S 30C. Estas baterías alimentarán el circuito de carga y regulación que entrega los voltajes necesarios al ARDUINO, Drivers, Motores y Servomotores. El cálculo para la selección de la batería y su capacidad se encuentran en el Anexo 4. Con esta batería se asegura una hora de autonomía.



Figura 2.17 Batería LiPo Rhino de 1550mAh 3S 30C

Fuente: http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__9326__Rhino_1550mAh_3S_11_1v_30C_Lipoly

Tabla 2.9 Características Técnicas de la batería LiPo

Fuente: http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/_9326_Rhino_1550mAh_3S_11_1v_30C_Lipoly

Características Generales	
Capacidad	1550 mAh
Configuración	3S / 11.1V / 3 Celdas
Descarga	30C
Pico de descarga	40C (15 seg)
Masa	136 g
Dimensiones	91 x 33 x 21 mm

Módulo WiFi

Debido a que el controlador Arduino Mega ADK y el celular Samsung Galaxy S4 necesitan trabajar en conjunto de forma coordinada es necesario que se comuniquen entre sí. Ya que el celular ya utiliza su única salida para manejar el proyector, es necesario realizar la comunicación de manera inalámbrica. Para esto se optó por una comunicación WiFi y se selecciona el módulo WiFi WF111-E (Revisar Anexo 11) para que esté conectado al Arduino. Este módulo tiene dos modos de comunicación, uno de ellos es por protocolo serial CSPI que utiliza 4 pines para comunicación (CLK, CSB, MOSI y MISO) y 2 pines de alimentación (VCC y GND). Para utilizar este componente se implementa un circuito propio que se describe más adelante.

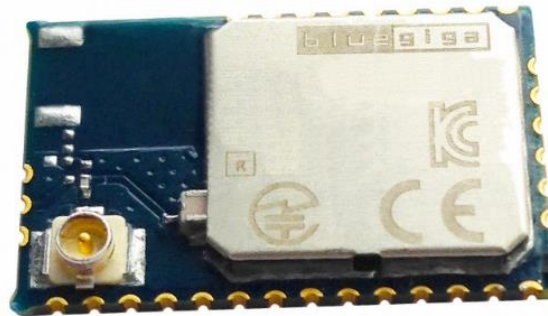


Figura 2.18 WF111-E Módulo Wifi

Fuente: <http://www.digikey.com/product-detail/en/WF111-E-V1/1446-1032-ND/4245507>

Tabla 2.10 Características Técnicas del módulo WiFi WF111-E

Fuente: <http://www.digikey.com/product-detail/en/WF111-E-V1/1446-1032-ND/4245507>

Características Generales	
Voltaje de entrada	1.8 V y 3.3 V
Frecuencia	2.4GHz
Protocolo	802.11 b/g/n
Transferencia de datos (Máx.)	72.2 Mbps
Potencia de salida	17 dBm

Control de servomotores

Los servomotores Dynamixel se comunican por Half Duplex UART por lo que para que se comuniquen correctamente con el Arduino se debe tener un chip tri state buffer para convertir las tres líneas del motor en una. En este caso se utilizará un

módulo CDS55xx especialmente diseñado para la comunicación entre Dynamixel AX/MX con Arduino. Este módulo permite tener una alimentación independiente para los servomotores, lo cual sirve para proteger al controlador de altas exigencias de corriente por parte de los servomotores. A continuación se detallan las características técnicas del módulo.



Figura 2.19 Dynamixel AX/MX bus Driver Board CDS55xx
Fuente: <http://robosavvy.com/store/dynamixel-ax-mx-bus-driver-board-cds55xx.html>

Tabla 2.11 Características Técnicas del módulo CDS55xx
Fuente: <http://robosavvy.com/store/dynamixel-ax-mx-bus-driver-board-cds55xx.html>

Características Generales	
Voltaje de entrada	7 a 16 V
Interfaz con Arduino	Full Duplex UART (Rx/Tx a nivel TTL)
Dimensiones	50x25x12 mm
Transferencia de datos (Máx.)	1 Mbps

Traductor de voltajes

Debido a que el módulo WiFi se comunica con un nivel de voltaje de 3.3 V y el controlador Arduino utiliza señales de 5V, es necesario un Voltaje Translator para permitir la comunicación entre ambos. Para esto se selecciona el módulo SparkFun Voltaje-Level Translator Breakout – TXB0104 (Revisar Anexo 11).

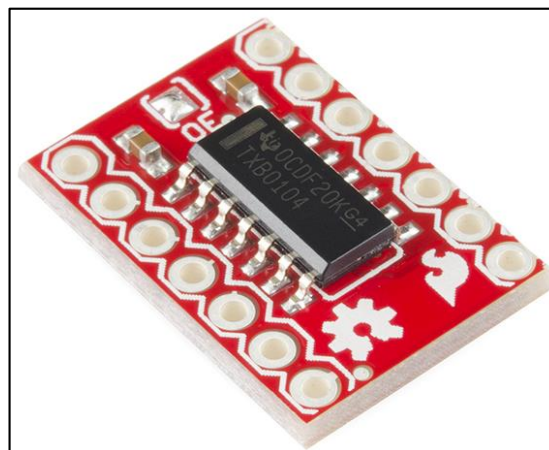


Figura 2.20 SparkFun Voltaje-Level Translator Breakout – TXB0104
Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/11771>

Conector DC Hembra

Se selecciona un conector Jack Female para permitir la alimentación por una fuente DC del sistema. Se utiliza el conector DC Barrel Jack Adapter – Female distribuido por SparkFun.



Figura 2.21 SparkFun DC Barrel Jack Adapter - Female
Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/10288>

Microcontrolador ATmega

Para el sensado de los voltajes de alimentación en la tarjeta reguladora de energía y el control de la habilitación de las salidas se selecciona un microcontrolador de la marca ATMEL modelo ATmega 88. Las tareas de procesamiento que debe cumplir este microcontrolador no son exigentes y se optó por este modelo en particular debido a la experiencia que se tiene en la programación y uso del mismo. Las características generales de este microcontrolador se resumen en la Tabla 2.12.

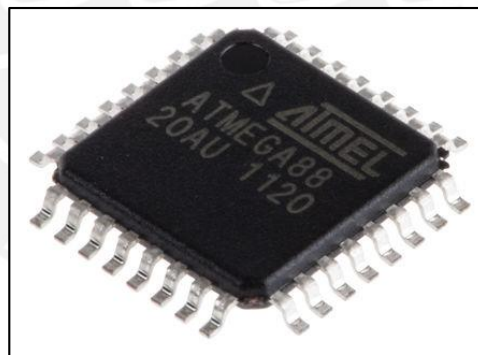


Figura 2.22 ATMEL ATmega 88 Microcontrolador
Fuente: <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA88.aspx?tab=parameters>

Tabla 2.12 Características Técnicas del Microcontrolador ATmega 88
Fuente: <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA88.aspx?tab=parameters>

Características Generales	
Voltaje de operación	2.7 V – 5.5 V
Frecuencia Máxima	20 MHz
N° de pines	32
CPU	8-bit AVR
Canales ADC	8
Memoria Flash	8 Kbytes
EEPROM	512 Bytes
RAM	1 Kbyte

2.2.2 Ubicación de componentes electrónicos

A continuación se detalla en la Figura 2.23 la ubicación en el robot de todos los componentes electrónicos seleccionados.

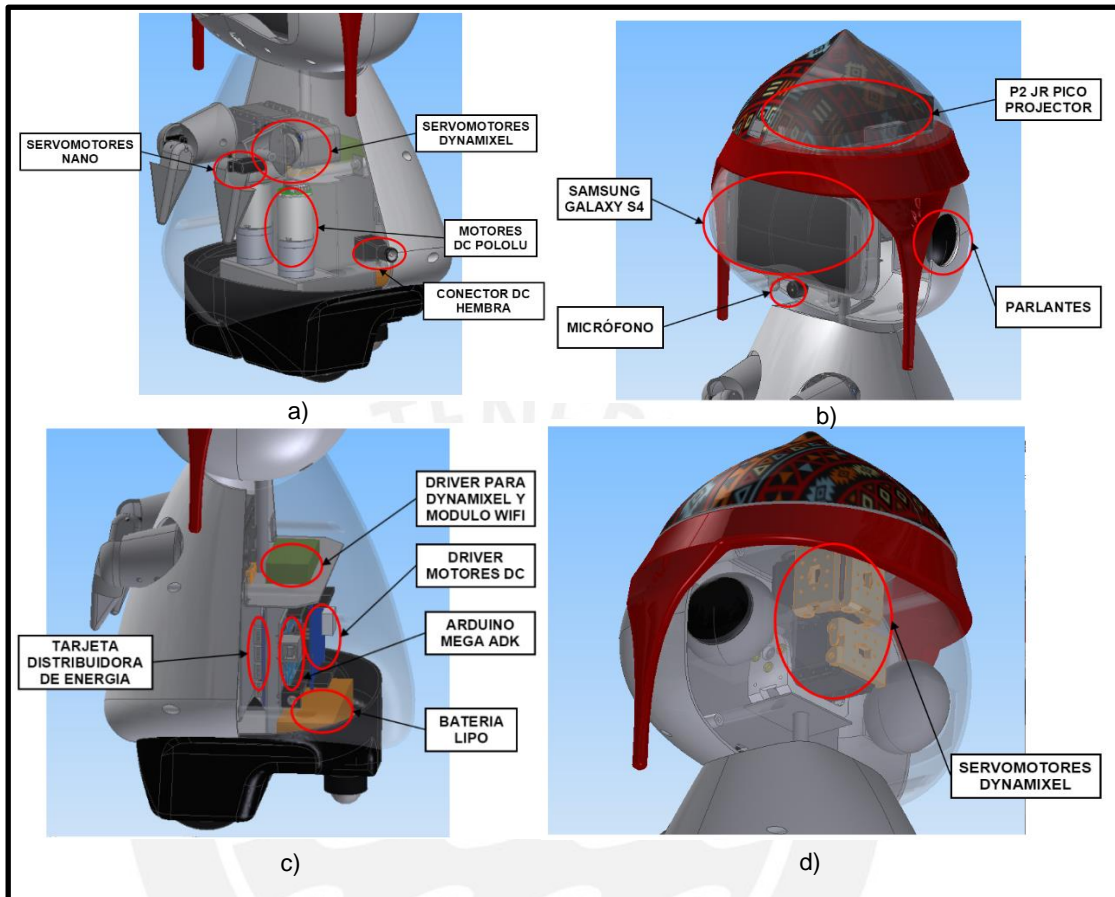


Figura 2.23 Ubicación de los componentes electrónicos de MUQUI desde diferentes vistas
Fuente: Propia

En el cuerpo del robot se ubica la mayoría de componentes; en el cuerpo se ubica el Arduino, las tarjetas de alimentación y de WiFi, los driver de servomotores y motores DC y la batería LiPo (Fig. 2.23 a) y c)). Todos los componentes van fijados a la estructura central y están sujetos por uniones pernadas que se detallan más adelante. En el cuerpo se tienen los dos servomotores nano y dos servomotores Dynamixel para el movimiento de brazos. Los servomotores nano se ubican en el interior de los brazos y mueven los antebrazos de MUQUI.

En la cabeza del robot se ubican el Smartphone, los parlantes, el micrófono, el proyector y dos servomotores Dynamixel para el movimiento de la cabeza y el proyector. Los servomotores Dynamixel se encuentran en el centro de la cabeza y se sujetan a la estructura metálica central por uniones pernadas. Tanto el Smartphone como el proyector están sujetos por la carcasa externa adaptada a su forma, pero dando el espacio necesario para las conexiones con cables.

2.2.3 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

A continuación se detallan los esquemáticos y conexiones de los componentes electrónicos del sistema mecatrónico. En la Figura 2.24 se observa la conexión del Smartphone, proyector, parlantes y micrófono. La comunicación entre Smartphone y proyector utiliza un cable HML que se conecta a la entrada micro-USB del Smartphone y a las entradas mini-HDMI y USB del proyector. Para la recarga de ambos se alimenta al proyector con un Jack de poder que proviene de la tarjeta reguladora. Al estar alimentado, el proyector recarga al Smartphone a través de la conexión USB. Finalmente, tanto los parlantes como el micrófono comparten la misma conexión y se conectan al Smartphone a través de un Jack 3.5mm.

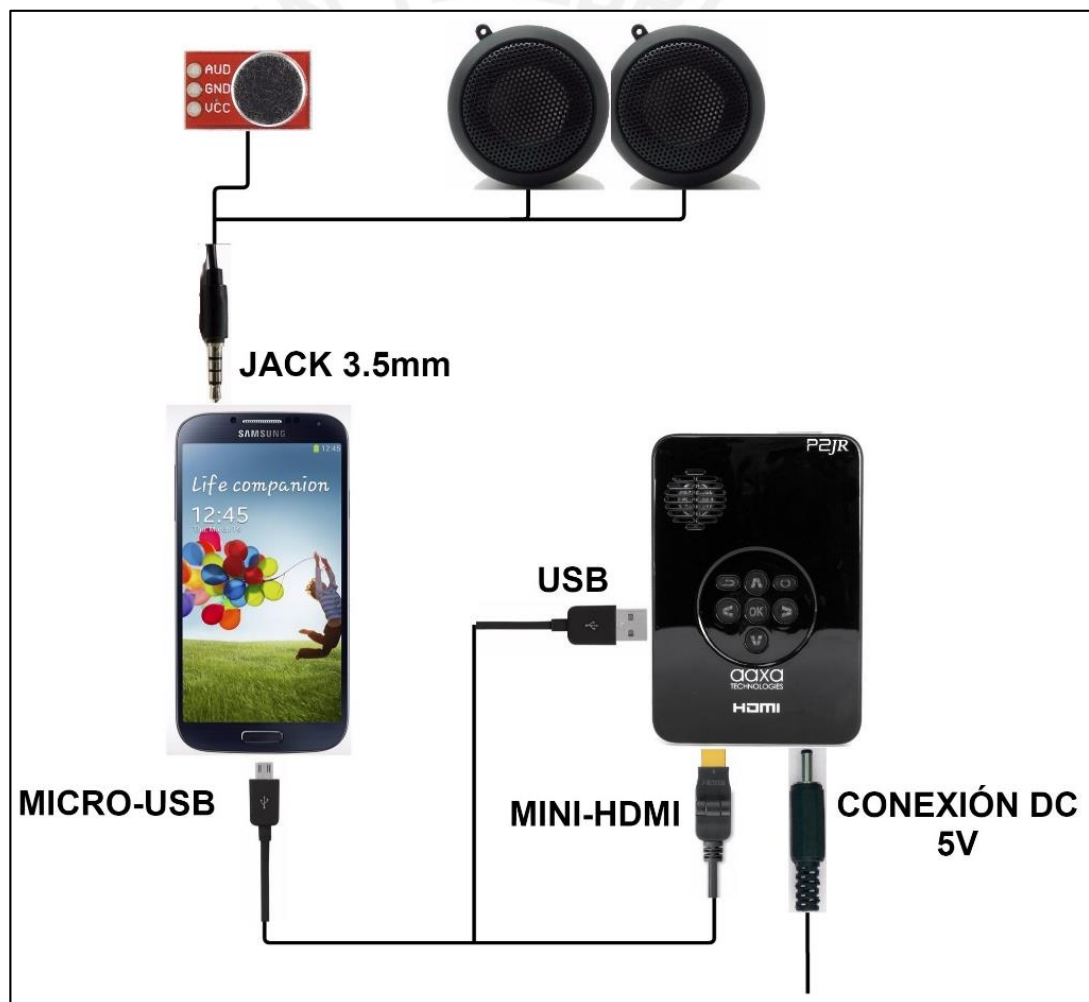


Figura 2.24 Conexión y uso de puertos del Smartphone, proyector, parlantes y micrófono
Fuente: Propia

Módulo WiFi

El módulo WiFi es una tarjeta de diseño propio basada en el componente WF111-E (para más informar de sus características revisar Anexo 11). La comunicación entre el módulo y el Arduino se realiza a través de un protocolo SPI (Serial Peripheral Interface), el cual utiliza 4 pines (MOSI, MISO, CLK y CS). En la Figura 2.25 se observa el esquemático completo de la tarjeta con todos sus componentes. Se puede observar la tarjeta PCB y el esquemático en formato A3 en el Anexo 12. El módulo WiFi necesita una alimentación de 3.3 V que es suministrada por una de las salidas de la tarjeta reguladora.

