



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE ROBOT SEGUIDOR AUTÓMATA PORTADOR DE OBJETOS,
TRIANGULANDO NIVELES DE POTENCIA DE SEÑALES INALÁMBRICAS,
PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD**

Daniel Fernando Velásquez Velásquez

Asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, noviembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE ROBOT SEGUIDOR AUTÓMATA PORTADOR DE OBJETOS,
TRIANGULANDO NIVELES DE POTENCIA DE SEÑALES INALÁMBRICAS,
PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DANIEL FERNANDO VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ

ASESORADO POR LA INGA. INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgén Adoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE ROBOT SEGUIDOR AUTÓMATA PORTADOR DE OBJETOS, TRIANGULANDO NIVELES DE POTENCIA DE SEÑALES INALÁMBRICAS, PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 12 de abril de 2016.

Daniel Fernando Velásquez Velásquez

Guatemala 19 de octubre de 2017

Ingeniero
Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Apreciable Ingeniero Solares.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado "**Diseño de robot seguidor autómatas portador de objetos, triangulando niveles de potencia de señales inalámbricas, para personas con discapacidad**", del señor **Daniel Fernando Velásquez Velásquez**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356



REF. EIME 60. 2017.

31 de OCTUBRE 2017.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andriño González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**DISEÑO DE ROBOT SEGUIDOR AUTÓMATA PORTADOR DE
OBJETOS, TRIANGULADO NIVELES DE POTENCIA DE
SEÑALES INALÁMBRICAS, PARA PERSONAS CON
DISCAPACIDAD,** del estudiante Daniel Fernando
Velásquez Velásquez, que cumple con los requisitos establecidos
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑADA A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica

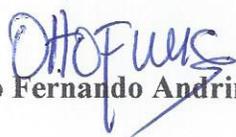


SRO



REF. EIME 60. 2017.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; DANIEL FERNANDO VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ titulado: DISEÑO DE ROBOT SEGUIDOR AUTÓMATA PORTADOR DE OBJETOS, TRIANGULADO NIVELES DE POTENCIA DE SEÑALES INALÁMBRICAS, PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andriano González



GUATEMALA, 3 DE NOVIEMBRE 2017.

Universidad de San Carlos
De Guatemala

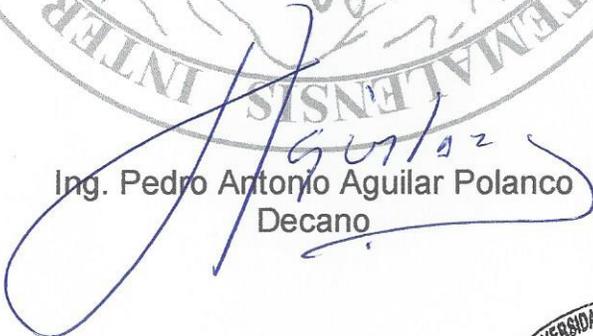


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.D.588.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE ROBOT SEGUIDOR AUTÓMATA PORTADOR DE OBJETOS, TRIANGULANDO NIVELES DE POTENCIA DE SEÑALES INALÁMBRICAS, PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD**, presentado por el estudiante universitario: **Daniel Fernando Velásquez Velásquez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, noviembre, de 2017



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser la luz que guía mi sendero, brindándome la capacidad y el entendimiento necesarios para demostrar lo que puedo lograr. Sin Él no soy nada ni nadie.

Mis abuelos

Antonia Godínez (q. e. p. d.), Efraín Velásquez (q. e. p. d.), Eva López (q. e. p. d.) y Delfino Velásquez (q. e. p. d.), quienes con sus enseñanzas y sabiduría buscaron mejorar las oportunidades para la familia, espero que desde la mansión celestial observen reflejado el fruto de su esfuerzo terrenal.

Mis padres

Carmen Marizol Velásquez y Armando Osberto Velásquez, por darme la vida, apoyándome sin condiciones, brindándome su amor, confianza y enseñanzas día a día, sin su intervención nada para mí fuera posible, este logro es más de ustedes.

Mi hermano

Gabriel Armando Velásquez, por ser esa meta incansable e insuperable, sos inspiración para superarme día con día en busca de la excelencia, gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS A:

- | | |
|---|--|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | <i>Alma mater</i> que me abrió sus puertas, brindándome la oportunidad de estudiar y prepararme para servir a la nación. |
| Facultad de Ingeniería | Formadora de excelentes profesionales que, a través de sus catedráticos, forjó mis conocimientos, de los cuales estoy dispuesto a compartir al prójimo tal como me fueron compartidos. |
| Mi familia | Familia Velásquez Godínez y Velásquez López, por ser una razón y motivo de superación, aunque algunos lejos, siempre estuvieron pendientes de mi formación, Dios los bendiga. |
| Mis amigos de la Facultad | José Cardona, John Rojas, Rodrigo Samayoa, Betsy Bojórquez y demás compañeros de EIME y del IEEE, sin ellos el camino habría sido más difícil, gracias por su apoyo. |
| Mis amigos salesianos | Vinicio González, José Cardona, Marvin Arredondo, Brian Paredes, Alejandro Ramírez, William González, por empezar este camino juntos, espero logremos muchos más éxitos, AdAstra. |

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. FUNDAMENTOS Y BASES TEÓRICAS	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Automatas en la historia	1
1.1.2. Antecedentes del diseño	2
1.2. Bases teóricas y definiciones	3
1.2.1. Electricidad	3
1.2.1.1. Carga eléctrica.....	4
1.2.1.2. Corriente eléctrica.....	4
1.2.1.3. Campo eléctrico.....	5
1.2.1.4. Potencial eléctrico.....	5
1.2.2. Magnetismo	5
1.2.3. Electromagnetismo	6
1.2.4. Ondas electromagnéticas	7
1.2.4.1. Espectro electromagnético	8
1.2.5. Electrotecnia.....	10
1.2.5.1. Circuito	10
1.2.5.1.1. Componentes	10
1.2.5.1.2. Clasificación	11

	1.2.5.1.3.	Estructura.....	12
	1.2.5.1.4.	Simbología	13
	1.2.5.2.	Medidas eléctricas.....	14
	1.2.5.2.1.	Unidades	14
	1.2.5.2.2.	Instrumentos	15
1.2.6.		Componentes electrónicos	16
	1.2.6.1.	Clasificación	16
1.2.7.		Robótica	17
	1.2.7.1.	Definición de un robot	18
	1.2.7.2.	Tipos de robot	18
1.2.8.		Sistema de control.....	19
	1.2.8.1.	Clasificación	20
	1.2.8.1.1.	Lazo abierto	20
	1.2.8.1.2.	Lazo cerrado	21
	1.2.8.1.3.	Discreto	22
1.2.9.		Sensores	22
	1.2.9.1.	Tipos de sensores	22
1.2.10.		Microcontroladores.....	23
1.2.11.		Motores	24
	1.2.11.1.	Corriente directa (DC)	25
	1.2.11.2.	Paso a paso	25
	1.2.11.3.	Servomotor.....	25
1.2.12.		Comunicación inalámbrica	26
1.2.13.		Batería.....	26
2.		COMPONENTES ELECTRÓNICOS PROPUESTOS.....	29
2.1.		Componentes para triangulación de seguimiento	29
	2.1.1.	Infrarrojo	29
	2.1.2.	Ultrasónico	33

2.1.3.	Radiofrecuencia.....	36
2.1.3.1.	Módulo wifi ESP8266.....	37
2.1.3.2.	Módulo Beacon.....	40
2.2.	Componentes y módulos para el funcionamiento del autómata.....	43
2.2.1.	Microcontrolador	43
2.2.2.	Circuito de potencia	44
2.2.3.	Motores.....	45
2.2.4.	Fuente de alimentación	46
2.2.5.	Sensor ultrasónico	47
2.2.6.	Sensor de voltaje	47
2.2.7.	Tablero	47
3.	DISCRIMINACIÓN DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS USADAS EN AUTÓMATAS.....	49
3.1.	Especificaciones técnicas.....	50
3.1.1.	Sensor infrarrojo Sharp GP2Y	51
3.1.2.	Módulo sensor ultrasónico HC-SR04.....	57
3.1.3.	Módulo wifi ESP8266.....	63
3.1.3.1.	Protocolos wifi.....	65
3.2.	Valores experimentales	67
3.2.1.	Sensor IR Sharp GP2Y0A21YK0F	67
3.2.2.	Sensor ultrasónico HC-SR04.....	74
3.2.3.	Módulo wifi ESP8266.....	82
3.3.	Cuadro comparativo	90
4.	DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO.....	95
4.1.	Diagrama de bloques	95
4.2.	Diseño de circuito electrónico.....	98

4.2.1.	Circuito de control	100
4.2.2.	Circuito de potencia.....	106
4.2.3.	Circuito regulador de tensión.....	108
4.3.	Diseño de estructura y dimensiones del autómeta.....	111
4.4.	Diseño de software.....	117
CONCLUSIONES.....		123
RECOMENDACIONES		125
BIBLIOGRAFÍA.....		127
APÉNDICES.....		131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Onda plana linealmente polarizada.....	8
2.	Diagrama del espectro electromagnético.....	9
3.	Estructura básica de un circuito eléctrico.....	12
4.	Simbología básica de componentes eléctricos.....	13
5.	Relación de robótica e ingeniería.....	18
6.	Esquema general de un sistema de control.....	20
7.	Sistema en lazo abierto.....	21
8.	Sistema en lazo cerrado.....	21
9.	Esquema de un microcontrolador.....	24
10.	Sensor infrarrojo transmisor y receptor.....	29
11.	Diseño físico para triangulación con sensor infrarrojo.....	31
12.	Movimiento del transmisor del sensor infrarrojo.....	32
13.	Sensor ultrasónico HC-SR04.....	34
14.	Sensor ultrasónico seguidor de paso.....	35
15.	Sensor ultrasónico seguidor lateral.....	36
16.	Diagrama básico de conexión ESP8266 con puerto serie.....	39
17.	Triangulación de la señal emitida por un <i>smartphone</i>	40
18.	Módulo <i>bluetooth</i> Beacon.....	42
19.	Diagrama de bloques de sensor infrarrojo Sharp GP2Y.....	51
20.	Sensor de proximidad Sharp GP2Y0A21YK0F.....	52
21.	Tiempo de tiempo en respuesta de sensor Sharp GP2Y0A21YK0F....	53
22.	Escala de reflectancia de luz.....	54

