



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT INTERACTIVO Y
DIDÁCTICO PARA LA EMPRESA “IPREX”

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: VACA HEREDIA ISABEL CAROLINA
VILLAGÓMEZ CASTILLO LEONELA ANDREA
TUTOR: ING. JAVIER GAVILANES MSC.

Riobamba – Ecuador

2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El proyecto técnico: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT INTERACTIVO Y DIDÁCTICO PARA LA EMPRESA “IPREX”, de responsabilidad de las señoritas Isabel Carolina Vaca Heredia y Leonela Andrea Villagómez Castillo, ha sido minuciosamente revisado por el tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
Ing. Javier Gavilanes C. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
Ing. Fernando Mejía P. MIEMBRO DEL TRIBUNAL

“Yo, Isabel Carolina Vaca Heredia, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados, expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”.

ISABEL CAROLINA VACA HEREDIA

“Yo, Leonela Andrea Villagómez Castillo, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados, expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”.

LEONELA ANDREA VILLAGÓMEZ CASTILLO

DEDICATORIA

Ha sido un trayecto satisfactorio mis estudios universitarios que culmina con este trabajo de titulación por lo cual dedico todo este esfuerzo a Dios por estar guiarme en cada paso que doy, protegiéndome y dándome fortaleza para continuar pese a las dificultades; a mis padres, quienes siempre han velado por mi bienestar y educación depositando su entera confianza en mí.

Isabel

Dedico esta tesis a Dios por brindarme salud y la fortaleza necesaria para culminar con mis estudios; a mi madre y aunque esté ausente ha sido mi motivo de inspiración de ser una mujer luchadora, perseverante y tolerante. A mis hijas Zuleid, Daira y Amira por ser mi fortaleza; a mi esposo por brindarme su apoyo incondicional; a mis hermanos y a mi compañera, amiga Isabel por ser un gran apoyo durante este transcurso de elaboración del trabajo de titulación. Para todos ellos se los agradezco infinitamente y que Dios me los bendiga siempre. Los amo.

Leonela

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia y amigos por su apoyo y comprensión, han estado junto a mí en momentos de cansancio y decline motivándome para continuar, con su cariño han sabido corregir mis faltas, celebrar mis triunfos y demostrarme que siempre podré contar con ellos. Mis maestros también reciben mi profunda gratitud por ser quienes han sembrado en mí su conocimiento, para cumplir con este objetivo.

Isabel

Agradezco a Dios por guiar siempre mi camino, a mi esposo y amiga Isabel por ser un gran apoyo durante el transcurso de elaboración del trabajo de titulación. Agradezco a mis familiares por estar siempre ahí apoyándome moralmente para salir adelante y no darme por vencida. De todo corazón mil gracias y que Dios les colme de bendiciones a todos.

Leonela

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
TABLA DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
RESUMEN.....	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I.....	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	
1.1 Robótica.....	5
1.1.1 Leyes de la Robótica.....	5
1.2 Robot	5
1.3 Robot de servicio.....	6
1.4 Robot didáctico.....	7
1.5 Interfaz hombre – máquina (HMI)	7
1.6 Valle inquietante.....	8
1.7 Plataformas móviles	9
1.7.1 Diseño diferencial.....	9
1.7.2 Diseño de coche (ackerman).....	9
1.7.3 Diseño de triciclo.....	10
1.7.4 Diseño sincronizado	11
1.8 Plataforma omnidireccional.....	11
1.8.1 Ruedas omnidireccionales	12
1.8.2 Ruedas Mecánicas	13
1.9 Microcontrolador.....	14
1.9.1 Arduino 328.....	14
1.9.2 Extensión Arduino (Arduino IO expansión).....	15
1.10 Raspberry Pi 3	16

1.11	Comunicación Arduino – Raspberry	17
1.11.1	Comunicación serial	17
1.12	Cámara módulo v2.....	18
1.12.1	Datos Técnicos	19
1.13	Sensores ultrasónicos.....	19
1.13.1	Datos técnicos.....	19
1.13.2	RS-485.....	20
1.14	Motores DC	20
1.14.1	Motores DC con encoder.....	21
1.15	Servomotores	21
1.15.1	Datos técnicos HS-422 servo motor	22
1.16	Batería Ni – Mh.....	23
1.17	Pantalla touch	24
1.17.1	Pantalla oficial Raspberry Pi de 7"	24
1.17.2	Pantalla Raspberry Pi 5"	25
1.18	Raspbian Jessie Pixel.....	26
1.19	Lenguaje Python	27
1.20	Node Red.....	28
1.21	SolidWorks	28

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1	Diseño mecánico.....	31
2.1.1	Cabeza	31
2.1.2	Cuerpo	32
2.1.3	Brazos	33
2.1.4	Base	34
2.2	Diseño Electrónico	35
2.3	Tracción omnidireccional	36
2.4	Suministro de energía	37
2.5	Diseño de la interfaz con el usuario.....	37
2.6	Implementación sistema mecánico	38
2.6.1	Ensamblaje cabeza.....	38
2.6.2	Ensamblaje de la base.....	39
2.6.3	Ensamblaje del cuerpo.....	40
2.6.4	Ensamblaje total	40
2.7	Implementación Sistema Electrónico	41

2.8	Implementación Sistema de Comunicación.....	42
2.8.1	Comunicación entre Raspberries Pi 3.....	43
2.8.2	Comunicación Raspberry Pi3- Arduino 328.....	44
2.9	Programación del Robot	46
2.9.1	Control manual	48
2.9.2	Modo baile.....	49
2.9.3	Cuento.....	50
2.9.4	Juego.....	51
2.9.5	Vocabulario	51
2.9.6	Publicidad	52
2.9.7	Twitter-Facebook.....	52
2.10	Implementación de la interfaz	53

CAPÍTULO III.....

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....

3.1	Funcionamiento del proyecto	55
3.1.1	Prueba de los movimientos del robot.....	55
3.1.2	Prueba de la interfaz gráfica	55
3.2	Pruebas de nivel de aceptación.....	56
3.3	Problemas detectados y soluciones propuestas.....	60
3.3.1	Instalar y configurar las Raspberry.....	60
3.3.2	Escoger comunicación del I2C	61
3.3.3	Utilizar Node-Red.....	61
3.3.4	Alimentación del sistema.....	61
3.3.5	Programación de sensores.....	61
3.3.6	Control del movimiento de las llantas omnidireccionales.	62
3.3.7	Acoplar los componentes al diseño.	62
3.4	Complementos futuros.....	62

CONCLUSIONES..... 64

RECOMENDACIONES..... 65

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA.....

ANEXOS.....

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1-1: Especificaciones de ruedas omnidireccionales.....	13
Tabla 2-1: Especificaciones de ruedas mecanum.....	13
Tabla 3-1: Especificaciones técnicas Raspberry Pi 3.....	16
Tabla 4.1: Características Python.....	27
Tabla 5.1: Características SolidWorks.....	29
Tabla 1-2: Líneas de conexión necesarias para comunicación I2C.....	45
Tabla 2-2: Pines de conexión comunicación I2C entre Arduino-Raspberry.....	45
Tabla 3-2: Bloques Node-Red.....	47
Tabla 4-2: Lista de comandos y ejecución en Arduino y Raspberry Pi master.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1-1. Robot Pepper.....	6
Figura 2-1. Robot Zenbo.....	6
Figura 3-1. Interfaz hombre-máquina.....	7
Figura 4-1. Plataforma cintas de deslizamiento.....	9
Figura 5-1. Diseño simple ackerman.....	10
Figura 6-1. Modelo cinemático de configuración del robot móvil triciclo.....	10
Figura 7-1. Base 3wd 48mm omnidireccional.....	11
Figura 8-1. Rueda 48mm omnidireccional.....	12
Figura 9-1. Rueda mecanum.....	13
Figura 10-1. Arduino Atmega 328.....	14
Figura 11-1. Arduino IO expansión.....	15
Figura 12-1. Raspberry Pi 3.....	16
Figura 13-1. Comunicación serial de Arduino – Raspberry.....	17
Figura 14-1. Líneas de comunicación serial de Raspberry - Arduino.....	18
Figura 15-1. Cámara módulo V2 para Raspberry Pi.....	18
Figura 16-1. Sensor ultrasónico dual (DUS).....	19
Figura 17-1. Motor DC.....	20
Figura 18-1. Servomotor.....	21
Figura 19-1. Cables del servomotor.....	22
Figura 20-1. Batería Ni – Mh.....	23
Figura 21-1. LCD 7” Pantalla oficial Raspberry.....	24
Figura 22-1. Pantalla 5” touch Raspberry.....	25
Figura 23-1. Software Jessie Pixel.....	26
Figura 24-1. Logo Python.....	27
Figura 25-1. Ejemplo de un flujo en Node Red.....	28
Figura 1-2. Prototipo robot Cloe.....	31
Figura 2-2. Vista modelo cara frontal y posterior.....	32
Figura 3-2. Vista cuerpo pieza derecha e izquierda.....	32
Figura 4-2. Vistas brazo derecho.....	33
Figura 5-2. Vistas brazo izquierdo.....	33
Figura 6-2. Acople tubo base superior base.....	34
Figura 7-2. Movimientos de las llantas de la base omnidireccional.....	36
Figura 8-2. Diseño de las expresiones ojos del robot.....	37

Figura 9-2. Diseño de las expresiones boca del robot.....	37
Figura 10-2. Ensamblaje pantalla pieza cara frontal.....	38
Figura 11-2. Ensamblaje base omnidireccional.....	39
Figura 12-2. Acople nivel superior base.....	39
Figura 13-2. Ensamble cuerpo.....	40
Figura 14-2. Ensamble total.....	41
Figura 15-2. Pines conectados Raspberry Pi 3 master.....	41
Figura 16-2. Pines conectados al Arduino y a la tarjeta IO.....	42
Figura 17-2. Direccionamiento UDP nodo Spot Cloe.....	43
Figura 18-2. Direccionamiento Switch, nodo Spot Cloe.....	44
Figura 19-2. Conexión I2C Raspberry-Arduino.....	44
Figura 20-2. Diagrama de flujo modo de funcionamiento robot Cloe.....	46
Figura 21-2. Interfaz Node-Red.....	46
Figura 22-2. Lazo de control manual robot Cloe.....	48
Figura 23-2. Extracto código Arduino para control manual Cloe.....	49
Figura 24-2. Lazo de modo baile robot Cloe.....	50
Figura 25-2. Lazo de modo cuento robot Cloe.....	50
Figura 26-2. Lazo de modo juego robot Cloe.....	51
Figura 27-2. Lazo aprendizaje vocabulario robot Cloe.....	51
Figura 28-2. Lazo modo publicidad robot Cloe.....	52
Figura 29-2. Tweet carnet virtual generado por robot Cloe a un usuario.....	52
Figura 30-2. Script conexión twitter CloeBot.....	53
Figura 31-2. Nodos para generar dashboard Cloe.....	53
Figura 32-2. Interfaz gráfica Cloe.....	54
Figura 1-3. Presentacion Cloe, feria académica en Riobamba.....	56
Figura 2-3. Presentación Cloe, concurso ecuatoriano de robótica CER 2016.....	57
Figura 3-3. Entorno página de Facebook CloeBot.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Páginas
Gráfico 1-2. Etapas de diseño e implementación.....	30
Gráfico 2-2. Sistema electrónico (conexión de dispositivos).....	35
Gráfico 3-2. Sistema de comunicación Cloe.....	42
Gráfico 1-3. Datos estadísticos entradas a la página CloeBot.....	58
Gráfico 2-3. Datos estadísticos visitantes a la página CloeBot.....	58
Gráfico 3-3. Datos estadísticos visitantes por género y edad a la página CloeBot.....	59
Gráfico 4-3. Datos estadísticos entradas a la página CloeBot.....	59
Gráfico 5-3. Datos estadísticos entradas a la página CloeBot.....	60

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Cuadro comparativo especificaciones técnicas Raspberry pi.
- Anexo B:** Planos piezas de la cabeza.
- Anexo C:** Planos piezas cuerpo.
- Anexo D:** Plano piezas brazo derecho.
- Anexo E:** Plano piezas brazo izquierdo.
- Anexo F:** Plano de la base omnidireccional.
- Anexo G:** Acople tubo de aluminio en base.
- Anexo H:** Código Arduino base.
- Anexo I:** Evidencia fotográfica.

RESUMEN

En la presente investigación está conceptualizado el proceso de diseño y construcción de un robot interactivo y didáctico para el Centro de Preparación Académica IPREX de la ciudad de Riobamba. El robot está conformado por dos brazos con movimiento, tiene tracción omnidireccional y comunicación WiFi. Los dispositivos que conforman la estructura del robot son dos pantallas, una ubicada en la cabeza, otra pantalla empotrada en la parte frontal del robot, una cámara y sensores detectores de proximidad para generar la experiencia de interacción con el público, estos dispositivos son controlados por dos Raspberry Pi 3, un Arduino 328 para los cuales se diseñó un sistema de comunicación de maestro-esclavos con diferentes tipos de conectividad. El modelo del robot es totalmente original debido a que la estructura fue diseñada en un programa de modelamiento 3D, respetando el principio de “valle inquietante”, que busca armonía entre parecer un robot y un humano, ajustándose a los componentes y funcionalidades necesarias para que conformen el prototipo, las piezas son impresas con tecnología 3D utilizando fibra PLA (ácido poliláctico). La interfaz con el usuario permite seleccionar el modo de operación que tiene el robot, ya sea para controlarlo manualmente, hacerlo bailar, ponerlo en modo publicitario, jugar, o para que relate un cuento. Se enfatizó en crear aplicaciones que puedan desarrollar en los niños capacidades de aprendizaje y comprensión lógica. El robot puede reprogramarse, dejando la posibilidad de añadir más aplicaciones didácticas en trabajos futuros, lo que permite que continúe innovándose. Por tanto es recomendable que los estudiantes e investigadores extiendan el desarrollo del robot y puedan seguir renovando al prototipo, de esta manera se contribuye al país con nuevos métodos didácticos para la educación.

PALABRAS CLAVES: <FIBRA PLA [ACIDO POLILÁCTICO]>, <CENTRO DE PREPARACIÓN ACADÉMICA [IPREX]>, <RASPBERRY PI>, <RIOBAMBA [CANTÓN]>, <ROBOT DIDÁCTICO>, <ROBOT INTERACTIVO>.

ABSTRACT

In the present investigation, this is a conceptualized process of design and construction of an interactive robot and didactic for the Center of Academic Preparation IPREX of the city of Riobamba. The robot is confirmed by two arms with movement, has omnidirectional traction and WiFi communication. The devices that make up the structure of the robot are two screens, one located in the head, another screen located in the front of the robot, a camera and proximity sensors to generate the experience of interaction with the public, these devices are controlled by two Raspberry PI 3, an Arduino 328 for which a master-slave communication system with different types of connectivity was designed. The model of the robot is totally original because the structure was designed in a 3D modeling program, with respect to the principle of "haunting valley", which seeks harmony between looking like a robot and human, adjusting to the components and functionalities necessary to conform the prototype, the pieces are printed using 3D technology using PLA (polylactic acid) fiber. The interface with the user allows to select the mode of operation that the robot has, either to control it manually, make it dance, put it in advertising mode, play, or to tell a story. The emphasis was on creating applications to be reprogrammed, leaving the possibility of adding more didactic applications in future projects, which allows to continue innovating. It is therefore recommended that students and researchers extend the development of the robot and can continue to renew the prototype, thus contributing to the country with new didactic methods for education.

KEYWORDS: <FIBER PLA [POLYLACTIC ACID]>, <ACADEMIC PREPAREDNESS CENTER [IPREX]>, <RASPBERRY PI>, <RIOBAMBA [CANTON]>, <ROBOT DIDACTIC>, <INTERACTIVE ROBOT>.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En la actualidad la robótica en el mundo evoluciona a pasos agigantados y la necesidad de utilizarla incrementa debido a que los robots son utilizados por la capacidad que tienen para realizar tareas de manera precisa y más rápida que los humanos, lo que se traduce en réditos económicos. Los robots son versátiles en el modo de utilizarlos ya que pueden estar presentes en áreas tanto industriales como sociales.

Se trabaja arduamente para que los robots puedan interactuar con los seres humanos, hoy en día en países desarrollados es más común encontrarse con robots meseros, enfermeros, de limpieza, publicitarios, de seguridad, entre otros.

En Beijing, China, la compañía Harbi Haoai ha construido robots meseros para el restaurante propiedad de Liu Hashen, veinte robots son los que atienden el lugar ellos son capaces de dar la bienvenida, servir la comida o incluso prepararla (Robots meseros sustituyen a humanos en restaurante chino, 2013).

Japón es otro de los países donde se puede encontrar robots de servicio, un ejemplo es Robear un asistente para adultos mayores o personas con problemas de movilidad, el robot posee mucha fuerza para poder cargar seres humanos en diferentes circunstancias, manteniendo la delicadeza necesaria (Robear es un robot-oso japonés, enfermero del futuro, 2015).

En el Ecuador los últimos años se han realizado algunos proyectos referidos a los robots de servicio. En el 2013 nació la idea de Teebot, un autómatas diseñado y ensamblado en el país, el cual enseña a niños programación de computadoras, bases de electrónica y robótica.

Dentro del área de la robótica de servicio, se encuentran robots publicitarios, interactivos y didácticos, los mismos que en el Ecuador empiezan a abrirse espacio, estos prototipos son las nuevas herramientas utilizadas por empresas para poner a disposición del público información de las mismas, captando la atención de la gente instantáneamente.

En el 2012, se presentó en la ESPOCH como tesis de grado a “Publitron”, un robot móvil publicitario controlado de forma inalámbrica mediante XBee, con audio y video a través de una cámara IP y movimientos controlados por una interfaz gráfica (Sánchez, y otros, 2012).

Formulación del problema

- ¿Qué clase de robot necesita la empresa IPREX para promocionar sus servicios de manera interactiva y didáctica con los usuarios?
- ¿Con que dispositivos se logrará la interacción con los usuarios?
- ¿Cómo se desarrollará la aplicación didáctica que el robot ofrecerá al usuario?
- ¿Qué nivel de aceptación tendrá el robot con los usuarios y clientes en la empresa IPREX?
- ¿Qué controladores se utilizaran para el robot?

Justificación

Un robot de servicio debe alcanzar con éxito la interacción con el público, para que este lo acepte de manera inmediata y pueda absorber los beneficios que el robot entrega, es imprescindible que tenga aplicaciones accesibles para todo tipo de usuarios manteniendo un aspecto llamativo.

El desarrollo de este proyecto surge como respuesta ante la necesidad del Centro de Preparación Académica IPREX de crear nuevas estrategias publicitarias y didácticas que lleguen a la gente de manera directa.

El robot propuesto será interactivo y didáctico conformado por dos brazos, tracción omnidireccional y comunicación Wifi. El sistema de procesamiento del robot estará implementado con Raspberry Pi en comunicación con Arduino, siendo el primero maestro del sistema.

Tendrá dos pantallas, una ubicada en la cabeza y otra sostenida en la parte frontal del robot a la altura del pecho, la primera será utilizada para transmitir expresiones del robot, y la otra pantalla servirá para la interacción de las aplicaciones con el usuario. La cámara junto a los sensores serán parte fundamental del sistema para generar la experiencia de interacción con él público.

Alcance

Una vez diseñado e implementado el robot interactivo y didáctico, será utilizado por los clientes y visitantes de la empresa IPREX, a quienes se ofrecerá la oportunidad de tener una experiencia

muy didáctica e informativa, que a más de uno resultará satisfactoria y cultivará en el público la curiosidad y necesidad de aprender, que es la misión de la empresa y el objetivo del proyecto.

Para el diseño del robot es necesario la utilización de un software para el modelamiento de piezas como lo es SolidWorks, con el que se podrá establecer las dimensiones de las piezas, y establecer la ubicación de los elementos que formarán parte del sistema y mecánica del robot.

Es imprescindible utilizar en el robot actuadores apropiados para que pueda realizar los movimientos correctamente. Mediante sensores se detectara al usuario, el robot dará un mensaje de bienvenida y tendrá a disposición del público diferentes opciones de funcionamiento.

Se ha decidido utilizar más de un controlador para repartir las tareas y así mejorar la velocidad de respuesta de los procesos. Se elige a una Raspberry Pi que gobierne los sistemas del robot en comunicación con Arduino que recibirá órdenes de la Raspberry para realizar funciones más específicas como el manejo de sensores y actuadores.

Mediante la interfaz el usuario interactuara con el robot intuitivamente ya que la interfaz dará la facilidad de poder seleccionar de forma rápida la acción a desarrollar. La comunicación wifi permitirá controlar y reprogramar la ejecución de la actividad del robot.

El Centro de Preparación Académico IPREX al presentar este robot a sus posibles estudiantes incrementará el entusiasmo por ser parte de una empresa que innova con tecnología para brindar un mejor servicio así como para motivar a los estudiantes.

Es muy importante exponer que al utilizar y preferir trabajar con hardware y software libre, los costos serán relativamente bajos en este proyecto y hará que este tenga la oportunidad de seguir desarrollándose, lo que será un beneficio muy grande para la empresa IPREX.

Objetivos

Objetivo general

- Diseñar e implementar un “Robot Interactivo y Didáctico”, para el Centro de Preparación Académica “IPREX”.

Objetivos específicos:

- Diseñar el sistema electrónico y mecánico del robot interactivo.
- Implementar el sistema de detección del usuario basado en sensores.
- Diseñar e implementar la aplicación didáctica para la interacción con los usuarios.
- Determinar el nivel de aceptación del robot con los usuarios.
- Implementar la comunicación entre la placa Raspberry Pi con Arduino para el control del robot.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

El presente capítulo contiene la información necesaria para poder elaborar el trabajo de titulación, Diseño y Construcción de un Robot Interactivo y Didáctico para la empresa “IPREX”

1.1 Robótica

La robótica es una rama de la tecnología encaminada al diseño y la implementación de robots, máquinas que son capaces de realizar tareas propias del ser humano, para esto la robótica fusiona múltiples disciplinas, entre las que podemos mencionar: electrónica, mecánica, informática, inteligencia artificial e ingeniería de control, entre otras (Introducción a la Robótica, 2012).

En otras palabras la robótica es la rama de la tecnología que se dedica al diseño, construcción, operación, disposición estructural, manufactura y aplicación de los robots.

1.1.1 *Leyes de la Robótica*

Asimov definió tres leyes para la protección de los humanos, y éstas son (Zabala, 2007, p. 39):

- a. Un robot no puede hacerle daño a un ser humano o, por su inacción, permitir que un ser humano sufra daño (Zabala, 2007, p. 39).
- b. Un robot debe obedecer las órdenes dadas por un ser humano, siempre y cuando alguna de éstas órdenes no entre en conflicto con la primera ley (Zabala, 2007, p. 39).
- c. Un robot debe proteger su propia existencia, hasta que esta protección no viole la primera o la segunda ley (Zabala, 2007, p. 39).

1.2 Robot

La palabra robot viene de la palabra checa robota, que significa “servidumbre”, “trabajo

forzado” o “esclavitud”. El término robot fue utilizado por primera vez por Karel Čapek en su obra teatral R.U.R (Robots Universales Rossum), haciendo que la palabra robot sea usada para referirse a humanos mecánicos en 1921 (Roger, 2008).

Se define que un robot es un manipulador automático servocontrolado, reprogramable, capaz de posicionar y orientar piezas o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas (Zabala, 2007, p. 19).

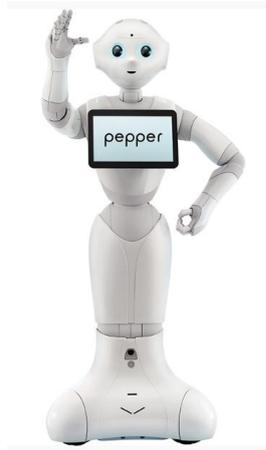


Figura 1-1. Robot Pepper.