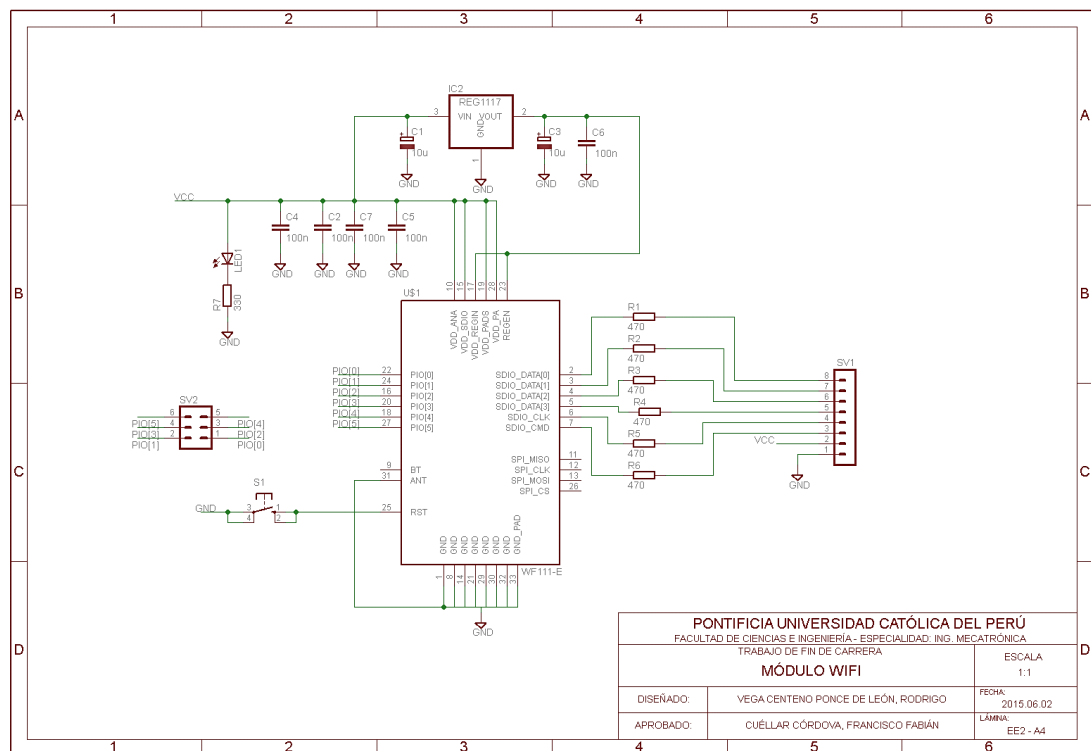


Figura 2.25 Esquemático de Módulo WiFi
Fuente: Propia

Adicionalmente, en la figura 2.26 se observa la conexión del módulo WiFi con el Voltaje Translator y el controlador Arduino para permitir su comunicación. Asimismo se observan las conexiones de alimentación para realizar la conversión. La entrada de 3.3V es suministrada por una salida de la tarjeta reguladora y la fuente de 5V es suministrada por el controlador Arduino.

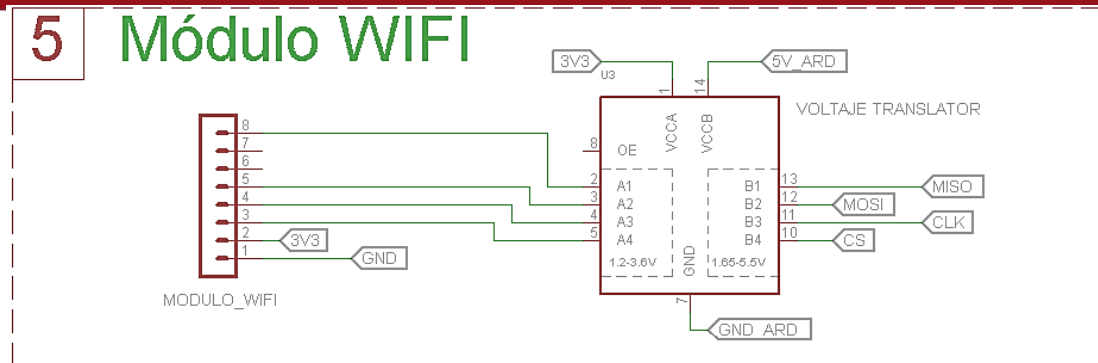


Figura 2.26 Esquemático de Módulo WiFi conectado al Voltaje Translator

Fuente: Propia

Tarjeta reguladora de energía

En la Figura 2.27 se encuentra el esquemático completo de la tarjeta reguladora de energía de diseño propio. La función de esta tarjeta es abastecer a todo el sistema mecatrónico con los respectivos voltajes que necesita cada componente. La tarjeta posee un microcontrolador ATmega 88 para sensar los voltajes de entrada; tanto el proveniente de una alimentación DC conectada por un Jack de poder o el proveniente de la batería. La tarjeta trabaja bajo la siguiente lógica: De existir un voltaje de batería dentro del rango adecuado (entre 11 y 14 V) se activan los MOSFETs que alimentan las salidas de voltaje de 3.3V, 6V, 9V y 12V; si existe un voltaje de entrada proveniente de la alimentación DC que se encuentre dentro del rango aceptado (entre 11 a 16 V) se alimentan las salidas de la tarjeta y adicionalmente una salida de 5V que se encarga de cargar las baterías internas del Smartphone y el proyector. El sistema da preferencia a la conexión DC de estar presente e inhabilita las salidas si los voltajes de entrada no son adecuados, lo cual protege a todos los componentes del sistema. Con la implementación de este circuito se alcanza el objetivo inicial de permitir que el robot funcione tanto con una batería como con una alimentación externa DC. El esquemático en formato A3 se encuentra en el Anexo 12 y la programación en Assembler del microcontrolador se encuentra en el Anexo 9.

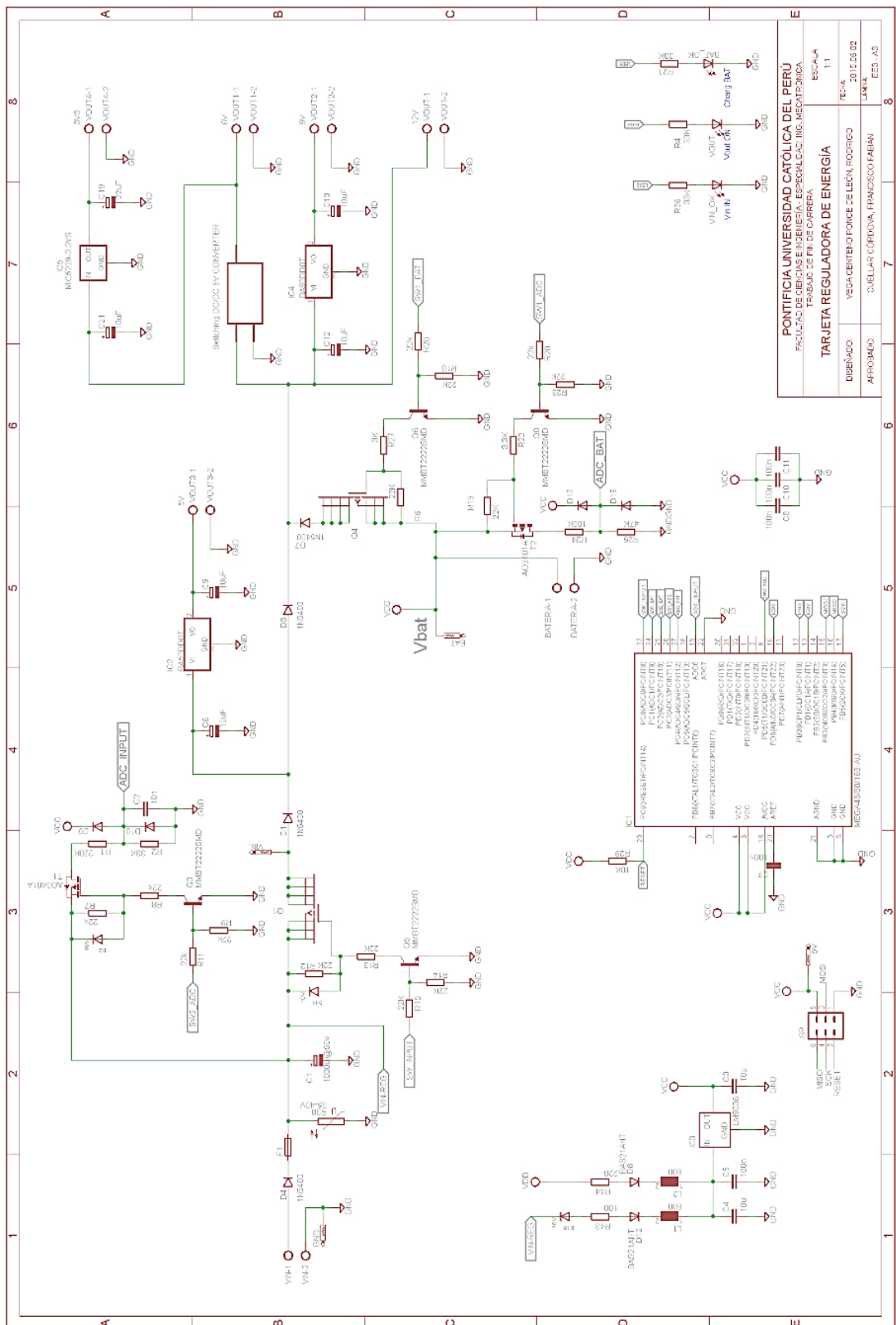


Figura 2.27 Esquemático de la tarjeta reguladora de energía
Fuente: Propia

Debido a las exigencias de corriente de los motores DC, es necesario utilizar un conversor Switching de 12V a 6V que permita un consumo de hasta 6A. En la Figura 2.28 se encuentra el diseño del conversor basado en el integrado TPS40304 (Revisar Anexo 11) de Texas Instrument. Este circuito está incluido en la tarjeta reguladora de energía y puede verse su ubicación en el esquemático de la Figura 2.27. Los cálculos de los componentes seleccionados para obtener el voltaje de salida de 6V se encuentran en el Anexo 7.

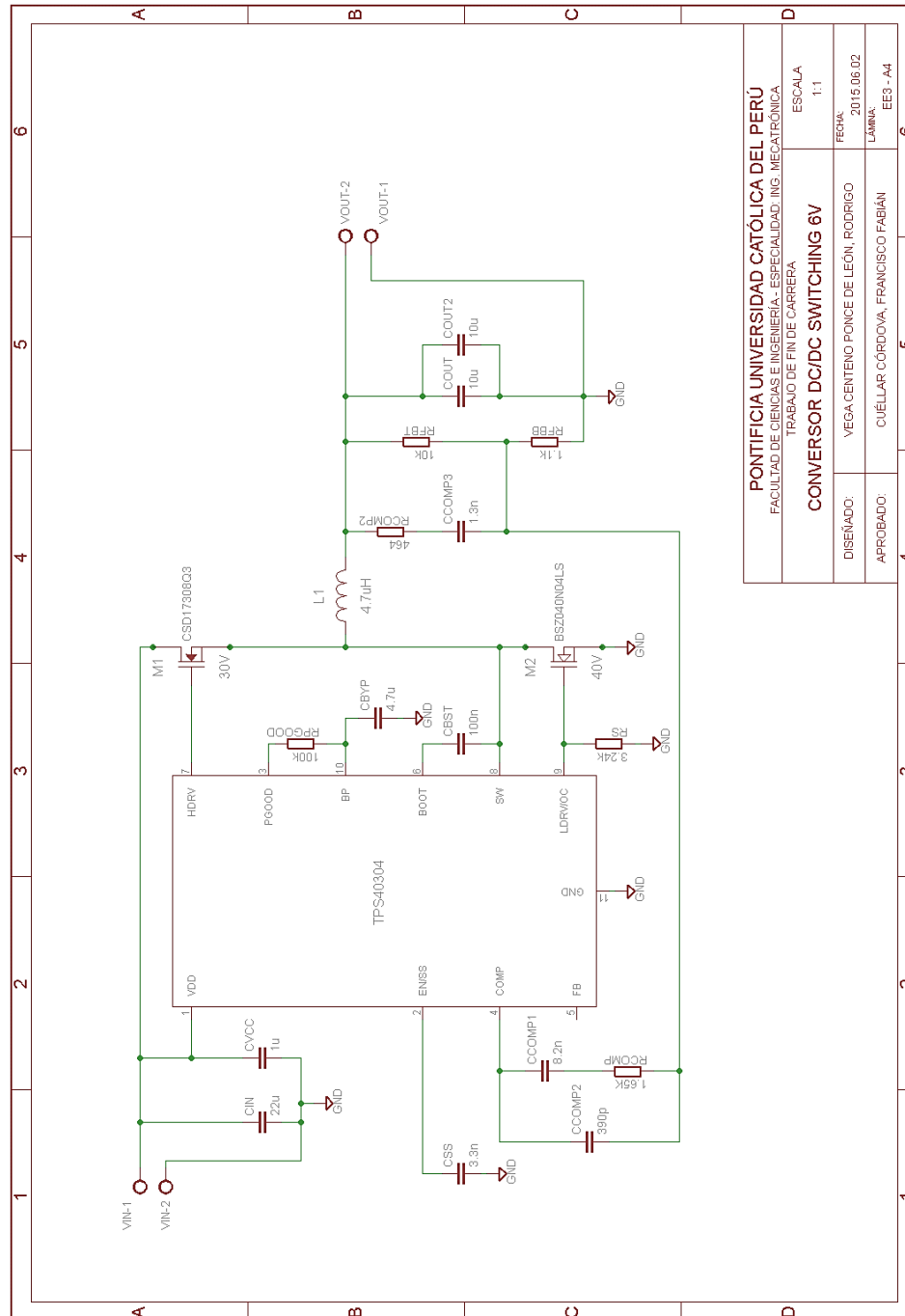


Figura 2.28 Esquemático de conversor DC Switching a 6V

Fuente: Propia

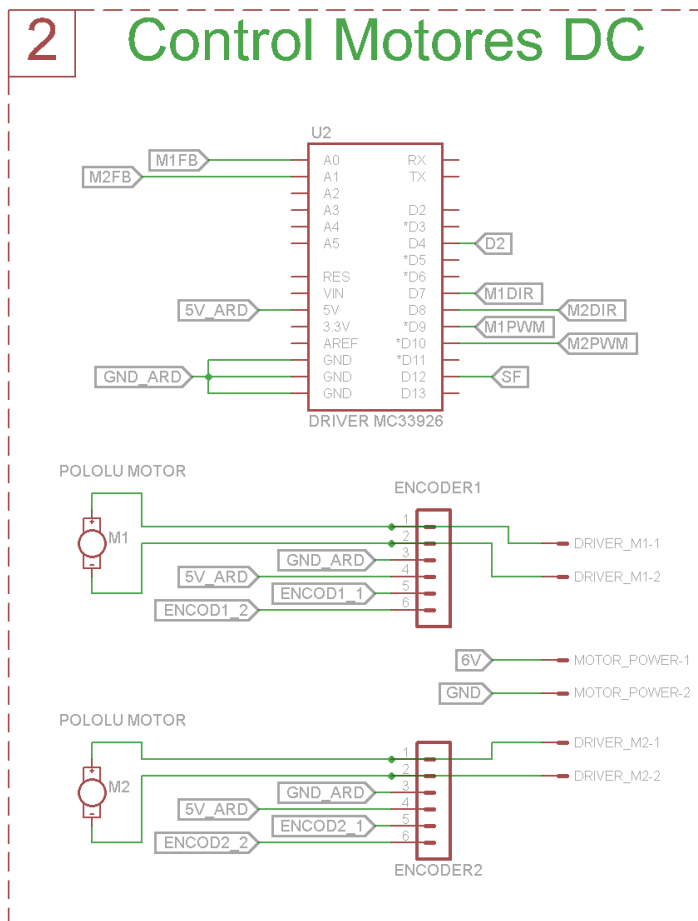


Figura 2.30 Esquemático de conexiones del control de motores DC
Fuente: Propia

Control de servomotores Dynamixel

En la Figura 2.31 se observa la conexión en cascada de los servomotores Dynamixel, de los cuales sólo el primero se conecta al driver CDS55xx. Este driver se conecta al controlador Arduino a través de dos pines de comunicación serial y una tierra GND. El driver recibe una alimentación externa de 12V proveniente de la tarjeta reguladora, con lo cual energiza a los servomotores.

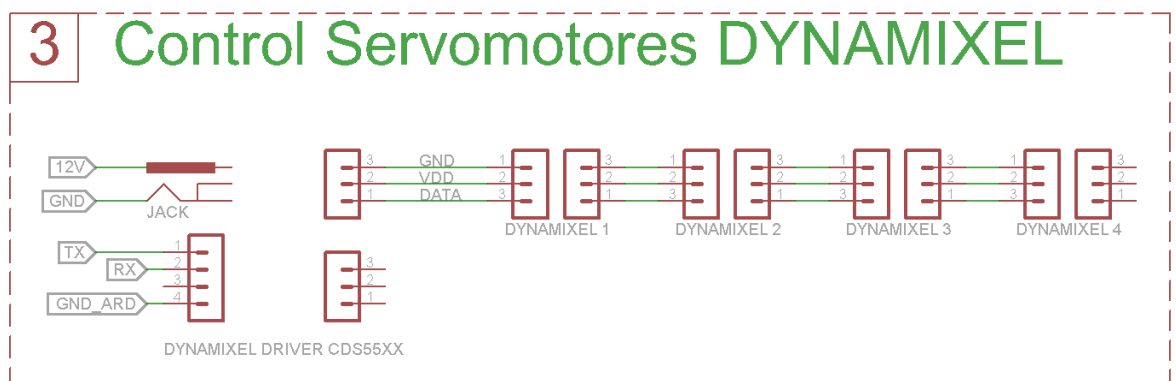


Figura 2.31 Esquemático de conexiones del control de motores DC
Fuente: Propia

Servomotores Nano

En la Figura 2.32 se observa la conexión de los dos servomotores nano. Ambos se conectan directamente al controlador Arduino y reciben su alimentación de él. Para el control de su posición se utilizan dos pines PWM del controlador.