23.	Gráfica de respuesta de sensor GP2Y0A21YK0F. Distancia al objeto reflejante vs voltaje de salida	55
24.	Gráfica del inverso de la distancia al objeto reflejante vs voltaje de salida del sensor GP2Y0A21YK0F	56
25.	Diagrama de bloques de sensor ultrasónico HC-SR04.....	58
26.	Distancia-tiempo de sensor ultrasónico	59
27.	Diagrama de tiempo en respuesta de sensor HC-SR04	60
28.	Rango de detección de sensor ultrasónico HC-SR04.....	62
29.	Diagrama de bloques de módulo ESP8266EX	65
30.	Diagrama con conexión Arduino con sensor IR Sharp GP2Y	68
31.	Índice de reflexión según color	69
32.	Laboratorio de toma de datos para sensor GP2Y0A21YK0F	70
33.	Distancia al objeto reflejante vs voltaje de salida.....	72
34.	Inverso de la distancia al objeto reflejante vs voltaje de salida.....	74
35.	Diagrama de conexión Arduino con sensor HC-SR04.....	75
36.	Laboratorio de toma de datos de sensor ultrasónico HC-SR04.....	76
37.	Distancia del objeto vs distancia de sensores ultrasónicos HC-SR04 sin carga auditiva (horario nocturno).....	80
38.	Distancia del objeto vs distancia de sensores ultrasónicos HC-SR04 con carga auditiva (horario diurno)	81
39.	Diagrama de conexión Arduino con módulos wifi ESP8266	83
40.	Configuración de zona portátil en <i>smartphone</i>	84
41.	Conexión de módulo ESP8622 con punto de acceso	85
42.	Laboratorio de toma de datos de módulo wifi ESP8266	86
43.	Plano coordenado con puntos arbitrarios para medición de distancia entre módulos ESP8266 y punto de acceso.....	88
44.	Voltaje de salida teórico versus distancia experimental del sensor GP2Y0A21YK0F.....	91

45.	Distancia teórica vs distancia experimental del sensor ultrasónico HC-SR04.....	92
46.	Distancia vs nivel de potencia recibido de los módulos wifi ESP8266.....	94
47.	Diagrama de bloque del diseño del autómeta.....	96
48.	Grupos de circuitos electrónicos auxiliares	99
49.	Diagrama de conexión de controlador hacia dispositivos con puerto serial.....	101
50.	Diagrama de conexión de controlador con módulo HC-SR04.....	103
51.	Diagrama de controlador utilizando sensores ADC para baterías.....	104
52.	Diagrama de conexión de controlador hacia pantalla LCD utilizando protocolo I2C por medio de un adaptador	106
53.	Diagrama de conexión de controlador con módulo amplificador de potencia BTS7960B	107
54.	Diagrama esquemático de módulo BTS7906B	108
55.	Diagrama regulador de voltaje variable con LM350	110
56.	Diagrama regulador de voltaje fijo utilizando transistor de paso	111
57.	Relación de dimensiones del autómeta respecto al usuario	113
58.	Vista lateral y frontal del diseño de las partes de la estructura del autómeta	114
59.	Diseño de estructura portable	116
60.	Diagrama de flujo de software principal para autómeta	118
61.	Programación en diagrama de bloques del proceso de vinculación <i>bluetooth</i> entre autómeta y <i>smartphone</i> en MIT App Inventor	119
62.	Diseño de la aplicación para robot seguidor autómeta en MIT App Inventor y vista en <i>smartphone</i>	120

TABLAS

I.	Clasificación de las ondas en telecomunicaciones	9
II.	Magnitudes eléctricas fundamentales.....	14
III.	Instrumentos para mediciones eléctricas.....	15
IV.	Comandos básicos de texto AT para ESP8266.....	38
V.	Características de sensor Sharp GP2Y0A21YK0F	54
VI.	Parámetros eléctricos de sensor HC-SR04	61
VII.	Especificaciones técnicas de módulo ESP8266EX	64
VIII.	Índice de reflectancia de los colores primarios	69
IX.	Valores experimentales de sensor IR Sharp GP2Y0A21YK0F	71
X.	Respuesta promedio del sensor IR GP2Y0A21YK0F	73
XI.	Valores experimentales de sensor HC-SR04	78
XII.	Niveles de potencia de recepción de módulos wifi ESP8266	87
XIII.	Datos experimentales de módulo wifi ESP8266	89
XIV.	Comparación de especificaciones técnicas	90

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
Ah	Amperios hora
bps	Baudios
cm	Centímetro
dB	Decibelios
GHz	Gigahertz
KHz	Kilohertz
km/h	Kilómetros por hora
kΩ	Kiloohmios
MHz	Megahertz
μs	Microsegundos
mm	Milímetro
N·m	Newton-metro
RPM	Revoluciones por minuto
V	Voltio
W	Watts

GLOSARIO

Acelerómetro	Instrumento que sirve para medir la aceleración de movimiento de un vehículo.
Amplificador	Aparato o dispositivo para aumentar la amplitud o la intensidad de un fenómeno físico, en especial el que amplifica la intensidad de una corriente eléctrica.
Análoga	Tipo de señal continua en el tiempo.
Arduino	Plataforma de prototipos electrónica de código abierto (<i>open-source</i>) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar.
Autonomía	Facultad de la persona o la entidad que puede obrar según su criterio, con independencia de la opinión o el deseo de otros.
Autómata	Máquina que imita la figura y los movimientos de un ser animado.
Automatización	Aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria.

Bisagra	Mecanismo para la apertura o cierre de una puerta, ventana o tapa o para articular dos superficies.
Bluetooth	Especificación tecnológica para redes inalámbricas que permite la transmisión de voz y datos entre distintos dispositivos mediante una radiofrecuencia segura (2,4 GHz).
Buffer	Memoria de almacenamiento temporal de información que permite transferir los datos entre unidades funcionales con características de transferencia diferentes.
Codificar	Expresar una información en el lenguaje simbólico de la computadora.
Carga	Cantidad de energía eléctrica contenida en un cuerpo.
Comando	Orden o instrucción que se da a una computadora escribiendo una o varias palabras mediante el teclado para que se ejecute determinada operación.
Conductor	Que deja pasar fácilmente a través de su masa el calor o la electricidad.
Corriente	Movimiento de cargas eléctricas a través de un conductor.

Decodificar	Aplicar las reglas adecuadas a un mensaje que ha sido emitido en un sistema de signos determinado, para entenderlo.
Devanado	Componente de un circuito eléctrico formado por un hilo conductor aislado y devanado repetidamente, en forma variable según su uso.
Diagrama	Representación gráfica de las variaciones de un fenómeno o de las relaciones que tienen los elementos o las partes de un conjunto.
Digital	Tipo de señal discreta en el tiempo.
Domótica	Conjunto de técnicas orientadas a automatizar una vivienda, que integran la tecnología en los sistemas de seguridad, gestión energética, bienestar o comunicaciones.
Electrónica	Parte de la física que estudia los cambios y los movimientos de los electrones libres y la acción de las fuerzas electromagnéticas y los utiliza en aparatos que reciben y transmiten información.
Electroquímica	Parte de la química que estudia los fenómenos químicos que provocan electricidad y los fenómenos eléctricos que dan lugar a transformaciones químicas.

Estator	En las dínamos y motores eléctricos, circuito fijo dentro del cual gira el móvil o rotor.
Espectro	Conjunto de ondas electromagnéticas ordenadas según su frecuencia.
Espectroscopio	Instrumento óptico para obtener y observar los espectros.
Frecuencia	Número de vibraciones, ondas o ciclos de un fenómeno periódico realizados en una unidad de tiempo determinada.
Fotófono	Dispositivo que permitía la transmisión de sonido por medio de una emisión de luz.
Giroscopio	Aparato consistente en un disco o un trompo pesado que gira a gran velocidad sobre un eje.
Hardware	Conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen una computadora o un sistema informático.
Hostpot	Lugar que ofrece acceso a Internet a través de una red inalámbrica y un enrutador conectado a un proveedor de servicios de Internet.

Impedancia	Resistencia aparente de un circuito dotado de capacidad y autoinducción al flujo de una corriente eléctrica.
Inalámbrico	Que no usa hilos o cables para recibir y enviar mensajes.
Incertidumbre	Falta de seguridad, de confianza o de certeza sobre algo.
Inteligencia artificial	Facultad de la mente que permite aprender, entender, razonar, tomar decisiones y formarse una idea determinada de la realidad.
Magnitud	Propiedad de los cuerpos que puede ser medida, como el tamaño, el peso o la extensión.
Magnetismo	Conjunto de fenómenos atractivos y repulsivos producidos por los imanes y las corrientes eléctricas.
Mecatrónica	Área multidisciplinar, ya que incorpora elementos de la electrónica, la mecánica, robótica, sistemas de computación y manufactura.
Modulación	Conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora.

Módulo	Elemento con función propia concebido para poder ser agrupado de distintas maneras con otros elementos, constituyendo una unidad mayor.
Optoelectrónico	Nexo de unión entre los sistemas ópticos y los sistemas electrónicos.
Oscilador	Aparato para producir corrientes oscilatorias, especialmente el que se usa en radiotelegrafía y radiotelefonía.
Placa electrónica	Superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora.
Puerto serial	Comunicación entre dispositivos, más específicamente entre un ordenador y un periférico.
Radiación	Emisión de radiaciones luminosas, térmicas, magnéticas o de otro tipo.
Radioastronomía	Estudio de los astros que se basa en las ondas electromagnéticas que estos emiten.
Radiocomunicación	Telecomunicación que se realiza por medio de ondas radioeléctricas.
Rayo cósmico	Partículas que llegan desde el espacio y bombardean constantemente la Tierra desde todas direcciones.