Fuente: http://www.railwaygazette.com/uploads/pics/tn_aldebaran-pepper-robot.jpg

Según la Asociación Japonesa de Robótica Industrial (JIRA), los robots son dispositivos capaces de moverse de modo flexible, análogo al que poseen los organismos vivos, con o sin funciones intelectuales, lo que permite la realización de operaciones en respuesta a órdenes recibidas por humanos (Zabala, 2007, p. 18).

1.3 Robot de servicio



Figura 2-1. Robot Zenbo.

Fuente: <https://zenbo.asus.com/>

Se especifica como robot de servicio a “Todo tipo de robot que no es industrial”. La IFR define: “Robot que opera de forma parcial o totalmente autónoma al servicio del bienestar de los seres humanos, excluyendo operaciones manufactureras” (AER-ATP).

Hoy en día los robots están trabajando en casi todos los campos de servicio que van desde la limpieza hasta la exploración espacial de alta tecnología. Entre otras aplicaciones encontramos: robots de mantenimiento de la casa, robots de vigilancia, robots de entretenimiento educativo, de rehabilitación y así sucesivamente (Jyh-Hwa, y otros, 2008).

1.4 Robot didáctico

Los robots didácticos son robots de servicio que utilizan herramientas didácticas y de entretenimiento para fomentar concretamente el desarrollo de habilidades motrices y viso espaciales, convirtiéndose en una herramienta didáctica que no se agota en sí misma.

En la aplicación de la robótica como instrumento didáctico, lo que se busca es lograr en los que se cultive un aprendizaje de conocimientos en áreas como matemáticas, física, mecánica, lógica, también se puede aprender a desarrollar competencias y habilidades que incluyen el pensamiento abstracto, la visualización creativa, la manipulación gruesa y fina, entre otras (Ibarra, 2010).

1.5 Interfaz hombre – máquina (HMI)

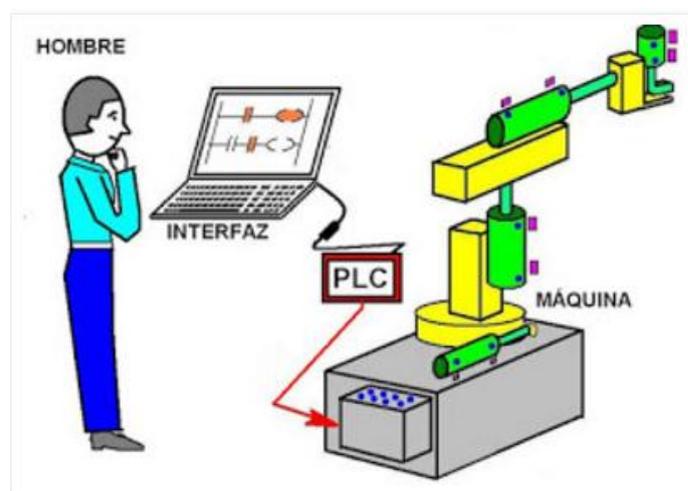


Figura 3-1. Interfaz hombre-máquina.

Fuente: <http://coparoman.blogspot.com/2013/05/15-medio-de-programacion-de-un-robot.html>

El sistema HMI (Human Machine Interface), es el dispositivo o sistema que permite la interfaz entre la persona y la máquina. Es un sistema que presenta datos a un operador y a través del cual este controla un determinado proceso (Sistemas de Interfaz Hombre-Máquina, HMI, 2007).

La interfaz de usuario surgió de la necesidad de estandarizar el monitoreo y control de sistemas a distancia, PLCs y otros mecanismos de control. Actualmente, la industria pone a disposición del mercado un amplio abanico de sistemas HMI, orientados a satisfacer distintos niveles de necesidades.

Los HMI ofrecen incluso plataformas cliente-servidor multidisciplinarias, es decir, que son capaces de aplicarse a un SCADA eléctrico, a un sistema de procesos o a una pequeña planta (Sistemas de Interfaz Hombre-Máquina, HMI, 2007).

1.6 Valle inquietante

El valle inquietante fue sugerido por primera vez por Mori, que examinó la relación entre la similitud de un robot a un ser humano y la percepción de la familiaridad del sujeto. Varios investigadores han analizado cuestiones sobre la comunicación entre humanos y robots a través de experimentos con el fin de confirmar la existencia del valle inquietante (Shimada, y otros, 2007).

La hipótesis del valle inquietante se ha basado en la inhibición lateral y sus respectivas hipótesis:

- Si la aparición de un robot es muy parecida a la humana, los seres humanos tratan de relacionarse con el androide como si fuera un ser humano. Por lo tanto, las diferencias sutiles crean un extraño inducido por la inhibición lateral (Shimada, y otros, 2007).
- Los seres humanos esperan equilibrar entre la apariencia y el comportamiento cuando reconocen un objeto animado (Shimada, y otros, 2007).

El valle inquietante debe ser evitado desde el punto de vista del diseño de comunicación del robot, aunque la comunicación sea uno de los principios relevantes para el establecimiento de la interacción social entre el ser humano y el robot (Shimada, y otros, 2007).

1.7 Plataformas móviles

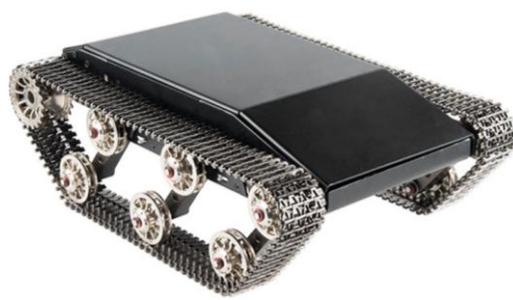


Figura 4-1. Plataforma cintas de deslizamiento.

Fuente: <http://www.deltrony.com/tienda/robotica/plataformas/>

Existe una gran cantidad de plataformas móviles disponibles para adaptarlas como base de robots móviles. Para la construcción de una plataforma móvil existen varios tipos de locomoción diseños de ruedas, como: diferencial, sincronizada, triciclo y de coche, omnidireccionales entre otras. (González, 2002).

1.7.1 *Diseño diferencial*

Tanto desde el punto de vista de la programación como de la construcción, el diseño diferencial es uno de los menos complicados sistemas de locomoción. El robot puede ir recto, girar sobre sí mismo y trazar curvas. En este diseño se tiene que resolver el problema de mejorar el equilibrio del robot, pues hay que buscar un apoyo adicional a las dos ruedas ya existentes, lo que se consigue mediante una o dos ruedas de apoyo añadidas en un diseño triangular o romboidal (González, 2002).

La ventaja del diseño diferencial es un sistema barato y fácil de implementar; con el inconveniente de que requiere un control de precisión para trayectorias rectas. Con el transcurso del tiempo este diseño presenta problemas de deformación de neumáticos y con el cambio de diámetro de las ruedas distorsiona el control de dirección.

1.7.2 *Diseño de coche (ackerman)*

El diseño de coche ackerman es un sistema de locomoción simple de cuatro barras que controla la dirección de sus cuatro ruedas con suspensión lo que proporciona una buena estabilidad. Las dos ruedas traseras tractoras se montan de forma paralela en el chasis principal del vehículo,

mientras que las ruedas delanteras son del tipo direccionamiento, y se utilizan para seguir la trayectoria del robot (León, 2013).

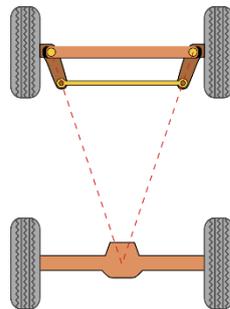


Figura 5-1. Diseño simple ackerman.

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/Ackermann_simple_design.svg

La desventaja de este diseño es por su restricción no holónomas, es decir, que puede moverse hacia adelante o atrás, pero no lateralmente. También se puede apreciar como desventaja el alto nivel de resbaladiza que se presenta al utilizar más de dos aristas, porque existe más de un borde de intersección.

1.7.3 *Diseño de triciclo*

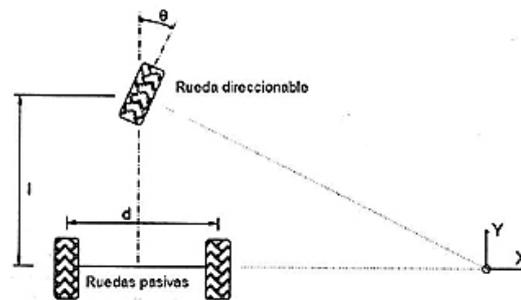


Figura 6-1. Modelo cinemático de configuración del robot móvil triciclo.

Fuente: <http://www.muchotrasto.com/images/Tutoriales/RobotMovil/TiposDePlataformas3.jpg>

En este diseño sus ruedas no pueden girar más o menos de 90° y tiene unas prestaciones similares al diseño de coche, con la ventaja de ser mecánicamente más. En general en estos diseños las ruedas direccionales no son motrices, y no es necesario controlar la velocidad de las ruedas para que el robot se mantenga recto (González, 2002).

1.7.4 *Diseño sincronizado*

En este diseño todas las ruedas generalmente tres son tanto de dirección como motrices, las ruedas están enclavadas de tal forma que siempre apuntan en la misma dirección. Para cambiar de dirección el robot gira simultáneamente todas sus ruedas alrededor de un eje vertical, de modo que la dirección del robot cambia, pero su chasis sigue apuntando en la misma dirección que tenía (González, 2002).

Si el robot tiene una parte delantera es asimétrico presumiblemente donde se concentran sus sensores, se tendrá que arbitrar un procedimiento para que su cuerpo se oriente en la misma dirección que sus ruedas (González, 2002).

1.8 **Plataforma omnidireccional**

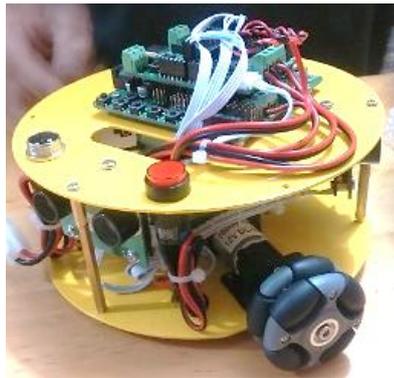


Figura 7-1. Base 3wd 48mm omnidireccional.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Las plataformas omnidireccionales pueden moverse en cualquier dirección y en cualquier momento sin requerir una orientación específica para el desplazamiento. Este tipo de desplazamiento requiere de ruedas que se puedan mover en más de una dirección (ITAM, s/f).

Normalmente sus ruedas van paralelas o en circuito y cada rueda cambian de dirección independientemente. Los diseños omnidireccionales requieren un procesamiento adicional para convertir las velocidades de rotación y traslación del robot en velocidades individuales para cada rueda. Controlar un robot omnidireccional para que se mueva en una dirección deseada es más complicado que los métodos diferenciales. Para ello es necesario establecer un modelo cinemático omnidireccional (ITAM, s/f).

Existen algunos tipos de configuraciones de los robots móviles omnidireccionales debido a que utilizan ruedas que permiten realizar desplazamientos complicados; laterales, diagonales, giros de trescientos sesenta grados, y los típicos movimientos de adelante y atrás, para diferentes configuraciones de las ruedas. Dentro de las configuraciones de este tipo de ruedas se encuentran las siguientes (Suárez, y otros, 2015):

a. Configuración de tres ruedas (triangular).

Se tienen solo tres ruedas, las cuales están colocadas de tal manera que forman un triángulo, y estas deben estar posicionadas a 120° una de la otra (Suárez, y otros, 2015).

b. Configuración de 4 ruedas omnidireccionales

Este tipo de estructuras posee la ventaja de tener redundancia, o sea que para lograr cualquier movimiento en el plano, existen varias combinaciones de velocidades posibles (Suárez, y otros, 2015).

1.8.1 *Ruedas omnidireccionales*



Figura 8-1. Rueda 48mm omnidireccional
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Las ruedas o llantas omnidireccionales son ruedas con pequeños discos alrededor de la circunferencia que son perpendiculares a la dirección de giro. El efecto final es que la rueda avanza con toda su fuerza, pero también se deslizará lateralmente con gran facilidad. Estas ruedas son a menudo empleadas en los sistemas de accionamiento holonómicos (capacidad de modificar su dirección instantáneamente y sin necesidad de rotar previamente) (TecMikro Ecuador, s/f).

Las ruedas omnidireccionales a menudo se utilizan en pequeños robots autónomos en la investigación de robots inteligentes en el mundo académico y universitario. Las ruedas

omnidireccionales también se emplean a veces como ruedas motorizadas con accionamiento diferencial para hacer girar más rápido los robots (TecMikro Ecuador, s/f).

Tabla 1-1: Especificaciones de ruedas omnidireccionales.

Modelo	Peso (g)	D (mm)	d (mm)	W (mm)
48mm	21	48	10	20

Realizado por: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Fuente: <http://tecmikro02.tk/borneras-portafusibles-plugs-lagartos-terminales-varios/294-rueda-llanta-omnidireccional-48mm.html>

1.8.2 Ruedas Mecánicas

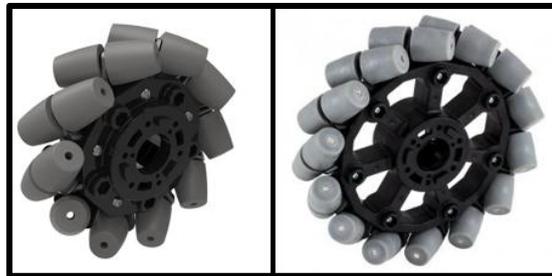


Figura 9-1. Rueda mecanum.

Fuente: <http://www.vexrobotics.com/mecanum-wheels.html>

Las ruedas mecánicas poseen rodillos que permiten una rotación en cierto ángulo, por lo general 45°, respecto de la circunferencia exterior de la rueda. Este tipo de ruedas permite lograr movimientos omnidireccionales y a la vez soportar grandes pesos; el funcionamiento de esta rueda se acciona independientemente.

Tabla 2-1: Especificaciones de ruedas mecanum.

Características	<ul style="list-style-type: none"> • Agujeros de montaje: (6) 8-32 agujeros de montaje roscados (en separadores cautivos) en un 1.875 "agujero circular. • Cojinete del agujero: 1.125 "OD, rodamiento agujero retenes de los rodamientos: (3) 0.130 "hoyos en un 1,4 (diseñado para AutoCAD)" y el agujero es circular. • De carga conservadora clasificado para su uso en robots 200 libras.
Tipo de material	<ul style="list-style-type: none"> • Cuerpo: Vidrio de nylon reforzado • Soportes de rodillos: ABS-PC : Rodillos de goma
Coefficiente de fricción	<ul style="list-style-type: none"> • 1.0
Peso	<ul style="list-style-type: none"> • 6": 1.33 lbs • 8": 1.99 lbs

Realizado por: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Fuente: <http://www.vexrobotics.com.mx/vexpro/mecanum-ruedas.html>

1.9 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que tiene como función principal llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos o acciones son programados en lenguaje ensamblador por el usuario, y son introducidos en este a través de un programador para que este sea capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria (Aguayo, 2014).

Es fácil encontrarse con microcontroladores en cualquier lugar debido a que en todo el mundo se utilizan, se pueden encontrar controlando el funcionamiento de juguetes electrónico, el mouse y el teclado de los computadores, teléfonos, aparatos eléctricos de cocina y los televisores del hogar (Aguayo, 2014).

En los productos que se incorporan un microcontrolador tienen el fin de aumentar sustancialmente sus prestaciones, reducir su tamaño y coste, mejorar su fiabilidad y disminuir el consumo, debido a esto cada vez es más común integrar un controlador en cualquier aparato del diario vivir (Aguayo, 2014).

1.9.1 *Arduino 328*



Figura 10-1. Arduino Atmega 328.

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

El chip ATmega328 se deriva del procesador original de Arduino, el ATmega328. Contiene más memoria y periférico más capacidad que su predecesor mientras que usa menos energía. El procesador ATmega328 puede operar desde una amplia gama de voltajes de la fuente de poder, de 1.8 V a 5.5 V (Wheat, 2012, p. 4).

Esto lo hace adecuado para aplicaciones alimentadas por batería. En los voltajes más bajos, el procesador tiene una velocidad de reloj máxima de 4MHz. Al aumentar la tensión de alimentación para al menos 2,7 V, puede aumentar la tasa de reloj de 10MHz. Para ejecutar a una velocidad de reloj máxima nominal de 20MHz, el chip necesita por lo menos 4,5 V (Wheat, 2012, p. 4).

La placa Arduino de entrada-salida proporciona 5 V para el chip ATmega328, por lo que puede funcionar a cualquier velocidad, hasta un máximo de 20 MHz (Wheat, 2012, p. 4).

1.9.2 Extensión Arduino (Arduino IO expansión)

Está diseñada para facilitar la conexión fácil entre la placa Arduino y otros dispositivos como pueden ser los sensores y el protocolo RS485. En esencia esta tarjeta tiene una amplia entrega de entradas digitales y analógicas con alimentación y GND. Es compatible con Arduino Mega y Arduino Duemilanove.

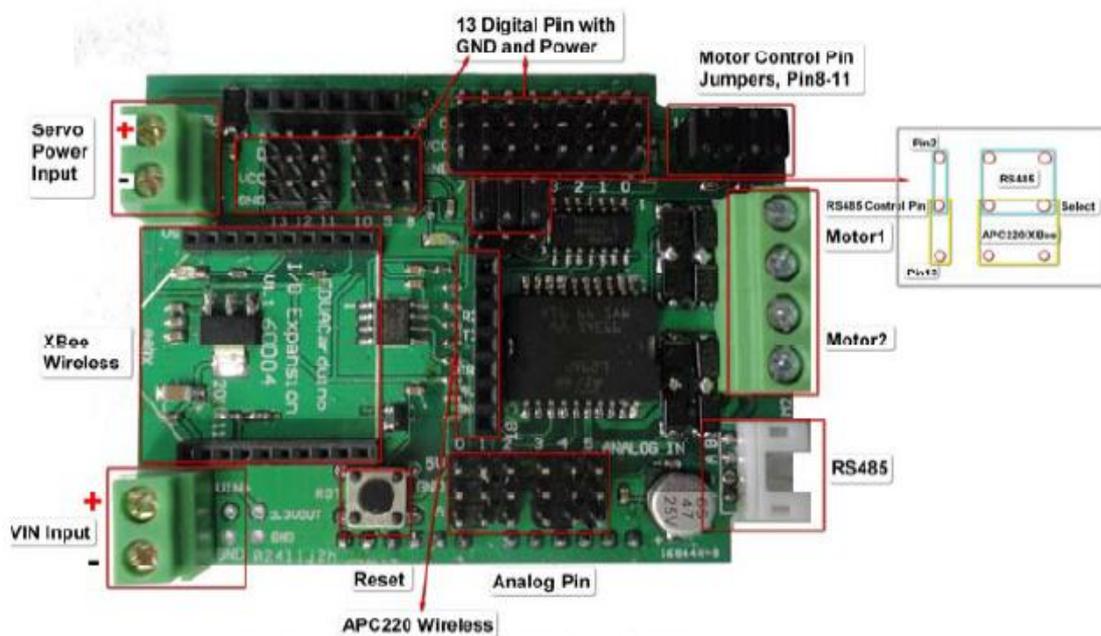


Figura 11-1. Arduino IO expansión.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

La placa Arduino IO expansión puede soportar conexión XBee Pro, tiene una salida de RS485, tiene pines PWM compatibles con servos estándar, compatible con comunicación IIC, I2C y TWI.

1.10 Raspberry Pi 3

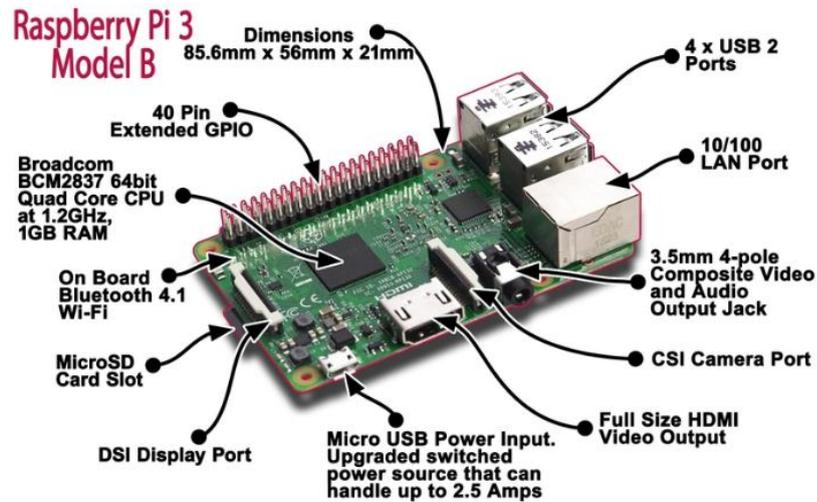


Figura 12-1. Raspberry Pi 3.

Fuente: <http://comohacer.eu/configurar-Raspberry-pi-desde-cero/>

Raspberry Pi es un computador de placa reducida, computador de placa única o computador de placa simple (SBC) de bajo costo desarrollado con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas.

La Raspberry Pi 3 es la tercera generación de Raspberry Pi. Este modelo tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 3-1: Especificaciones técnicas Raspberry Pi 3.

Especificaciones técnicas Raspberry Pi 3
<ul style="list-style-type: none">• Un 1,2 GHz de 64 bits de cuatro núcleos de CPU ARMv8• 802.11n Wireless LAN• Bluetooth 4.1• Bluetooth Low Energy (BLE)• 1 GB de RAM• Puertos USB• 40 pines GPIO• Puerto lleno de HDMI• Puerto Ethernet• Conector de audio de 3,5 mm combinado y vídeo compuesto• Interfaz de la cámara (CSI)• Interfaz de pantalla (DSI)• Ranura para tarjetas micro SD (ahora push-pull en lugar de push-push)• VideoCore IV 3D núcleo de gráficos

Realizado por VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Fuente: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

La Raspberry Pi 3 tiene un factor de forma idéntica a la anterior Pi 2 (1 y Pi Modelo B +) y tiene

Esta cámara es el módulo para Raspberry Pi en todas sus versiones se puede utilizar para tomar vídeo de alta definición, y también fotografías de gran calidad.

1.12.1 *Datos Técnicos*

Es una cámara de cinco megapíxeles de enfoque fijo que admite 1080p30, 720p60 y VGA90 modos de vídeo, así como capturar fotografías. Se conecta a través de un cable de cinta de 15 cm al puerto CSI de la Raspberry Pi (Raspberry Pi, s/f).

La cámara funciona con todos los modelos de Raspberry Pi 1 y 2. Se puede acceder a través de las API MMAL y V4L, y hay numerosas bibliotecas creadas para dar diferentes utilidades a este módulo, incluyendo la biblioteca Picamera Python (Raspberry Pi, s/f).

1.13 Sensores ultrasónicos

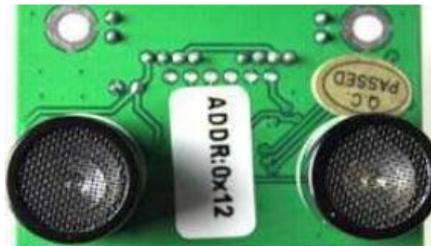


Figura 16-1. Sensor ultrasónico dual (DUS).

Fuente: <http://www.robotshop.com/media/files/pdf/rb-nex-21-datasheet.pdf>

DUS se basa en la interfaz RS485, permite una serie de sensores que trabajen juntos, hasta 32 unidades pueden estar conectadas entre sí en una red RS485 (RobotShop, s/f). El sensor ultrasónico permite determinar la distancia exacta de un obstáculo en el campo de vista del sonar. En un robot se podrá conocer su posición y realizar una acción debido a que con la programación avanzada, se puede diseñar compensadores con el fin de controlar motores según la distancia del obstáculo (RobotShop, s/f).