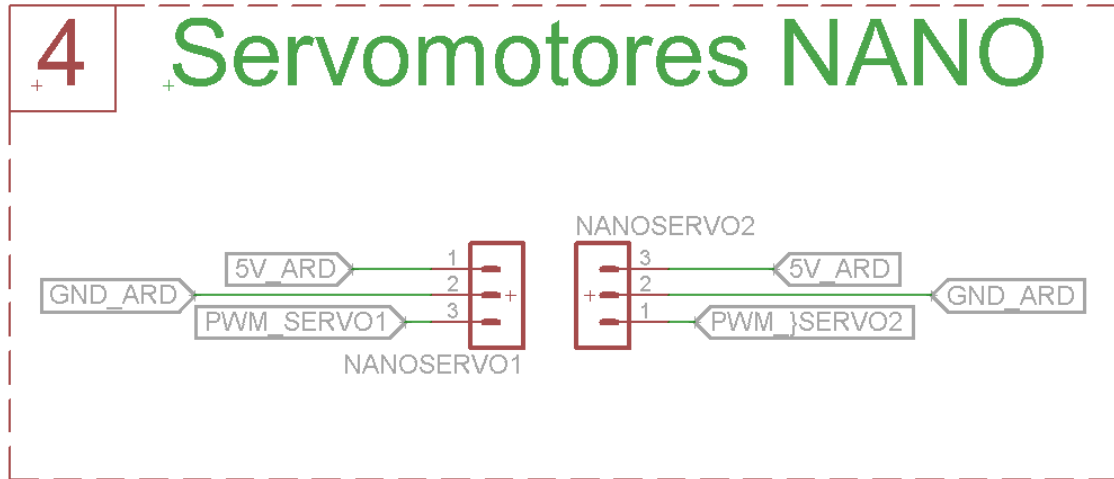
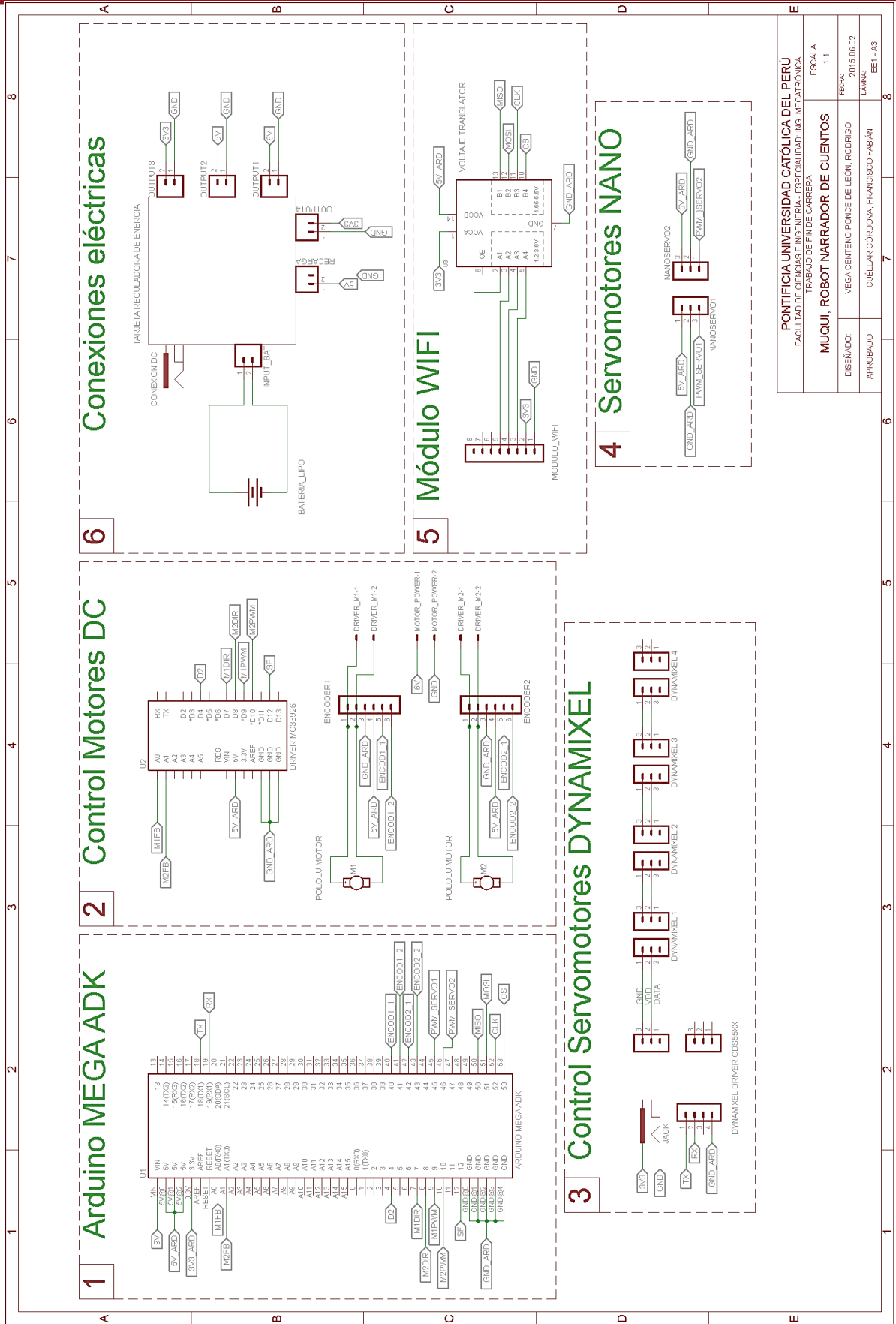


Figura 2.32 Esquemático de conexiones de los servomotores nano
Fuente: Propia



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRÓNICA	
TRABAJO DE FIN DE CARRERA	
MUQUI, ROBOT NARRADOR DE CUENTOS	ESCALA: 1:1
DISEÑADO: VEGA-CENTENO PONCE DE LEÓN, RODRIGO	FECHA: 2016.06.02
APROBADO: CUELLAR CORDOVA, FRANCISCO FABIAN	LÁMINA: EE1 - A3

Figura 2.33 Esquemático general
Fuente: Propia

2.3 Sistema Mecánico

El sistema mecatrónico cuenta con una estructura central que se encarga de soportar los componentes electrónicos, los motores y servomotores. A esta estructura se sujetan también las coberturas impresas en 3D de material ABS que dan la forma física al robot. La estructura está formada por planchas de acero inoxidable ya que este material ofrece mejores propiedades mecánicas y evitará la formación de óxido en su superficie. Dado que las tarjetas electrónicas y la batería del robot se encuentran sujetas a la estructura, es conveniente evitar la formación de óxido porque este podría deteriorarlas.

A continuación se presentan los ensambles del robot, los mecanismos de movimiento de las extremidades, los componentes mecánicos seleccionados y la estructura. Para ver los planos de ensamble y despiece dirigirse al Anexo 13.

Vista exterior del robot

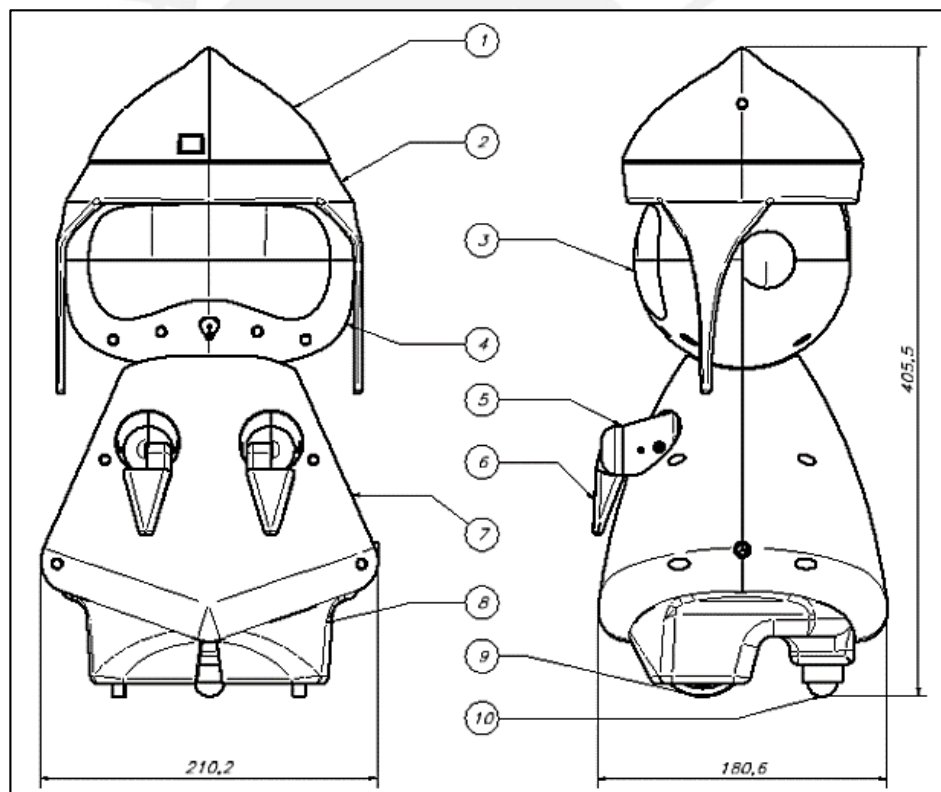


Figura 2.34 Vista exterior del robot

Fuente: Propia

La Figura 2.34 presenta las formas antropomórficas que componen a MUQUI. Las partes (1) y (2) conforman el sombrero del robot que busca dar el sentido de identidad y pertenencia a una comunidad. Las partes (3) y (4) conforman la cabeza del robot y ofrece aperturas para la visualización de la pantalla y los parlantes que visualmente dan la sensación de ser las orejas del robot. El cuerpo está conformado por dos

partes: el tronco y las piernas. El tronco del robot está formado por la parte (7) que posee forma acampanada similar a un poncho con dos orificios frontales en los cuales se conectan las partes (5) y (6) que conforman los brazos y antebrazos del robot. Los pies están formados por la pieza (8) que da el aspecto visual de ser un pantalón oscuro. Todas las carcasas son de material ABS y se unen entre sí a través de pernos DIN933 M3 y tuercas DIN935. Para el apoyo del robot se utilizan dos ruedas plásticas (9) y un ball caster metálico (10) para darle estabilidad y libertad de movimiento al robot.

Estructura interior

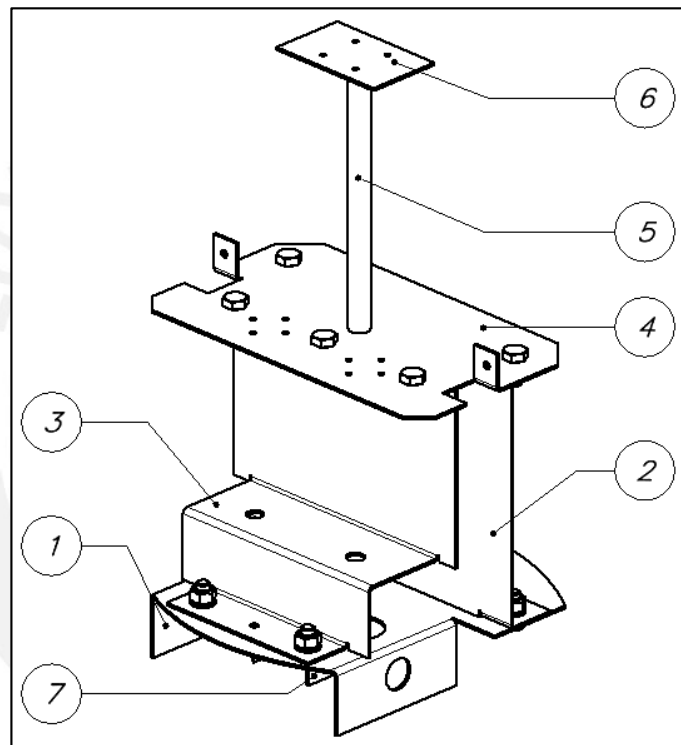


Figura 2.35 Vista isométrica de la estructura interior
Fuente: Propia

En la Figura 2.35 se encuentra el ensamble de la estructura interior del robot formada por planchas dobladas de acero inoxidable de 1 mm de espesor. La estructura está compuesta de 6 planchas y una barra de acero de 8mm de diámetro y 2 mm de espesor. La barra (5) sirve de conexión entre el cuerpo y la cabeza; y da libertad en el giro de la cabeza. Las cinco planchas (1), (2), (3), (4) y (5) que se encuentran en la parte baja, se unen entre sí por pernos DIN933 M5. Para revisar los cálculos de esfuerzos en los pernos y su resistencia dirigirse al Anexo 6. Las planchas poseen agujeros para la sujeción de las tarjetas, sujeción de los motores DC y sujeción de los servomotores. La barra central se une a las planchas (4) y (6) por soldadura TIG. Cada plancha cumple algunas funciones específicas de sujeción. La plancha (1) es

la base de la estructura y va emperrada a la carcasa externa que forman los pies. Además, esta plancha y la plancha (7) son las que sostienen los cojinetes en los que se albergan los ejes de las ruedas de la transmisión que se detalla más adelante. La plancha (2) está en posición vertical y en ella se sujetan el controlador Arduino con su shield y la tarjeta distribuidora de energía. La plancha (3) sujeta a los motores DC en posición vertical y se encuentra alineada con la plancha (1) para que la transmisión por engranajes cónicos funcione correctamente. La plancha (4) sirve de sujeción a los servomotores Dynamixel que controlan el movimiento de los brazos y sujeción al módulo WiFi y al driver de los servomotores. Adicionalmente posee dos pestañas que permiten a la carcasa externa del cuerpo sujetarse a la estructura. La plancha (6) se encuentra en el interior de la cabeza y sujeta al acople del servomotor Dynamixel para permitir el giro vertical de la cabeza. Para mayor detalle de las dimensiones de las planchas, posición de los agujeros y el ensamble dirigirse a los planos de despiece en el Anexo 13. El análisis de esfuerzos que soporta la estructura se encuentra en la sección 3 del presente documento. Los cálculos de estabilidad del robot se encuentran en el Anexo 5.

Sombrero

En la figura 2.36 se aprecia el sombrero que utiliza el robot. Este sombrero cumple la función de identificar al robot con una comunidad y brinda al usuario una información visual del tipo de información que nos puede proporcionar. En este caso, se presenta el sombrero en versión Chullo, el cual representa uno de los sombreros típicos de la sierra peruana y puede ayudar a identificar al robot con la región andina de nuestro país. En el Anexo 8 se agregan dos versiones más del sombrero que servirían para identificar al robot con otras dos regiones de nuestro país, como son la selva y la costa.

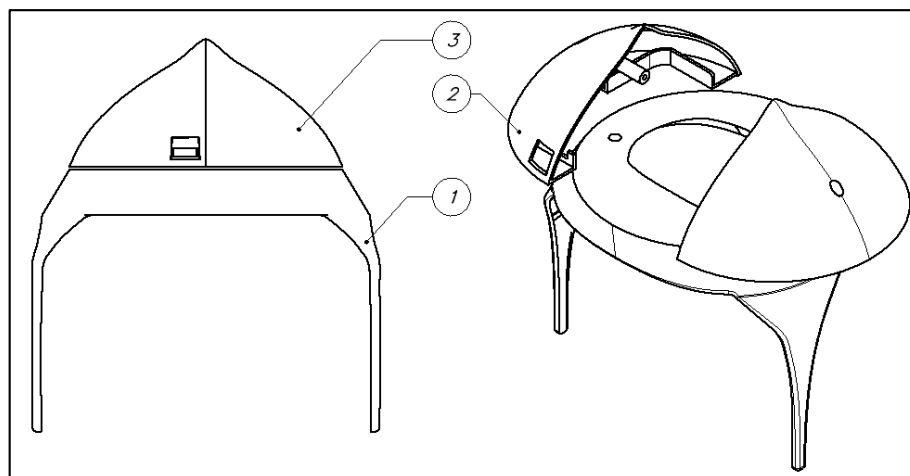


Figura 2.36 Vista frontal e isométrica del sombrero de MUQUI en la versión chullo

Fuente: Propia

El sombrero del robot está compuesto de 3 partes. La parte (1) es un solo bloque y conforma la parte baja del sombrero. Esta parte es fija y su única función es complementar la forma del sombrero. Las partes (2) y (3) conforman la parte alta del sombrero y se unen entre sí. Estas partes cubren y ocultan el proyector, pero dan las aperturas necesarias para permitir la ventilación y la proyección de imágenes. La parte superior es móvil y acompaña al proyector en el giro generado por el servomotor Dynamixel que se encuentra debajo de él. Ambos bloques del sombrero, inferior y superior, se complementan en una forma circular. De esta forma, a pesar de que la parte superior gire, se mantiene la forma inicial del sombrero.

Cabeza

Las figuras 2.37 y 2.38 muestran la cabeza del robot ensamblada y las vistas interiores sin alguna de las dos coberturas para hacer visibles los componentes internos.