Reflectancia	Capacidad de un cuerpo de reflejar la luz.
Resistencia	Fuerza que se opone a la acción de otra fuerza.
Resonador	Cuerpo sonoro que entra en vibración cuando recibe ondas de determinada frecuencia y amplitud.
Robot	Máquina automática programable capaz de realizar determinadas operaciones de manera autónoma y sustituir a los seres humanos en algunas tareas.
Robótica	Técnica que se utiliza en el diseño y la construcción de robots y aparatos que realizan operaciones o trabajos, generalmente en instalaciones industriales y en sustitución de la mano de obra humana.
Satélite	Cuerpo celeste opaco que gira alrededor de un planeta primario.
Secuencia	Serie de elementos que se suceden unos a otros y guardan relación entre sí.
Semiconductor	Que tiene una resistencia, apreciablemente más alta que la de los buenos conductores e inferior a la de los aisladores, la cual decrece al aumentar la temperatura.
Señal	Onda electromagnética que permite transmitir información a un circuito electrónico.

Sensor	Dispositivo que capta magnitudes físicas (variaciones de luz, temperatura, sonido, entre otros) u otras alteraciones de su entorno.
Sobrecarga	Efecto de saturación u ocupación completa de una cosa que impide su funcionamiento normal.
Sobretensión	Exceso de tensión eléctrica en un circuito.
Soldadura	Acción de soldar o soldarse.
Software	Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.
Torque	Fuerza aplicada en una palanca que hace rotar alguna cosa.
Transistor	Pequeño dispositivo semiconductor que cierra o abre un circuito o amplifica una señal; se emplea en circuitos integrados para generar <i>bits</i> (ceros y unos).
Triangulación	Operación que consiste en elegir distintos puntos de una porción de la superficie terrestre y, considerándolos como vértices de triángulos, medir los elementos necesarios para determinar estos triángulos y poder fijar así la posición de los vértices y la distancia que los separa.
Voltaje	Potencial eléctrico, expresado en voltios.

Wifi

Tecnología que permite conectar diferentes equipos informáticos a través de una red inalámbrica de banda ancha.

RESUMEN

Se plantea el desarrollo de un autómata portador de objetos capaz de ser guiado de modo manual y modo automático con apoyo de un teléfono inteligente, utilizando para ello señales inalámbricas, proponiendo diversas tecnologías con el mismo objetivo y desarrollando un sistema de seguimiento automático triangulando o detectando señales inalámbricas. Después se realizará la selección y discriminación de la tecnología más factible en cuanto a prestaciones, características, alcance, costo, entre otros.

El acompañante es diseñado para el soporte, transporte, seguridad y movilidad de cualquier tipo de equipaje u objetos que se encuentren dentro de dimensiones de 45cm² simétricos. Se trata de robot semiautónomo pensado para personas con discapacidad, para ser utilizado en centros comerciales, aeropuertos o cualquier otro lugar abierto, en donde la manipulación de estos objetos represente situación de riesgo o por facilidad del transporte de los mismos por períodos de tiempo extensos.

OBJETIVOS

General

Realizar diseño de robot seguidor autómatas portador de objetos, utilizando triangulación de niveles de potencia de señales inalámbricas, para personas con discapacidad.

Específicos

1. Presentar los fundamentos, bases teóricas y conceptos que involucra la realización de un robot seguidor autómatas.
2. Definir los componentes electrónicos necesarios para realizar prototipo.
3. Presentar la discriminación de tecnologías inalámbricas para la realización de un seguidor autómatas.
4. Presentar la propuesta de diseño.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el hombre ha buscado la forma de facilitar las tareas cotidianas, llevando la invención a niveles inimaginables, los cuales progresan incesantemente de manera descomunal. Los avances tecnológicos en el campo de la electrónica y robótica avanzan día con día a pasos agigantados, teniendo un gran impacto en la vida humana, trayendo y exigiendo cambios drásticos en la mentalidad, forzando a su vez la mejora incesante sobre las aplicaciones y prototipos desarrollados.

En la actualidad, los autómatas que implementan tecnologías utilizando comunicación inalámbrica en su desarrollo han tomado gran importancia, ya que la tecnología ha despertado el interés de muchos en cuanto a cómo poder comunicar diferentes equipos sin la necesidad de utilizar redes cableadas; es decir, cómo entablar comunicación de manera inalámbrica. La comunicación inalámbrica empieza a surgir a finales del siglo XVIII, alrededor del año 1880, luego de la invención de la bombilla. Graham Bell y Summer Tainter inventan el primer aparato de comunicación sin cables, el fonógrafo, permitiendo transmitir sonido por medio de emisión de luz. Ocho años más tarde el físico alemán Rudolf Hertz realiza la primera transmisión sin cables por medio de ondas electromagnéticas, apoyándose de un oscilador y un resonador, siendo el emisor y receptor respectivamente. Seis años después las ondas de radio ya eran un medio de comunicación inalámbrico. Durante la Segunda Guerra Mundial se produjeron avances notorios para esta tecnología.

La comunicación inalámbrica facilita la operación, reduce costos de instalación y brinda mayor comodidad al usuario, dando facilidad de moverse.

Esto no significa que la tecnología inalámbrica, en un futuro, remplazará a las redes cableadas, ya que estas últimas son más fiables y alcanzan una mayor velocidad de transmisión. Pero aun así no se puede descartar nada, ya que el avance de las tecnologías es un mundo desconocido, es decir, no se conocen las nuevas tecnologías que existirán en el futuro.

1. FUNDAMENTOS Y BASES TEÓRICAS

1.1. Antecedentes

1.1.1. Autómatas en la historia

En la antigüedad existían tareas repetitivas que realizaban los hombres, por ello se empezaron a crear artefactos para realizar tareas diarias y cotidianas facilitando el día a día. Así es como el hombre comienza a crear máquinas capaces de imitarlo. Sin embargo, no todas las creaciones tenían una utilidad, se crearon artefactos que únicamente realizaban movimientos repetitivos o para emitir sonidos con la única finalidad de entretenimiento.

Los primeros ejemplares de autómatas se registran en la antigua Etiopía, en el año 1500 a. C. Amenhotep construye una estatua de Memon, el rey de Etiopía, emitiendo sonidos cuando la iluminan los rayos del sol al amanecer. King-su Tse, en China, en el año 500 a. C. inventa una urraca voladora de madera y bambú y un caballo de madera que saltaba. En el año 400 a. C., Archytar de Tarento construye un pichón de madera suspendido de un pivote, el cual rotaba con un surtidor de agua o vapor, simulando el vuelo.

Entre los años 262 y 190 a. de C., Apolonio de Perga inventó una serie de autómatas musicales impulsados por agua. En el año 62, Herón de Alejandría describe múltiples aparatos en su libro *Autómata*, entre ellos un mecanismo que utilizaba fuego para abrir y cerrar de forma automática las puertas de un templo. En la civilización china antigua, en el siglo II, fue construido un mecanismo por Zhang Heng, capaz de detectar terremotos y que señalaba la dirección del

epicentro. Se publicó un tratado sobre tecnologías de los autómatas: *Karaturikimonkaganigusa*, en el que se evidencia que se construyeron muñecas capaces de moverse en todas las direcciones y de llevar una taza de té o de *sake* a su amo.

En 1540, el artesano Giannello Della Torre construyó un mecanismo con la forma de una joven que tocaba el laúd. La máquina caminaba en línea recta y en círculo, tocaba de verdad el laúd pulsando las cuerdas y giraba la cabeza para mirar en derredor. Isaac y Salomón Caus se hicieron famosos por su pájaro mecánico que, sobre una rama, cantaba gracias a un mecanismo hidráulico.

Pierre Jacques-Droz, en el año 1774, creó un autómata llamado El Escritor, que es lo más parecido a los autómatas en la actualidad. Este autómata no tiene un comportamiento totalmente definido, sino que es parcialmente programable: moja la pluma en un tintero y escribe una verdadera carta, compuesta por una cincuentena de caracteres que pueden ser decididos por el usuario.

1.1.2. Antecedentes del diseño

Mario Alberto González Torres (2009), para obtener el título de Ingeniero en Robótica Industrial del Instituto Politécnico Nacional, presenta el trabajo de grado titulado *Inteligencia artificial en robots móviles de competencia para su aplicación en el diseño de un agente inteligente en un robot seguidor de trayectorias*.

Felipe A. Cid Burgos y Javier A. Melillanca Cerón (2010) presentan el trabajo para optar al título de Ingeniero en Electrónica de la Universidad Austra

de Chile, con el título *Diseño y programación de algoritmos de control en robots móviles. Estudio y aplicación a ROBOTINO - FESTO*. Diseñando algoritmos de control se realiza un estudio del software y hardware del robot, conociendo las limitaciones. Para ello se genera una serie de explicaciones y un *set* de ejemplos de diferentes funciones y especificaciones del equipo, detallando varias medidas a considerar durante la utilización y puesta en marcha, como también problemas de conectividad, precisión y diferencias de valores en los ejemplos realizados.

Luis Gerardo Contreras Arredondo (2014) presenta el proyecto *Diseño y construcción de robot seguidor de línea*, para obtener el título de Técnico Superior Universitario en Mecatrónica, Área de Automatización. El proyecto consistió en el diseño de un robot seguidor de línea, presentando el diagrama de flujo de la programación, la elaboración de circuitos en PCB y los materiales que conforman el robot. El proyecto cumplió con la mayoría de los alcances establecidos como la velocidad del robot, las dimensiones y la tensión máxima de trabajo, quedando pendiente la elaboración de dirección, base, barra y tapas.