1.13.1 *Datos técnicos*

- Potencia: + 5V
- Corriente: <20mA

- Temperatura de trabajo: -10°C - + 70°C
- La detección de rango: 4 cm-300cm
- Resolución: 1 cm
- Frecuencia: 40 kHz
- Interfaz: RS485
- Unidades: Rango detectado en cm
- Sensor de temperatura: 12 bits de lectura desde el puerto serie
- Tamaño: 34 mm x 51 mm
- Peso: 30 g (RobotShop, s/f).

1.13.2 RS-485

RS485 son métodos de comunicación serie para los ordenadores y dispositivos, es la serie estándar de comunicación más versátil definido por la EIA. El RS-485 es un sistema de bus diferencial multipunto, ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbit/s hasta 10 metros y 100 kbit/s en 1200 metros) (RobotShop, s/f).

El ruido es fácilmente recogido y limita tanto la velocidad máxima distancia y la comunicación, con RS485 por el par trenzado que es el medio físico de transferencia reduce los ruidos que se inducen en la línea de transmisión. (RobotShop, s/f).

De forma predeterminada, todos los remitentes en el bus RS485 están en los tres estados con alta impedancia. Uno de los nodos se define como un maestro que envía consultas o comandos a través, todos los otros nodos reciben estos datos, en función de la información, cero o más nodos en la línea responden al maestro. En esta situación, el ancho de banda puede ser utilizado para casi 100% (RobotShop, s/f).

1.14 Motores DC



Figura 17-1. Motor DC.

Fuente: <http://www.robotshop.com/media/files/pdf/rb-nex-21-datasheet.pdf>

El motor de corriente continua denominado también motor de corriente directa, motor CC o motor DC es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio, gracias a la acción que se genera del campo magnético. (Cortés Cherta, 1995, p. 151).

Los motores de corriente continua son muy fáciles de controlar, están compuestos por una excitación situada en el estator del motor; dicha excitación es la encargada de crear el campo magnético y por el inducido, que está situado en el rotor (Somolinos Sánchez, 2002, p. 85).

Los motores de corriente continua se utilizan en la construcción de servomotores y motores paso a paso. Además existen motores de DC sin escobillas llamados brushless utilizados en el aeromodelismo por su bajo torque y su gran velocidad (Somolinos Sánchez, 2002, p. 86).

1.14.1 Motores DC con encoder

Los motores de corriente continua, por lo general necesitan componentes adicionales para el buen desempeño de control de movimiento. Además de los motores de corriente continua, controladores de motor y ruedas, el subsistema de motor de corriente continua por lo general también está equipado con engranajes y codificadores (con contadores de codificador).

Las señales de pulso del encoder, miden el ángulo de rotación del motor, son retroalimentada y utilizado para calcular la velocidad del motor (y por lo tanto la rueda), y las cajas de engranajes se utilizan para aumentar el par de salida de los motores de corriente continua (necesario para hacer girar las ruedas) (Kim, y otros, 2004, p. 45).

1.15 Servomotores



Figura 18-1. Servomotor
Fuente: <http://www.superrobotica.com/S330165.htm>pdf

Un servo es un motor de corriente continua pero con dos características fundamentales que lo diferencian: una caja de reducción interna al motor que te brinda un gran torque y un sistema electrónico de control que le permite posicionar al motor en el ángulo deseado.

Se utilizan con mucha frecuencia en aparatos radio controlados como aviones, barcos y autos a control remoto. También se usan mucho en robótica por su bajo peso y sus altas prestaciones (Zabala, 2007, pp. 41-42).

Los servos tienen 3 cables o terminales:

- **Terminal positivo:** recibe la energía que alimenta al motor (usualmente, de 4 a 8 voltios).
- **Terminal negativo:** dirigido a tierra.
- **Terminal de control:** es por donde ingresamos la señal que permite determinar el ángulo del motor.

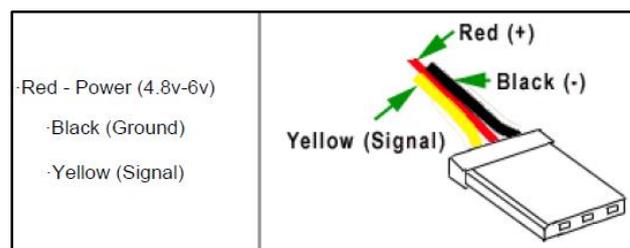


Figura 19-1. Cables del servomotor.

Fuente: <http://www.robotshop.com/media/files/pdf/rb-nex-21-datasheet.pdf>

Habitualmente, la capacidad de giro de un servo es de 180 grados. El circuito de control posiciona al eje y compara la señal que recibe de un potenciómetro interno con la señal de control externa (Zabala, 2007, pp. 43).

1.15.1 *Datos técnicos HS-422 servo motor*

- Dimensiones: 1,59 "x 0,77" x 1,44 "(40,39 x 19,56 x 36.58mm)
- Peso del producto: 1,6 oz (45,5 g)
- Estilo del eje de salida: 24 dientes (C1) spline
- Margen de voltaje: 4.8V - 6.0V
- Velocidad sin carga (4.8V): 0.21sec / 60 °
- Velocidad sin carga (6.0V): 0.16sec / 60 °
- Puesto de par (4.8V): 45,82 oz / in. (3.3kg.cm)

- Puesto de par (6.0V): 56,93 oz / in. (4.1kg.cm)
- Amplitud de pulsos: 3-5V
- Temperatura de funcionamiento: -20 ° C a + 60 ° C
- Consumo de corriente - en reposo (4,8 V): 8 mA
- Consumo de corriente - en reposo (6.0V): 8,8 mA
- Consumo de corriente - sin carga (4.8V): 150mA
- Consumo de corriente - sin carga (6V): 180mA
- La rotación continua modificable: Sí
- Dirección w / El aumento de la señal de PWM en sentido horario
- Ancho de banda: 8µs
- Tipo de motor: 3 polos ferrita
- Potenciómetro de accionamiento indirecto.
- Estilo de retroalimentación: 5KΩ Potenciómetro
- Eje de salida: Soporte Dual
- Tipo de engranaje: corte recto
- Material: Nylon
- Longitud de cable: 11,81 "(300 mm)
- Indicador de cable: 25AWG (Servocity, s/f)

1.16 Batería Ni – Mh



Figura 20-1. Batería Ni – Mh.

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Las baterías de níquel-hidruro metálico utilizan un cátodo (+) de una aleación de hidruro metálico y un ánodo (-) de hidróxido de níquel. Cada una de sus celdas proporciona una tensión de 1,2 V. Así, para conseguir una batería de 288 V se necesitan 240 celdas. La densidad energética de este tipo de batería es de 80 Wh/kg y tienen una duración de más de 1000 recargas (Sanz, 2011).

Esta batería no contiene cadmio, que es un metal pesado y contaminante. Carece de efecto memoria con lo cual no pierde su capacidad de carga por su mala utilización. La capacidad de una batería se expresa en miliamperios hora (mAh). Cuánto más alta sea esa cifra, mayor será la autonomía de la batería (Vega, y otros, 2006).

1.17 Pantalla touch

Una pantalla táctil, es un periférico de entrada y salida de datos para el dispositivo en el que está instalada, este periférico permite la entrada de datos mediante un toque directo sobre la superficie, en algunas pantallas se puede utilizar un lápiz óptico u otras herramientas parecidas para realizar el contacto (Culturación, s/f).

Las pantallas con estas características han aumentado su popularidad debido a que se las puede encontrar en casi cualquier producto tecnológico como televisores, celulares, reproductores de música, GPS, incluso cafeteras automáticas y refrigeradores (Culturación, s/f).

1.17.1 Pantalla oficial Raspberry Pi de 7"

El monitor de 7" con pantalla táctil para la Raspberry Pi ofrece a los usuarios la capacidad de crear, proyectos integrados todo en uno, tales como tablets, sistemas de información y entretenimiento y proyectos incorporados (RASPBERRY PI FOUNDATION UK REGISTERED CHARITY 1129409, s/f).



Figura 21-1. LCD 7" Pantalla oficial Raspberry

Fuente:<http://www.omicrono.com/2015/09/ya-disponible-la-pantalla-tactil-oficial-para-Raspberry-pi/datasheet.pdf>

La pantalla de 800 x 480 se conecta a través de una placa adaptadora que se encarga de la

conversión de potencia y señal. Sólo se requieren dos conexiones a la Pi; energía del puerto GPIO del Pi y un cable que se conecta al puerto DSI presente en todos los IP Raspberry (RASPBerry PI FOUNDATION UK REGISTERED CHARITY 1129409, s/f).

Los controladores de la pantalla táctil tiene soporte para el tacto de 10 dedos y un teclado en pantalla se integrarán en el último sistema operativo Raspbian para la funcionalidad completa sin un teclado físico o el ratón (RASPBerry PI FOUNDATION UK REGISTERED CHARITY 1129409, s/f).

Datos técnicos:

- Tarjeta de adaptador.
- El cable de cinta DSI.
- Separadores y tornillos (utilizados para montar la placa del adaptador y tabla Raspberry Pi a la parte posterior de la pantalla) (Adafruit, s/f).
- Cables de puente (utilizado para conectar la alimentación de la tarjeta de adaptador y los pines GPIO en el Pi lo que la potencia 2A se comparte entre las dos unidades) (Adafruit, s/f).
- Dimensiones de la pantalla: 194mm x 110mm x 20mm (incluyendo separadores)
- Tamaño de pantalla visible: 155mm x 86mm
- Resolución de la pantalla: 800 x 480 píxeles
- 10 dedo táctil capacitiva.
- Se conecta a la placa Raspberry Pi utilizando un cable de cinta conectado al puerto de DSI (Adafruit, s/f).
- Tarjeta del adaptador se utiliza para alimentar la pantalla y convertir las señales paralelas de la pantalla al puerto serie (DSI) en el Raspberry Pi (Adafruit, s/f).

1.17.2 Pantalla Raspberry Pi 5”

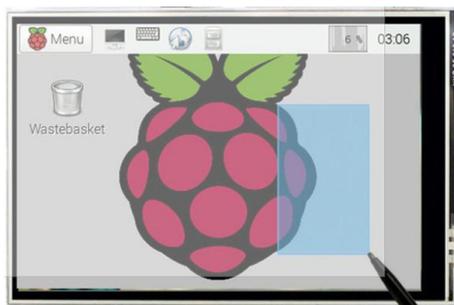


Figura 22-1. Pantalla 5” touch Raspberry

Fuente: <https://es.aliexpress.com/store/product/New-3-5-inch.html>

La pantalla 5" LCD HDMI es compatible y admite la conexión directa con cualquier versión de Raspberry Pi (excepto el Pi 1 modelo B o Pi cero, lo que requiere un cable HDMI). Suministra un controlador que trabaja directamente con Raspbian. La interfaz HDMI para visualizar, no requiere de I/O, sin embargo, el panel táctil todavía necesita de I/O. El control de la luz es de menor consumo de energía para la Raspberry Pi (Pi 1/2/3) (amazon, s/f).

Datos técnicos:

- 800 × 480 alta resolución.
- Interfaz HDMI.
- De alta calidad chapado y sumergida la superficie en oro.
- No sólo el Pi, también se puede utilizar con cualquier otro mini PC como Cubieboard, Marsboard si no se requiere la función táctil (amazon, s/f). }

1.18 Raspbian Jessie Pixel

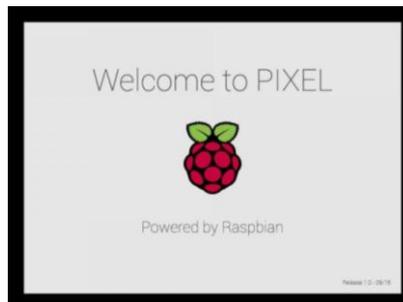


Figura 23-1. Software Jessie Pixel
Fuente: <https://www.Raspberrypi.org/blog/introducing-pixel/>

Los propios desarrolladores de la Raspberry Pi han perfeccionado un sistema operativo llamado Raspbian, que se trata de una versión de Debian adaptada y optimizada para Raspberry Pi. Raspbian Jessie utiliza la versión más reciente de Debian, como sistema base, en esta versión de sistema operativo se han introducido varias mejoras en la interfaz y de rendimiento, para la Raspberry Pi 1, 2 y 3 (Velasco, 2015).

En esta versión actualizada cuando se inicia sesión se carga por defecto la interfaz gráfica y el escritorio en vez de cargar el terminal y tener que ejecutar esto manualmente. Sin embargo esta opción se puede cambiar, y elegir que el sistema sólo cargue el terminal, ahorrando tiempo y recursos (Velasco, 2015).

1.19 Lenguaje Python



Figura 24-1. Logo Python

Fuente: <https://www.Raspberrypi.org/blog/introducing-pixel/>

Python es un lenguaje de programación de alto nivel, y fácil de aprender, actualmente tiene un modelo de desarrollo comunitario, abierto y gestionado por la organización sin fines lucrativos Python Software Foundation; al ser un lenguaje independiente de plataforma y orientado a objetos y un lenguaje interpretado lo que significa que no se necesita compilar el código fuente para poder ejecutarlo (Arias, 2015).

En Python, todo es un objeto, y esto incluye a la clase y a su instancia. Los datos son representados como objetos o relaciones entre objetos. Todos los objetos tienen un tipo y un valor. La palabra reservada “class” es solo un constructor, los objetos definidos por esta, llamados de clase, tienen un tipo genérico llamado “type”. Una de las principales utilidades de Python es en el tratamiento de textos (Arias, 2015).

A través de Python, es posible compilar el código para el bytecode de la JVM, y así como en Java, el aplicativo será altamente portable a costa del rendimiento. Existe el IronPython, que permite que sean utilizadas bibliotecas .Net y el ejecutable final es compilado para ejecutarse en el CLR del .Net Framework. El Stackless Python permite que sean creados aplicativos con alta competencia y da soporte a microthreads (Arias, 2015).

Tabla 4.1: Características Python

Características Python
<ul style="list-style-type: none">• Fácil de aprender y programar.• Fácil de leer• Rápido de programar (interpretado)• Importante cantidad de bibliotecas externas• Datos de alto nivel (diccionarios, listas, sets, etc)• Libre y gratuito• Multiplataforma

Realizado por: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Fuente: <https://books.google.com.ec/books?id=dKVNAgAAQBAJ>

1.20 Node Red

Node-Red en su forma más simple es un editor visual de código abierto para el cableado de Internet de las cosas producidas por IBM. El sistema contiene "Nodos" que parecen simplemente ser iconos para arrastrar y soltar sobre el lienzo y cablear. Cada nodo ofrece una funcionalidad diferente que puede ir desde un nodo de depuración simple para poder ver lo que está pasando en su flujo, a través de un nodo Raspberry Pi que le permite leer y escribir en los pines GPIO de su Pi (Adafruit, 2014).

Ejemplo de un flujo

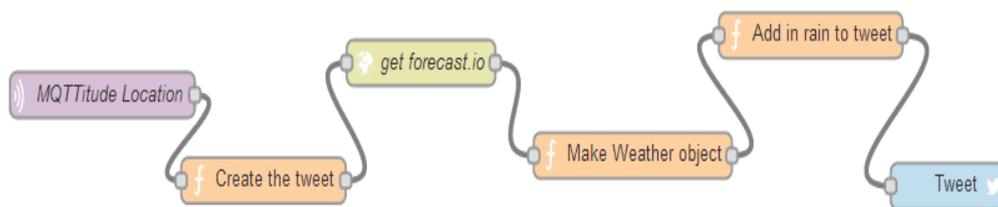


Figura 25-1. Ejemplo de un flujo en Node Red.

Fuente: <https://learn.adafruit.com/assets/13789>

- Una aplicación en mi teléfono llamada MQTTitude envía mi ubicación a Node-Red.
- El marco básico de mi mensaje de Twitter se crea en un nodo de función.
- Tomo mi ubicación y consulta Forecast.io para saber el clima en ese lugar.
- Los datos devueltos se formatean en mi mensaje de tweet utilizando otros nodos de función (Adafruit, 2014).
- El mensaje se envía a un nodo de Tweet y me mandaron un tweet (Adafruit, 2014).

1.21 SolidWorks

SolidWorks es un paquete de software de automatización de diseño mecánico que se utiliza para construir piezas, ensamblajes y dibujos que se aprovecha de la interfaz de usuario gráfica familiar de Microsoft Windows (Planchard, 2015, p. 3).

Es de fácil aprendizaje para el diseño y análisis de herramientas (SolidWorks Simulations, SolidWorks Motion, SolidWorks Flow Simulation, etc.), lo que hace posible que los diseñadores a 2D de forma rápida y conceptos boceto en 3D, crear piezas y ensamblajes en 3D y dibujos en 2D detalle (Planchard, 2015, p. 3).

Tabla 5.1: Características SolidWorks

Características SolidWorks
<ul style="list-style-type: none">• SolidWorks permite aplicar operaciones sobre los diseños y realizar acotaciones.• Permite trabajar en red y compartir diseños con el equipo de trabajo y clientes.• Someter los diseños a condiciones que simulan a la realidad.• Estimar la vida media de los componentes y su impacto medioambiental.• Sus dibujos son compatibles con AutoCAD.• Incorpora una serie de cálculos físicos para simular el entorno de desempeño del diseño: modelos termodinámicos, estructurales (resistencia mecánica), movimiento de fluidos (Aire / Líquidos).• Incluye el software DWGeditor, un visor y editor 2D para ficheros .DWG y .DXF (formatos originarios de AutoCAD).• Simulaciones de movimientos. Destinado a evitar prototipos, sometiendo a los modelos a condiciones reales de uso. Ejemplos: Simulation Xpress.• Comprobación de interferencias. Verifica que los elementos mecánicos ensamblen, se ajusten y funcionen según lo esperado. Ejemplos: Ensamblajes SmartMates.

Realizado por: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Fuente: <http://www.formacionprofesional.info/manuales-y-tutoriales-gratis-de-solidworks/#7>

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo considera el diseño e implementación del sistema mecánico, electrónico, sistema de comunicación, programación de los controladores y programación del HMI.

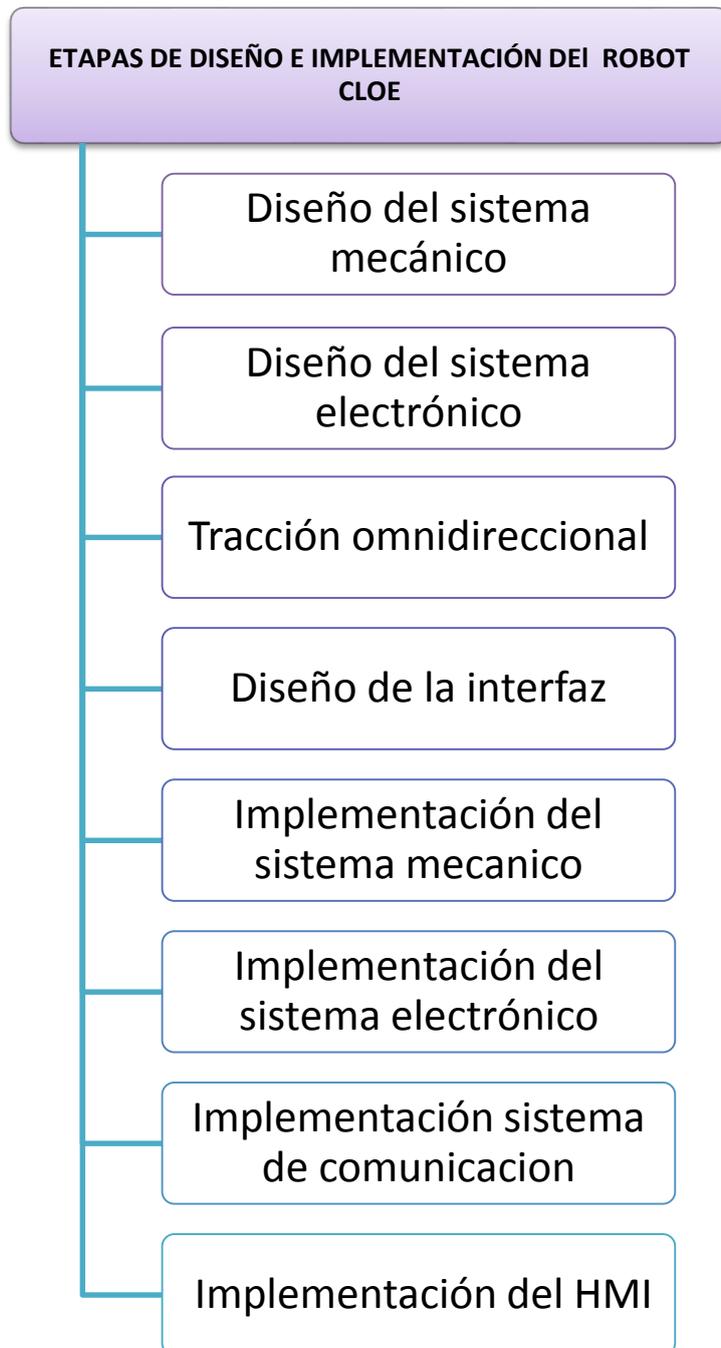


Gráfico 1-2. Etapas de diseño e implementación.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.1 Diseño mecánico



Figura 1-2. Prototipo robot Cloe.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Para cumplir con los objetivos del robot interactivo y didáctico es fundamental dar la forma, dimensionar los espacios, escoger los materiales y la tecnología de fabricación que determinan el funcionamiento del prototipo.

La estructura mecánica es la parte del robot que soporta todos los elementos como son las baterías, motores, pantallas, controladores y demás dispositivos electrónicos; debido a esto para empezar el diseño mecánico lo primordial es establecer cómo va a ser estructurado el robot y cuáles son sus elementos. Hay que tener presente todas las dimensiones y características técnicas de cada una de estas partes, para que este tenga un buen funcionamiento.

Se decidió construir un robot con movimiento en los brazos y tracción omnidireccional, apoyado en esta idea se empezó a trabajar en el modelo del robot, el cual surgió a medida que se buscaba acomodar los elementos en cada pieza; la creación de las piezas y simulación de ensamble se realizó con el software de diseño 3D SolidWorks.

2.1.1 Cabeza

En la cabeza del robot se ubican la cámara, la pantalla touch de 7 pulgadas, y un parlante. La cabeza se diseñó en dos piezas: la cara frontal y la cara posterior, el tamaño total de la cabeza tiene de altura 195mm, por 230mm de largo y 54mm de profundidad.

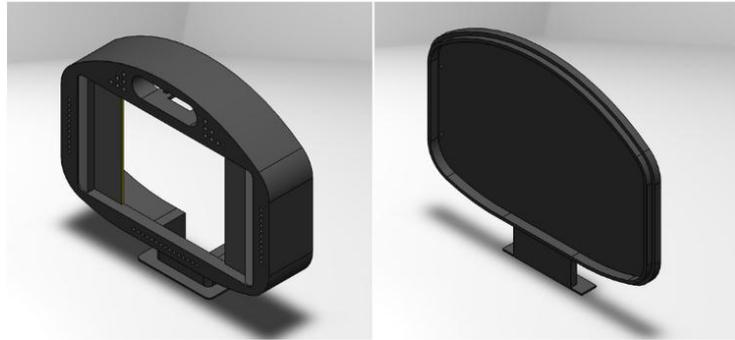


Figura 2-2. Vista modelo cara frontal y posterior.

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

En el diseño de la cara frontal se dejó el espacio y la forma necesaria, para que la pantalla y la cámara sean aseguradas, Se tomó en cuenta que era importante dejar salidas de audio por lo que estéticamente en la pieza se encuentran pequeños hoyos que ayudan a cumplir con esta función.

Ambas piezas tienen los acoples justos para que puedan ser ensambladas y aseguradas con facilidad, además que las piezas de la cabeza tienen incluido el diseño del cuello que es precisamente la parte que ayuda a mantener el equilibrio de la cabeza y para ajustar a las demás piezas durante el ensamble (ver anexo 2).