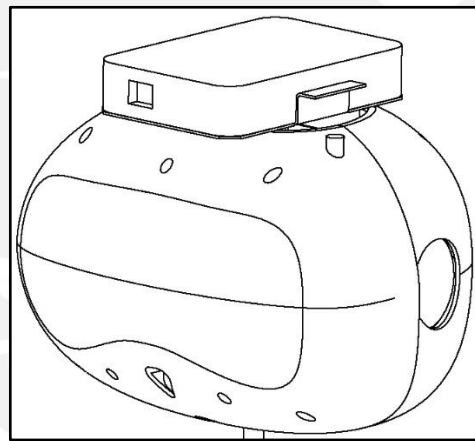


Figura 2.37 Vista isométrica de la cabeza de MUQUI sin sombrero

Fuente: Propia

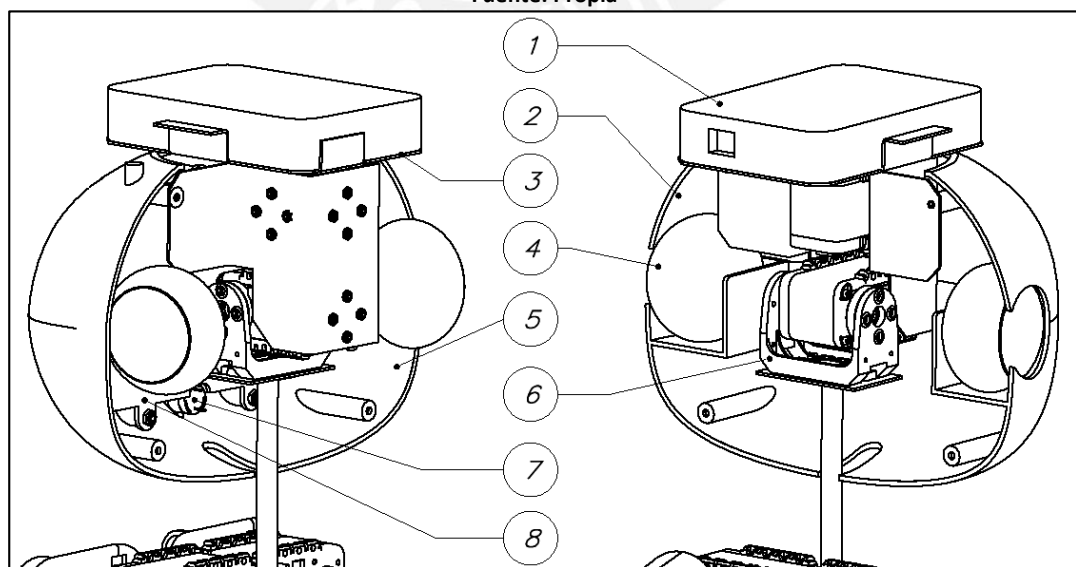


Figura 2.38 Vistas isométricas delantera y trasera de los componentes internos de la cabeza de MUQUI

Fuente: Propia

En el interior de la cabeza se encuentra el mecanismo de movimiento (6) de la cabeza y proyector que se detalla más adelante; los parlantes (4), que quedan fijos al cerrarse la cobertura; el micrófono (7), ubicado en la posición de la boca del robot para poder captar con facilidad los comandos de voz que se reciba el robot y el Smartphone con una cobertura posterior (8) para mantenerlo fijo. Sobre la cabeza se encuentra el proyector (1) sujeto a la plancha (3) unida al mecanismo de movimiento. La forma exterior de la cabeza está formada por dos partes (2) y (5) que se unen entre sí y a la plancha que forma parte del mecanismo de movimiento por pernos DIN933 M3 y tuercas DIN935.

Mecanismo de movimiento en la cabeza

El mecanismo que permite el movimiento de la cabeza, generando un giro vertical y del proyector respecto al eje vertical se detalla en la Figura 2.39. Este mecanismo está conformado por dos planchas dobladas (1) y (3) de acero inoxidable de 1 mm de espesor, por dos servomotores Dynamixel (2) y (5) y por 4 marcos de sujeción Bioloid del tipo 3 (4) y 1 una sujeción Bioloid del tipo 2 (6). Ambos servomotores se encuentran empernados a la plancha (3) para que se muevan como un solo bloque. El mecanismo se acopla a la plancha superior de la estructura central a través de la sujeción Bioloid de tipo 2 (6) que se emperna a la misma.

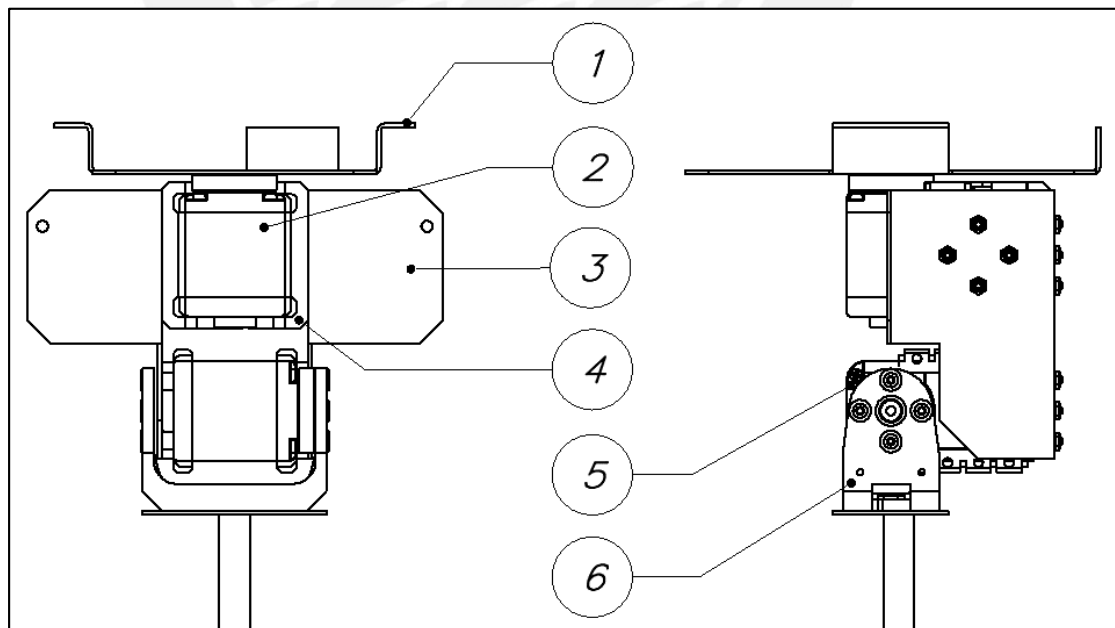


Figura 2.39 Vista frontal y lateral del mecanismo de movimiento de la cabeza y del proyector

Fuente: Propia

Sujeciones Bioloid

Para poder acoplar los servomotores a las distintas estructuras se utiliza las sujeciones Bioloid de tipo 2 y tipo 3. Estas sujeciones plásticas son especialmente diseñadas para adaptarse perfectamente a los servomotores Dynamixel. En la Figura 2.40 se muestran ambos tipos de sujeciones.

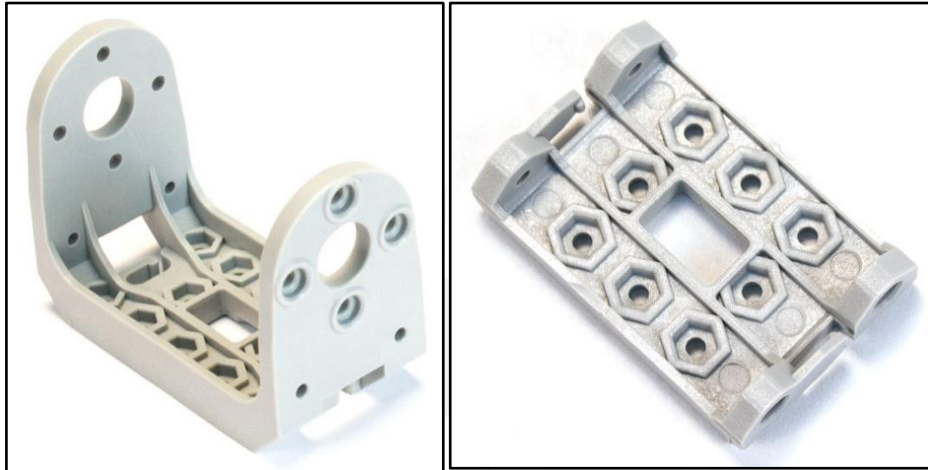


Figura 2.40 Sujeciones Bioloid de plástico de tipo 2 y tipo 3
Fuente: Propia

Torso

La forma del torso del robot se asemeja a un poncho, como se puede apreciar en la Figura 2.41. El torso se compone de dos piezas impresas en 3D en material ABS y que se unen a la estructura central por pernos DIN933 M3 y tuercas DIN935.

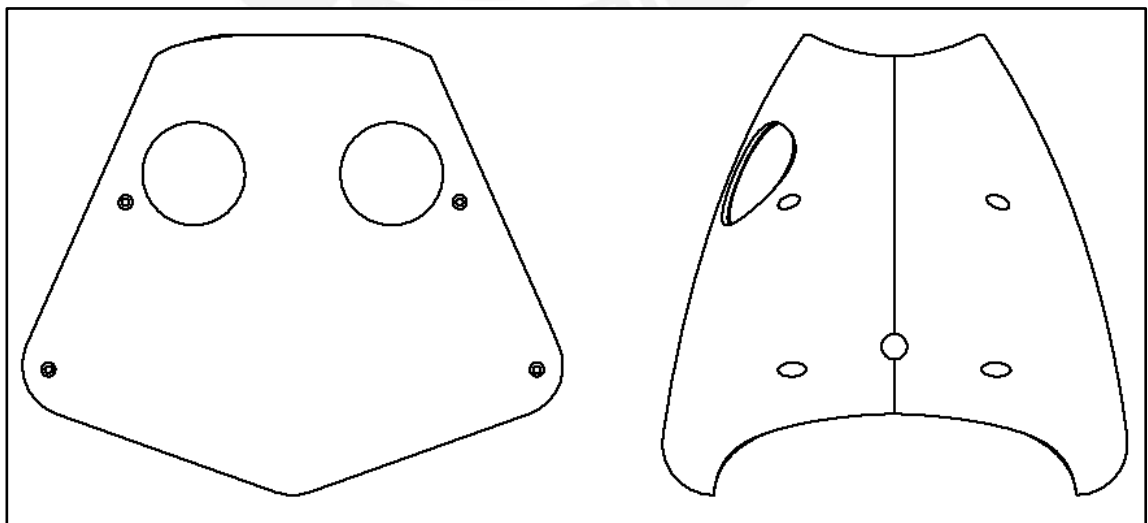


Figura 2.41 Vista frontal y lateral de la carcasa que forma el torso de MUQUI
Fuente: Propia

Brazos

Los brazos del robot poseen dos grados de libertad para permitir que se realicen gestos. El rango de movimiento y la velocidad con la que se pueden mover los brazos se encuentran en los cálculos de los servomotores en el Anexo 3. En la Figura 2.42 se encuentra el ensamble completo de los brazos; estos se componen de dos partes: el brazo y el antebrazo. Los brazos se acoplan al robot a través de los servomotores Dynamixel y estos permiten el giro del brazo.

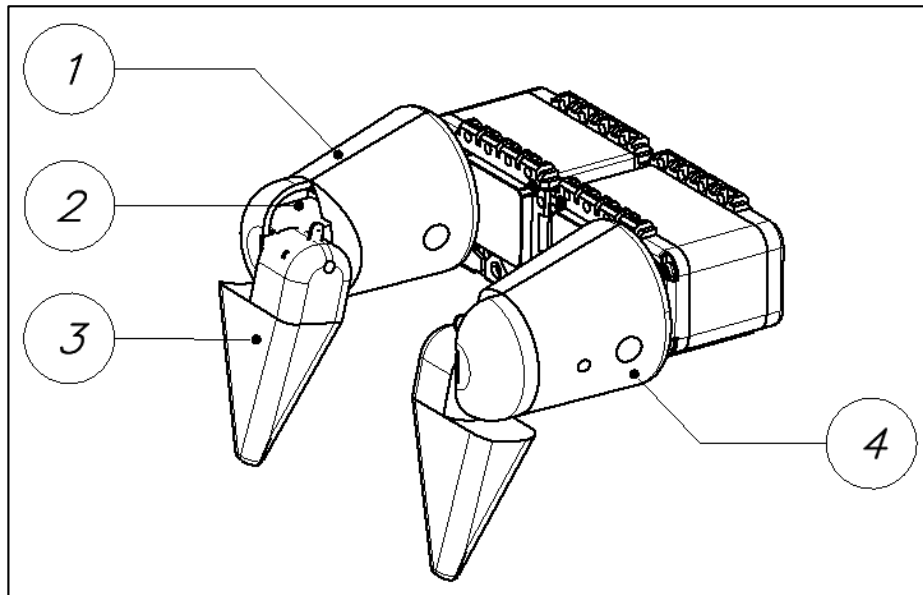


Figura 2.42 Vista isométrica de los brazos de MUQUI
Fuente: Propia

La parte del brazo está formada por dos piezas (1) y (4) impresas en 3D en material ABS. Ambas piezas forman un cono truncado con círculos descentrados; esto permite que al girar, se dé la sensación de que el robot eleva los brazos. El antebrazo está constituido por una sola pieza (3) impresa en 3D.

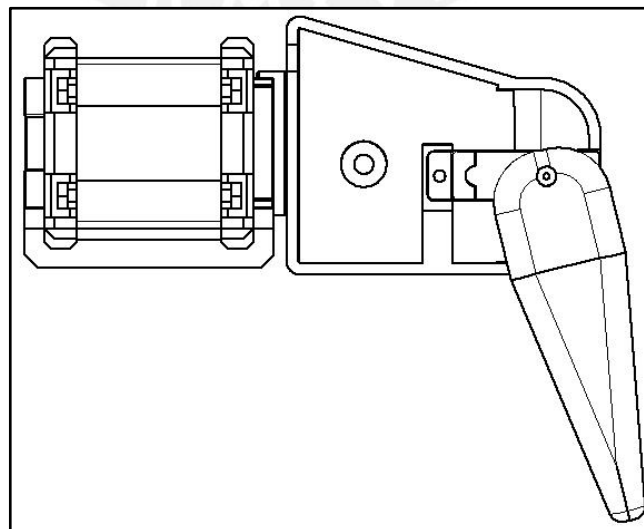


Figura 2.43 Vista lateral interior de un brazo de MUQUI
Fuente: Propia

En la figura 2.43 se muestra el mecanismo de un brazo sin una de las coberturas para apreciar el interior. Como se puede observar, el interior del brazo aloja al servomotor nano Hitec y este se acopla al antebrazo para generar su movimiento.

Pies del robot

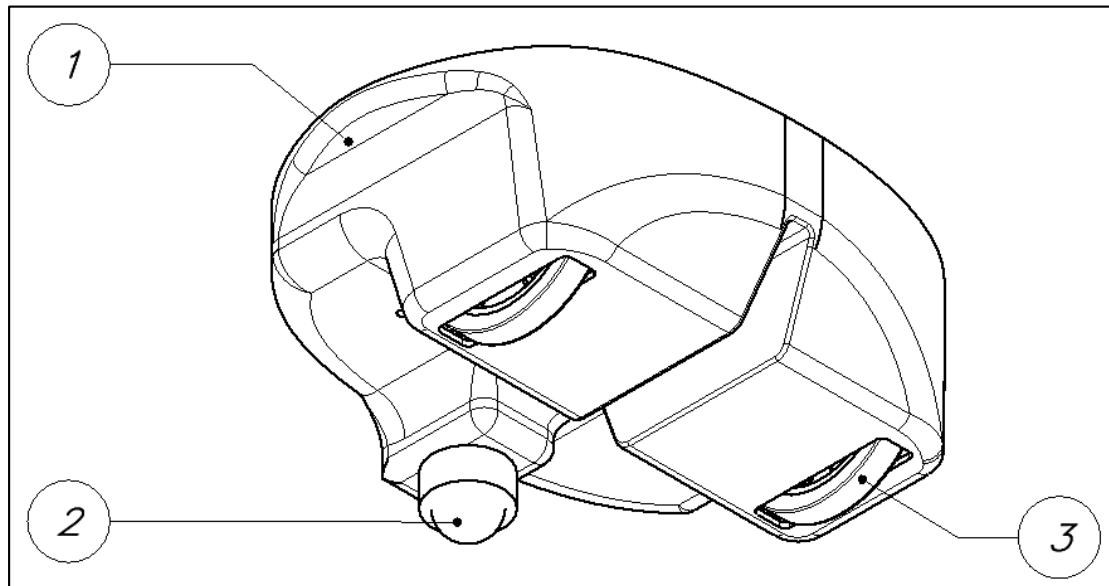


Figura 2.44 Vista isométrica inferior de la parte inferior de MUQUI
Fuente: Propia

La parte inferior del robot se puede apreciar en la figura 2.44, en la cual se muestra la carcasa de los pies impresa en material ABS y que se une a la estructura interna antes mostrada. La parte inferior del robot está conformada por la carcasa (1), un ball caster metálico (2) y las ruedas Pololu (3) logrando un apoyo de tres puntos al robot que le brinda estabilidad durante su funcionamiento. Dirigirse al Anexo 5 para revisar el análisis y cálculos de estabilidad del sistema.

Transmisión con engranajes cónicos

Para poder transmitir la potencia generada por los motores DC a las ruedas, es necesario utilizar una transmisión con engranajes cónicos en 90 grados. Está transmisión está en relación 1 a 1 y no influye en los cálculos de potencia realizados para la selección de los motores.