1.2. Bases teóricas y definiciones

1.2.1. Electricidad

Así se le denomina al fenómeno físico que se manifiesta por un flujo de cargas eléctricas en fenómenos naturales tales como los rayos y los fenómenos estáticos provocados por la inducción electromagnética o flujo de la corriente eléctrica.

1.2.1.1. Carga eléctrica

La carga eléctrica es una propiedad de la materia, se origina en el átomo, y el átomo a su vez se subdivide en partículas subatómicas: el neutrón, el electrón y el protón, estos dos últimos son partículas subatómicas cargadas que manifiestan fuerzas de atracción y repulsión, mientras que el neutrón es una carga neutra.

Una carga puede expresarse como positiva o negativa, los electrones y protones tienen signos contrarios, se acostumbra asumir las cargas de los protones positivas y, por el contrario, las cargas de los electrones negativas, debido a el trabajo de Benjamín Franklin, en el año 1760, *La teoría del fluido único*, en la cual afirmaba que el fenómeno eléctrico era causado por la electricidad positiva (protón), un fluido eléctrico, y la ausencia del mismo se consideraba una electricidad negativa (electrón). Las fuerzas manifestadas entre cargas se rigen por el signo de las mismas; las cargas del mismo signo se repelen y las cargas de signo contrario se atraen.

1.2.1.2. Corriente eléctrica

Una corriente eléctrica es producida por cualquier partícula eléctricamente cargada y en movimiento, por lo general son los electrones, es decir que la corriente eléctrica se define como el movimiento de cargas eléctricas. El Sistema Internacional (SI) establece que la intensidad de una corriente eléctrica se mida en amperios (A).

En la antigüedad, debido a que se había definido positivos los protones y negativos los electrones, se pensaba que el sentido convencional de la circulación de la corriente eléctrica es del polo positivo al negativo.

Posteriormente, estudiando el comportamiento de este fenómeno en los metales, se descubre que los portadores de carga son los electrones y que se desplazan en sentido contrario al sentido convencional establecido.

1.2.1.3. Campo eléctrico

Un campo eléctrico se produce por un cuerpo cargado en el espacio, este produce una fuerza que ejerce sobre otras cargas ubicadas dentro del área del campo físico producido. El campo eléctrico varía en el espacio y se define la intensidad en cualquier punto como la fuerza por unidad de carga que percibe una carga si estuviera en el punto de análisis.

1.2.1.4. Potencial eléctrico

Una carga que se encuentra ubicada dentro del área de un campo eléctrico experimenta una fuerza, la carga necesita realizar un trabajo para ir en contra de la fuerza del campo eléctrico. A tal energía, necesaria para realizar el trabajo, se le conoce como potencial eléctrico, por lo general se mide en voltios, donde un voltio es el potencial que necesita un julio de trabajo para atraer una carga de un culombio desde el infinito.

1.2.2. Magnetismo

El magnetismo es considerado un fenómeno natural, consiste en las fuerzas de atracción y de repulsión que ejercen los objetos entre sí y sobre otros materiales. Comúnmente se les denomina *imanes* a todos aquellos materiales que presentan propiedades magnéticas, sin embargo, todos los materiales son de alguna manera influidos cuando se encuentran inmersos en

un campo magnético. El magnetismo es uno de los dos componentes de la radiación electromagnética.

1.2.3. Electromagnetismo

El electromagnetismo unifica los fenómenos eléctricos y magnéticos anteriormente descritos. Gracias a Michael Faraday y James Clerk Maxwell, se formulan cuatro ecuaciones diferenciales vectoriales, relacionando el campo eléctrico y magnético, conocidas también como las ecuaciones de Maxwell, ya que él fue el primero en formularlas.

- Ley de Gauss para el campo eléctrico: el flujo de ciertos campos a través de una superficie cerrada es directamente proporcional a la magnitud de las fuentes de dicho campo que hay en el interior de la superficie encerrada.

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{encerrada}}{\epsilon_0}$$

- Ley de Gauss para campo magnético: en una superficie cerrada no se podrá encerrar una fuente o sumidero de campo magnético, esto denota que no existe un monopolo magnético.

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

- Ley de Faraday-Lenz: en un circuito cerrado existe una diferencia de potencial entre dos puntos, a esta diferencia se le conoce como fuerza electromotriz, y esta misma es proporcional a la rapidez con que cambia

en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie, es decir, un campo magnético que varía en el tiempo induce un campo eléctrico.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

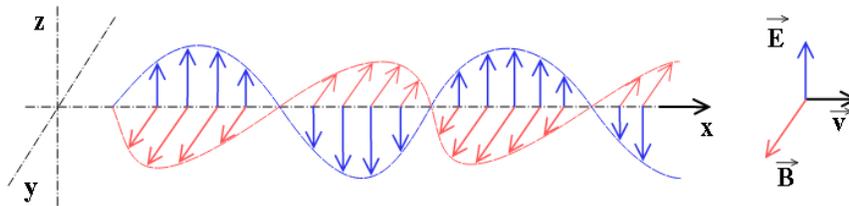
- Ley de Ampere: se relaciona un campo magnético estático con la causa del mismo, es decir se tiene una relación con un campo magnético cerrado inmóvil y la corriente eléctrica que no varía en el tiempo, posteriormente luego de investigaciones se consideran campos que sí varían a través del tiempo, por lo cual Maxwell corrige y adapta la ecuación para campos estáticos y no estáticos, ya que se analiza tanto en la corriente de conductores como en la corriente de desplazamiento, por lo cual se afirma que un campo eléctrico que varía en el tiempo induce un campo magnético siendo consecuente con el principio de la conservación de la carga.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

1.2.4. Ondas electromagnéticas

Se producen por la radiación electromagnética, que es un tipo de campo electromagnético variable, es decir que las ondas electromagnéticas se propagan mediante la combinación y oscilación de los campos eléctricos y magnéticos a través del espacio, transportando energía de un lugar a otro. Se manifiestan de diversas maneras, por el calor radiado, luz visible, rayos X o gamma, por lo cual no necesitan un medio material para poder propagarse, propagándose aproximadamente a la velocidad de la luz (300 000 km/s).

Figura 1. **Onda plana linealmente polarizada**



Fuente: *Radiación electromagnética*.

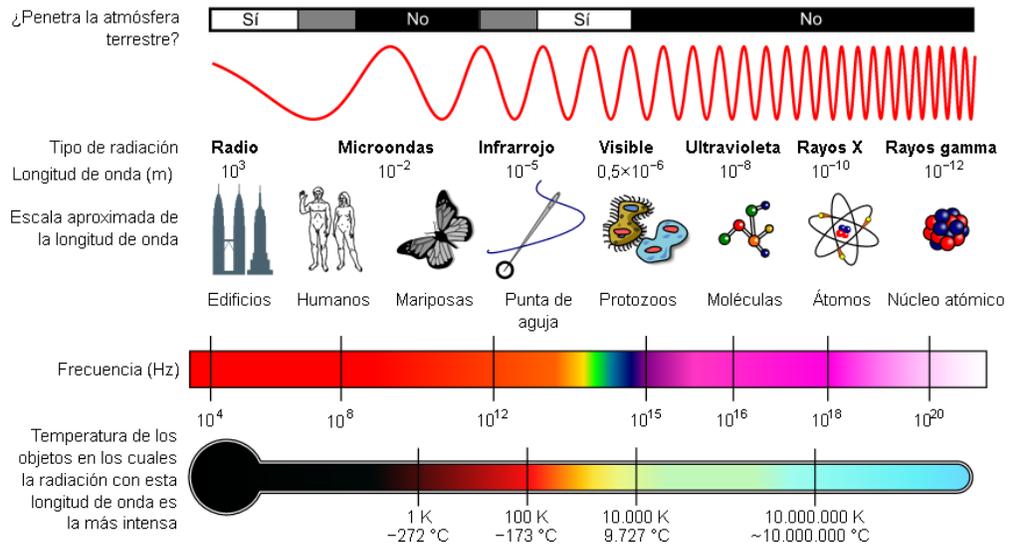
upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Onde_electromagnetique.svg. Consulta: 17 de julio de 2016.

1.2.4.1. **Espectro electromagnético**

Determina la clasificación y distribución energética de todo el conjunto de las ondas electromagnéticas que existen. Se determina cada grupo mediante la observación por un espectroscopio que permite realizar medidas sobre el mismo, obteniendo la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación. El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos cósmicos, pasando por la luz visible, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio.

En telecomunicaciones se clasifican las ondas mediante un convenio internacional de frecuencias en función del empleo al que están destinadas, como se observa en la tabla I. Además se debe considerar un tipo especial llamado microondas, que sitúan su rango de frecuencias entre 1 GHz y 300 GHz, es decir, longitudes de onda de entre 30 centímetros a 1 milímetro, que tienen la capacidad de atravesar la ionósfera terrestre, permitiendo la comunicación satelital.

Figura 2. Diagrama del espectro electromagnético



Fuente: *Espectro electromagnético*.

upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/EM_Spectrum_Properties_es.svg. Consulta: 17 de julio de 2016.

Tabla I. Clasificación de las ondas en telecomunicaciones

Sigla	Rango	Denominación	Empleo
VLF	10 kHz a 30 kHz	Muy baja frecuencia	Radio gran alcance
LF	30 kHz a 300 kHz	Baja frecuencia	Radio, navegación
MF	300 kHz a 3 MHz	Frecuencia media	Radio de onda media
HF	3 MHz a 30 MHz	Alta frecuencia	Radio de onda corta
VHF	30 MHz a 300 MHz	Muy alta frecuencia	TV, radio
UHF	300 MHz a 3 GHz	Ultra alta frecuencia	TV, radar, telefonía móvil
SHF	3 GHz a 30 GHz	Súper alta frecuencia	Radar
EHF	30 GHz a 300 GHz	Extremadamente alta frecuencia	Radar

Fuente: elaboración propia.