2.1.2 *Cuerpo*

El cuerpo del robot está constituido por dos piezas simétricas: lateral derecho, lateral izquierdo en cada una de las partes se alojarán los servomotores que moverán los brazos, y al ensamblar el cuerpo se colocará una pantalla touch de 5 pulgadas. La altura del cuerpo es de 150mm, el largo de 160mm y de profundidad tiene 180mm.

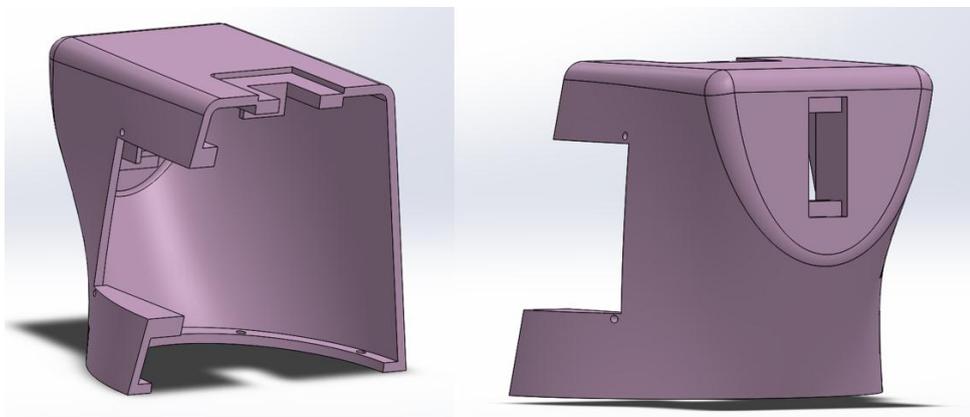


Figura 3-2. Vista cuerpo pieza derecha e izquierda.

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

La forma del cuerpo es redondeada en la parte delantera y con una base circular en la parte inferior, en donde se puede unir a la base mediante tornillos; en la parte superior se dejó el espacio necesario para que la cabeza encaje por la parte del cuello y permita pasar el tubo que viene desde la base para generar equilibrio en el robot así como los cables necesarios para conectar los elementos (ver anexo 3).

2.1.3 Brazos

Son dos modelos de brazos que se diseñaron para el robot cada uno con forma y medidas diferentes. El brazo derecho tiene posición vertical para que pueda realizar el movimiento de saludo tiene como medidas 150mm de altura, 55mm de largo y 5mm de profundidad (ver anexo 4).



Figura 4-2. Vistas brazo derecho.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

El diseño del brazo izquierdo se lo hizo con planos en 3D para poder llegar a tener la posición de estar doblado como dimensiones totales tiene como altura 70.62mm, el largo de 135mm y una profundidad de 15mm (ver anexo 5).

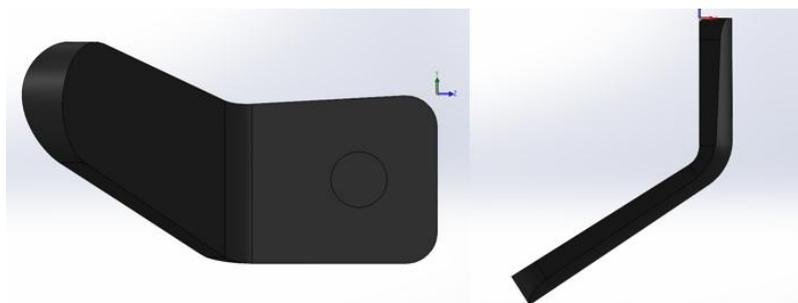


Figura 5-2. Vistas brazo izquierdo.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

En la parte interna superior de ambos brazos se dejó una profundidad en vacío con forma de circunferencia para colocar el acople conocido como mariposa del servomotor de esta manera los brazos pueden ensamblarse al cuerpo del robot.

2.1.4 Base

Se utilizó las partes de un prototipo comercial de una base robótica omnidireccional que son los siguiente: 3 llantas omnidireccionales de 48mm, 3 Motores DC con encoder, 1 Arduino 328, 1 tarjeta IO expansión Arduino, 3 sensores ultrasónicos, 1 batería de 12V NI- MH.

La capacidad de carga de la base omnidireccional es de 1.5 Kg y está hecha en una aleación de aluminio, las medidas totales de la base son 180mm x 180mm x 120mm.

La base está compuesta por tres niveles, en el primer nivel se colocan las llantas, motores, batería; en el segundo están ubicados el Arduino y su tarjeta expansión los sensores de proximidad además del botón de encendido y la entrada para la carga.

El tercer nivel es la base para ajustar y ensamblar al cuerpo del robot en esta base se ha acoplado un tubo de aluminio de 2x1pulg (50.8 x 25,48mm), este tubo ha sido perforado en la parte superior y media, debido a que en estas perforaciones se sujetaran la pieza de cara frontal de la cabeza. (Ver anexo 6 y 7).

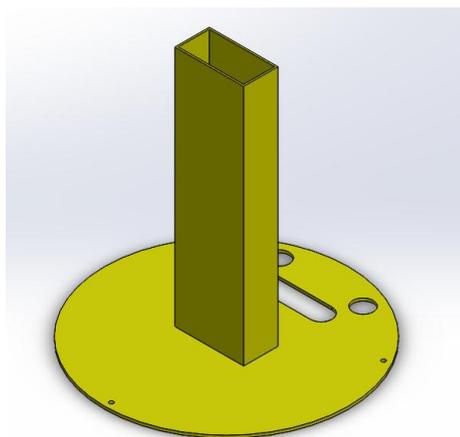


Figura 6-2. Acople tubo base superior base
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Se determinó como fundamental colocar de esta manera el tubo debido a que ayuda a ensamblar de manera equilibrada las piezas superiores del robot siendo estas el cuerpo y la cabeza.

2.2 Diseño Electrónico

Todo robot tiene sistema de control encargado de analizar información que recibe de sus sensores, esta información es procesada y ayuda a tomar decisiones y dar órdenes a los actuadores del robot, los circuitos y programación utilizada en este proceso se denomina la electrónica del robot.

El robot tiene un sistema de control que se realiza mediante dos Raspberries Pi 3 y un Arduino 328 con una tarjeta expansiva de entradas y salidas, en cada uno de estos se conecta ciertos elementos electrónicos para realizar funciones específicas, pero que consecutivamente se integran para funcionar de manera sincronizada, esto se lo hace diseñando un sistema de conexión de dispositivos.

En la siguiente figura se puede apreciar cómo está conectado el sistema electrónico del robot.

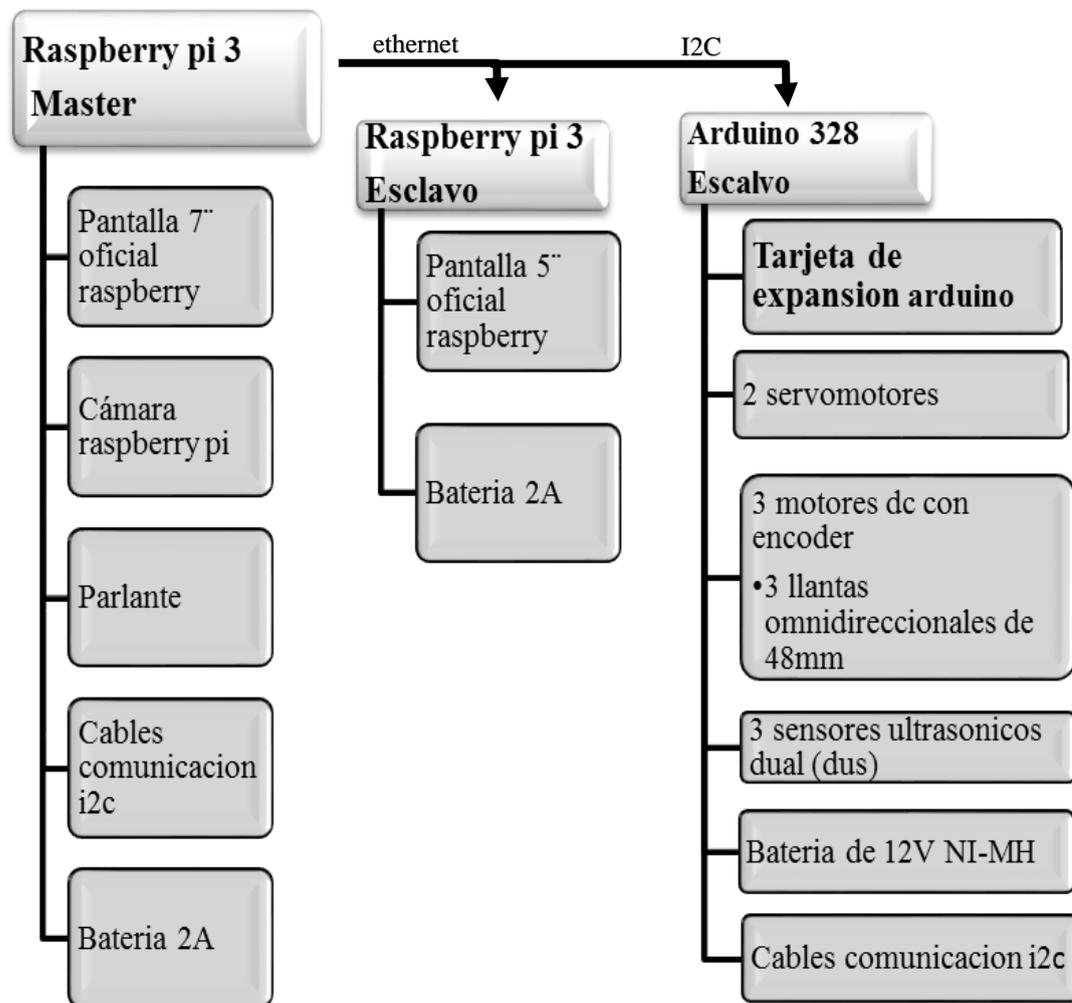


Gráfico 2-2. Sistema electrónico (conexión de dispositivos).

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.3 Tracción omnidireccional

Se optó por utilizar movimiento omnidireccional con 3 llantas, por ende tres grados de libertad. Este tipo de movimiento permite que el robot pueda desplazarse en todas las direcciones sin presentar limitaciones cinemáticas.

Al utilizar llantas omnidireccionales se tiene una gran ventaja debido a que cada llanta puede moverse independientemente en cualquier dirección. Las llantas son conectadas al motor DC y este a la placa Arduino a los pines.

Una vez realizada la conexión física en la interfaz de Arduino se asigna un pin de cada uno de los motores para el control del PWM, y el otro para controlar la dirección de los motores.

La programación de la base omnidireccional está realizada en la placa Arduino 328 y una tarjeta de expansión, esta programación controla los motores para activar movimientos en las llantas y los sensores ultrasónicos para la detección de objetos. Para obtener los movimientos las llantas deben moverse en sentido horario o anti horario como en la figura.

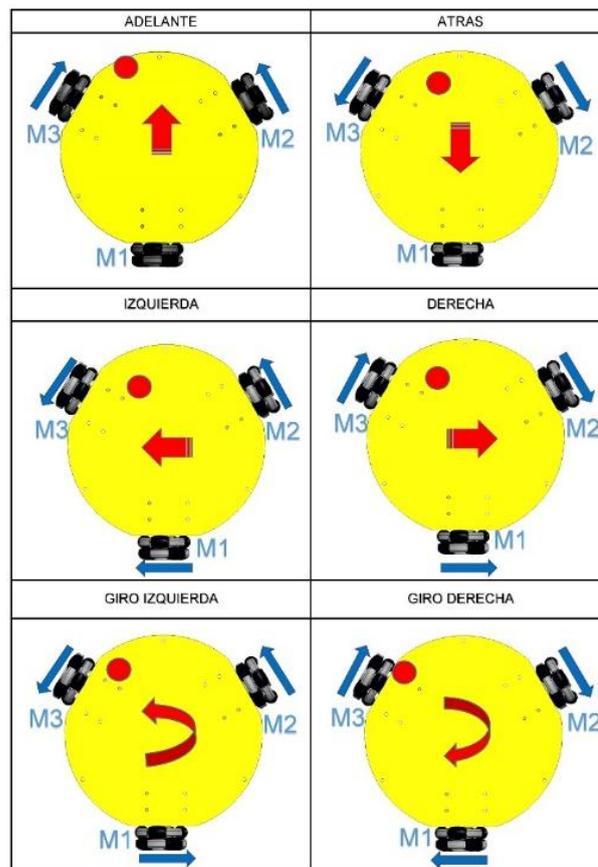


Figura 7-2. Movimientos de las llantas de la base omnidireccional
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.4 Suministro de energía

El robot necesita suministro de energía eléctrica para proporcionar alimentación a las baterías de corriente directa DC, que son las que suministran el voltaje necesario para que los motores, sensores y pantallas funcionen. Se utilizó una batería de 12V NI HM para el Arduino y los actuadores; y una batería de 5V 2A para la alimentación de las Raspberries.

2.5 Diseño de la interfaz con el usuario

Tomando en cuenta que el robot presenta dos pantallas como puntos de contacto entre el usuario y el equipo, la HMI ha sido diseñada de tal forma que en la primera pantalla (cabeza) sea donde el robot pueda transmitir emociones mientras que en la segunda pantalla se pueda visualizar el desenvolvimiento de la aplicación didáctica.

En vista a esto se diseñó imágenes de ojos y boca para que la interfaz gráfica sea bastante amigable e intuitiva.

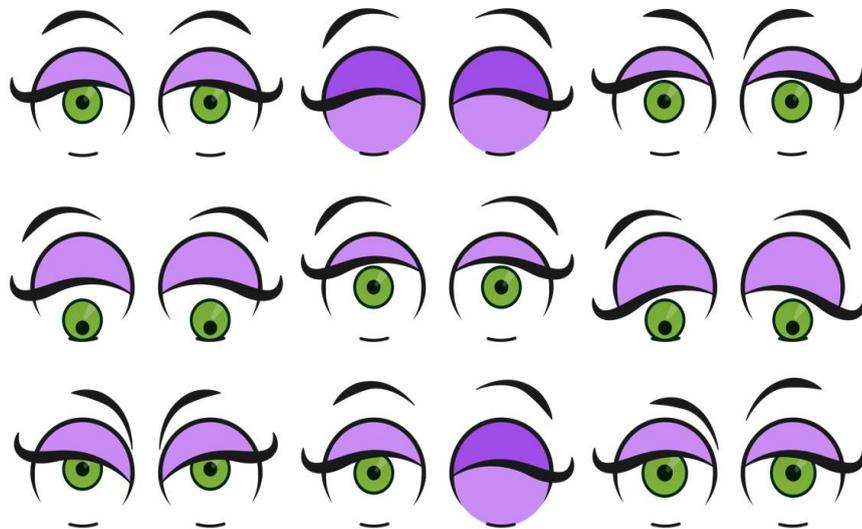


Figura 8-2. Diseño de las expresiones ojos del robot.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.



Figura 9-2. Diseño de las expresiones boca del robot.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

La interfaz además esta complementada por varios elementos gráficos (imágenes y videos), y sonidos, a los cuales el usuario puede acceder mediante un menú para controlar los modos de operación del robot.

2.6 Implementación sistema mecánico

La implementación del sistema mecánico se realizó una vez que todas las piezas diseñadas en SolidWorks se enviaron a imprimir con tecnología 3D para lo cual los archivos de SolidWorks se entregaron con extensión STL, el material que se escogió para la impresión es un plástico duro llamado PLA o ácido poliláctico en color blanco.

Se consideró utilizar PLA debido a que si en las piezas se coloca pesos este no presenta deformidad, debido a que su coeficiente de elasticidad es pequeño.

2.6.1 Ensamblaje cabeza

En la pieza cara frontal de la cabeza se coloca la pantalla touch de 7 pulgadas ya conectada con la Raspberry Pi 3 y el parlante al cual se le alimenta directamente de la Raspberry, estos elementos se atornillan para que queden sujetos y fijos, en la parte superior de la cabeza se dejó el espacio suficiente para colocar la cámara la cual también se sujeta con tornillos.



Figura 10-2. Ensamblaje pantalla pieza cara frontal.

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Una vez comprobado que todos los elementos estaban firmes y seguros en la pieza de la cabeza se procedió a colocar la pieza cara posterior de la cabeza para cerrar la cabeza del robot.

2.6.2 Ensamblaje de la base

La base omnidireccional presenta tres niveles en donde en el nivel bajo se colocan las tres llantas omnidireccionales con sus respectivos motores dc, además de las baterías que alimentan a todo el robot, en el segundo nivel se ubican los controladores Arduino 328 y la tarjeta expansiva de entradas y salidas, y los sensores ultrasónicos.

Al conectar los dispositivos a los controladores se procuran acomodar el cableado de manera ordenada para evitar confusiones, sea estético y práctico.



Figura 11-2. Ensamblaje base omnidireccional.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Pero para poder unir la base a las demás partes del robot se colocó un tubo de aluminio en el centro del nivel superior de la base y se perforó la plataforma superior de la base para poder atornillarla a las partes del cuerpo del robot.



Figura 12-2. Acople nivel superior base
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.6.3 *Ensamblaje del cuerpo*

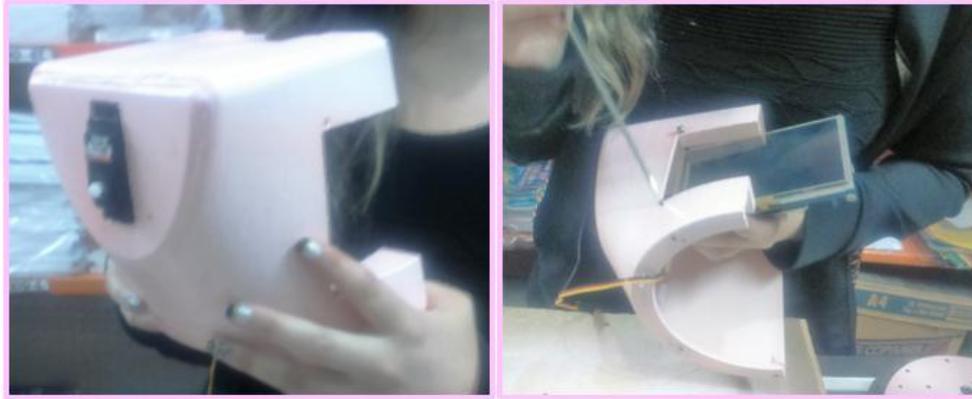


Figura 13-2. Ensamble cuerpo.

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

El cuerpo del robot está compuesto por dos partes simétricas de manera vertical, cada parte está diseñado para poder colocar los servomotores, una vez que estos estén sujetos con tornillos, cada una de las partes del cuerpo se coloca sobre la base y se atornillan a esta.

Cuando ya están unidas las piezas del cuerpo a la base entonces se ubica la pantalla de 5 pulgadas que debe estar previamente conectada a la Raspberry Pi 3, la pantalla se ajusta por la parte frontal del cuerpo para que quede fija.

Se verifica que los elementos estén bien colocados, que el peso de estos dispositivos sean resistidos y se procede unir todas las partes del robot.

2.6.4 *Ensamblaje total*

En ensamblaje del robot empieza cuando se atornilla el cuerpo del robot en el tercer nivel de la base donde hizo el acople, se pasan todos los cables de conexión por los orificios realizados en este nivel de la base.

La cabeza se une al resto del robot atornillando la pieza cara frontal al tubo que viene sujeto desde la base, se pueden acomodar los cables de manera ordenada debido a que se dejó el espacio necesario para que estos queden ordenados y con el funcionamiento no genere errores por desconexión.

Los brazos son las últimas piezas en unirse para que toda la estructura mecánica del cuerpo quede totalmente relacionada.



Figura 14-2. Ensamble total.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.7 Implementación Sistema Electrónico

La implementación del sistema electrónico consiste en interconectar los actuadores, sensores y demás elementos a los controladores. En la siguiente gráfica se indica los pines que se están utilizando en la Raspberry master para alimentar la pantalla, el parlante y hacer la comunicación I2C con el Arduino.

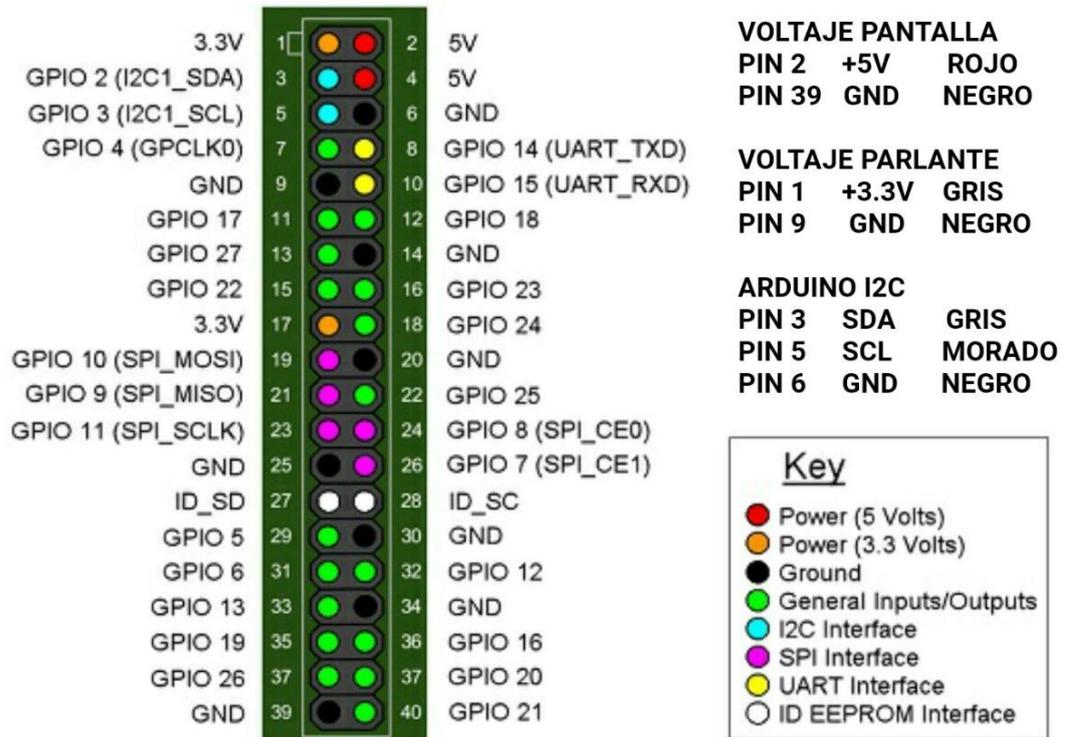


Figura 15-2. Pines conectados Raspberry Pi 3 master.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016

Los motores, servomotores, sensores se conectan como se encuentra en la siguiente figura al Arduino y a su tarjeta expansiva de entradas y salidas.

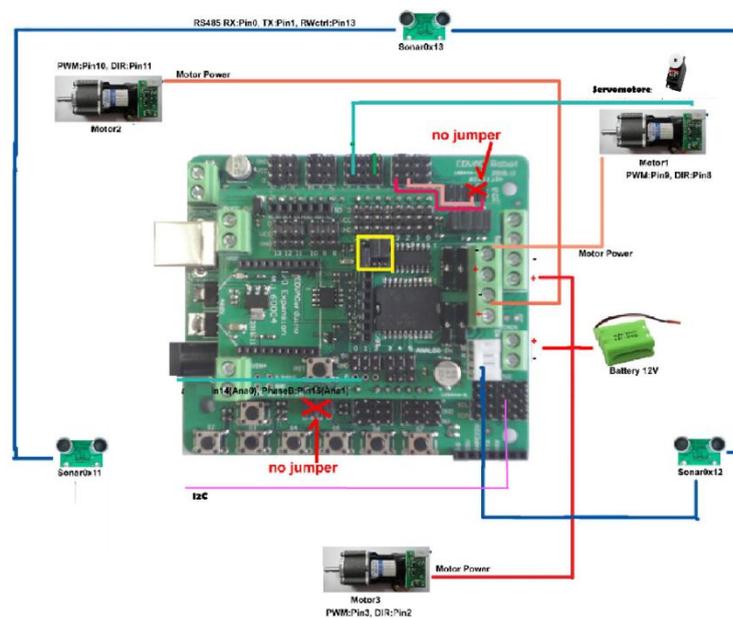


Figura 16-2. Pines conectados al Arduino y a la tarjeta IO
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.8 Implementación Sistema de Comunicación

Parte esencial de la implementación del proyecto de grado es establecer cómo se transmiten los datos de información entre la parte mecánica del robot y los dispositivos del sistema electrónico, para lo cual se realizó el esquema de comunicación.