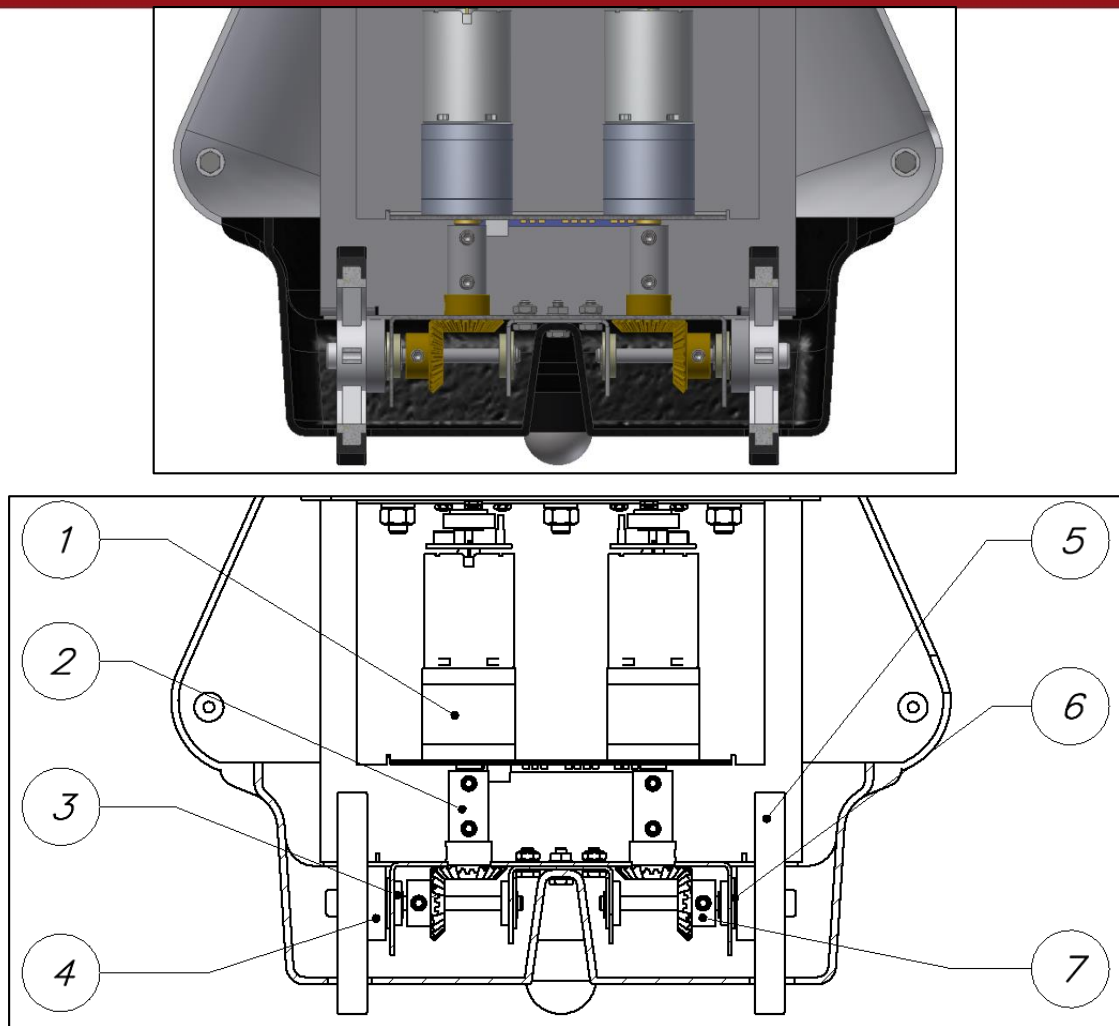


Figura 2.45 Vistas frontales de corte de MUQUI con la transmisión de engranajes cónicos visible
 Fuente: Propia

En la Figura 2.45 se muestran todos los componentes mecánicos y su ubicación en la transmisión. Los motores DC (1) se encuentran en posición vertical sujetos a la estructura central con su eje de 4mm libre. Para conectar el eje de salida del motor al engranaje cónico (7) se necesita un acople lineal (2) con dos prisioneros. Por otro lado, las ruedas (5) requieren de un acople para ejes de 4mm (4), el cual se ajusta por un prisionero al eje de 4mm de diseño propio. En la estructura interna se alojan dos rodamientos con flanco (3) orientados en sentidos opuestos, y sobre estos se apoya el eje de 4mm. Se colocan anillos de seguridad (6) de norma DIN471 próximos a los rodamientos para evitar que el eje se desplace en cualquiera de sus direcciones y, gracias a los flancos de los rodamientos, se consigue mantenerlos fijos a la estructura. Finalmente se coloca otro engranaje cónico en el eje de las ruedas con su respectivo prisionero. Este engranaje entra en contacto con el engranaje proveniente del eje del motor para cerrar la transmisión.

Ruedas y acople de las ruedas

Los soportes seleccionados permitirán el acople entre los ejes y las ruedas para permitir el desplazamiento de MUQUI. Ambos componentes se compran en pares y se adquieren debido a su compatibilidad con los motores seleccionados. Las ruedas negras son de 60 mm de diámetro y 8 mm de ancho. En la Figura 2.46 se muestran ambos componentes.



Figura 2.46 Acople y ruedas para motor DC

a) Acoples de ejes de 4 mm, b) Ruedas de 60x8mm

Fuente: CRUSTCRAWLER 600HF Thruster Mounting Bracket Technical Specifications

Ballcaster

Para dar estabilidad y libertad de movimiento a MUQUI se emplea un ballcaster en la parte posterior. Se selecciona un BallCaster Pololu con esfera metálica de 3/4”.



Figura 2.47 Pololu Ball caster with 3/4” Metal Ball

Fuente: <https://www.pololu.com/product/955>

Acople lineal

Para conectar el eje de salida del motor DC al eje con el engranaje cónico se requiere de un acople lineal. Se selecciona un acople de Servocity con ambas conexiones para ejes de 4mm el cual corresponde al modelo de serie 625118.

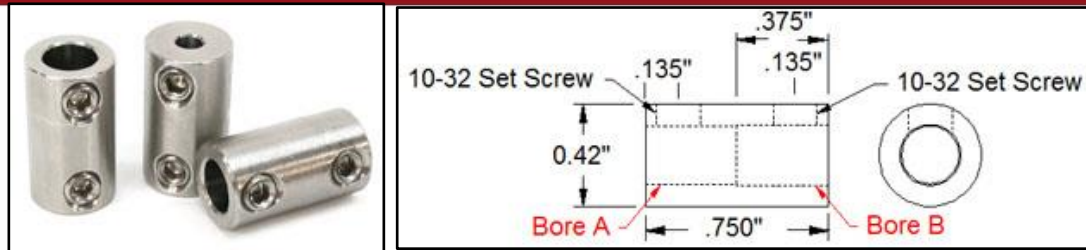


Figura 2.48 Acople lineal de Servocity y sus medidas

Fuente: https://www.servocity.com/html/set_screw_shaft_couplers.html#.VXOIM9_Okp

Engranajes cónicos

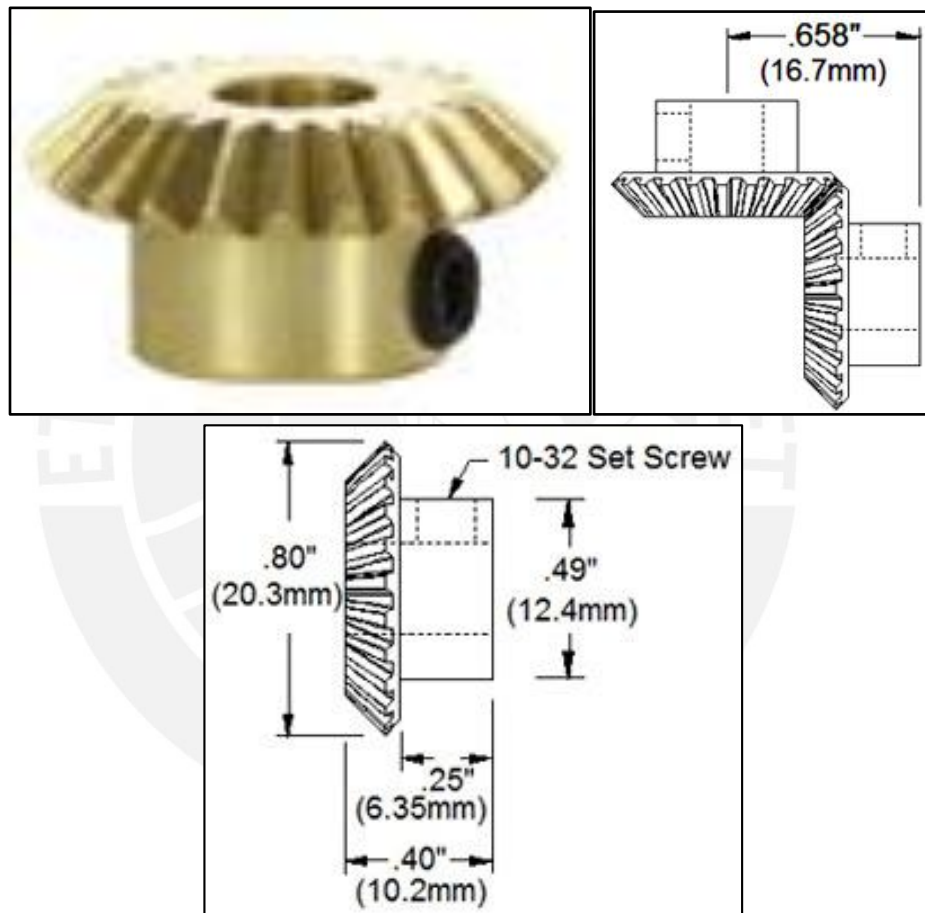


Figura 2.49 Engranaje cónico de Servocity para ejes de 4mm y su distancia de montaje

Fuente: https://www.servocity.com/html/32_pitch_24_tooth_bevel_gears.html#.VXOKFM9_Oko

Para la transmisión se seleccionan engranajes cónicos de bronce de 24 dientes y ajuste por prisionero de Servocity para ejes de 4mm de diámetro de código 615398. La masa de estos engranajes es de 10 gramos y son montados siguiendo la distancia mostrada en la Figura 2.49. Estos engranajes deben transmitir una potencia de 1.255 W, un torque de 12.24 kg.cm girando a 33 RPM, todo esto según los cálculos obtenidos en el Anexo 2 para la selección de motores DC.

Cojinetes

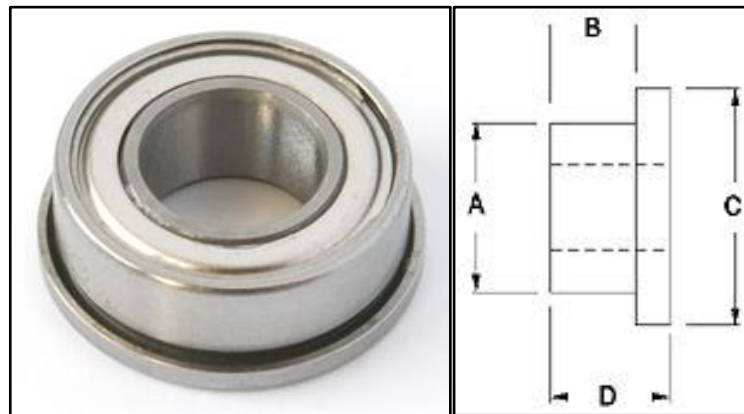


Figura 2.50 Cojinete con flanco y su esquema de sus medidas

Fuente: https://www.servocity.com/html/flanged_ball_bearings__metric_.html#.VXONis9_Okp

Para apoyar y permitir el giro de los ejes que llevan a las ruedas del robot y sujetar dicho eje a la estructura interna se seleccionan cojinetes de 4mm con flanco de Servocity con código 535216 cuyas medidas son $A = 12 \text{ mm}$; $B = 3 \text{ mm}$; $C = 13,5 \text{ mm}$ y $D = 4 \text{ mm}$ correspondientes a la Figura 2.50.

Ejes para la transmisión

Tanto para el eje del motor como para acoplar las ruedas se diseñan dos pequeños ejes de 4mm de diámetro de acero inoxidable. En la Figura 2.51 se muestran las medidas de dichos ejes, uno de los cuales posee ranuras para colocar los anillos de seguridad que evitarán que el eje se desplace.

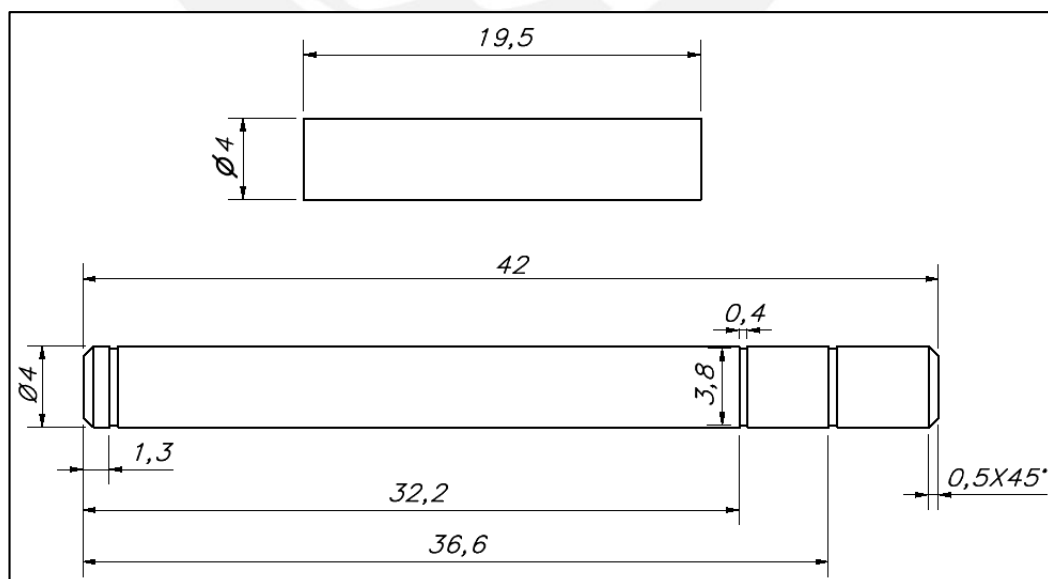


Figura 2.51 Plano de los dos ejes de 4mm en acero

Fuente: Propia

Anillos de seguridad

Para evitar el desplazamiento axial del eje que se apoya en los cojinetes se utilizan tres anillos de seguridad por eje. Se seleccionan los anillos de seguridad de norma DIN 471 para ejes de 4 mm.



Figura 2.52 Anillo de seguridad DIN471 de 4mm
Fuente: <http://www.imparts.com/?f>

2.4 Sistema de Control

No es objetivo de esta tesis implementar un sistema completo de control para el robot aquí diseñado, ya que al ser un robot social, su funcionamiento final será determinado luego de implementar el robot y experimentar con él en su interacción directa con personas. Por lo tanto, en este trabajo de tesis solo se presentan diagramas de flujo tentativos para los 3 componentes controladores del sistema: controlador Arduino, Smartphone y tarjeta reguladora de energía. Estos diagramas describen a grandes rasgos el funcionamiento o comportamiento que se espera que sigan para que el robot funcione correctamente.

Diagramas de flujo

Tarjeta reguladora de energía

En la Figura 2.53 se encuentra el diagrama de flujo del programa principal de la tarjeta reguladora de energía. En este programa, luego de inicializar los puertos y variables, se configura el timer y se entra a un lazo cerrado que constantemente llama a dos subrutinas para sensar el voltaje de entrada suministrado por una fuente DC y el voltaje de entrada de la batería. En la Figura 2.54 se encuentran los diagramas de flujo de ambas subrutinas, en las cuales se habilita primero el ADC correspondiente a cada voltaje, se sensa el voltaje y se evalúa si se encuentra dentro del rango deseado. Este programa da prioridad al voltaje proveniente de una fuente DC, ya que a pesar de que el voltaje de entrada que ofrezca la batería sea el adecuado, si hay un voltaje de alimentación DC adecuado, no se habilita la alimentación del sistema por batería. Esto se realiza con el objetivo de ahorrar batería cuando el sistema esté recibiendo energía de una fuente externa.