1.2.5. Electrotecnia

Disciplina tecnológica que estudia las aplicaciones de la electricidad y abarca el estudio de los fenómenos eléctricos y electromagnéticos desde el punto de vista de la utilidad práctica de la electricidad, incluidos en tres grandes campos de conocimiento y experiencia:

- Los conceptos y leyes científicas que explican el funcionamiento y comportamiento de los distintos aparatos, receptores y máquinas eléctricas.
- Las leyes, teoremas principios y técnicas de análisis, cálculo y predicción del comportamiento de los circuitos
- Los elementos con los que se montan y construyen circuitos, aparatos y máquinas eléctricas.

1.2.5.1. Circuito

Es una red de componentes eléctricos o electrónicos que contienen al menos una trayectoria cerrada. Existen varios tipos de circuitos y dependen del tipo de componentes que utilizan para ser estudiados. Entre mayor sea la complejidad tanto del circuito como de sus componentes y alimentación, será más complejo el nivel de análisis que se realizará para determinar el comportamiento del mismo. Se utilizan métodos en el dominio de la frecuencia para determinar su respuesta en corriente directa, alterna y transitoria.

1.2.5.1.1. Componentes

- Componente: dispositivo con dos o más terminales en el que puede fluir interiormente una carga.

- Nodo: punto de un circuito donde concurren más de dos conductores.
- Rama: conjunto de todas las ramas comprendidas entre dos nodos consecutivos.
- Malla: cualquier camino cerrado en un circuito eléctrico.
- Fuente: componente que se encarga de transformar algún tipo de energía en energía eléctrica.
- Conductor: comúnmente llamado cable; es un hilo de resistencia despreciable (idealmente cero) que une los elementos para formar el circuito.

1.2.5.1.2. Clasificación

Los circuitos eléctricos se clasifican de la siguiente forma:

- Tipo de señal
 - Corriente continua
 - Corriente alterna

- Tipo de régimen
 - Corriente periódica
 - Corriente transitoria
 - Permanente

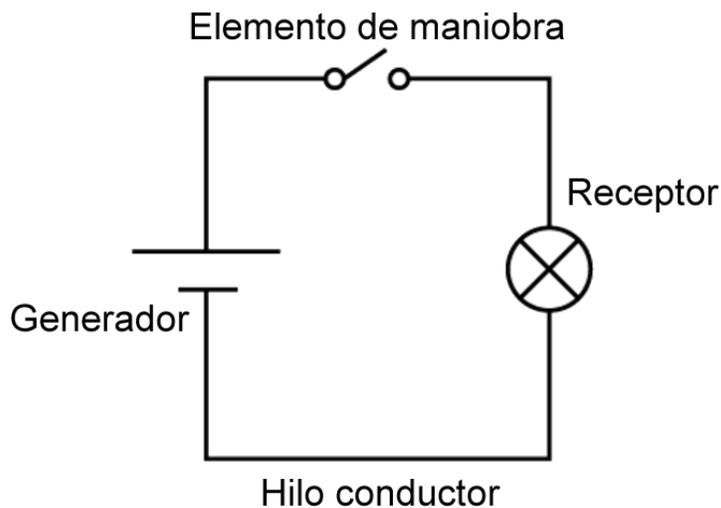
- Tipo de componentes
 - Eléctricos
 - Electrónicos
 - Digitales
 - Analógicos
 - Mixtos

- Tipo de configuración
 - Serie
 - Paralelo
 - Mixto

1.2.5.1.3. Estructura

En la figura 3 se ejemplifican los elementos básicos que contiene un circuito:

Figura 3. **Estructura básica de un circuito eléctrico**



Fuente: elaboración propia.

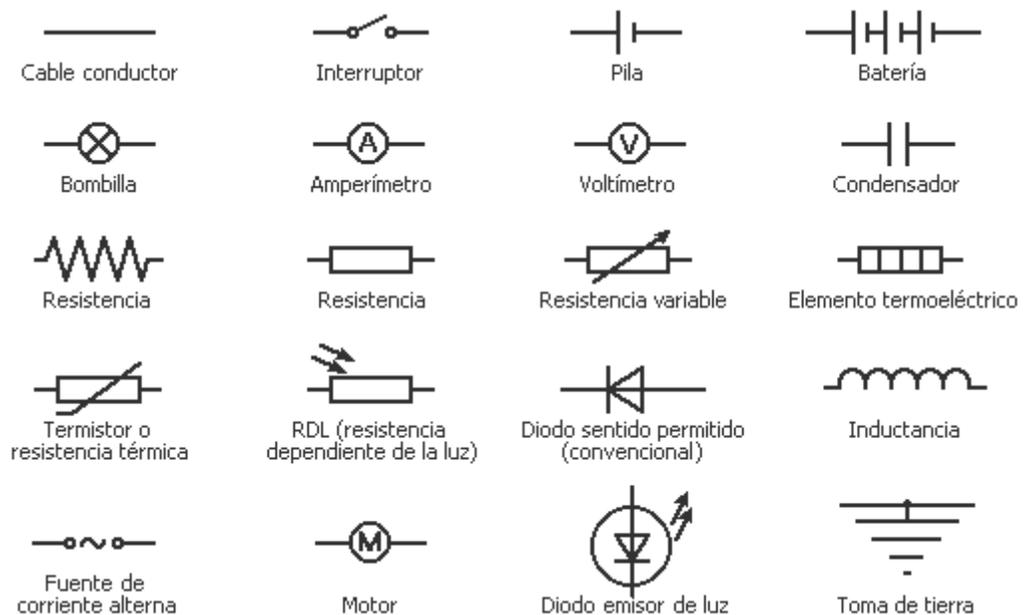
- Generador o acumulador: aquellos elementos capaces de mantener una diferencia de potencial entre los extremos de un conductor.
- Hilo conductor: formado por un material conductor, opone poca resistencia al paso de la corriente eléctrica; su resistencia es despreciable.

- Receptores: elementos eléctricos o electrónicos capaces de aprovechar y convertir el paso de la corriente eléctrica para cumplir una funcionalidad dentro del circuito.
- Elementos de maniobra: dispositivos que permiten manipular el circuito cuando se necesite.

1.2.5.1.4. Simbología

Para simplificar el dibujo de los circuitos eléctricos se utilizan esquemas con símbolos. Los símbolos representan los elementos del circuito de forma simplificada y fácil de dibujar. En la figura 4 se enlistan varios símbolos de los elementos más comunes que se usan en los circuitos eléctricos.

Figura 4. **Simbología básica de componentes eléctricos**



Fuente: *Circuitos eléctricos*. www.areatecnologia.com/electricidad/imagenes/simbolos-circuitos.gif. Consulta: 17 de julio de 2016.

1.2.5.2. Medidas eléctricas

Las mediciones eléctricas se realizan al medir parámetros eléctricos en un sistema o circuito, ya sea usando transductores o algunas propiedades físicas propias de los componentes en tales escenarios, y otras que pueden convertirse en señales eléctricas que a su vez pueden ser registradas y medidas. Es decir que las mediciones eléctricas son métodos, dispositivos o cálculos que se utilizan para medir cantidades eléctricas.

1.2.5.2.1. Unidades

A continuación se relacionan las magnitudes eléctricas fundamentales y sus representaciones correspondientes, así como sus fórmulas, las cuales constituyen la expresión del comportamiento en sistemas y dispositivos eléctricos.

Tabla II. **Magnitudes eléctricas fundamentales**

Magnitud	Unidad	Símbolo	Fórmula
Carga (C)	Culombio	C	$C = A \cdot s$
Tensión (V)	Voltio	V	$V = I \cdot R$
Intensidad (I)	Amperio	A	$I = V/R$
Resistencia (R)	Ohmio	Ω	$R = V/I$
Potencia (P)	Vatios	W	$P = V \cdot I$
Energía (E)	Vatios hora	Wh	$E = P \cdot t$
Conductancia (S)	Siemens	S	$S = 1/\Omega$
Capacitancia (C)	Faradio	F	$F = A \cdot s/V$
Inductancia (L)	Henrio	H	$H = V \cdot s/A$

Fuente: elaboración propia.

1.2.5.2.2. Instrumentos

Los instrumentos de mediciones eléctricas y electrónicas son dispositivos que se utilizan para determinar las magnitudes eléctricas de componentes y circuitos de manera precisa. Generalmente se utilizan para constatar el buen funcionamiento de los equipos, como mantenimiento preventivo, o para determinar y diagnosticar fallas en circuitos. Existen muchos tipos de instrumentos diferentes, siendo los siguientes los más destacados:

Tabla III. **Instrumentos para mediciones eléctricas**

Instrumento	Funcionalidad
Galvanómetro	Indica el paso de corriente eléctrica en un circuito para medir precisamente la intensidad del mismo.
Amperímetro	Mide la intensidad de corriente que circula por un circuito eléctrico.
Voltímetro	Mide la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico cerrado.
Óhmetro	Mide la resistencia eléctrica en ohmios.
Multímetro	Tiene la capacidad de medir distintas magnitudes en el mismo aparato, por lo general las más comunes son las de voltímetro, amperímetro y óhmetro.
Osciloscopio	Representa gráficamente las señales eléctricas que pueden variar en el tiempo, permite visualizar fenómenos transitorios así como formas de ondas en circuitos eléctricos y electrónicos y, mediante su análisis, se puede diagnosticar con facilidad cuáles son los problemas del funcionamiento de un determinado circuito.
Analizador de espectro	Permite visualizar en una pantalla las componentes espectrales de las señales presentes en la entrada.

Fuente: elaboración propia.

1.2.6. Componentes electrónicos

Los dispositivos que forman parte de un circuito electrónico por lo general tienen dos terminales metálicas y se encapsulan por protección. Se encuentran diseñados para ser conectados entre ellos mediante una placa de prueba, o bien, mediante soldadura en una placa impresa. Se diferencian de los elementos electrónicos, ya que estos son modelos únicamente, en cambio los componentes son los dispositivos físicos.