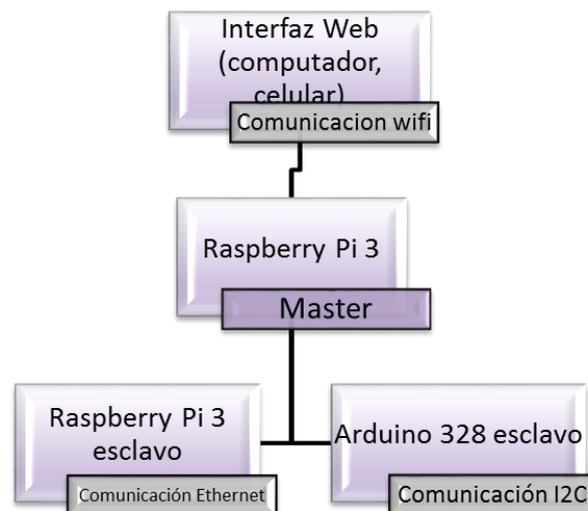


Gráfico 3-2. Sistema de comunicación Cloe.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

En el gráfico se puede observar que la comunicación del robot tiene la configuración de maestro esclavo que está conformada por dos Raspberry Pi 3, una placa Arduino 328 y una tarjeta de expansión I/O.

La función del master para el caso del robot la Raspberry Pi 3 colocada en la cabeza es enviar datos para que los esclavos (la placa Arduino 328, Raspberry Pi 3 colocada en el cuerpo) activen o desactiven salidas o incluso envíen información dependiendo de las órdenes dadas mediante la interface.

- La Raspberry master se comunica con la Raspberry esclavo mediante comunicación Ethernet.
- La Raspberry master se comunica con la placa Arduino esclavo mediante comunicación I2C.

Además el robot permite desde cualquier dispositivo conectado a la red WiFi de CLOE-NET ingresar a un navegador web e introducir la dirección `http://192.168.1.XXX:1880`, y acceder a la interface del robot. Del mismo modo mediante esta conexión se puede ingresar a la interfaz web de programación por bloques (Node-Red) para reprogramar en robot.

2.8.1 Comunicación entre Raspberries Pi 3

La comunicación entre estos dispositivos se realiza utilizando la interface de red RJ45, primero se relaciona mediante un cable las dos Raspberries para configurar una red LAN interna y se direcciona a la Raspberry master con una IP 10.10.10.9 y para la Raspberry esclavo con una IP 10.10.10.10

El siguiente paso de comunicación es configurar mediante el Node Red.

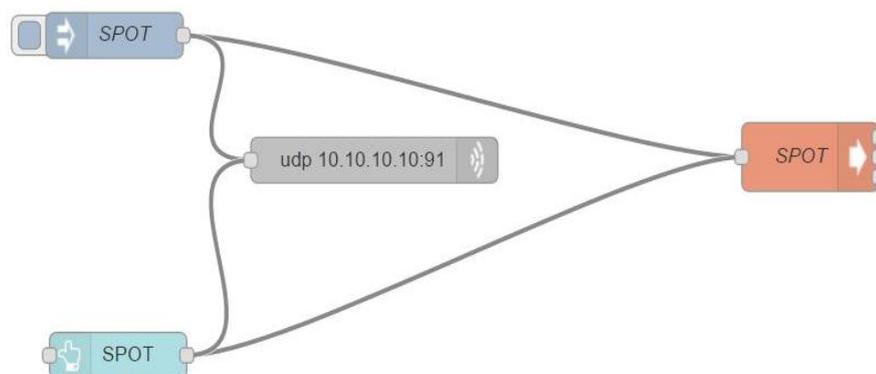


Figura 17-2. Direccionamiento UDP nodo Spot Cloe.

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

En el bloque UDP se ubica la dirección a la cual se desea enviar los comandos para que el controlador ejecute la orden. Tal como se aprecia en la figura anterior. Una vez que el comando es enviado en el siguiente nodo se recibe los comandos, y mediante el nodo o bloque Switch se determina la función que ejecuta ese comando y lo realiza.

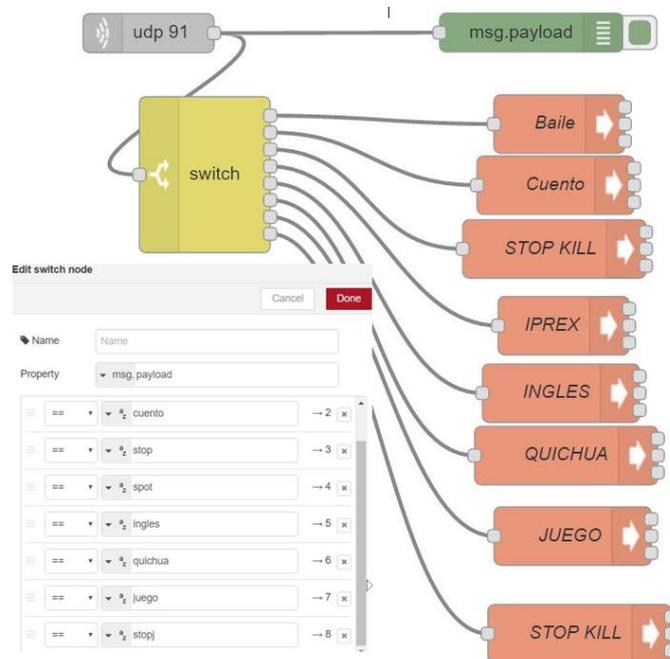


Figura 18-2. Direccionamiento Switch, nodo Spot Cloe.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.8.2 Comunicación Raspberry Pi 3- Arduino 328

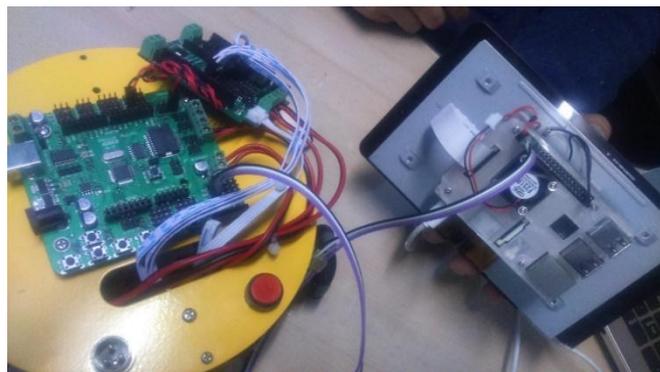


Figura 19-2. Conexión I2C Raspberry-Arduino
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

La Raspberry Pi ubicada en la cabeza del robot trabaja en modo master ejecutando sucesos de alto nivel como proporcionar la interfaz amigable al usuario por otro lado el Arduino trabaja como esclavo y es responsable de coordinar movimientos de la plataforma móvil, los brazos, y controlar la lectura de los sensores para evitar colisiones.

Para lograr esta comunicación Raspberry-Arduino se lo hizo mediante un bus I2C, este tipo de comunicación permite el intercambio de información entre muchos dispositivos a una velocidad de unos 100Kbits por segundo, la metodología que utiliza es en serie y sincrónica. Una de las señales del bus marca el tiempo y la otra se utiliza para intercambiar datos («Comunicación - Bus I2C - Robots Argentina» [sin fecha]).

Se utilizan tres líneas de señales que están presentes en la Raspberry y en el Arduino en donde se conecta las señales de forma paralela:

Tabla 1-2: Líneas de conexión necesarias para comunicación I2C

Líneas de Señales		
SCL	SDA	GND
System clock	System data	Tierra
Pulsos de reloj	Transmiten datos	Común interconexión de dispositivos

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

En cada uno de los controladores se realiza su respectivo procedimiento.

En la Raspberry Pi 3 se establece ciertas configuraciones, en el terminal se instala los paquetes necesarios para la comunicación mediante los comandos: “sudo apt-get install python3-smbus” y “sudo apt-get install i2c-tools” a continuación se abre la configuración de la Raspberry Pi y en el GUI se activa la opción I2C y se guarda.

En el Arduino es necesario que en el IDE se incluya la librería Wire.h y configurar la dirección del esclavo y estableciendo la función para que pueda recibir la información del master y realice la acción, además de ser necesario prepare los datos para enviar de regreso al master.

Para la conexión física se realizó un pequeño bus de comunicación en el cual se conectaron los pines de señal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 2-2: Pines de conexión comunicación I2C entre Arduino-Raspberry

Color	Arduino	Raspberry
Plomo	SDA	Pin 3
Morado	SCL	Pin 5
Negro	GND	Pin 6

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.9 Programación del Robot

El robot es programado en Python donde se usa comandos Linux, se usó este lenguaje para cada una de los modos de funcionamiento. A continuación se puede visualizar un esquema de todas las funciones.

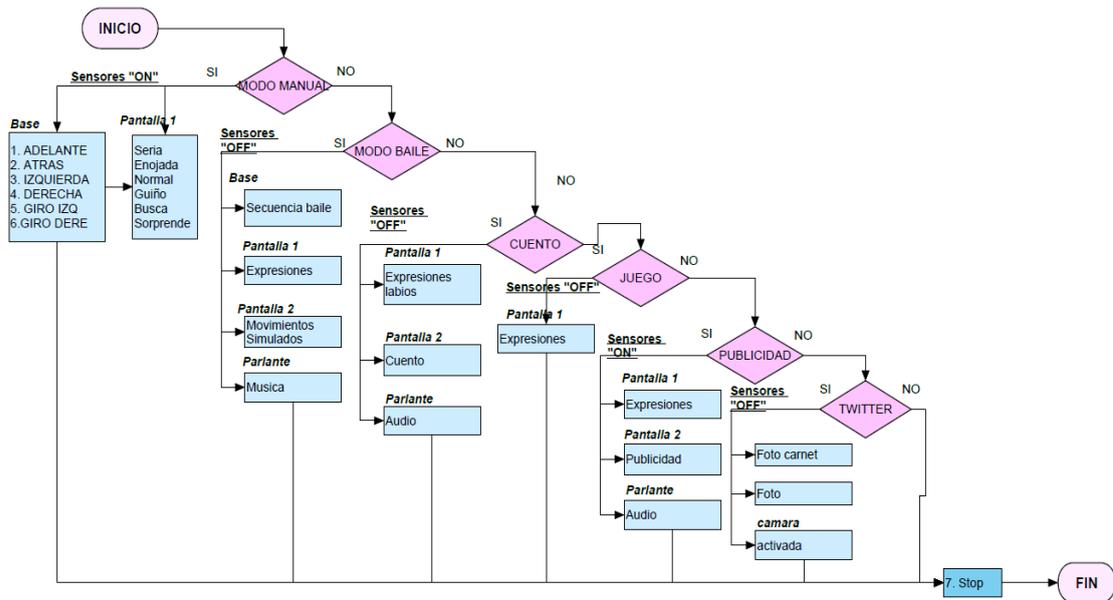


Figura 20-2. Diagrama de flujo modo de funcionamiento robot Cloe.

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Cada uno de estos modos tiene como objetivo despertar la atención del usuario motivándolo a interactuar con el robot y acceder a las aplicaciones didácticas que este presenta.

Para los flujos de trabajo del robot se utilizó Node Red, herramienta que permite conectar todos los elementos entre sí para ser manejados de manera autónoma e inteligente.

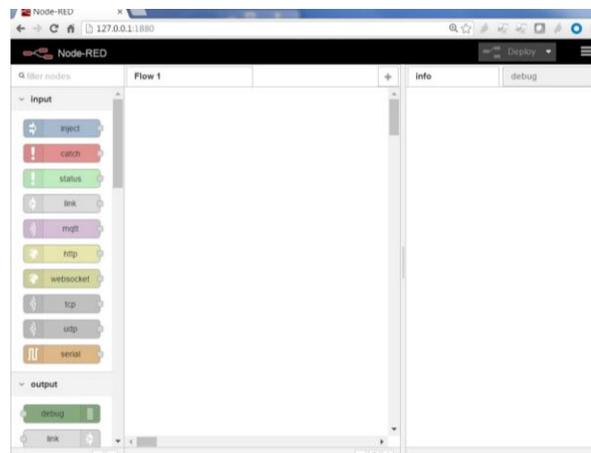


Figura 21-2. Interfaz Node-Red

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

A continuación se resumen en una tabla los principales bloques utilizados para el desarrollo de los lazos de trabajo del robot.

Tabla 3-2: Bloques Node-Red

NODO	FUNCIÓN
Inject	En este bloque se configure para enviar un valor o comando, se puede configurar el intervalo de repetición.
Function	Este bloque sirve para llamar al código de la operación que se desea realizar, dentro de “function” es necesario definir la tarea que tiene que realizar el bloque
Debug	Sirve para verificar la comunicación de los bloques, los cuales se pueden visualizar en la pestaña de igual nombre.
Deploy	Ejecuta los lazos de función.
GPIO	Envía los comandos directamente al Arduino.
Change	El nodo puede especificar varias reglas que se aplicarán a su vez.
Delay	Introduce una espera dentro del flujo o da límites de frecuencia.
Exec	Llama al comando del sistema.
File	Lee el archivo especificado y envía el contenido como msg.payload, y el nombre del archivo como msg.filename
Twitter	Envía un mensaje directo a la cuenta de Twitter. Puede hacer con o sin objetos.
Twitter input	Recibe información de las cuentas seguidoras o a las cuentas que a las que se está suscrita.
Text	Indica un texto no editable en la interfaz de usuario
Subflow	Genera un pequeño flujo dentro y hace el llamado a este
Switch	Dirige los mensajes basado en una previa evaluación
UDP	Configura las direcciones IP para mantener la comunicación entre los elementos.

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Cada una de las opciones de trabajo que el robot tiene está elaborado para que los niños mientras están interactuando con Cloe aprendan y se diviertan.

2.9.1 Control manual

El control manual del robot permite que los movimientos de las llantas y los brazos sean controlados mediante comandos para poder trasladarlo o exponerlo al público, en este modo de funcionamiento los sensores juegan un papel importante debido a que ayudan a que el robot durante su puesta en marcha evite los obstáculos, con cada movimiento Cloe indica expresiones.

El nodo de modo manual fue programado de la siguiente manera.

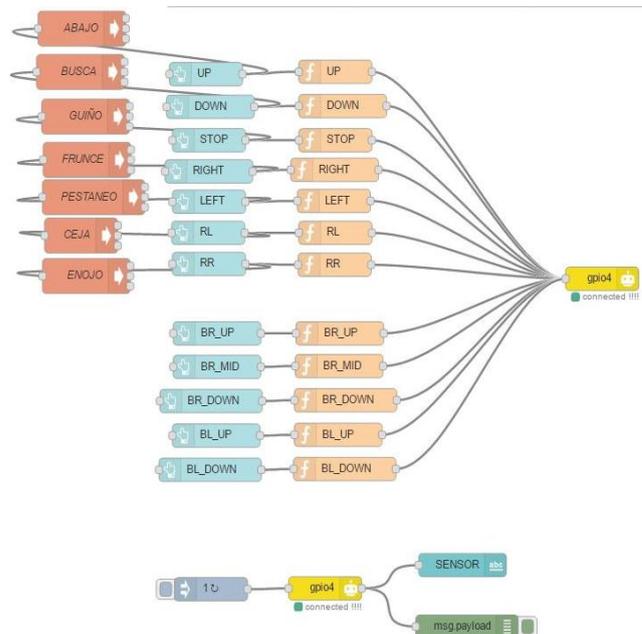


Figura 22-2. Lazo de control manual robot Cloe.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016

En el bloque de las funciones (f) envía varios comandos hacia el bloque del GPIO. Estos comandos son:

Tabla 4-2: Lista de comandos y ejecución en Arduino y Raspberry Pi master

Comando	Arduino (movimiento)	Raspberry Pi 1 (master)
1	Avanza	Abajo
2	Retrocede	Busca
3	Stop	Guiño
4	Derecha	Frunce
5	Izquierda	Pestaño
6	Rotar izquierda	Ceja
7	Rotar derecha	Funde
8	Brazo derecho arriba	
9	Brazo derecho adelante	
10	Brazo derecho abajo	
11	Brazo izquierdo arriba	
12	Brazo izquierdo abajo	
Default	Default	

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Una vez que estos comandos se inyectan en el GPIO, el Switch en el código del Arduino direcciona y accede al case correspondiente y ejecuta la acción seleccionada. Código completo Arduino (ver anexo 7).

```
void control_manual(int spd) {
  int pos = 0;
  switch (CMD) {
    case 1:
      setAVANZA(spd);
      //Serial.println("AVANZAR");
      break;
    case 2:
      setRETRO(spd);
      //Serial.println("RETRO");
      break;
    case 3:
      allSTOP();
      //Serial.println("STOP");
      break;
    case 4:
      setDER(spd);
      //Serial.println("DERECHA");
      break;
    case 5:
      setIZQ(spd);
      //Serial.println("IZQUIERDA");
      break;
    case 6:
      setROTARIZQ(spd);
      //Serial.println("ROTAR IZQUIERDA");
      break;
    case 7:
      setROTARDER(spd);
      //Serial.println("ROTAR DERECHA");
      break;
    case 8:
      analogWrite(S_DER, 10);
      //Serial.println("BRAZO DER ARRIBA");
      break;
    case 9:
      analogWrite(S_DER, 20);
      //Serial.println("BRAZO DER ADELANTE");
      break;
    case 10:
      analogWrite(S_DER, 35);
      //Serial.println("BRAZO DER ABAJO");
      break;
  }
}
```

Figura 23-2. Extracto código Arduino para control manual Cloe
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.9.2 *Modo baile*

El baile es una actividad que Cloe fomenta debido a que es de alto beneficio para los niños, tanto desde el punto de vista físico como psíquico, ya que favorece la coordinación, la memoria y concentración. Al entrar el robot en modo baile, el prototipo es capaz de realizar movimientos

de llantas y brazos junto a expresiones sincronizadas con la música que el robot reproduce.

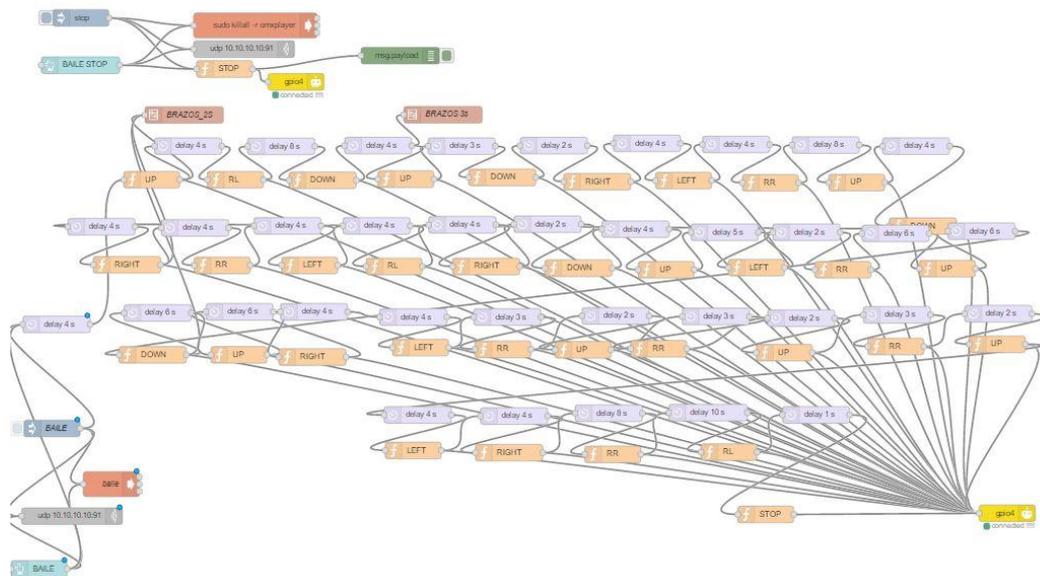


Figura 24-2. Lazo de modo baile robot Cloe.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.9.3 Cuento

Los cuentos estimulan la creatividad en un niño y si este se encuentra en etapa de formación académica, practicar la lectura posibilita la ampliación de su conocimiento. El robot al entrar en este modo relata el cuento a la vez en la pantalla de la cabeza y cuerpo simultáneamente se visualiza expresiones y el cuento de manera escrita y con gráficos.

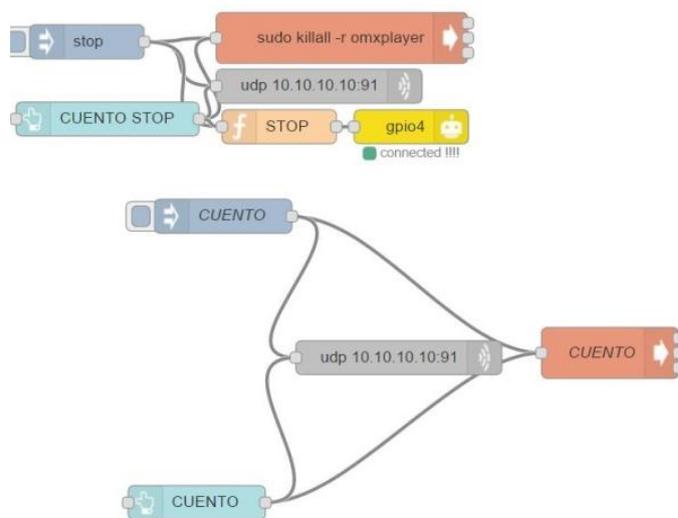


Figura 25-2. Lazo de modo cuento robot Cloe.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.9.4 Juego

Estimular el fortalecimiento de la memoria en los niños es fundamental debido a que la mayoría de aprendizajes en edades tempranas son adquiridos con la memoria. El modo juego permite al usuario ejecutar un script y divertirse desarrollándolo, mientras el usuario juega el robot envía expresiones al usuario.

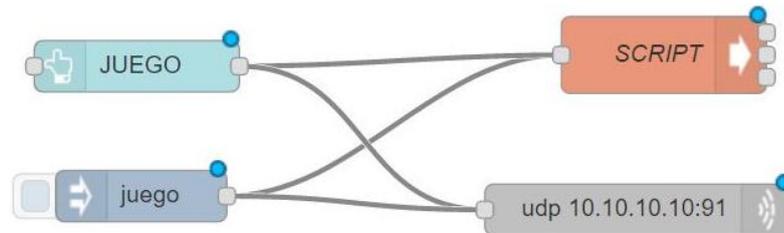


Figura 26-2. Lazo de modo juego robot Cloe.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.9.5 Vocabulario

Los niños pueden aprender idiomas con facilidad debido a esto el robot Cloe incluye en sus lazos de función la opción de que el niño aprenda y practique vocabulario en dos idiomas inglés y quichua.