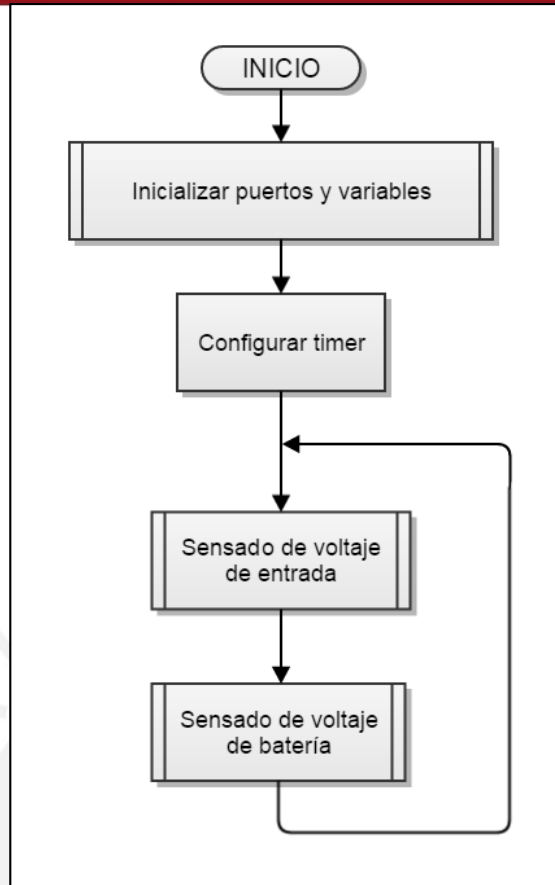


Figura 2.53 Diagrama de flujo del programa principal de la tarjeta reguladora de energía
Fuente: Propia

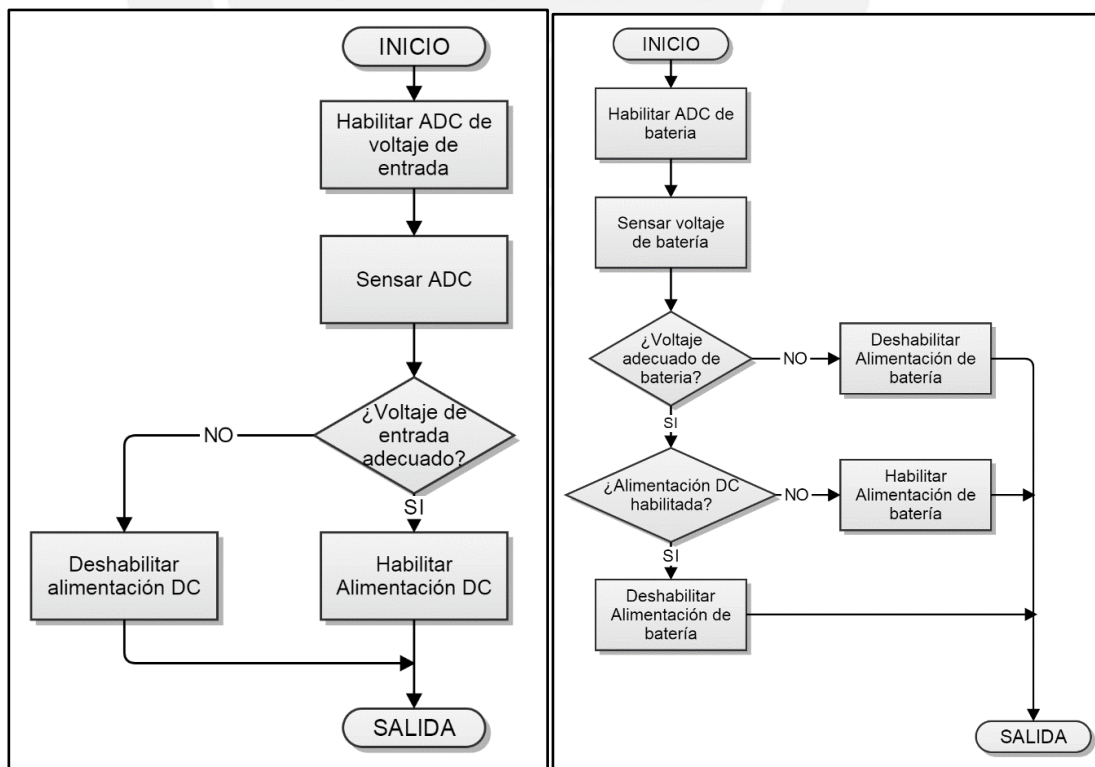


Figura 2.54 Diagramas de flujo de subrutinas de sensado de voltajes en la tarjeta reguladora de energía
Fuente: Propia

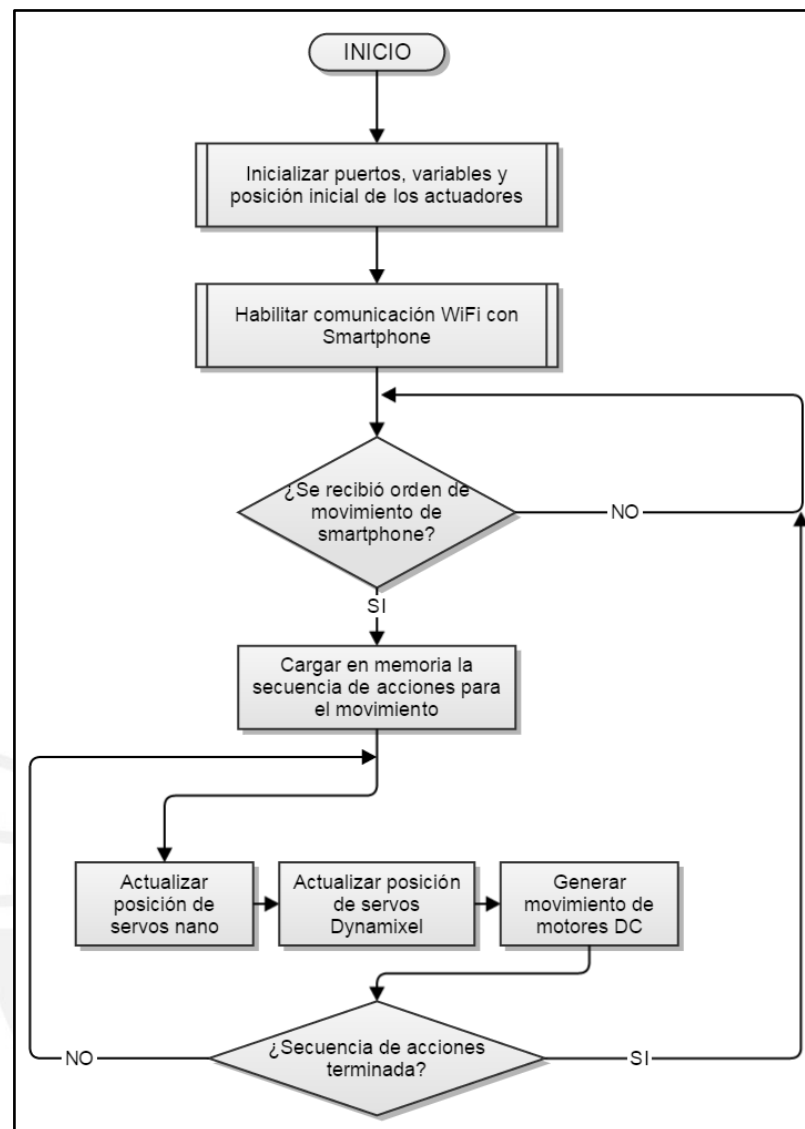
Controlador Arduino MEGA ADK


Figura 2.55 Diagrama de flujo del programa principal del controlador Arduino MEGA ADK
 Fuente: Propia

En la Figura 2.55 se encuentra el diagrama de flujo del programa principal del controlador Arduino MEGA ADK. Al energizar el controlador Arduino se inicializan los puertos, variables y se colocan los actuadores en la posición inicial: cabeza recta, proyector apuntando hacia el frente y brazos recogidos. Posteriormente se habilita la conexión WiFi con el Smartphone y se entra en un lazo de espera. El Arduino se mantendrá inactivo hasta que se reciba por la conexión WiFi un comando de movimiento. Un movimiento se compone de una secuencia de acciones que se almacenan en memoria y se comienzan a realizar una por una hasta que se haya terminado el movimiento. Esta secuencia incluye mover los servomotores nanos, los servomotores Dynamixel y los motores DC a diferentes posiciones. Finalmente se retorna al lazo de espera hasta recibir otro comando.

Smartphone Samsung Galaxy S4

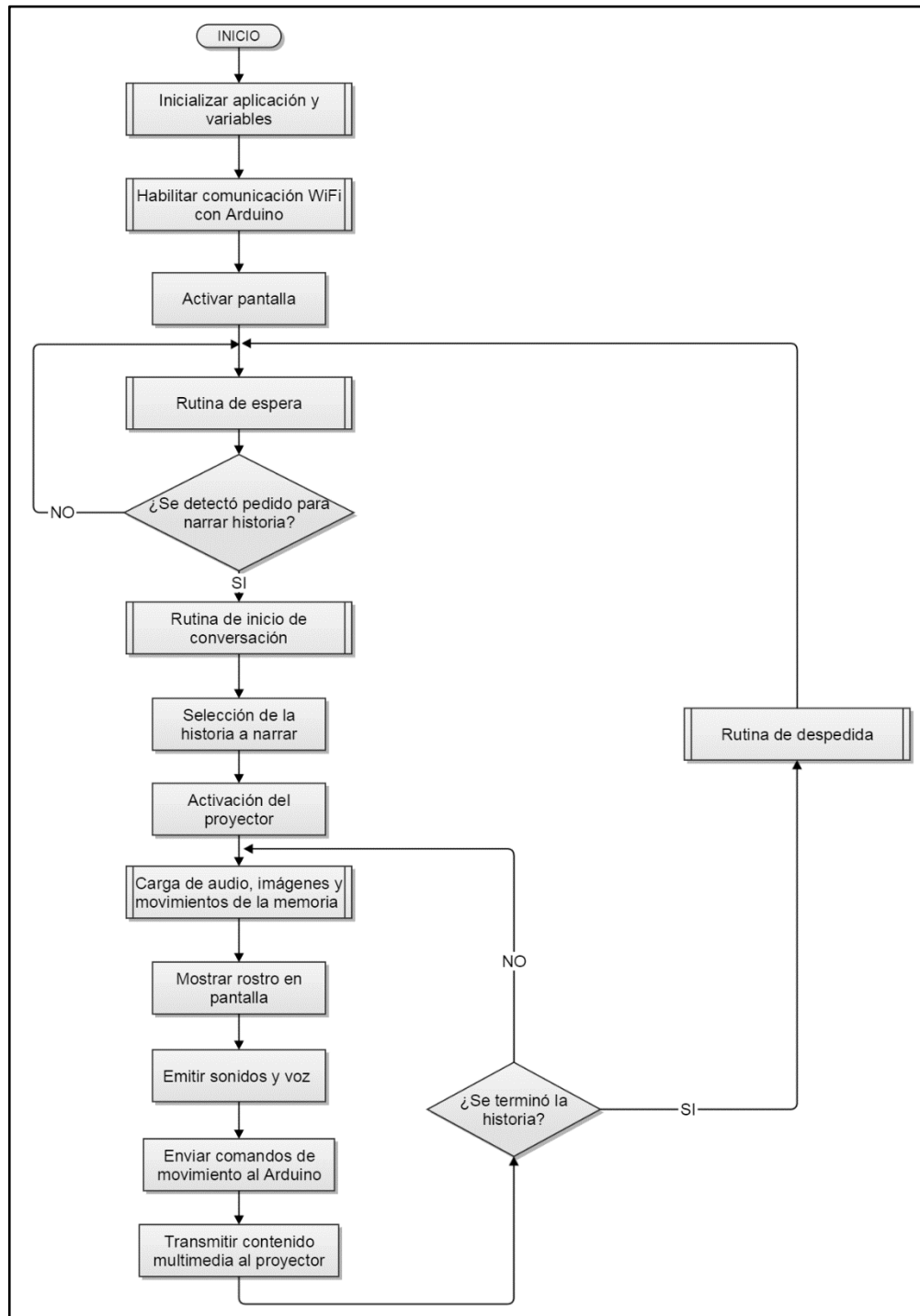


Figura 2.56 Diagrama de flujo del programa principal del Smartphone

Fuente: Propia

En la Figura 2.56 se observa el diagrama de flujo del programa principal del Smartphone, en el cual se realiza la inicialización de variables y la habilitación de la comunicación WiFi. Una vez confirmada la comunicación, el Smartphone enciende su pantalla y se entra en una rutina de espera en la que el robot realiza pequeños

movimientos y proyecta un rostro alegre, en espera de que se detecte un comando de voz de un usuario. Al detectarse una persona interesada en escuchar una historia, se selecciona la historia a narrar, se activa el proyector y se cargan los datos necesarios para la narración. Una historia completa requiere de diversos gestos e imágenes según el contenido; estos gestos se realizan en secuencias hasta completar de narrar la historia. El Smartphone continuamente carga las imágenes del rostro, el material a proyectar y envía por la comunicación WiFi el comando de movimiento que necesita que el Arduino realice para completar el gesto.

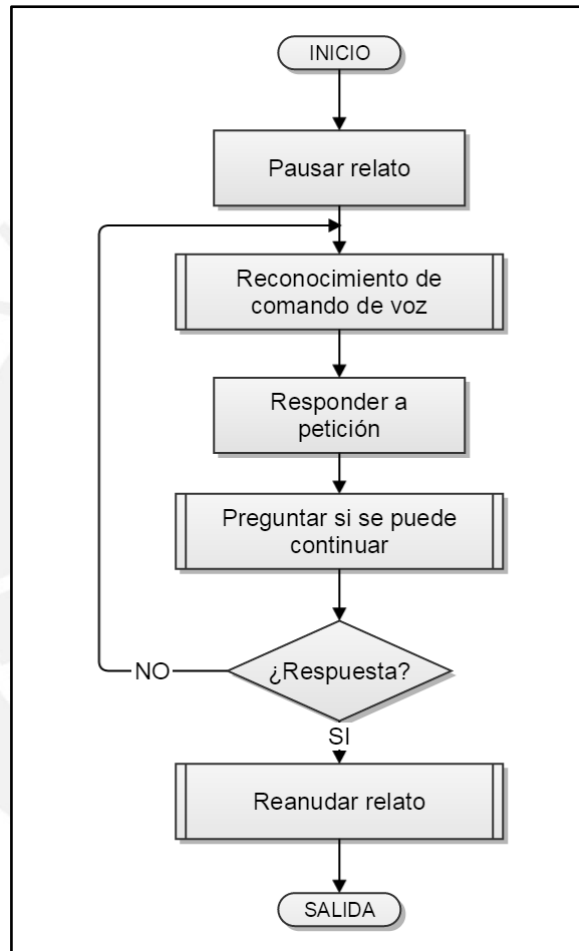


Figura 2.57 Diagrama de flujo de la subrutina de interrupción del Smartphone
Fuente: Propia

Finalmente, en la Figura 2.57 se muestra el diagrama de flujo de la subrutina de interrupción presente en el funcionamiento del Smartphone que se activa al detectar comandos de voz. Si el micrófono detecta un comando de voz, se pausa el relato y el robot responde a la petición que tenga el usuario, luego pide permiso para continuar la narración. Cuando el usuario dé su autorización, se reanuda el relato en el punto que se pausó.

2.5 Presupuesto

A continuación se resumen en tablas los precios de todos los componentes del robot, ya sean comprados o mandados a fabricar. En el Anexo 10 se encuentran las proformas y cotización que justifican los costos aquí mostrados. Tipo de cambio a 3.16

Tabla 2.13 Presupuesto de componentes importados. Cotización realizada por la empresa DIACSA

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Par de Ruedas 60 mm	S/. 50.09	S/. 50.09
1	Ball Caster 3/4 " metálico	S/. 18.84	S/. 18.84
1	Driver Dual MC33926	S/. 188.69	S/. 188.69
2	172:1 Metal Gearmotor 25Dx56L con encoder	S/. 220.19	S/. 440.38
1	Aluminium Mounting Hub	S/. 43.79	S/. 43.79
1	DC DC Switching TPS40305	S/. 7.25	S/. 7.25
1	LDO MIC5209-3.3YS	S/. 10.21	S/. 10.21
1	Mosfet CSD17308Q3	S/. 2.14	S/. 2.14
1	Mosfet BSZ040N04LS	S/. 6.43	S/. 6.43
1	WF111-E	S/. 96.89	S/. 96.89
2	Servo-Hitec HS-35HD	S/. 157.19	S/. 314.38
1	Electret Microphone	S/. 50.09	S/. 50.09
1	Voltaje-Level Translator	S/. 24.89	S/. 24.89
1	DC barrel Jack Adapter	S/. 18.59	S/. 18.59
1	Dynamixel AX/MX Driver	S/. 137.59	S/. 137.59
1	Bateria LiPo Rhino 1550mAh	S/. 11.80	S/. 11.80
1	P2 Jr. Pico Projector	S/. 1,253.70	S/. 1,253.70
1	Cable MHL	S/. 125.94	S/. 125.94
1	HDMI to Mini-HDMI	S/. 119.64	S/. 119.64
2	Ultra mini altavoz	S/. 48.95	S/. 97.90
4	Servomotores Dynamixel AX-12A	S/. 283.50	S/. 1,134.00
1	Sujecciones Bioloid para Dynamixel	S/. 56.07	S/. 56.07
2	Acople Lineal 4mm	S/. 31.44	S/. 62.88
4	Engranaje cónico 4mm	S/. 37.74	S/. 150.96
1	Par de Cojinetes con flanco 4mm	S/. 18.84	S/. 18.84
		Subtotal S/.	S/. 4,441.98
		IGV (18%)	S/. 799.56
		Total S/.	S/. 5,241.54
		Total \$	\$1,658.71

Tabla 2.14 Presupuesto por piezas de impresión 3D. La cotización fue realizada por VEO PUCP

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL	
1	Chullo parte baja	S/. 1,260.00	
1	Chullo parte alta		
1	Carcasa Cabeza delantera		
1	Carcasa Cabeza trasera		
1	Carcasa Cuerpo delantera		
1	Carcasa Cuerpo trasera		
1	Carcasa pies		
2	Brazo lado 1		
2	Brazo lado 2		
2	Antebrazo		
	Total S/.		S/. 1,260.00
	Total \$		\$398.73

Tabla 2.15 Presupuesto de componentes electrónicos comprados localmente

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Samsung Galaxy S4	S/. 2,000.00	S/. 2,000.00
1	Pernos	S/. 50.00	S/. 50.00
1	Arduino Mega ADK	S/. 250.00	S/. 250.00
1	Componentes de tarjetas	S/. 15.00	S/. 15.00
1	Impresión de PCBs	S/. 60.00	S/. 60.00
1	Cables y conexiones	S/. 50.00	S/. 50.00
1	Cargador de laptop 12V	S/. 120.00	S/. 120.00
		Total S/.	S/. 2,545.00
		Total \$	\$805.38

Tabla 2.16 Presupuesto de estructura interna. La cotización fue realizada por Stein Trices

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Fabricación CNC de estructura de planchas de acero INOX304	S/. 228.00	S/. 228.00
		IGV (18%)	S/. 41.04
		Total S/.	S/. 269.04
		Total \$	\$85.14

Tabla 2.17 Presupuesto total

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
1	Componentes importados	\$1,658.71
1	Impresión 3D	\$398.73
1	Compras Locales	\$805.38
1	Fabricación de estructura	\$85.14
1	Mano de obra (S/. 500 aprox.)	\$158.22
1	Gastos de logística (S/. 500 aprox.)	\$158.22
1	Honorarios	\$1,500.00
	Total \$	\$4,764.40

3 Experimentos y Resultados

Con el propósito de validar y comprobar el funcionamiento del sistema mecatrónico, se propone analizar en este capítulo el funcionamiento de un componente mecánico de diseño propio, que es la estructura interna, a través de un análisis de elementos finitos que complementen los cálculos realizados en el Anexo 5 para la estructura. Asimismo, siendo la alimentación del sistema un punto importante, se realiza un experimento con una versión preliminar de la tarjeta reguladora de energía para comprobar el funcionamiento de los circuitos y de la programación realizada para sensar los voltajes de entrada.