1.2.6.1. Clasificación

Según su estructura física:

- Discretos: son aquellos que están encapsulados uno a uno, como es el caso de los resistores, condensadores, diodos, transistores, entre otros.
- Integrados: forman conjuntos más complejos, como por ejemplo un amplificador operacional o una puerta lógica, que pueden contener desde unos pocos componentes discretos hasta millones de ellos. Denominados circuitos integrados.

Según el material base de fabricación:

- Semiconductores
- No semiconductores

Según su funcionamiento:

- Activos: proporcionan excitación eléctrica, ganancia o control.

- Pasivos: son los encargados de la conexión entre los diferentes componentes activos, asegurando la transmisión de las señales eléctricas o modificando su nivel.

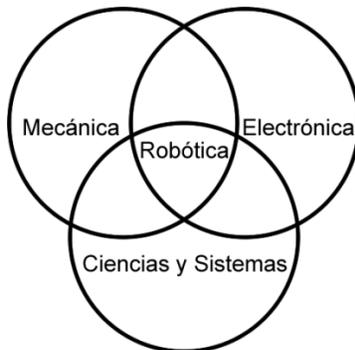
Según el tipo de energía:

- Electromagnéticos: aquellos que aprovechan las propiedades electromagnéticas de los materiales.
- Electroacústicos: transforman la energía acústica en eléctrica y viceversa.
- Optoelectrónicos: transforman la energía lumínica en eléctrica y viceversa.

1.2.7. Robótica

Ciencia multidisciplinaria, se apoya en muchas ramas, tales como la física, matemática, mecánica, electrónica e incorpora avances tecnológicos en programación artificial, inteligencia artificial, visión artificial y microelectrónica. El campo de aplicación y estudio se basa en la simplificación de las tareas humanas por medio de mecanismos autómatas. Siendo un poco más específicos, la robótica se apoya en tres pilares, los cuales son las ramas de la ingeniería mecánica, electrónica y la ingeniería en ciencias y sistemas, esquematizado como lo muestra la figura 5.

Figura 5. **Relación de robótica e ingeniería**



Fuente: elaboración propia.

1.2.7.1. Definición de un robot

Para el término robot, Ollero establece que “confluyen las imágenes de máquinas para la realización de trabajos productivos y de imitación de movimientos y comportamiento de seres vivos”. El término robot aparece en 1921 en la obra teatral R.U.R, del novelista Karel Capek, en cuyo idioma la palabra *robot* significa fuerza de trabajo o servidumbre.

1.2.7.2. Tipos de robot

- Robot androide: con una apariencia y un comportamiento muy cercano a los seres humanos. Este tipo de robots no existen actualmente, únicamente son elementos ficticios. Su uso es netamente en la ciencia ficción, más su concepción viene dada desde tiempos remotos.
- Robot móvil: cuentan con sistemas de sensores que captan la información del exterior, determinando así su capacidad de movimiento. Además, son herramientas muy útiles para investigar zonas muy distantes o difíciles de acceder, es por eso que se los utiliza para realizar

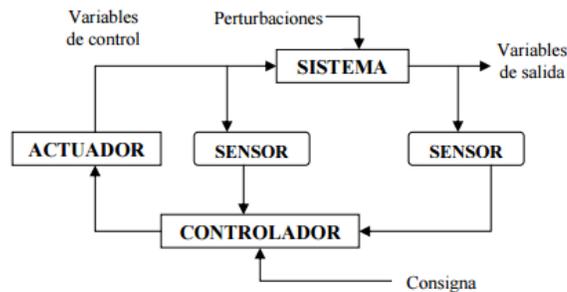
exploraciones espaciales o submarinas. En la actualidad se busca que el robot tenga suficiente inteligencia como para reaccionar y tomar decisiones basándose en observaciones de su entorno, sin suponer que este entorno es perfectamente conocido. La autonomía de un robot móvil se basa en el poder navegar de forma automática, en este tipo de robots el problema más grave es la planificación de la ruta y evitar obstáculos no esperados.

- Robot industrial: maquinarias estructuradas clasificadas por su autonomía entre los robots. Son electrónicos o mecánicos y se los utiliza para la realización de los procesos de manipulación o fabricación automáticos.

1.2.8. Sistema de control

Un sistema de control se caracteriza por elementos que pueden influir en el funcionamiento de un sistema en general, mediante sensores tomando muestras tanto de las variables de salida como de entrada y retroalimentando el sistema, su finalidad es conseguir, mediante la manipulación de las variables de entrada, un dominio exacto de las variables de salida.

Figura 6. **Esquema general de un sistema de control**



Fuente: *Sistemas de control*. upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf.
Consulta: 20 de julio de 2016.

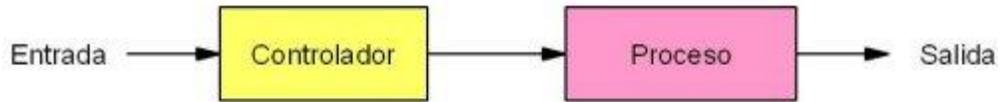
1.2.8.1. Clasificación

Los sistemas de control se clasifican en dos grupos: los sistemas de control no automático, conocidos como de lazo abierto, y los automáticos o retroalimentados, conocidos como de lazo cerrado.

1.2.8.1.1. Lazo abierto

Sistema en el cual la acción de control en cierto modo es independiente de la salida. Este tipo de sistemas, por lo general, utiliza un regulador o actuador con el fin de obtener la respuesta deseada. Como estrategia de control se puede compensar los retrasos inherentes del sistema anticipándose a las necesidades. Sin embargo, ese tipo de sistemas es insuficiente debido a los errores y a la estimación de las perturbaciones.

Figura 7. **Sistema en lazo abierto**



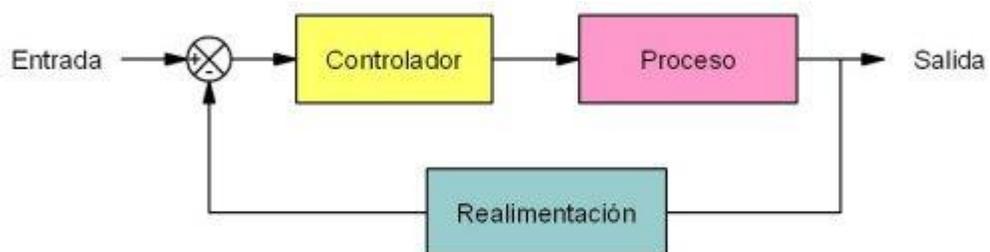
Fuente: BUENO, A. *Unidad didáctica "Control y Robótica"*.

www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html. Consulta: 20 de julio de 2016.

1.2.8.1.2. **Lazo cerrado**

Sistema en el cual la acción depende de la salida. Dicho sistema utiliza un sensor que detecta la respuesta real para compararla, entonces, con una referencia a manera de entrada, por esta razón los sistemas a lazo cerrado se denominan retroalimentados y son la estrategia de control mayormente utilizada, ya que se aplica el término de comparar. En este caso la salida real se compara con respecto al comportamiento deseado, de tal forma que si el sistema lo requiere se aplica una acción correctiva sobre el proceso.

Figura 8. **Sistema en lazo cerrado**



Fuente: BUENO, A. *Unidad didáctica "Control y Robótica"*.

www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html. Consulta: 20 de julio de 2016.

1.2.8.1.3. Discreto

Sistemas que realizan control cada cierto tiempo, es decir que el modo de retroalimentación se realiza en intervalos de tiempo, comúnmente se utilizan en sistemas digitales por su fácil programación y aprovechamiento de recursos.

1.2.9. Sensores

Dispositivo eléctrico, electrónico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas en valores medibles de dicha magnitud para el análisis del desempeño en un sistema. Esto se realiza en tres fases:

- El fenómeno físico es captado por el sensor y lo convierte en una señal, pudiendo ser esta eléctrica o mecánica.
- La señal es acondicionada para ser posible la lectura fácil en el sistema.
- Se transforma la señal, amplificando la señal de salida y convirtiéndola de una señal análoga a una señal digital.

1.2.9.1. Tipos de sensores

En apoyo para que el robot realice sus tareas con precisión y exactitud es necesario que tenga conocimiento tanto de su estado como del entorno. Existen dos tipos de sensores dentro de los robots:

- Internos: integrados en la propia estructura mecánica del robot, dan información del estado del robot: fundamentalmente de la posición, velocidad y aceleración de las articulaciones. Entre ellos están los sensores de posición, velocidad, aceleración, potenciómetros, entre otros.

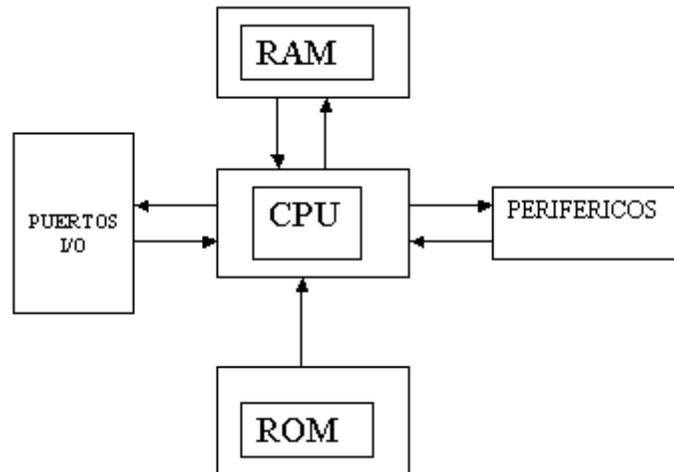
- Externos: dan información del entorno y ambiente del robot: alcance, proximidad, contacto, fuerza, entre otros. Se utilizan para guiado de robots, para identificación y manipulación de objetos. Entre estos se puede mencionar sensor de proximidad, de detección de objetos, de distancias, óptico, de contacto, piezoeléctrico, entre otros.