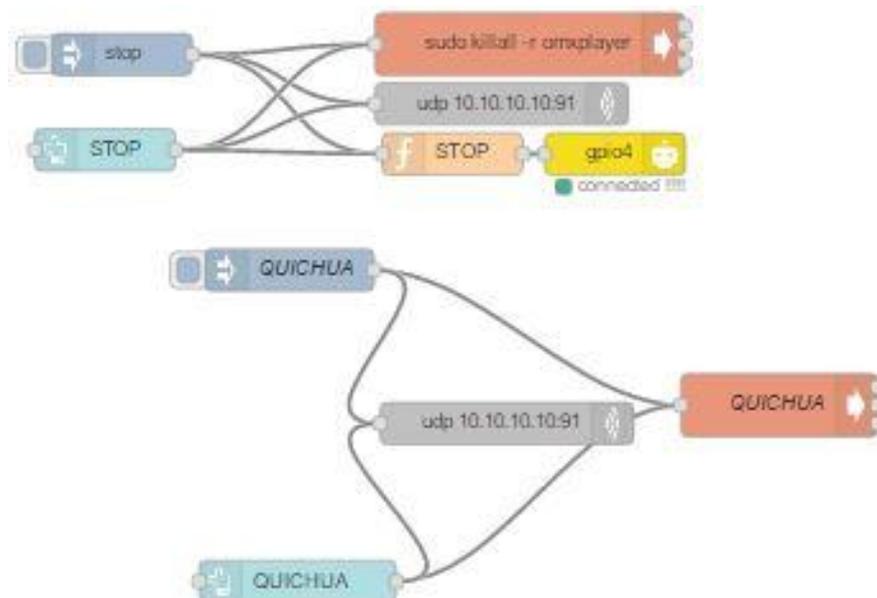


Figura 27-2. Lazo aprendizaje vocabulario robot Cloe.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.9.6 Publicidad

La publicidad es la difusión de información referente a cualquier tema con la intención de que el público actúe de determinada manera. El robot en el flujo de publicidad activa sus salidas de audio, imagen y video, al transmitir un spot, enviar mensajes de voz y expresar emociones al público.

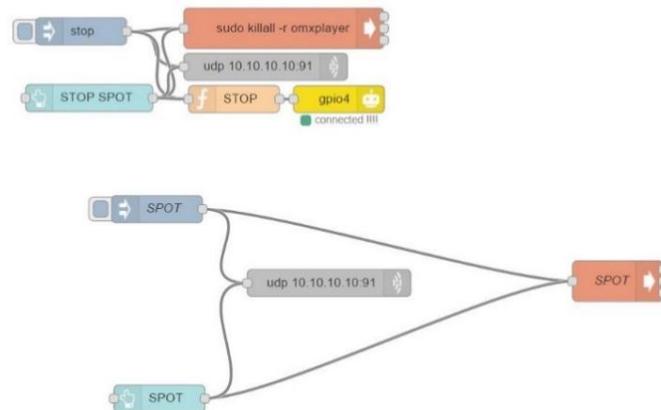


Figura 28-2. Lazo modo publicidad robot Cloe.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.9.7 Twitter-Facebook

El robot tiene conectividad directa a redes sociales en las cuales publica fotos que toma al usuario, en este modo de conectividad existen dos opciones, la primera el robot toma la foto y publica con un mensaje, y la segunda opción Cloe realiza una publicación con la fotografía luego de realizar un procesamiento de imágenes y generar un carnet virtual acompañada de un mensaje.



Figura 29-2. Tweet carnet virtual generado por robot Cloe a un usuario.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

El flujo de trabajo de Twitter es el siguiente:

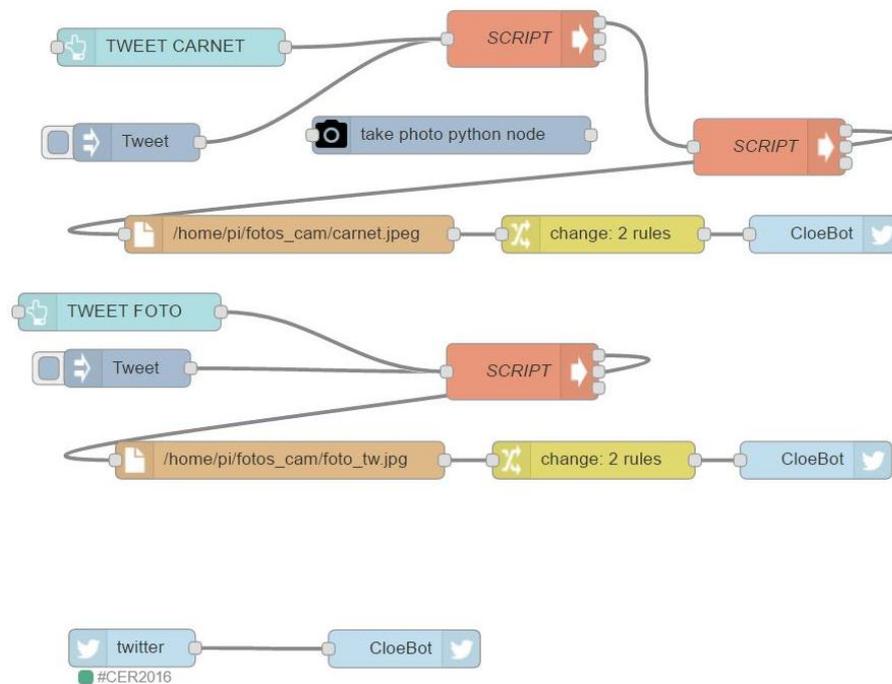


Figura 30-2. Script conexión twitter CloeBot.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

2.10 Implementación de la interfaz

La interfaz es realizada con Node-Red que proporciona bloques para generar un dashboard web, con los cuales entregan diferentes opciones en el caso de la interfaz CLOE_BOT se ocupa el nodo button que es un bloque utilizado para permitir seleccionar la opción mediante contacto con la superficie sobre este:

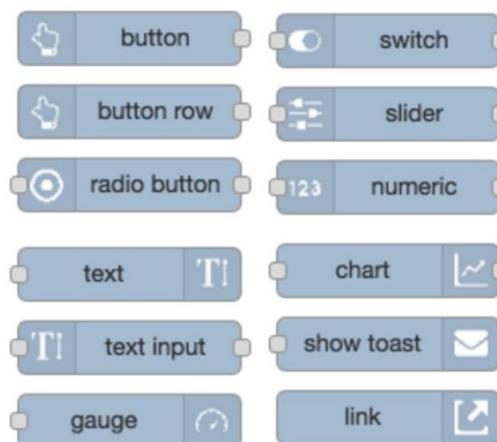


Figura 31-2. Nodos para generar dashboard Cloe.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

EL objetivo de tener una interfaz simple es debido a que el robot Cloe puede ser operado tanto por adultos como por niños. En la siguiente imagen se indica la figura de la interfaz como aparece en una computadora.



Figura 32-2. Interfaz gráfica Cloe.

Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 Funcionamiento del proyecto

Una vez que todo el proyecto ha sido integrado, es importante llevar a cabo pruebas que permitan evaluar el funcionamiento del robot.

3.1.1 *Prueba de los movimientos del robot*

Las pruebas realizadas al robot fueron hechas en superficies planas y lisas. Se plantearon varias pruebas modo manual enviando órdenes de manera aleatoria tanto a las llantas como a los brazos.

Se pudo apreciar que el robot puede realizar todos los movimientos de avanzar, retroceder, girar a la izquierda, girar a la derecha, trasladarse a la izquierda y trasladarse a la derecha, mover sus brazos en forma vertical, sin ningún problema en la velocidad designada previamente en la programación y el tiempo deseado por el usuario.

En las pruebas de movimiento se pudo comprobar que los sensores funcionan de manera correcta. Los resultados fueron ampliamente satisfactorios. El mecanismo responde tal como se esperaba.

3.1.2 *Prueba de la interfaz gráfica*

La prueba realizada a la interfaz gráfica es fundamental debido a que de esto depende que el usuario interactúe fluidamente con el robot, para esto se ejecutó continuamente la puesta en marcha del robot durante varios ciclos, en los que sin ningún problema cambio de modo estableciendo que las funciones se desarrollaban con normalidad.

3.2 Pruebas de nivel de aceptación

Las pruebas de aceptación por el público sirven para verificar que el robot satisface las expectativas, resulta evidente que el público ha de tener una consideración preferente en la evaluación del robot debido a que es un robot didáctico por ende pertenece a la categoría de robots sociales. Es importante determinar qué nivel de satisfacción tiene el cliente, para finalmente obtener un enfoque para aumentar estos resultados.

Para evaluar la satisfacción de los clientes se obtuvo la información de dos maneras diferentes:

a. En forma directa

Con la medición directa de la satisfacción se obtiene la percepción del cliente acerca del cumplimiento de expectativas acerca del robot. Esta prueba fue llevada a cabo en dos exposiciones en la que el robot Cloe fue exhibido indicando las funciones que tiene el robot y permitiendo que exista interacción directa entre el usuario y el robot.



Figura 1-3. Presentación Cloe, feria académica en Riobamba.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Durante la prueba se pudo comprobar que el robot llama mucho la atención de niños, jóvenes y adultos sin distinguir género. Se pudo observar cómo la gente se aglomeraba y esperaba el momento en que les toque ver el funcionamiento del robot y de ser posible jugar con él.

El robot además fue presentado en el concurso nacional de robótica CER 2016 previa clasificación para representar a la ESPOCH en tal distinguido evento, en donde nuevamente el público tuvo la posibilidad de interactuar con el prototipo, esta vez gente interesada y

concedora de la materia de la robótica y electrónica, hicieron notar su aceptación y satisfacción al ver e interactuar con el robot de manera exitosa.



Figura 2-3. Presentación Cloe, Concurso Ecuatoriano de Robótica CER 2016.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

En las pruebas directas podemos sacar como conclusión que el robot ha tenido total éxito en aceptación e interacción con el público.

b. En forma indirecta

A través de la medición indirecta se consiguen datos estadísticos relacionados con el impacto que generó el robot al interactuar con el público. Esta información se tomó de una de las redes sociales a la cual Cloe se conecta, los días en los que el robot estuvo presente en el concurso ecuatoriano de robótica interactuando con el público y subiendo fotografías de dichas personas.

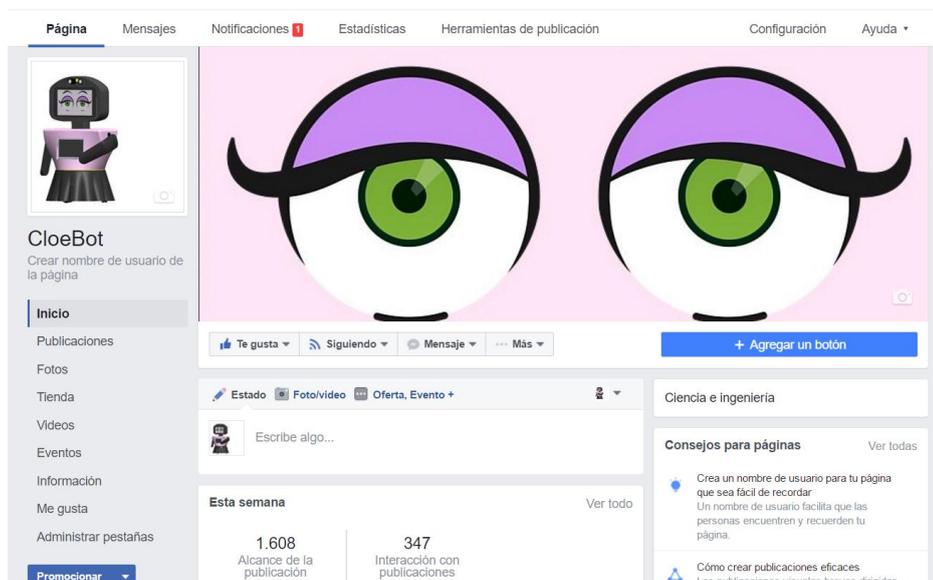


Figura 3-3. Entorno página de Facebook CloeBot.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

a. Seguidores en la página

La página CloeBot se creó el día que el robot empezó a interactuar con el público y se puede observar como ascendió el número de seguidores en la página del robot de 0 a 80 el mismo día de creación de la página y continúa incrementándose en los días siguientes

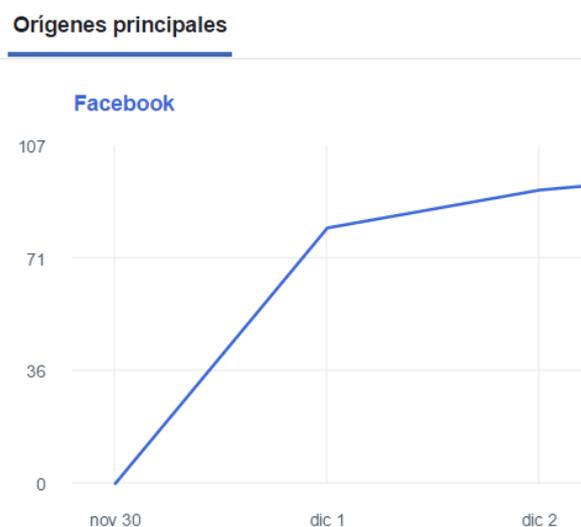


Gráfico 1-3. Datos estadísticos entradas a la página CloeBot.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

b. Visitantes a la página

Los datos determinan que el número de visitantes a la página de Cloe en un solo día a partir de la creación de la página es de 245 más del triple de la gente que se suscribió a la página lo cual demuestra que incluso si la gente no se registra se interesa por saber la actividad del robot en las redes sociales.



Gráfico 2-3. Datos estadísticos visitantes a la página CloeBot.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

c. Visitantes por género y edad

En las estadísticas de la página también se puede observar que en su mayoría los visitantes son de género masculino y los rangos de edad son de 18 a 24 años.

Este dato es muy importante en cuanto nos indica a que publico se puede orientar la publicidad que el robot puede hacer en las redes.

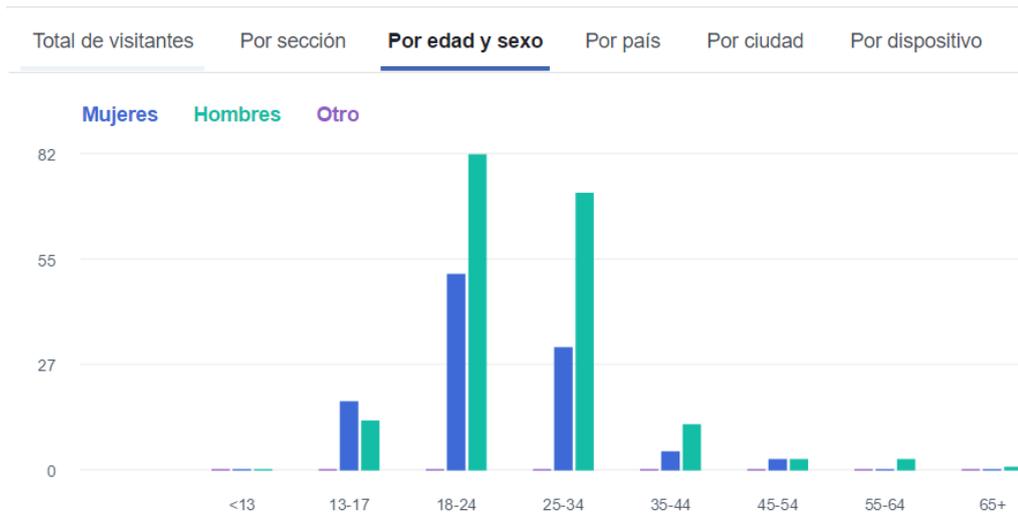


Gráfico 3-3. Datos estadísticos visitantes por género y edad a la página CloeBot.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

d. Reacciones

Las reacciones que generaron las publicaciones del robot en la página de Facebook obtuvieron un total de 306 “me gusta” seguido con 67 “me encanta”. Podemos concluir que la reacción expresada en las publicaciones son bien aceptadas por el público.



Gráfico 4-3. Datos estadísticos entradas a la página CloeBot.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

e. Ocultar, reportar.

Desde el momento de la creación de la página ningún usuario ha demostrado su insatisfacción, menos la opción de quitar su suscripción o manifestar su no aceptación con las opciones que se presentan dentro de la página.



Gráfico 5-3. Datos estadísticos entradas a la página CloeBot.
Fuente: VACA Isabel, VILLAGÓMEZ Leonela, 2016.

Estas pruebas arrojaron datos positivos en la cual podemos concluir finalmente que los usuarios han mostrado gran curiosidad, aceptación e interacción con el robot de manera positiva, y con los datos obtenidos definen un precedente para el paso a nuevas fases del proyecto.

3.3 Problemas detectados y soluciones propuestas.

3.3.1 Instalar y configurar las Raspberry

Para empezar con la programación y al tener Raspberry Pi para ponerlas en funcionamiento se necesitó instalar un sistema operativo, se escogió la versión Raspbian Jessie Pixel, la cual se descargó de la página oficial de Raspberry Pi.

Una vez que el sistema operativo se instaló mediante el raspbi-config se procedió a configurar las opciones principales del Raspbian, en donde se determinó que el inicio del micro procesador sea en modo escritorio, también se activó la cámara, la comunicación I2C, y el servidor SSH para el acceso remoto desde cualquier terminal.

3.3.2 *Escoger comunicación del I2C*

La comunicación maestro-esclavo entre la Raspberry Pi y el Arduino es posible realizar con diferentes tipos de comunicación pero se optó por realizarla por comunicación I2C debido a que permitía enviar comandos direccionados, lo cual es suficiente para que el sistema funcione correctamente, se descartó el tipo de comunicación serial ya que los sensores Dual DUS utilizan este puerto de comunicación.

3.3.3 *Utilizar Node-Red*

Gran cantidad de bibliografía fue revisada antes de realizar la interfaz del robot en la herramienta Node Red, un software open source y gratuito que puede ejecutarse en la Raspberry Pi.

Para crear la lógica de control se tuvo que investigar desde lo fundamental del Node Red por lo tanto se tuvo que entender y probar cada uno de los nodos para luego poder interconectarlos en forma correcta y así crear los flujos necesarios para que el robot pueda funcionar de manera idónea.

3.3.4 *Alimentación del sistema*

Un problema se encontró al momento de encontrar las baterías correctas al sistema del robot, debido a que cada una de las Raspberry Pi necesita más de 750 mA de corriente, al inicio se optó por utilizar baterías de 1A para cada Raspberry pero se presentaron una serie de fallos e inconvenientes debido a que no era una fuente de alimentación con la suficiente corriente para alimentar el microcontrolador, sus respectivas pantallas y demás elementos.

Analizando estos inconvenientes se determinó utilizar una batería de 5V 2A con dos salidas para dar alimentación independiente a las Raspberry Pi, y una batería para la alimentación del Arduino, elementos conectados a la base y servomotores.

3.3.5 *Programación de sensores*

Entender el funcionamiento de los sensores DUS que son basados en una interfaz RS485, que

permiten conectarlos en serie fue un nuevo reto al que se enfrentó, pues fue fundamental revisar cómo están desarrolladas las librerías que tienen este tipo de sensores, para así poder controlarlos y añadirlos en el sistema del robot.

3.3.6 *Control del movimiento de las llantas omnidireccionales.*

Para el movimiento de las llantas omnidireccionales se realizaron varios intentos directos en el cual se detectó la dirección y la velocidad en la que cada una de las llantas debe moverse para trasladarse o rotar según sea requerido cuando el robot esta puesto en funcionamiento.

3.3.7 *Acoplar los componentes al diseño.*

Se destinó mucho tiempo de trabajo al diseño de las piezas del robot debido a que, cada parte debía ser capaz de acoplarse a elementos como pantallas, controladores y demás, y no todas las medidas de estos elementos están en los DataSheets, por lo que el trabajo se prolongó en tiempo al tener que realizar las medidas manualmente.

En el diseño también muy relevante, fue el saber cómo las piezas al final iban a acoplarse unas a otras, tener que analizar la manera de hacerlo debido a que el robot debe ser capaz de ensamblarse y desensamblarse por cuestión de mantenimiento.

Las dudas del diseño quedaron aclaradas ya que el programa de simulación de piezas 3D, permite simular el proceso de ensamblaje, lo cual fue muy beneficioso y ya en el momento de hacer imprimir las piezas no hubo errores.

3.4 Complementos futuros

La importancia de este proyecto de grado y su relevancia pueden expandirse al ser complementada con las siguientes propuestas:

- Se puede utilizar la cámara para implementar aplicaciones que requieran visión artificial como detección de rostros, formas o colores, de esta manera se podrá aumentar las funcionalidades del robot además de crear más actividades lúdicas e interactivas.

- Debido a que en la base del robot se están utilizando motores dc con encoder es factible implementar diversos algoritmos de control (PD, PD+, PID) para mejorar la estabilidad del robot, también es posible modificar partes mecánicas de la base (llantas) que acompañando del control PID, Cloe se podría adaptar en terrenos que puedan presentar deslizamientos o irregularidades.
- Cloe es una plataforma de desarrollo en donde es posible crear más aplicaciones didácticas, por lo que se puede implementar un método para obtener datos acerca de la reacción de los usuarios para utilizar esta información en la actualización de las aplicaciones.
- Entre las diversas aplicaciones que se pueden crear en Cloe, es loable destacar aquellas que permiten brindar un apoyo a sectores vulnerables, por ejemplo se pueden realizar terapias de lenguaje orientadas a los niños y obtener retro alimentación correspondiente de la eficacia de estas terapias.

CONCLUSIONES

- El diseño mecánico del robot acompañado de los movimientos que es capaz de realizar llaman la atención del público, lo que permite que Cloe tenga gran acogida y el usuario pueda acceder a las aplicaciones didácticas que tiene. Parte del éxito del funcionamiento del robot es el sistema electrónico donde se conectan dispositivos y se destinan funciones específicas tanto para las Raspberry Pi y al Arduino, para mejorar el tiempo de respuesta de funcionamiento del robot.
- Cuando Cloe está en modo de funcionamiento manual se utilizan sensores de proximidad siendo estos los elementos necesarios para que el robot sea capaz de detectar al usuario, y también obstáculos para evitarlos de manera correcta y con esto preservarse así mismo evitando accidentes.
- Debido a que la programación es realizada en software libre, y a las aplicaciones didácticas que se le ha integrado al sistema, el robot se convierte en una plataforma de desarrollo cognitiva para niños de temprana edad que permite estimular el pensamiento simbólico, lenguaje y la imaginación, además al ser reprogramable, el robot permite y se adaptado en diversos entornos, como para el trabajo con adultos mayores, personas con capacidades especiales, entre otros.
- Las pruebas para medir el nivel de aceptación del robot tanto en forma directa como indirecta evidencian la gran acogida que tiene el prototipo, tanto en el momento en el que el usuario interactúa con Cloe; así como también la expectativa que generan las publicaciones del robot en Facebook, lo que resulta en el incremento de visitantes y seguidores en la red social donde las reacciones son positivas en su totalidad.
- El sistema de comunicación del robot diseñado para interconectar todos los elementos electrónicos con el sistema mecánico resulta ser bastante acertado, debido a que en la puesta en marcha Cloe actúa de manera sincronizada y durante su ejecución no existe pérdida de información en ningún momento.

RECOMENDACIONES

- Es imprescindible tener sumo cuidado para el almacenaje y el transporte del robot, ya que el prototipo posee elementos delicados como las pantallas. El mantenimiento de Cloe también especifica tener presente el tiempo que va a ser puesto en marcha ya que es fundamental apagar los sistemas antes de que sus baterías se descarguen completamente y de esta manera evitar que se apague abruptamente el prototipo.
- Cloe tiene elementos como la cámara y los sensores, con estos dispositivos se puede aumentar aplicaciones que entren en el campo de la inteligencia artificial, en el prototipo se puede incrementar funcionamientos como la visión, el habla, la percepción incluso la traducción de idiomas.
- Los estudiantes e investigadores pueden formular un plan de trabajo integrado y coordinado cuyo enfoque esté dirigido a desarrollar el prototipo y puedan innovar al robot Cloe, para que se pueda contribuir al país con nuevos métodos didácticos para la educación.
- Se recomienda crear estrategias publicitarias con el robot en las redes sociales que administra, para tener un constante monitoreo del nivel de satisfacción de los usuarios con respecto a las opciones de funcionamiento que ofrece el robot.
- Para revisar y dar mantenimiento al robot tener a mano los diagramas de conexión de los dispositivos electrónicos y del sistema de comunicación, además tener presente el proceso de ensamblaje y desacople de Cloe.