3.1 Simulaciones

Para el análisis de esfuerzos en la estructura interna metálica del robot se utilizó el software Autodesk Inventor 2015. Este software permite un análisis por el método de elementos finitos y brinda resultados muy próximos a los reales de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad.

De primera mano podemos afirmar que al estar utilizando acero inoxidable y teniendo cargas pequeñas; los esfuerzos generados en la estructura serán pequeños. Esto se comprueba con los resultados obtenidos en el Anexo 5. Esta simulación busca reforzar y comprobar dichos cálculos, así como obtener información adicional de la deformación en todos los puntos de la estructura.

En esta simulación solo se incluyen la estructura interna, la carcasa de los pies del robot y las ruedas junto con sus cojinetes y ejes. Estas partes son las que soportan al robot y son por eso las son incluidas en este análisis. Para la simulación se escogieron algunas condiciones de funcionamiento:

- Se asignaron los respectivos materiales a los componentes con sus respectivas características; acero inoxidable a las planchas de la estructura, plástico ABS a la carcasa y ruedas y acero al carbono a los cojinetes.
- Se colocaron dos restricciones; una restricción fija al apoyo trasero del robot que corresponde al lugar donde se coloca el ball caster para tener un punto de referencia y dos restricciones deslizantes en ambas ruedas del robot, para permitir su desplazamiento en el plano horizontal pero no en el eje vertical.
- Para simular las cargas ejercidas por el peso de los componentes se colocan 7 fuerzas externas y la fuerza de la gravedad. Las fuerzas originadas por los pesos se resumen en la Tabla 3.1
- Se plantea la simulación en el caso más crítico. Donde las fuerzas y momentos sean los máximos. Esto ocurre con la cabeza mirando de frente, ya que en esta posición el peso del celular genera el mayor momento.

- En la Figura 3.1 se observa el mallado escogido para la simulación, también se aprecian las fuerzas en sus respectivas ubicaciones.

Tabla 3.1 Peso de los componentes principales y la fuerza que ejercen

Componente	Masa (gramos)	Fuerza (N)
Estructura interna	420	4.12
Carcasa pies	90	0.88
Smartphone Samsung S4	130	1.28
Arduino Mega ADK	36	0.35
Proyector	150	1.47
2 Motores DC	210	2.06
Driver motores DC	20	0.20
Servomotores Dynamixel	55 c/u	0.54
Nanoservo	5 c/u	0.05
Parlantes	20 c/u	0.20
Bateria LiPo	136	1.33
Planchas cabeza	30	0.29
Carcasa cuerpo	160	1.57
Carcasa cabeza	180	1.77
Sombrero	250	2.45

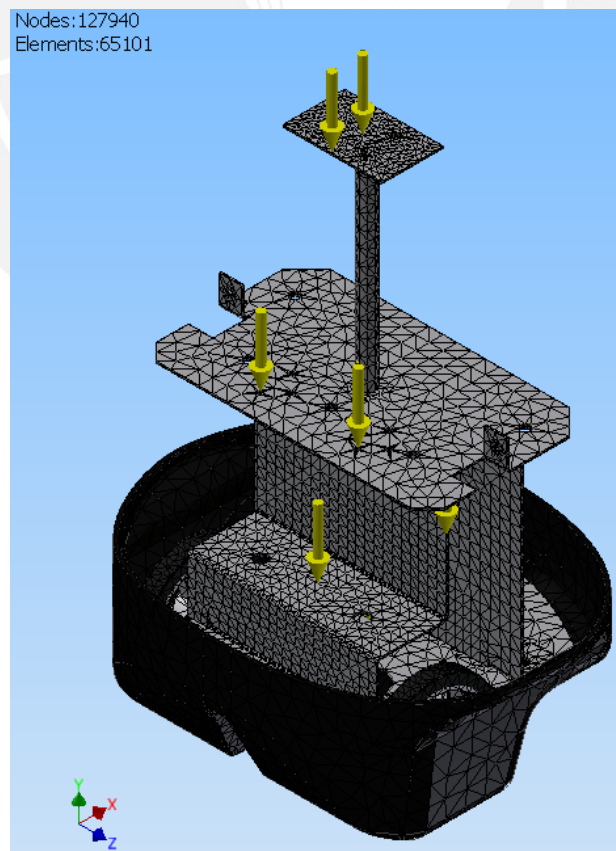


Figura 3.1 Mallado y fuerzas para el análisis de esfuerzos
Fuente: Propia

3.2 Experimentos

Para comprobar el funcionamiento de la tarjeta reguladora de energía se diseñó un prototipo previo, una tarjeta reguladora pero con una sola salida de voltaje. En esta versión previa se busca comprobar el correcto funcionamiento de la programación del Atmega, los switches de habilitación y los sensores por ADC. El esquemático de la tarjeta y el programa se encuentran en el Anexo 12 y en el Anexo 9 respectivamente.

Para el experimento se toman las siguientes consideraciones:

- Se regulan los valores de umbrales del ADC del voltaje de entrada y el voltaje de la batería a 24V y 12V respectivamente (estos son los voltajes nominales, se consideran unos rangos más grandes de histéresis para un funcionamiento correcto).
- Se realizarán 3 pruebas con la tarjeta: alimentación solo por el voltaje de entrada DC, alimentación solo por el voltaje de la batería y una alimentación en conjunto de ambas entradas.
- Adicionalmente se probará el funcionamiento con una carga a la salida de la tarjeta que exija alrededor de 1 A.

El funcionamiento que se espera obtener es el siguiente:

La tarjeta reguladora alimentará la salida si detecta que el voltaje de alimentación DC se encuentra dentro del rango establecido para esta o si el voltaje de alimentación de batería se encuentra dentro de su respectivo rango aceptable. En el caso que ambos voltajes se encuentran en su rango aceptable, se dará prioridad a la fuente de alimentación DC por sobre la batería. Este funcionamiento se describe en los diagramas de flujo de las Figuras 2.53 y 2.54.

Los equipos utilizados para la prueba son:

- Fuente regulable de voltaje de hasta 32 V con limitadora de corriente de 3A.
- Batería de ácido-plomo cargada a 12V de 7Ah de la marca OPALUX.
- Multímetro BK Precision.
- 2 resistencias en paralelo de 47 ohms y 20 W de potencia.

En la figura 3.2 se muestran los componentes aquí mencionados, la tarjeta implementada y un ejemplo de montaje para las pruebas.



Figura 3.2 a) Batería OPALUX, b) Fuente regulable de voltaje, c) Resistencias de potencia de 47 ohms, d) Vista superior de la tarjeta a probar, e) Colocación de equipos para la prueba
Fuente: Propia

3.3 Resultados

a) Resultados del análisis de esfuerzos en la estructura interna

Luego de la simulación se obtienen los siguientes resultados resumidos en las siguientes imágenes donde se destacan los valores máximos y mínimos de los desplazamientos, esfuerzos normales y factores de seguridad.

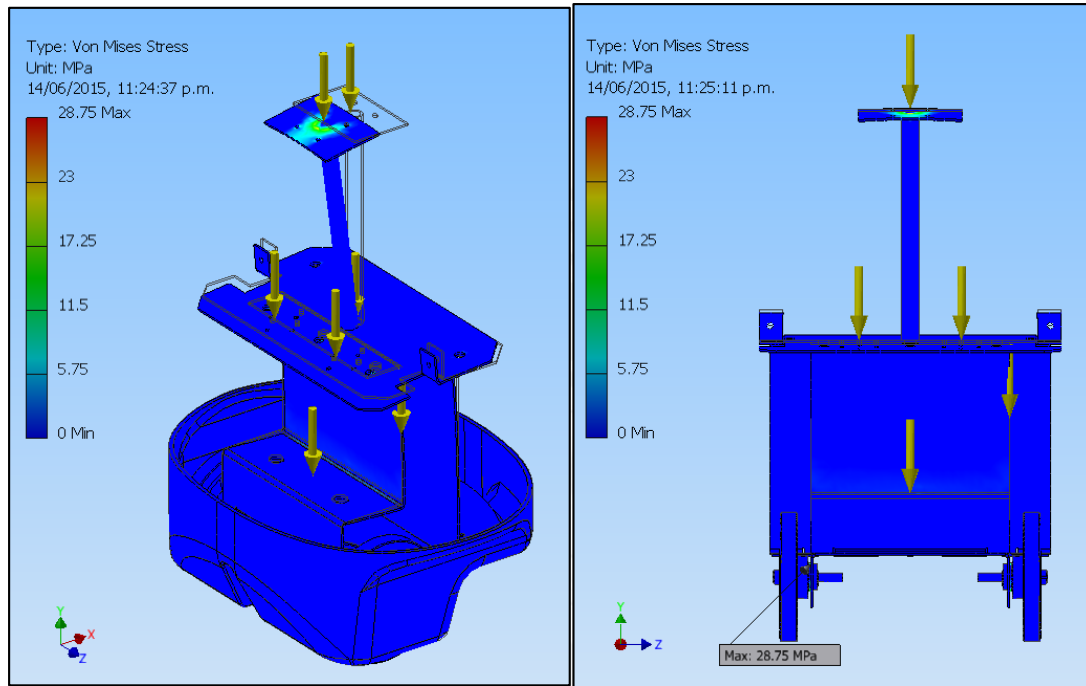


Figura 3.3 Esfuerzos de Von Mises en la estructura interna
Fuente: Propia

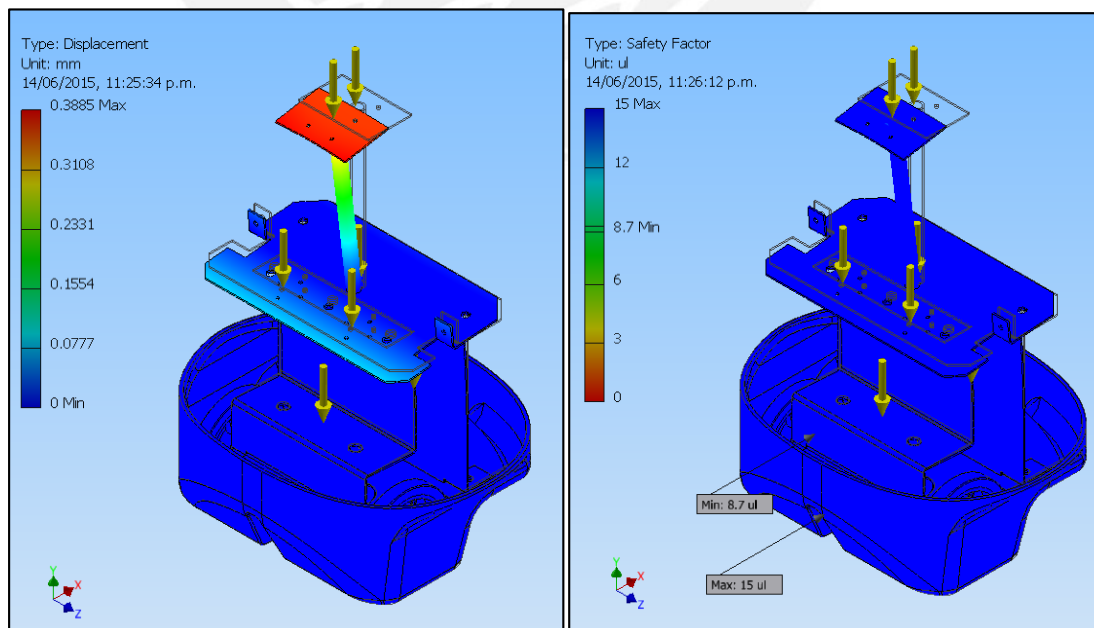


Figura 3.4 a) Desplazamiento y deformaciones, b) Factores de seguridad de la estructura interna
Fuente: Propia

Resumiendo los valores máximos obtenidos tenemos:

- Máximo desplazamiento: 0.3879 mm
- Máximo esfuerzo normal: 29.04 MPa
- Mínimo factor de seguridad a la fluencia: 8.61

Los efectos obtenidos de corte y torsión son mínimos y despreciables. Los efectos de esfuerzo normal y el desplazamiento producido son los efectos más significativos. Dado de que la resistencia a la fluencia del acero inoxidable es de 250 MPa y el máximo esfuerzo normal es de 29.04, tendremos que la estructura trabaja con un factor de seguridad de aproximadamente 8.6. El punto crítico de máximo esfuerzo se encuentra en la unión de los cojinetes con la estructura y el punto de máximo desplazamiento se ubica en la plancha superior de la estructura, ya que esta se inclina hacia adelante como se observa en la Figura 3.4, alcanzando un desplazamiento máximo de 0.39 mm.

b) Resultados de la prueba de funcionamiento de la tarjeta reguladora de energía

A continuación se resumen en imágenes las 3 pruebas realizadas y la descripción de los resultados obtenidos.

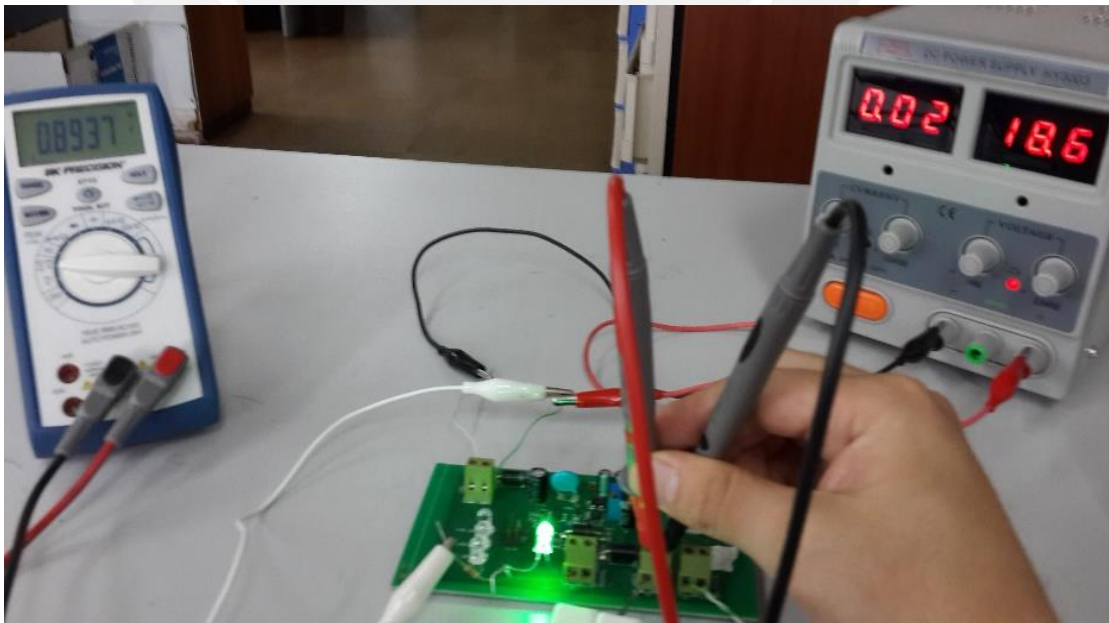


Figura 3.5 Ejemplo de medición de Prueba de funcionamiento
Fuente: Propia

b1) Primera prueba: Sólo alimentación externa DC

Conectando sólo la fuente regulable de voltaje a la entrada de alimentación externa de la tarjeta, se probaron 3 valores de voltajes de entrada: por debajo del rango establecido, dentro del rango y por encima del rango. El rango de funcionamiento está configurado entre 20V a 28V siendo el voltaje nominal de funcionamiento de 24V.

En la primera medición se observó que al alimentar la tarjeta con un voltaje de 18.6 V (por debajo del rango) se obtiene una medición de 0.8 V a la salida de la tarjeta, lo cual es un nivel de voltaje despreciable.

En la segunda medición se observó que al alimentar la tarjeta con un voltaje de 24.3 V (dentro del rango establecido) se obtiene una medición de 23.28 V a la salida de la tarjeta, lo cual indica que el voltaje es el adecuado y el controlador ha habilitado su paso.