1.2.10. Microcontroladores

Tienen circuito integrado que internamente contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos. Internamente estas partes se encuentran interconectadas y en conjunto forman lo que se conoce como microcomputadora o microcontrolador. Todo microcontrolador requiere de un programa para que realice una función específica, este se almacena normalmente en la memoria ROM. Se tiende a confundir con un microprocesador, sin embargo, la diferencia es que este aún no está listo para interactuar con los periféricos de entrada y salida, por lo cual necesita circuitos especiales y con ello se forma un microcontrolador. Entre las características básicas y ventajas que ofrecen los microcontroladores están:

- Tamaño compacto.
- Simplifican el diseño de circuitos electrónicos.
- Permiten modularidad y flexibilidad, ya que en el mismo circuito se pueden realizar diversas tareas modificando la programación.

Figura 9. **Esquema de un microcontrolador**



Fuente: PICmicro®. *Microcontrolador*. www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm.

Consultado: 20 de julio de 2016.

1.2.11. **Motores**

Los motores son mecanismos que accionan un eje por energía mecánica que fue transformada, por energía eléctrica, química, potencial, entre otros, es decir que para poder funcionar se obtuvo energía de alguna fuente para poder crear la fuerza del movimiento. Como pueden obtener energía de distintas fuentes, pueden dividir los motores según su tipo de fuente de energía (se extiende la explicación para los motores de fuente de energía eléctrica).

Los motores eléctricos son dispositivos que transforman energía eléctrica en energía mecánica, gracias a la acción de los campos magnéticos que se crean en las bobinas que los componen. La energía eléctrica hace que los campos magnéticos desplacen fuerzas que dan como resultado el

desplazamiento del rotor que, al estar fijado al estator, se desplaza en un movimiento giratorio.

1.2.11.1. Corriente directa (DC)

Son los motores comúnmente conocidos, se componen principalmente del estator que da soporte mecánico al aparato y contienen los devanados principales y el rotor, generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo. Existen variaciones en el diseño del motor, entre ellos se puede mencionar los motores con estator bobinado, de imán permanente, sin escobillas, entre otros.

1.2.11.2. Paso a paso

Dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de avanzar una serie de grados (pasos) dependiendo de sus entradas de control, ya que existe el motor unipolar, que suele tener 5 ó 6 cables, teniendo uno común, y el motor bipolar generalmente con 4 cables. Necesita secuencias para ser accionado y puede alternar entre velocidad y fuerza dependiendo de la secuencia.

1.2.11.3. Servomotor

Similar a un motor DC, sin embargo, este tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, además puede ser controlado tanto en velocidad como en posición. Es posible su modificación para obtener un motor DC, perdiendo la capacidad de ubicación pero conservando la fuerza, velocidad y baja inercia.

1.2.12. Comunicación inalámbrica

Comunicación sin la necesidad de utilizar un medio de propagación físico, sino que se utiliza el espacio por medio de ondas electromagnéticas que viajan por el mismo. Para que exista una comunicación inalámbrica es necesario un transmisor que emite la señal a propagarse por el espacio y el receptor que recibe la señal y la decodifica para luego ser utilizada.

La mayor efectividad y alcance logrado entre dos equipos inalámbricos es cuando no existen obstáculos entre sus antenas, lo cual es conocido en el ambiente técnico como "línea de vista". Si no hay paredes, edificios o cerros, la comunicación será más efectiva. El objetivo de la comunicación inalámbrica es ir evitando los cables en todo tipo de comunicación, no solo en el campo informático sino en televisión, telefonía, seguridad, entre otros. Como con cualquier tipo de comunicación existen interferencias, de las cuales se puede mencionar los hornos de microondas, que utilizan radiaciones en el espectro de 2,45Ghz, es por ello que las redes y teléfonos inalámbricos que utilizan el espectro de 2,4Ghz se ven afectadas.

1.2.13. Batería

Se le conoce como batería, pila o acumulador al dispositivo que consiste en una o varias celdas, por lo general electroquímicas, que convierten la energía química almacenada en electricidad. Las baterías poseen polaridad: positivo (cátodo) y negativo (ánodo). Esto permite que los iones se muevan entre los electrodos y la corriente fluya fuera de la batería.

Existen varios tipos de baterías, la subdivisión más importante es la capacidad de poder ser reutilizada o no, es decir que pueden ser baterías no recargables (celdas primarias) o baterías recargables (celdas secundarias):

- Las celdas primarias transforman la energía química en energía eléctrica, de manera irreversible, cuando esta se agota la energía no puede ser fácilmente restaurada o devuelta a la celda electroquímica por medios eléctricos.
- Las celdas secundarias pueden ser recargadas, es decir, pueden revertir sus reacciones químicas mediante el suministro de energía eléctrica a la celda, hasta el restablecimiento de su composición original o muy cercana a esta.

2. COMPONENTES ELECTRÓNICOS PROPUESTOS

2.1. Componentes para triangulación de seguimiento

Los componentes electrónicos y módulos electrónicos capaces de realizar o simular la función de un sistema de seguimiento autónomo son diversos, se tendrán ventajas y desventajas entre los mismos al utilizarlos para cumplir tal objetivo.

2.1.1. Infrarrojo

Es un dispositivo optoelectrónico, es decir, que combina la óptica con la electrónica. Su funcionamiento está relacionado directamente con la luz. Este dispositivo logra captar el nivel de radiación electromagnética infrarroja que se encuentran a línea vista del mismo. La luz infrarroja pasa desapercibida para el ojo humano debido a que se encuentra en el rango del espectro electromagnético por debajo de la luz visible y es emitida por todos los cuerpos pero en diferentes cantidades.

Figura 10. **Sensor infrarrojo transmisor y receptor**



Fuente: *Sensor infrarrojo*. www.electrotekmega.com/tienda/emisor-receptor-infrarrojo/ Consulta:

14 de agosto de 2016.

Para captar las señales emitidas por luz infrarroja es necesaria la utilización de un fotodiodo o un fototransistor, la diferencia es que el fototransistor es más sensible que el fotodiodo por el efecto de la ganancia del transistor, ya que su construcción está basada como tal. Existen diversos tipos de configuraciones y aplicaciones, entre los tipos de sensores infrarrojos están los siguientes:

- Sensores pasivos: únicamente se encuentra el receptor con el objetivo de medir las radiaciones infrarrojas que proveen los objetos en el ambiente.
- Sensores activos: se componen tanto de un emisor como de un receptor, es decir de un diodo led emisor de luz infrarroja y un fototransistor funcionando conjuntamente, de manera que se encuentren próximos entre ellos. Su funcionamiento y respuesta dependerá de la configuración a la cual estén dispuestos en el circuito integrado.

Un sensor infrarrojo se puede configurar de las siguientes maneras:

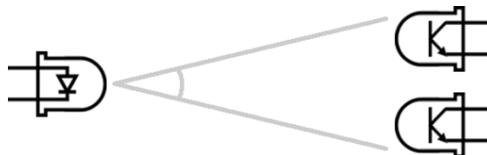
- Reflexivo: se encuentra el led infrarrojo posicionado apuntando hacia la misma dirección del fototransistor, de modo que recibe el reflejo de la luz emitida, por lo que utilizan una superficie para poder reflejar la señal. La mayor desventaja es la sensibilidad que se percibe del ambiente, además que la respuesta varía según la superficie a la cual apunta. Puede mejorar incorporando circuitos de filtrado reduciendo los errores.
- Alineados o de ranura: tanto el led emisor de luz infrarroja como el receptor se encuentran de frente a una misma altura, detectan el paso de luz infrarroja, simulando un interruptor y detectando si existe una interrupción por la obstrucción de la luz.

- Modulados: añaden al emisor o transmisor una señal modulada, de modo que reduzca el error por el ambiente, transmitiendo a una frecuencia y teniendo cierta dependencia de la iluminación.

La configuración apta para el diseño de seguimiento automático debe ser de tipo activo. La configuración alineada se incluye como opción por tratarse de una triangulación, también se tiene la opción de la configuración reflexiva utilizando una detección a distancia, como apoyo para detectar la distancia a la cual se encuentra el objeto a seguir, por lo cual permitirá predecir los movimientos del mismo cuando se encuentre de frente entre transmisor y receptor. Si se utilizan ambas configuraciones conjuntamente, con ello se reducirá el error por los diversos factores que afectan a esta tecnología.

El diseño físico para el posicionamiento tanto del transmisor como del receptor de la señal infrarroja se muestra en la figura 11. El sensor infrarrojo tiene un ángulo de alcance y, al trabajar conjuntamente con un sensor de distancia, podrá predecir la distancia a la cual se encuentre el objeto.

Figura 11. **Diseño físico para triangulación con sensor infrarrojo**



Fuente: elaboración propia.

Para la triangulación de la señal cuando se encuentre el transmisor alineado con los receptores, como se muestra en la figura 11, se tendrá un nivel de potencia de la señal equitativamente en los dos receptores, en el instante

que el transmisor tenga un movimiento hacia un costado, como se muestra en la figura 12; se reflejará en el receptor de manera que la potencia de la señal llegará más en un receptor que en el otro, denotando el movimiento hacia donde se encuentre el receptor que percibe la señal más baja y deberá estabilizarse.

Para mejorar la precisión de los movimientos del objeto a seguir en el diseño se debe incluir un par de arreglos de sensores infrarrojos, es decir que deben existir dos emisores, simulando la derecha y la izquierda y a su vez cuatro receptores, dos para cada transmisor, para tener una mayor exactitud y abarcar mejor el área de cobertura que se tendrá para realizar los movimientos y no perderse cuando se realice un giro bruscamente. Además, para medir la distancia a la cual se encuentra el emisor, se puede hacer la ubicación mediante la potencia a la cual se está recibiendo la señal. Es necesario calibrar para cada receptor, sabiendo que los componentes no son simétricos, o bien, se puede incluir el sensor infrarrojo de distancia para omitir circuitería y tener un dato más preciso.

Figura 12. **Movimiento del transmisor del sensor infrarrojo**



Fuente: elaboración propia.