GLOSARIO

3D:	3 dimensiones.
API:	Application Programming Interface, interfaz de programación de aplicaciones
CPU:	Unidad Central de Procesamiento
CSI:	Interfaz de cámara
DC:	Corriente directa
DSI:	Interfaz de pantalla
DUS:	Sensor ultrasónico dual
DUS:	Sensores ultrasónicos dual
ESPOCH:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
FIE:	Facultad de informática y electrónica
GND:	Ground, tierra
GPIO:	General purpose input/output, entrada de propósito general.
HDMI:	Interfaz multimedia de alta definición.
HID:	Dispositivo de interfaz humana
HMI:	Human machine interface.
I2C:	Inter Integrated Circuit Communications.
LAN:	Local área network, red de área local.
LCD:	Liquid cristal display, pantalla de cristal liquido
PLA:	Ácido poliláctico.
PWM:	Modulación por ancho de pulsos.
RAM:	Memoria de Acceso Aleatorio.
ROM:	Memoria de solo lectura.
SCL:	Línea de reloj
SDA:	Línea de datos
SPI:	Serial peripheral interface, bus serial de interfaz de periféricos
STL:	STereoLithography.
UART:	Recepción transmisión asíncrona universal
USB:	Universal Serial Bus.
VD:	Voltaje directo
WAN:	Wide área network, red de área amplia.

BIBLIOGRAFÍA

ABC TECNOLOGÍA. *¿Qué es Raspberry Pi y para qué sirve.* [Web]. Madrid - España. 2013.

<http://www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20130716/abci-raspberry-como-201307151936.html>

[Citado el: 06 de Diciembre de 2016.]

ADAFRUIT. *Pi Foundation Display - 7" Touchscreen Display for Raspberry Pi.* [Web]. New York - Estados Unidos. 2015.

<https://www.adafruit.com/product/2718>

[Citado el: 24 de Octubre de 2016.]

AER-ATP. *Robótica Industrial y de Servicio.* [Web]. Barcelona - España. 2014.

<http://www.aeratp.com/aer-atp/robotica-industrial-y-de-servicio/>

[Citado el: 29 de Junio de 2016.]

AGUAYO, Paul. *Microcontrolador.* [pdf]. Santiago - Chile. 2014.

<http://www.olimex.cl/tutorial/tutorial1.pdf>

[Citado el: 17 de Junio de 2016.]

AMAZON. *5 inch 800*480 Resistive Touch Screen HDMI interface Raspbian LCD compatible with Raspberry Pi (Pi 2) Model B B+ A+ Video Photo Display System Module @XYG.* [Web]. Estados Unidos. 2016.

<https://www.amazon.com/Resistive-interface-compatible-Raspberry-Pi/dp/B00U21UA16>

[Citado el: 24 de Octubre de 2016.]

ARIAS, Ángel. *Aprende a Programar en Python: 2º Edición.* IT Campus Academy, 2015.

https://books.google.com.ec/books?id=oO_LCgAAQBAJ

[Citado el: 07 de Octubre de 2016.]

BASSI, Sebastian. *Python en 8 clases: Aprendiendo a programar con Python.* Genes Digitales Publishing, 2013.

<https://books.google.com.ec/books?id=dKVNAgAAQBAJ>

[Citado el: 07 de Octubre de 2016.]

CARBONELL, Alfonso. *Taller de Robótica.* [pdf]. Murcia - España. 2013.

http://cprcieza.net/altas_capacidades_2013/Materiales/JORNADAS_AACC_TALLER_ROBOTICA_JUNIO_13.pdf

[Citado el: 06 de Diciembre de 2016.]

CASTELLÓ, Joaquín & MARTÍNEZ, Vicente. *Modelización matemática de la sedimentación en la costa.* Publicacions de la Universitat Jaume I, 2005.

<https://books.google.com.ec/books?id=I6U0kmyoJzIC>

[Citado el: 08 de Octubre de 2016.]

CORTÉS CHERTA, Manuel. *Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas.* Barcelona - España. Reverté S. A., 1995. pp. 151.

<https://books.google.com.ec/books?id=L2dhOvcw1UsC>

[Citado el: 25 de Septiembre de 2016.]

CRESCO, José Enrique. *Tema 6 – Comunicaciones con Arduino (4)* [Blog]. 2014.

<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2014/11/18/tema-6-comunicaciones-con-arduino-4/>

[Citado el: 23 de Octubre de 2016.]

CULTURACIÓN. *Qué son y cómo funcionan las pantallas táctiles* [Blog]. 2012.

<http://culturacion.com/que-son-y-como-funcionan-las-pantallas-tactiles/>

[Citado el: 24 de Octubre de 2016.]

DIAZ, Roberto. *Comunicación entre Raspberry PI y Arduino por USB* [Blog]. Madrid - España. 2014.

<http://rdiaz.es/blog/comunicacion-entre-raspberry-pi-y-arduino-por-usb/>

[Citado el: 6 de Junio de 2016.]

FORMACIONPROFESIONAL. *Manuales y tutoriales gratis de SolidWorks* [Blog]. Madrid - España. 2013.

<http://www.formacionprofesional.info/manuales-y-tutoriales-gratis-de-solidworks/#7>

[Citado el: 25 de Octubre de 2016.]

GONZÁLEZ, Victor. *Control automatizado y robótica 2002*. [Web]. Valladolid - España. 2002.

http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/movil.htm

[Citado el: 23 de Octubre de 2016.]

IBARRA, Rafael. *La robótica como herramienta didáctica* [Blog]. 2010.

<http://blogs.laprensagrafica.com/litoibarra/?p=655>

[Citado el: 21 de Junio de 2016.]

ITAM. *Arquitectura de un robot F180*. [Web]. México, D. F. - México. 2016.

<http://cannes.itam.mx/Alfredo/Espaniol/Cursos/Robotica/Material/ModeloCinematicoOmnidireccional.pdf>

[Citado el: 30 de Junio de 2016.]

JYH-HWA, Tzou & L, Su Kuo. *The Development of the Restaurant Service Mobile Robot with a Laser Positioning System*. Kunming, Yunnan, China : s.n., 2008.

KIM, Jong-Hwan. et al. *Soccer Robotics*. Springer Science & Business Media, 2004. pp. 45.

<https://books.google.com.ec/books?id=C6WeRYvu6dAC>

[Citado el: 25 de Septiembre de 2016.]

LEÓN, José Luis. *Sistemas de locomoción de robots* [Blog]. 2013.

<http://sistemasdeunrobot.blogspot.com/>

[Citado el: 12 de Diciembre de 2016.]

SENSORES. [pdf]. Madrid - España. 2016

<http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>

[Citado el: 30 de Junio de 2016.]

MEDINA, Kevin. *Raspbian Pixel, nuevo entorno de escritorio para Raspberry Pi* [Blog]. Madrid - España. 2015.

<http://www.gizlogic.com/raspbian-pixel-nuevo-entorno-escritorio-raspberry-pi/>

[Citado el: 06 de Diciembre de 2016.]

MESA. *Robots meseros sustituyen a humanos en restaurante chino.* [Web]. Merca2.0, (2013).

<http://www.merca20.com/robots-sustituyen/>

[Citado el: 30 de Junio de 2016.]

MOBBERLEY C. *What is Node-Red?.* [Web]. New York - Estados Unidos. 2014.

<https://learn.adafruit.com/raspberry-pi-hosting-node-red/what-is-node-red>

[Citado el: 06 de Diciembre de 2016.]

MOSQUERA, S. Teebot, un robot hecho en Ecuador para aprender. *EL universo.* (2015).

MUNDO GEEK. *Interfaces gráficas de usuario en Python* [Blog]. Madrid - España. 2008.

<http://mundogeek.net/archivos/2008/11/24/interfaces-graficas-de-usuario-en-python/>

[Citado el: 8 de Octubre de 2016.]

ONE TOUCH: ELECTRO INDUSTRIA. "Sistemas de Interfaz Hombre-Máquina, HMI". *Revista Electroindustria*, Santiago - Chile: EMB, 2007.

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=837>

[Citado el: 30 de Junio de 2016.]

PLANCHARD, David. *SOLIDWORKS 2016 Tutorial with Video Instruction.* SDC Publications, 2015. pp. 3.

<https://books.google.com.ec/books?id=oqcmCwAAQBAJ>

[Citado el: 25 de Octubre de 2016.]

RASPBERRY PI. *Camera Module.* [Blog]. New York - Estados Unidos. 2016.

<https://www.raspberrypi.org/products/camera-module/>

[Citado el: 06 de Diciembre de 2016.]

RASPBERRY PI FOUNDATION. *RASPBERRY PI 3 MODEL B.* [Blog]. New York - Estados Unidos. 2016.

<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

[Citado el: 10 de Octubre de 2016.]

RASPBERRY PI FOUNDATION UK REGISTERED CHARITY 1129409. RASPBERRY PI TOUCH DISPLAY [Blog]. New York - Estados Unidos. 2015.

<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-touch-display/>

[Citado el: 24 de Octubre de 2016.]

ROBOTSHOP. RobotShop - Putting robotics at your service. *External device modules.* [pdf] Swanton, Vermont, USA.

<http://www.robotshop.com/media/files/pdf/rb-nex-21-datasheet.pdf>

[Citado el: 23 de Octubre de 2016.]

ROGER. *¿Cual es el origen de la palabra 'Robot'?* [Blog]. 2008.

<http://www.planetacurioso.com/2008/09/05/cual-es-el-origen-de-la-palabra-robot/>

[Citado el: 19 de Octubre de 2016.]

ROMERO COSTAS, Matías. "Introducción a la robótica". *Robótica: entrá al mundo de la inteligencia artificial*, Vol. 1, (2012), (Buenos Aires - Argentina: Casano Gráfica S.A.) pp. 6, 12-13. ISBN: 978-987-1433-80-3.

SÁNCHEZ, Miguel, & PEÑA, Clarita. Diseño e implementación de un robot móvil publicitario para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (**TESIS**). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica. Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales. Riobamba-Ecuador. 2012. pp.117.

SANZ, Santiago. *Vehículos híbridos y eléctricos (Motores)*. Editex, 2011.

<https://books.google.com.ec/books?id=ksD2AwAAQBAJ>

[Citado el: 06 de Octubre de 2016.]

SERVOCITY. *HS-422 Servo.* [Web]. 2016.

<https://www.servocity.com/hs-422-servo>

[Citado el: 24 de Octubre de 2016.]

SHIMADA, Michihiro. et al. *Uncanny Valley of Androids and Its Lateral Inhibition Hypothesis*. Jeju, Korea : s.n., 2007.

SOLIDWORKS CORPORATION. *Conceptos básicos de SolidWorks Piezas y ensamblajes*. Massachusetts : s.n., 2006. pp. 23-24, 52, 54.

SOLIDWORKS. *Modelado de sólidos en 3D*. Waltham, Massachusetts, EE. UU. 2010.

<http://www.solidworks.es/sw/products/3d-cad/3d-solid-modeling.htm>

[Citado el: 11 de Diciembre de 2016.]

SOMOLINOS SÁNCHEZ, José A. *Avances en robótica y visión por computador*. Cuenca - Ecuador: Univ de Castilla La Mancha, 2002. pp. 86.

<https://books.google.com.ec/books?id=V-eXwzEIngQC>

[Citado el: 25 de Septiembre de 2016.]

SUÁREZ, Adán & SÁNCHEZ, Alina. Plataforma móvil omnidireccional de cuatro llantas suecas (Mecanum) en configuración "AB". (**TESIS**). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecatrónica. México. D.F. - México. 2015. pp. 24-25.

http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8392/Tesis_Perfect.pdf?sequence=1

[Citado el: 12 de Diciembre de 2016.]

TECMIKRO ECUADOR. *Rueda Llanta Omnidireccional 48mm - tecmikro Ecuador*. [Web]. 2016.

<http://tecmikro02.tk/borneras-portafusibles-plugs-lagartos-terminales-varios/294-rueda-llanta-omnidireccional-48mm.html>

[Citado el: 23 de Octubre de 2016.]

TECNOLOGÍA, TABLETS Y MÓVILES. *Robear es un robot-oso japonés, enfermero del futuro* [Blog]. (2015).

<http://xabes.com/2015/02/27/robear-el-robot-oso-japones-enfermero-del-futuro/>

[Citado el: 23 de Octubre de 2016.]

VEGA, José & LÓPEZ, José. *Oficial de Mantenimiento. Temario General Ebook*. Madrid - España: MAD-Eduforma, 2006.

<https://books.google.com.ec/books?id=qcG4M1XK6aAC>

[Citado el: 06 de Octubre de 2016.]

VELASCO, Rubén. *Raspbian, el sistema operativo para Raspberry Pi, se actualiza a Debian 8 "Jessie"*. [Web]. 2015.

<http://www.redeszone.net/2015/09/30/raspbian-el-sistema-operativo-para-raspberry-pi-se-actualiza-a-debian-8-jessie/>

[Citado el: 26 de Octubre de 2016.]

VEX PRO. *Ruedas mecanum*. [Web] México D. F. - México. 2016.

<http://www.vexrobotics.com.mx/vexpro/mecanum-ruedas.html>

[Citado el: 12 de Diciembre de 2016.]

WHEAT, Dale. *Arduino Internals*. Apress, 2012.

<https://books.google.com.ec/books?id=U6EtJwBzY1oC>

[Citado el: 08 de Octubre de 2016.]

ZABALA, Gonzalo. *Robótica*. USERSHOP, 2007. Pp. 18-19, 39, 41-43.

<http://books.google.com.ec/books?id=JPgyRgn-j1YC>

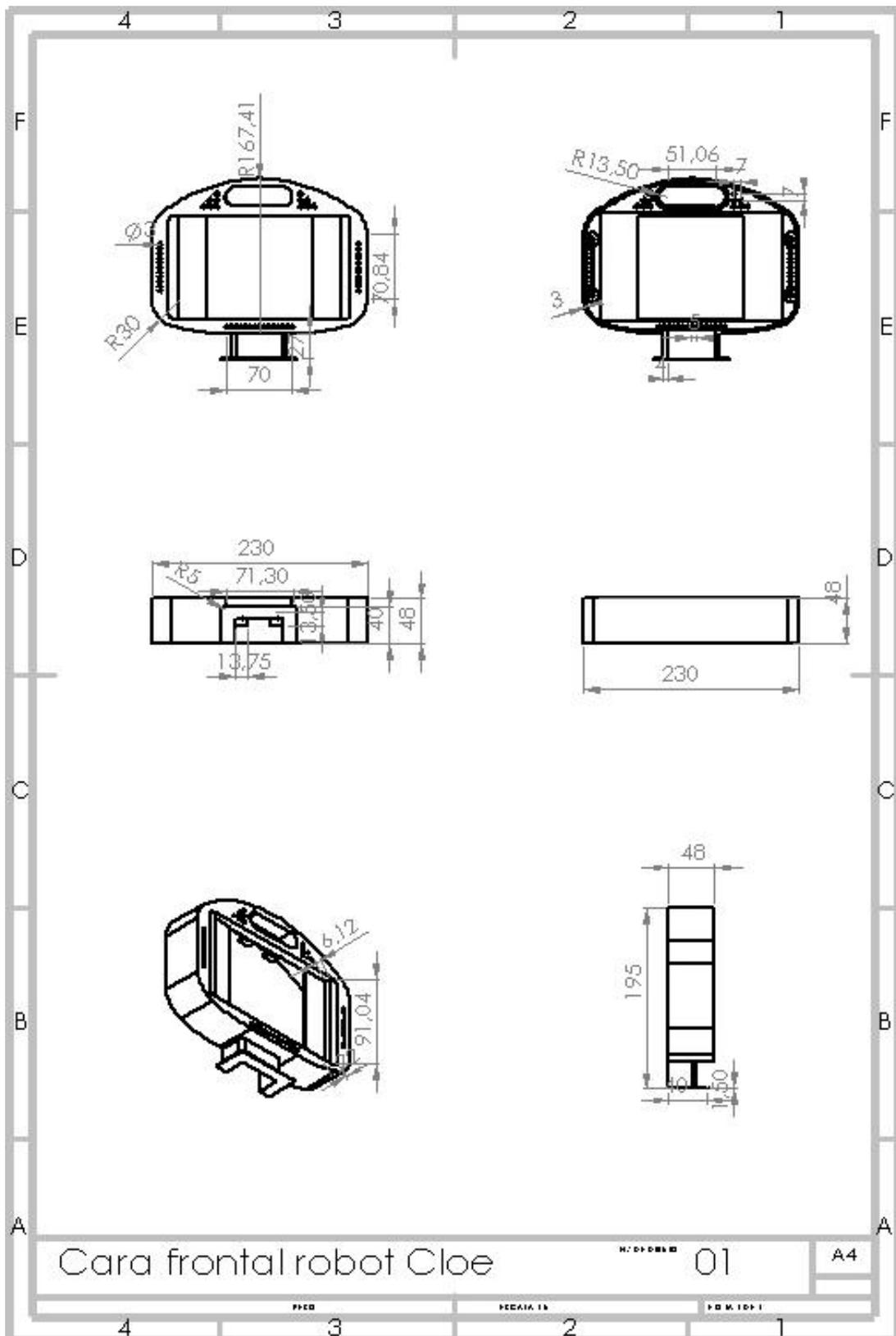
[Citado el: 14 de Junio de 2016.]

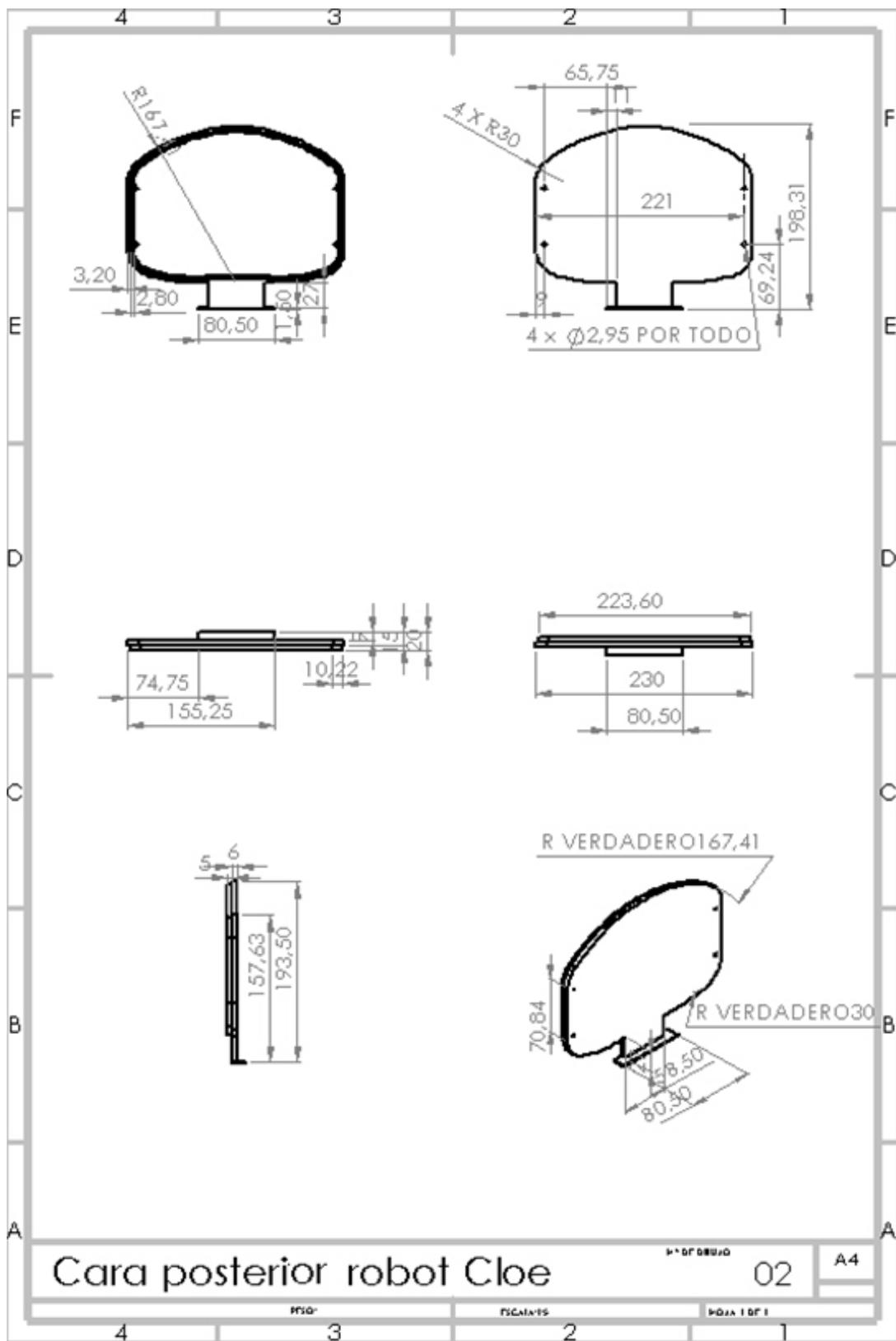
ANEXOS

Anexo A: Cuadro comparativo especificaciones técnicas Raspberry Pi.

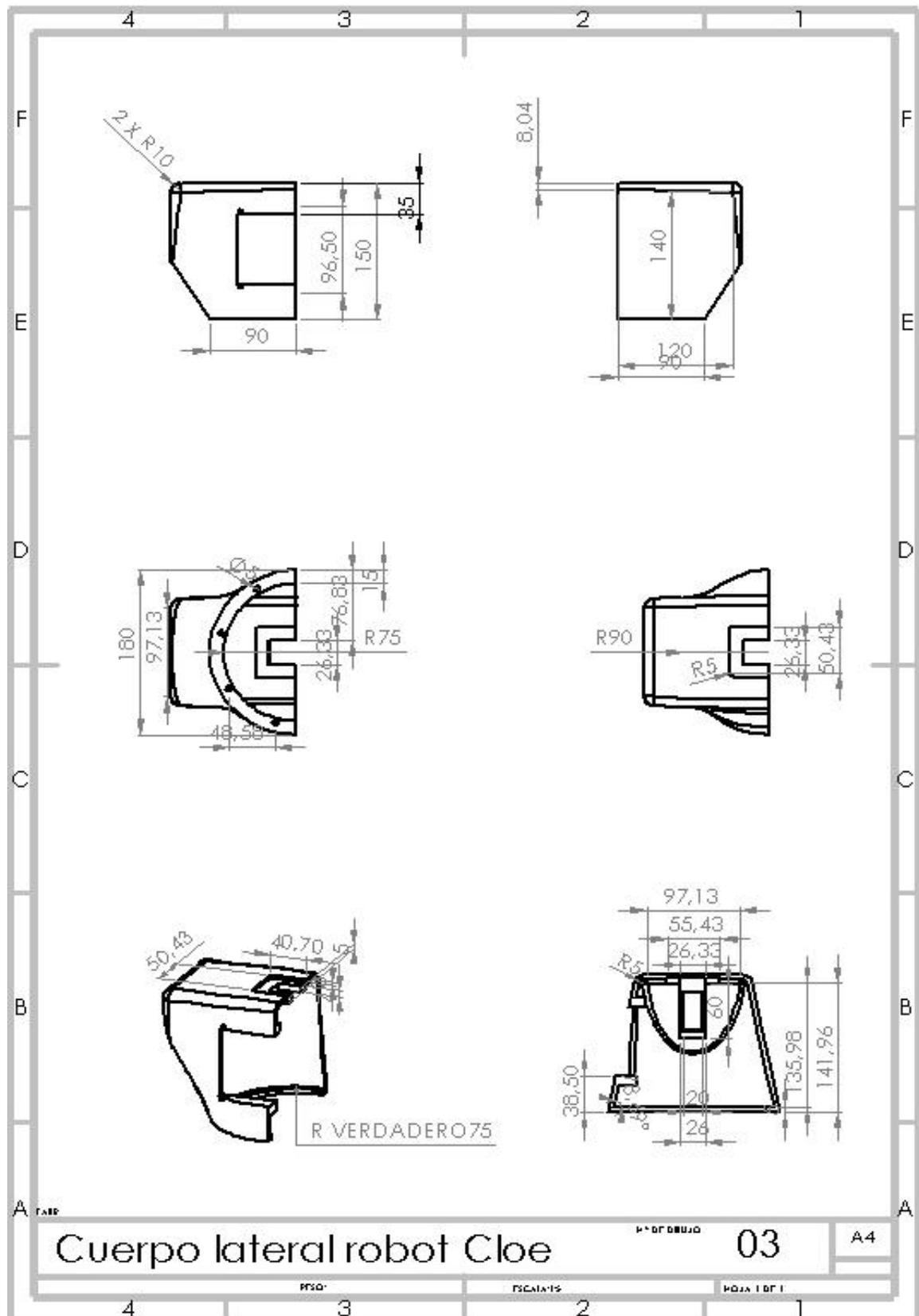
	Raspberry PI B	Raspberry PI B+	Raspberry PI 2	Raspberry PI 3
CPU	ARMv6 700Mhz	ARMv6 700Mhz	ARMv7 Cortex Quadcore 900Mhz	ARMv8 Cortex Quadcore 1,2GHz
GPU	VideoCore IV Dual Core 250MHz	VideoCore IV Dual Core 250MHz	VideoCore IV Dual Core 250MHz	VideoCore IV Dual Core 400MHz
RAM	512MB	512MB	1024MB (1GB)	1024MB (1GB)
Ethernet/WiFi	Ethernet 10/100	Ethernet 10/100	Ethernet 10/100	Ethernet 10/100 – WiFi 802.11 b/g/n
Alimentación	5V 1A	5V 1A	5V 2 ^a	5.1V 2.5A
Temperatura mínima	33.6° C	31.5° C	34.2° C	33.1° C
Temperatura máxima	50.8° C	50.8° C	50.8° C	48.7° C
Tasa de lectura	10.46 MB/s	10.03 MB/s	10.46 MB/s	10.46 MB/s
Tasa de escritura	3.34 MB/s	3.34 MB/s	3.34 MB/s	3.34 MB/s
Velocidad de subida	2.21 MB/s	2.21 MB/s	2.21 MB/s	2.21 MB/s
Velocidad de bajada	2.84 MB/s	2.84 MB/s	2.84 MB/s	2.84 MB/s
Mflops	45.43	45.19	119.79	180.00
VAX Mips	855.06	851.07	1536.95	2469.38
Test de estabilidad	Superado	Superado	Superado	Superado

Anexo B: Planos piezas de la cabeza.