En la tercera medición se observó que al alimentar la tarjeta con un voltaje de 31.1 V (por encima del rango) se obtiene una medición de 0.6 V a la salida de la tarjeta, lo cual es un nivel de voltaje despreciable que indica que el controlador no ha permitido la alimentación de la salida.

En la Tabla 3.2 se resumen los resultados obtenidos en esta primera prueba.

Tabla 3.2 Resultados de la prueba con alimentación externa DC

N° de Medición	Voltaje de alimentación	Condición de alimentación	Voltaje en la salida	Estado de la salida
1	18.6 V	Debajo del rango	0.8 V	Deshabilitada
2	24.3 V	Dentro del rango	23.28 V	Habilitada
3	31.1 V	Encima del rango	0.6 V	Deshabilitada

b2) Segunda prueba: Sólo alimentación de la entrada de batería

Conectando sólo la fuente regulable de voltaje a la entrada de alimentación por batería, se probaron 2 valores de voltajes de entrada: por debajo del rango establecido y dentro del rango. El rango de la batería está configurado entre 10.5 y 14 V, siendo el voltaje nominal de funcionamiento de 12 V.

En la primera medición se observó que al alimentar la tarjeta con un voltaje de 9.5 V (por debajo del rango) se obtiene una medición de 1.73 V a la salida de la tarjeta, lo cual es un nivel de voltaje despreciable que indica que el controlador no ha permitido la alimentación de la salida porque el voltaje de la batería no es el adecuado.

En la segunda medición se observó que al alimentar la tarjeta con un voltaje de 12.1 V (dentro del rango) se obtiene una medición de 11.7 V a la salida de la tarjeta, lo cual indica que el nivel de voltaje de la batería es el adecuado y el controlador ha habilitado su paso.

En la Tabla 3.3 se resumen los resultados obtenidos en esta primera prueba.

Tabla 3.3 Resultados de la prueba con alimentación de la entrada de batería

N° de Medición	Voltaje de alimentación	Condición de alimentación	Voltaje en la salida	Estado de la salida
1	9.5 V	Debajo del rango	1.73 V	Deshabilitada
2	12.1 V	Dentro del rango	11.7 V	Habilitada

b3) Tercera prueba: Alimentación de ambas entradas y conexión de una carga a la salida

Como se muestra en la Figura 3.6, se conecta la batería cargada a 12V a la entrada de alimentación por batería de la tarjeta y la fuente regulable a la entrada de alimentación DC. Adicionalmente se conectan las resistencias de potencia a la salida de la tarjeta para comprobar que los valores de los umbrales funcionan correctamente a pesar de la presencia de una carga que consuma más de 1A. Se realizan tres mediciones variando el voltaje de la fuente regulable a 3 valores de entrada: por debajo del rango establecido, dentro del rango y por encima del rango.

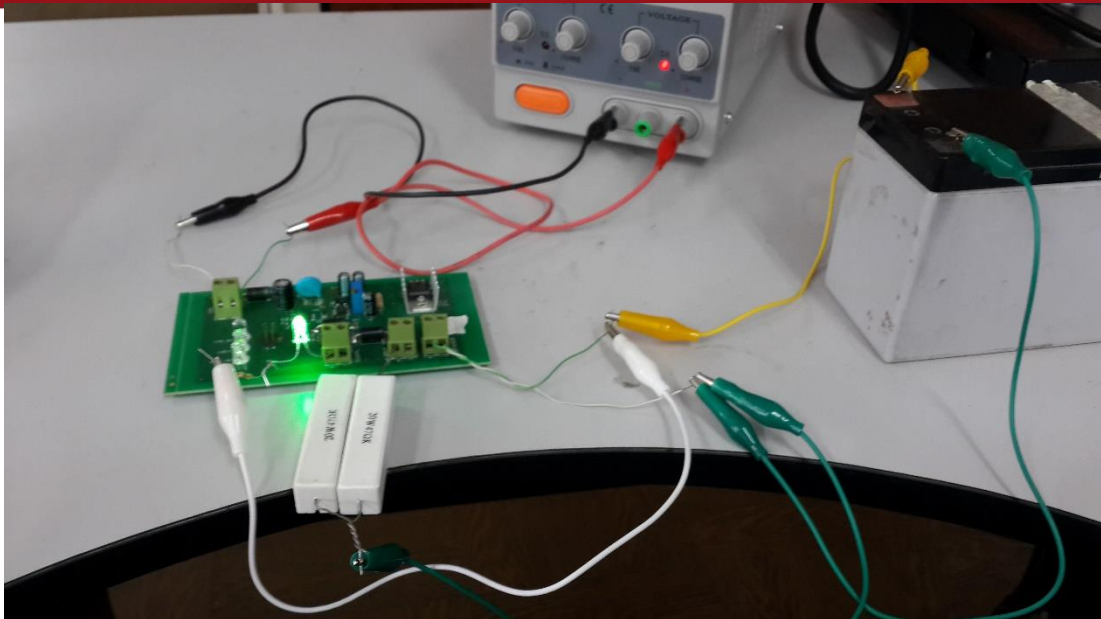


Figura 3.6 Disposición de equipos para la tercera prueba de funcionamiento de la tarjeta reguladora
Fuente: Propia

En la primera medición se observó que al alimentar la tarjeta con un voltaje de 18.0 V (por debajo del rango) se obtiene una medición de 10.78 V a la salida de la tarjeta, lo cual indica que es el voltaje de la batería el que se encuentra alimentando la salida y el voltaje de alimentación externa no es el adecuado.

En la segunda medición se observó que al alimentar la tarjeta con un voltaje de 24.4 V (dentro del rango) se obtiene una medición de 22.04 V a la salida de la tarjeta, lo cual indica que es el voltaje de la fuente externa el que se encuentra alimentando la salida y por tanto se despreja el nivel de voltaje de la batería a pesar de ser el adecuado. Adicionalmente vemos un consumo de 1.2 A por la carga puesta.

En la tercera medición se observó que al alimentar la tarjeta con un voltaje de 31.2 V (por encima del rango) se obtiene una medición de 10.89 V a la salida de la tarjeta, lo cual indica que es el voltaje de la batería el que se encuentra alimentando la salida y el voltaje de alimentación externa no es el adecuado.

En la Tabla 3.4 se resumen los resultados obtenidos en la tercera prueba.

Tabla 3.4 Resultados de la prueba con ambas alimentaciones y carga a la salida

N° de Medición	Voltaje de alimentación	Condición de alimentación	Voltaje en la salida	Estado de la salida
1	18.0 V	Debajo del rango	10.78 V	Alimentada por batería
2	24.4 V	Dentro del rango	22.04 V	Alimentada por fuente externa DC
3	31.2 V	Encima del rango	10.89 V	Alimentada por batería

En resumen, todos los resultados obtenidos fueron los esperados en el diseño y se mantuvo una correcta detección de los umbrales a pesar de tener una carga conectada a la salida de la tarjeta reguladora de energía.

Podemos concluir de los resultados obtenidos que todos los componentes seleccionados funcionaron adecuadamente. Los valores elegidos de resistencias para las entradas de los ADC permitieron una adecuada detección de los voltajes medidos con un error cercano a 0.5 V lo cual es adecuado para nuestro diseño. El microcontrolador ATmega88 colocado cumplió su función adecuadamente, tanto en la activación de los MOSFETs para habilitar las entradas de voltaje como en la lectura de las entradas de ADC con una rápida velocidad de respuesta y un consumo muy bajo de corriente cercano a los 5 mA. En cuanto a la disipación de calor, inclusive con una carga que exigía 1.2 A al sistema no se presentó un incremento significativo de temperatura en ningún componente.



Conclusiones

- Con el diseño aquí planteado se consigue el diseño de un robot proveedor de servicios con las características necesarias para desempeñarse como un narrador de cuentos de manera automática.
- Con el robot obtenido en esta tesis se consigue tener una plataforma educativa versátil con características adecuadas para la investigación y experimentación de robótica social en ambientes controlados.
- De los resultados obtenidos por el análisis de esfuerzos, se concluye que la estructura interna brinda una base sólida al robot y los resultados confirman el adecuado funcionamiento que presenta esfuerzos que no superan los 30 MPa y un factor de seguridad de aproximadamente 8.
- Del experimento realizado con la tarjeta de prueba reguladora de energía, se concluye que su funcionamiento es satisfactorio y se tiene un control adecuado de los voltajes de alimentación. El correcto funcionamiento de la tarjeta permite asegurar que los componentes estarán protegidos y siempre serán alimentados con los voltajes adecuados.
- Basados en los resultados de las pruebas, en el diseño mecánico y electrónico; se concluye que se ha conseguido cumplir con todos los requerimientos, objetivos y alcances planteados para el diseño de MUQUI, logrando inclusive superar algunas requerimientos iniciales como el tiempo de autonomía que debía brindar la batería, las características técnicas del proyector y de los parlantes.
- Se consigue un diseño de dos grados de libertad para el movimiento de brazos con un funcionamiento sencillo que cubriría la necesidad del robot de gesticular mientras narra una historia.
- Se ha obtenido un rasgo distintivo (sombrero) que se integra perfectamente en el diseño del robot cumpliendo la función esencial de dar sentido de pertenencia a una comunidad y al mismo tiempo cubrir al proyector y permitir su rotación sin que se rompa la forma básica del sombrero.
- Se ha conseguido la parte mecánica de un sistema de locomoción diferencial de apoyo en 3 puntos con motores DC y un ball caster metálico que da estabilidad al sistema y le permite un desplazamiento a una velocidad máxima de 10.23 cm/s según lo calculado en la selección de motores DC.

Recomendaciones

- A pesar de haberse tenido en mente un robot narrador de cuentos, el diseño planteado tiene el potencial para desempeñarse en otras aplicaciones que necesiten de un robot amigable que instruya o comparta información apoyándose de material audiovisual. Esto abre las puertas a la investigación y aplicación de este diseño en museos, universidades, colegios, etc.
- Siguiendo el punto anterior, el rasgo característico (sombrero) diseñado para identificar al robot con una comunidad cumple su objetivo y es funcional, ya que cubre al proyector; pero adicionalmente brinda la posibilidad de identificar al robot en otras tareas o ámbitos solamente cambiando el sombrero que utiliza. Por ejemplo, puede ser utilizado como un guía a la entrada de una estación de policía e identificarse con un sombrero de oficial de policía.
- A pesar de que se optó por una batería LiPo por sus ventajas de tamaño y peso, estas necesitan de un cuidado especial al recargarse y para hacerlo hay que retirarla del robot. Por lo cual, se puede optar por utilizar una batería ácido-plomo que será más pesada, pero su recarga requiere menos cuidados y podría realizarse con la tarjeta reguladora diseñada y sin necesidad de sacarla del robot. Por otro lado, una batería ácido-plomo sería la opción más adecuada si se piensa implementar el robot en una comunidad alejada ya que esta batería es más fácil de adquirir que una LiPo.
- Debido a que se utiliza un Smartphone de modelo comercial, este solo posee una salida micro-USB. Esto limita las conexiones que se pueden realizar con él, por lo que se tuvo que optar por comunicarse con el Arduino por WiFi y realizar la recarga con la conexión que tiene hacia el proyector. Para solucionar ambos problemas, se recomienda adquirir un módulo personalizado que posea más puertos de salida del mismo Smartphone y así tener un puerto para la conexión con el proyector, un puerto para comunicación con el Arduino y un puerto para recargar de forma directa la batería interna.
- Para mejorar las capacidades del robot, tanto en su detección de personas con las que interactúa como en su libre desplazamiento, se puede considerar en una futura versión incluir en el diseño una cámara frontal para detectar si

hay usuarios que quieran interactuar con él y sensores de ultrasonido para regular su desplazamiento y evitar que se choque con objetos o caiga de una plataforma.

- Para validar el desempeño del robot para transmitir emociones y generar sensaciones en los oyentes de sus relatos, es necesario implementar y probar el diseño planteado. Las pruebas deben ser elaboradas en un ambiente controlado en cuanto a la iluminación, para una correcta visualización de las imágenes que transmita el proyector y también tener limitada la zona de desplazamiento del robot para que no sufra caídas.
- A pesar de que en el diseño de los sombreros del robot se ha tenido cuidado en no tapar la principal ventilación del proyector, se podrían requerir mejoras en el diseño en el caso que el proyector se caliente por encima de 40 grados.



Referencias

- [1] Auger, J.: Living with Robots: A Speculative Design Approach. *International Journal of Human-Robot Interaction* 3(1), 20–42 (2014).
- [2] Fong, T., Nourbakhsh, I., Dautenhahn, K.: A survey of socially interactive robots. *Robotics and Autonomous Systems* 42(1), 143–166 (2003).
- [3] Goodrich, M.A., Schultz, A.C.: Human-Robot Interaction: A survey. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction* 1(3), 203–275 (2007).
- [4] Forlizzi, J.: How robotic products become social products: An ethnographic study of cleaning in the home. In: *Proceedings of the 2nd ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 129–136 (2007).
- [5] Šabanović, S., Reeder, S.M.: Designing Robots in the Wild: In situ Prototype Evaluation for a Break Management Robot. *International Journal of Human-Robot Interaction* (2014).
- [6] Hegel, F.: Effects of a Robot's Aesthetic Design on the Attribution of Social Capabilities. In: *The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 469–475 (2012).
- [7] Osawa, H., et al.: Embodiment of an agent by anthropomorphization of a common object. *Web Intelligence and Agent Systems: An International Journal* (2012).
- [8] Bruce, A., Nourbakhsh, I., Simmons, R.: The role of expressiveness and attention in human–robot interaction. In: *Proceedings of the 2001 AAAI Fall Symposium* (2001).
- [9] Duffy, B. R.: Anthropomorphism and the social robot. In: *Robotics and Autonomous Systems* 42, pp. 177-190 (2003).
- [10] Gelin, R., d'Alessandro, C., Anh Le, Q., Deroo, O., Doukhan, D., Martin, J.C., Pelachaud, C., Rilliard, A., Rosset, S.: Towards a Storytelling Humanoid Robot. *Dialog with Robots – 2010 AAAI Fall Symposium*, November 11-13, 2010 Arlington, VA, USA.
- [11] Bilge Mutlu, Jessica K Hodgins, and Jodi Forlizzi, "A Storytelling Robot: Modeling and Evaluation of Human-like Gaze Behavior", *Proceedings of HUMANOIDS'06, IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots* (2006).
- [12] (2015) JIBO: Meet Jibo, The World's First Family Robot Home Page. [Online]. Available: <http://www.jibo.com/>
- [13] (2015) TROBO: The Storytelling Robot Home Page [Online]. Available: <http://herecomestrobo.com/>

- [14] (2014) Meet DASH and DOT [Online]. Available: <https://www.makewonder.com/robots/dashanddot/>
- [15] (2011) Interactive Storytelling with a NAO Robot, Video [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=l0ZU1F3Uf1I>
- [16] Takayuki, K., et al.: An affective guide robot in a shopping mall. In: Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (2009)
- [17] Robins, B., Dickerson, P., Stribling, P., Dautenhahn, K.: “Robot-mediated joint attention in children with autism”. In: Interaction Studies 5:2, pp. 161–198 (2004).

Anexos:

- [18] (2013) Samsung Galaxy S4 Home Page. [Online]. Available: <http://www.samsung.com/pe>
- [19] (2012) Arduino MEGA ADK Home Page. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>
- [20] (2015) P2 Jr. PICO Projector AAXA Technologies Home Page. [Online]. Available: http://www.aaxatech.com/products/p2jr_pico_projector.html
- [21] (2013) 172:1 Metal Gearmotor 25Dx56L mm with 48 CPR. [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2288/specs>
- [22] (2013) Pololu Dual MC33926 Motor Driver Shield for Arduino. [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2503/specs>
- [23] (2015) ROBOTIS Dynamixel Home Page. [Online]. Available: http://www.robotis.com/xe/dynamixel_en#d04
- [24] (2014) Servo - Hitec HS-35HD (Ultra Nano Size). [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/11882>
- [25] (2014) SparkFun Electret Microphone Breakout. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/9964>
- [26] BlueGiga: WF111 – 802.11 B/G/N MODULE Datasheet, Version 1.2.2. 10 de junio del 2013.
- [27] (2015) Robosavvy Dynamixel AX/MX bus Driver Board CDS55xx. [Online]. Available: <http://robosavvy.com/dynamixel-ax-mx-bus-driver-board-cds55xx.html>
- [28] (2015) SparkFun Voltage-Level Translator Breakout - TXB0104. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/11771>
- [29] Texas Instrument: TPS4030x 3-V to 20-V Input Synchronous Buck Controller. November, 2009. Revised: May, 2015
- [30] MICREL, Inc.: MIC5209 500mA Low-Noise LDO Regulator. May 19, 2015.

Anexos

1. Anexo 1: Metodología de diseño mecatrónico
2. Anexo 2: Selección de motores DC
3. Anexo 3: Cálculos de servomotores
4. Anexo 4: Selección de batería
5. Anexo 5: Análisis de esfuerzos y estabilidad de la estructura
6. Anexo 6: Selección de pernos
7. Anexo 7: Diseño de conversor Switching
8. Anexo 8: Sombreros para Costa y Selva
9. Anexo 9: Programa de la tarjeta reguladora
10. Anexo 10: Proformas y Cotizaciones
11. Anexo 11: Hojas de datos de componentes electrónicos
12. Anexo 12: Board y esquemáticos
13. Anexo 13: Planos del sistema