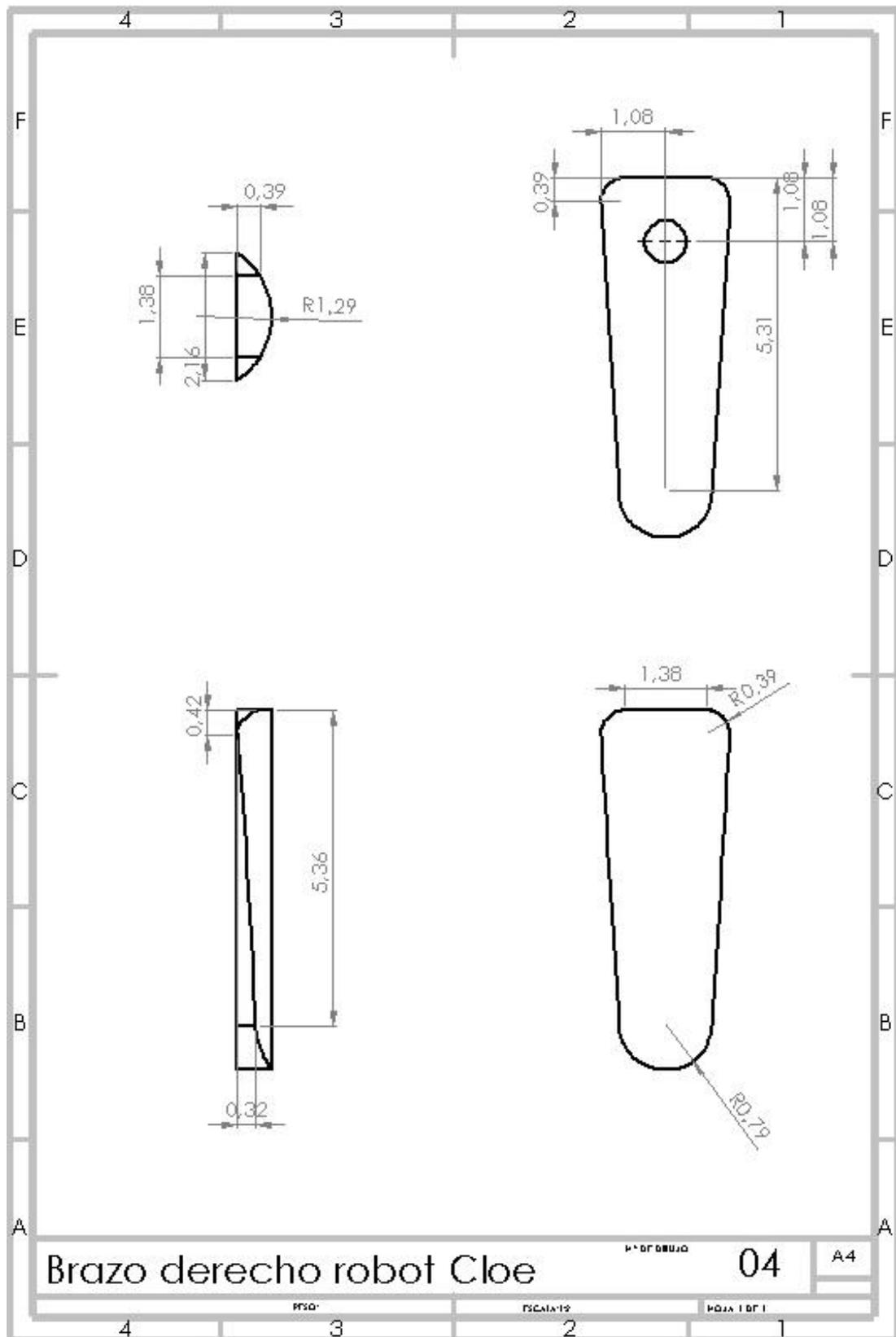




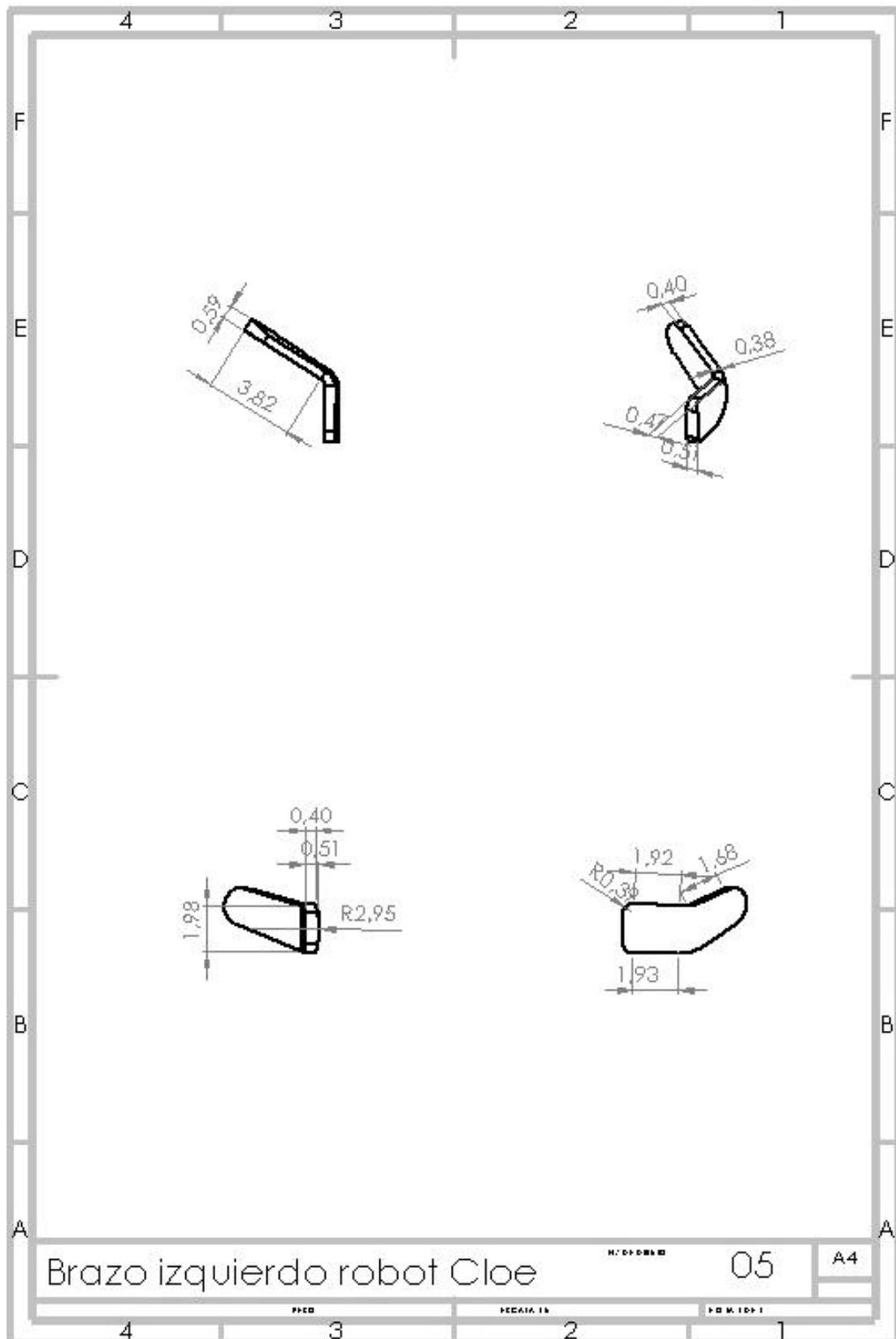
Anexo C: Planos piezas cuerpo.



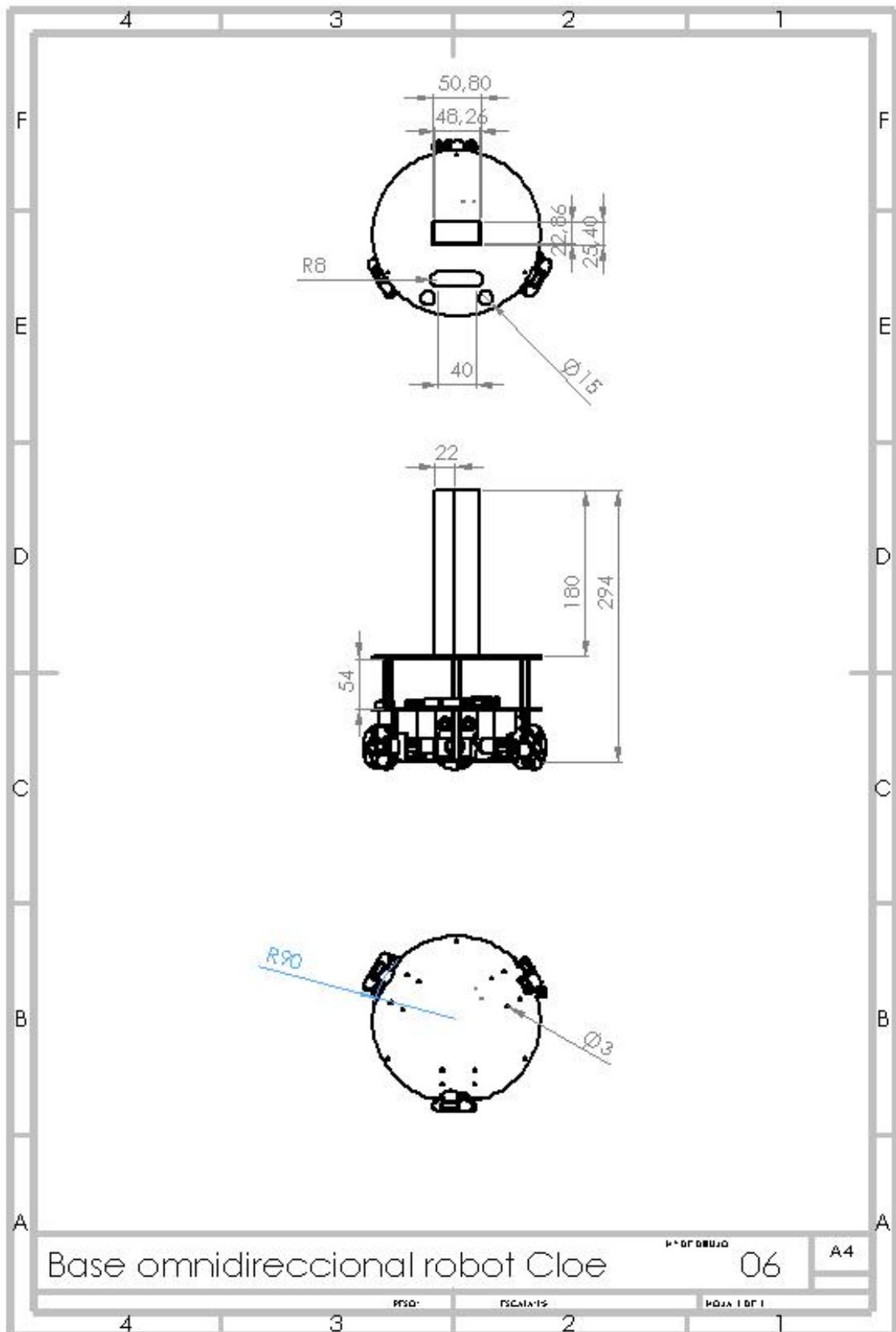
Anexo D: Plano piezas brazo derecho.



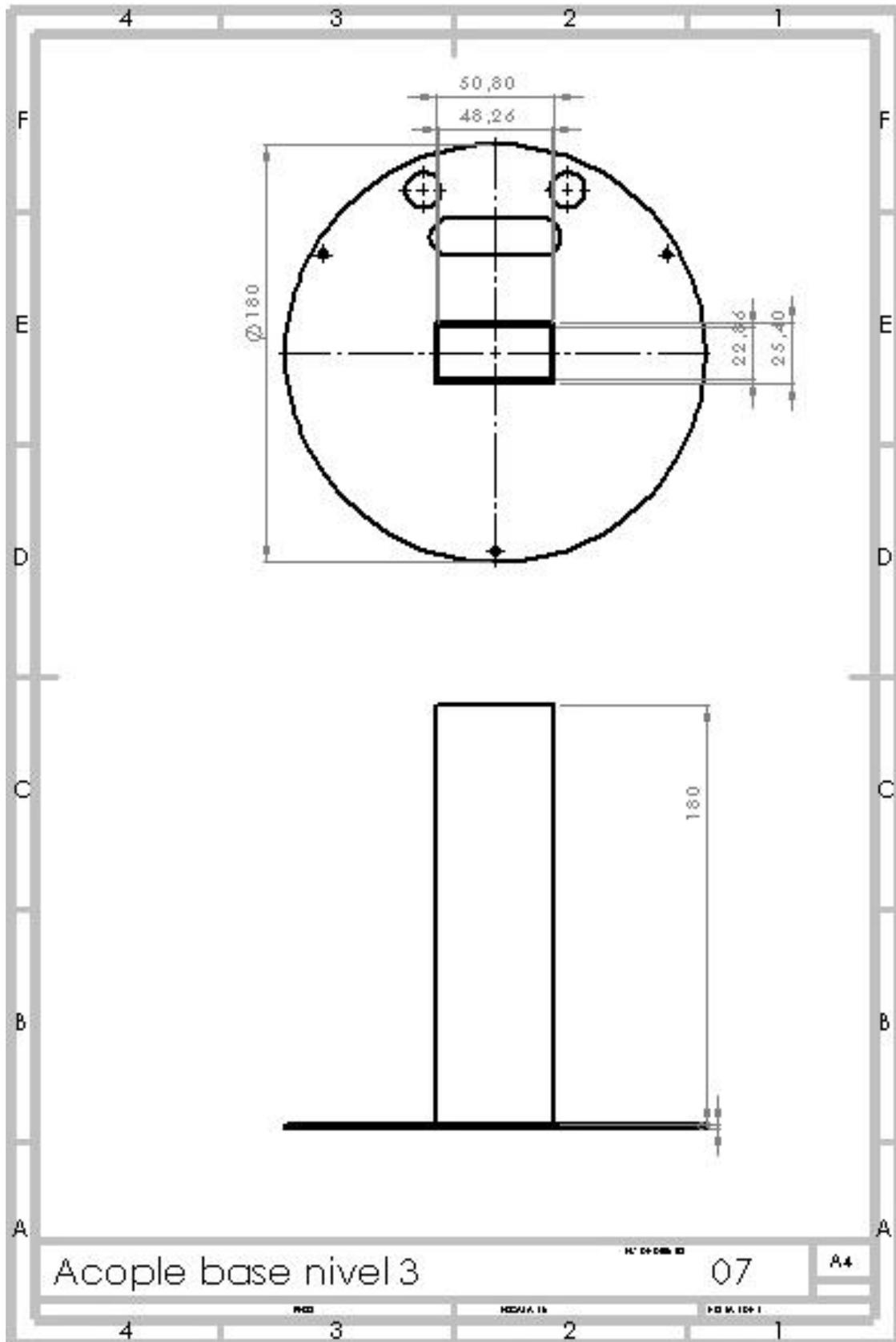
Anexo E: Plano piezas brazo izquierdo.



Anexo F: Plano de la base omnidireccional.



Anexo G: Acople tubo de aluminio en base.



Anexo H: Código Arduino base.

```
*/
#include <Wire.h>
#include <SONAR.h>
#define SLAVE_ADDRESS 0x04
#define MOTOR1_PWM 9
#define MOTOR2_PWM 10
#define MOTOR3_PWM 3
#define DIR_M1 8
#define DIR_M2 11
#define DIR_M3 2
#define S_DER 6
#define S_IZQ 5
//*****//
SONAR sonar11 (0x11), sonar12(0x12), sonar13(0x13);
//*****//
void setAVANZA(int spd) {
  analogWrite(MOTOR1_PWM, 0);
  analogWrite(MOTOR2_PWM, spd);
  analogWrite(MOTOR3_PWM, spd);
  digitalWrite(DIR_M1, LOW);
  digitalWrite(DIR_M2, LOW);
  digitalWrite(DIR_M3, HIGH); }
//*****//
void setRETRO(int spd) {
  analogWrite(MOTOR1_PWM, 0);
  analogWrite(MOTOR2_PWM, spd);
  analogWrite(MOTOR3_PWM, spd);
  digitalWrite(DIR_M1, LOW);
  digitalWrite(DIR_M2, HIGH);
  digitalWrite(DIR_M3, LOW); }
//*****//
void setIZQ(int spd) {
  analogWrite(MOTOR1_PWM, spd);
  analogWrite(MOTOR2_PWM, spd);
  analogWrite(MOTOR3_PWM, spd);
  digitalWrite(DIR_M1, HIGH);
  digitalWrite(DIR_M2, LOW);
  digitalWrite(DIR_M3, LOW); }
//*****//
void setROTARDER (int spd) {
  analogWrite(MOTOR1_PWM, spd);
  analogWrite(MOTOR2_PWM, spd);
  analogWrite(MOTOR3_PWM, spd);
  digitalWrite(DIR_M1, HIGH);
  digitalWrite(DIR_M2, HIGH);
```

```

    digitalWrite(DIR_M3, HIGH);}
//*****//
void setROTARIZQ(int spd) {
    analogWrite(MOTOR1_PWM, spd);
    analogWrite(MOTOR2_PWM, spd);
    analogWrite(MOTOR3_PWM, spd);
    digitalWrite(DIR_M1, LOW);
    digitalWrite(DIR_M2, LOW);
    digitalWrite(DIR_M3, LOW);}
//*****//
void allSTOP() {
    analogWrite(MOTOR1_PWM, 0);
    analogWrite(MOTOR2_PWM, 0);
    analogWrite(MOTOR3_PWM, 0);
    digitalWrite(DIR_M1, LOW);
    digitalWrite(DIR_M2, LOW);
    digitalWrite(DIR_M3, LOW);}
//*****//
void control_manual(int spd) {
    int pos = 0;
    switch (CMD) {
        case 1:
            setAVANZA(spd);
            //Serial.println("AVANZAR");
            break;
        case 2:
            setRETRO(spd);
            //Serial.println("RETRO");
            break;
        case 3:
            allSTOP();
            //Serial.println("STOP");
            break;
        case 4:
            setDER(spd);
            //Serial.println("DERECHA");
            break;
        case 5:
            setIZQ(spd);
            //Serial.println("IZQUIERDA");
            break;
        case 6:
            setROTARIZQ(spd);
            //Serial.println("ROTAR IZQUIERDA");
            break;
        case 7:
            setROTARORDER(spd);

```

```

//Serial.println("ROTAR DERECHA");
break;
case 8:
  analogWrite(S_DER,10);
  //Serial.println("BRAZO DER ARRIBA");
  break;
case 9:
  analogWrite(S_DER,20);
  //Serial.println("BRAZO DER ADELANTE");
  break;
case 10:
  analogWrite(S_DER,35);
  //Serial.println("BRAZO DER ABAJO");
  break;
case 11:
  analogWrite(S_IZQ,10);
  //Serial.println("BRAZO IZQ ARRIBA");
  break;
case 12:
  analogWrite(S_IZQ,14);
  //Serial.println("BRAZO IZQ ARAJO");
  break;
default:
  allSTOP();
  //Serial.println("default");
  break;
}}
//*****//
unsigned short distBuf[3];
static unsigned char sonarCurr = 1;
else ++sonarCurr;
if (sonarCurr == 1) {
  distBuf[1] = sonar12.getDist();
  sonar12.trigger();
  sonar12.showDat();
} else if (sonarCurr == 2) {
  distBuf[2] = sonar13.getDist();
  sonar13.trigger();
  sonar13.showDat();
} else {
  distBuf[0] = sonar11.getDist();
  sonar11.trigger();
  sonar11.showDat();
}}
unsigned long currMillis = 0;
if ( millis() - currMillis > 3) {
  currMillis = (millis());
}

```

```

    sonarsUpdate();
}
if (distBuf[1] < distance) {
    setROTARIZQ(sp); // Set car turn right
    SENS = 2;
} else if (distBuf[2] < distance) {
    setROTARDER(sp);
    SENS = 3;
} else if (distBuf[0] < distance) {
    setRETRO(sp); //
    SENS = 1;
} else {
    //allSTOP();
    control_manual(50);
    SENS = 0;
}}
//*****//

void sendData() {
    //Wire.send(CMD);
    Wire.write(SENS);
    // Serial.println(CMD);
}

void receiveData(int data) {
    if (Wire.available() > 0) {
        CMD = Wire.read();
    }
}
//*****//

void setup() {
    TCCR0B = TCCR0B & 0xf8 | 0x05; //delay() millis() // default: 0x03 976Hz 1s = delay(1000),
0x05 62Hz 1s=dealy(62) 1-35
    TCCR1B = TCCR1B & 0xf8 | 0x01; // Pin9,Pin10 PWM 31250Hz
    TCCR2B = TCCR2B & 0xf8 | 0x01; // Pin3,Pin11 PWM 31250Hz
    pinMode(LED13, OUTPUT);
    pinMode(DIR_M1, OUTPUT);
    pinMode(DIR_M2, OUTPUT);
    pinMode(DIR_M3, OUTPUT);
    Serial.begin(19200);
    Wire.begin(SLAVE_ADDRESS);
    Wire.onReceive(receiveData);
    Wire.onRequest(sendData);
    analogWrite(S_DER, 10);
    analogWrite(S_IZQ, 10);
}

void loop() {
    control_sensores(50, 30);
}

```

Anexo I: Evidencia fotográfica.