Para el diseño utilizando este tipo de tecnología no se transmite ningún tipo de información, se requiere únicamente de una señal continua. Cabe mencionar que el receptor no interpretará una señal digital, ya que interesa

recolectar la potencia de recepción, por lo cual debe ser una señal análoga, y para tratar de reducir las distorsiones por el ambiente se colocará un filtro capaz de recibir la señal transmitida por el led infrarrojo y rechazar las demás por factores externos.

2.1.2. Ultrasonico

También conocidos como sensores de proximidad, detectan objetos a distancias cortas y largas, dependiendo de las especificaciones de los mismos. Su funcionamiento se basa en la emisión de un sonido a una frecuencia específica por medio del espacio o del aire, midiendo el tiempo de respuesta que se tarda la misma en retornar, luego se convierte en una señal eléctrica y posteriormente se acopla para la lectura. Tiene la ventaja de que detecta todo tipo de material que pueda reflejar la señal enviada, sin embargo, tiene la desventaja de tener una zona ciega comprendida entre el lado sensible del detector y el alcance mínimo en el que ningún objeto puede detectarse de forma fiable. El ultrasonido opera a una frecuencia mayor a los 20kHz, superando el rango de audición del oído humano, por lo cual no se puede escuchar por encontrarse fuera del espectro, que comprende entre 20Hz a 20kHz aproximadamente.

Figura 13. **Sensor ultrasónico HC-SR04**



Fuente: *Sensor ultrasónico HC-SR04*. bot-boss.com/wp-content/uploads/2016/03/Pines-Sensor-HC-SR04.png. Consulta: 15 de agosto de 2016.

En la figura 13 se encuentra el sensor ultrasónico más común y sencillo para utilizar, el sensor HC-SR04, que será el propuesto para discriminar ante las otras tecnologías a comparar. Este sensor posee 4 terminales, utiliza 2 de alimentación y 2 para recabar la información, siendo estas:

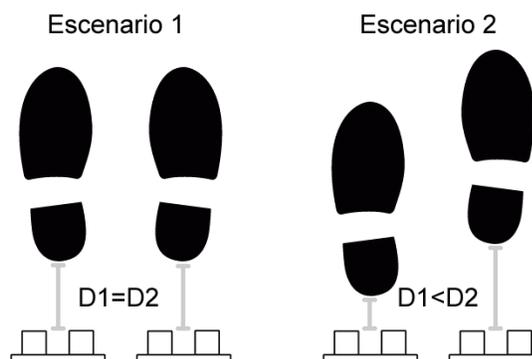
- Trig: señal de entrada para activar la señal ultrasónica
- Echo: señal de salida, tiempo que tarda en regresar el pulso

Para utilizar el sensor es necesaria la intervención de un microcontrolador, para el manejo de la activación y recepción de la señal de salida. Para activar el mismo bastará con la activación por un pulso de 10µs como mínimo y con ello se activará el sensor para que pueda propagar la onda ultrasónica, luego se tendrá el resultado en el pulso del eco.

Ahora bien, para aplicar el sensor ultrasónico en el diseño se utilizarán 2 modos de tal manera que se explicará cada uno. Se necesitarán 2 sensores ultrasónicos como mínimo para cada modo, en la figura 14 se observa la primera propuesta, con 2 escenarios, según la utilización de los sensores ultrasónicos midiendo la distancia que exista para cada paso que se diera, sin

embargo, no se limita únicamente para pasos, se puede acoplar para alguna superficie de tal modo que exista el reflejo del sonido ultrasónico. En el primer escenario se puede observar el punto de equilibrio del sistema en el cual no existe movimiento, cuando se realice un avance se producirá el cambio de distancia, denotando del lado del sensor una distancia mayor donde exista el movimiento como se observa en el segundo escenario, y nuevamente buscando el punto de equilibrio para realizar el seguimiento.

Figura 14. **Sensor ultrasónico seguidor de paso**

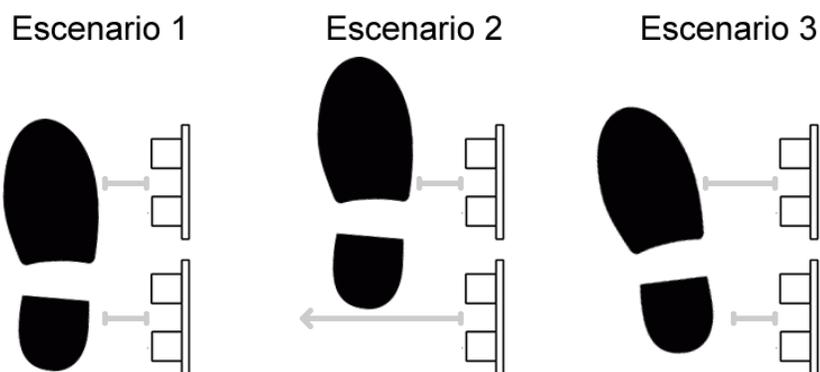


Fuente: elaboración propia.

Otra solución propuesta para el seguimiento se detalla en la figura 15. Se puede lograr un seguimiento lateral, en esta propuesta se tienen tres escenarios. En el primer escenario se observa la posición en el punto de equilibrio, en la cual ambos sensores se encuentran midiendo una distancia similar. En el segundo escenario se observa el movimiento hacia adelante, en el primer sensor no se registra un notable cambio, pero en el segundo sensor se obtiene un cambio brusco, puede llegar hasta no obtener medida alguna devolviendo un parámetro erróneo, por lo cual intentará avanzar hasta llegar al punto de equilibrio nuevamente tratando de igualar la medida del primer sensor. En el escenario 3 se observa una diferencia notoria entre las distancias de los

sensores, es decir que se tiene un giro; cuando mayor sea la distancia será un giro hacia la izquierda; cuando menor sea la distancia será un giro hacia la derecha. De la misma manera se intentará realizar el giro para que el primer sensor pueda llegar al punto de equilibrio y concluir con el seguimiento.

Figura 15. **Sensor ultrasónico seguidor lateral**



Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que ninguno de estos modos utiliza la triangulación, pero son útiles al momento de realizar un seguimiento automático comparando los resultados que se reflejen entre los sensores.

2.1.3. Radiofrecuencia

El espectro de radiofrecuencia se sitúa en el espectro electromagnético entre los 3kHz y 300Ghz, abarcando gran parte de la comunicación inalámbrica que se utiliza en la actualidad, es decir en las radiocomunicaciones, en la radioastronomía, radares para medir distancias, altitudes, entre otros, en medicina (resonancias magnéticas) y muchas más aplicaciones.

Existe un sinfín de módulos de radiofrecuencia en el mercado, la mayoría son diseñados para transmitir información digital. Por estar inmersos en un mundo saturado de radiofrecuencia existen distorsiones que pueden generar errores al momento de transmitir la información, por ello se codifica la información modulando la señal con una portadora, tal como la modulación por desplazamiento de amplitud (ASK), modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), modulación por desplazamiento de fase (PSK). Para lograr el objetivo del diseño y obtener señales de radiofrecuencia, las cuales proveen información de ubicación respecto la propagación de la señal, se escogen los módulos inalámbricos capaces de transmitir información de posición utilizando el nivel de potencia recibida de la señal. A continuación se presenta un ejemplo.

2.1.3.1. Módulo wifi ESP8266

El módulo está compuesto por componentes de alto rendimiento e integración, proporciona la capacidad de incluir tecnología wifi dentro de otros sistemas funcionando de manera independiente a un bajo costo y requiriendo un mínimo de espacio y energía. El módulo ESP8266EX puede alojar una aplicación y arrancar directamente desde una memoria *flash* externa, integrando un caché para mejorar el rendimiento, además como alternativa puede actuar como un adaptador e interactuar vía protocolo SPI, SDIO, UART, I2C. Integra conmutadores de antena, amplificadores de potencia de bajo ruido, filtros, módulos de administración de energía y requiere el mínimo de circuitería externa debido a lo completo que fue estructurado (como se observa en la figura 20) el diagrama de bloques del módulo. A menudo se integra con los sensores externos y otros dispositivos de aplicación específica a través de sus terminales GPIO.

El módulo wifi ESP8266 es muy similar a utilizar módulos *bluetooth*, tales como el HC-05 y HC-06, siendo dirigidos por comandos de texto AT, vía puerto serial. Los comandos e información básica de algunos comandos se enlistan en la tabla IV.

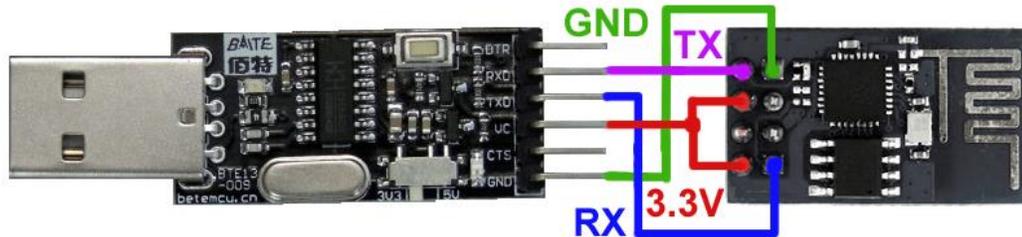
Tabla IV. **Comandos básicos de texto AT para ESP8266**

Comando	Descripción	Parámetros	Respuesta
AT	Test de comunicación	-	ready AT OK
AT + RST	Reinicio de módulo	-	OK
AT + CIOBAUD?	Tasa de baudios	-	CIOBAUD: 9600
AT + CIOBAUD=X		9600,19200...115200	OK
AT + CWMODE?	Modo wifi	-	CWMODE:X
AT + CWMODE=X		1:Sta 2:AP 3:ambos	OK
AT + CWLAP	Obtiene listado de redes wifi	-	+CWLAP:(0,"SSID",RSSI)
AT + CWJAP?	Información de red	-	+CWJAP:(0,"SSID",RSSI)
AT + CWJAP="SSID","PW"	Conexión hacia una red wifi	SSID: nombre de red. PW: contraseña de red	OK
AT + CWQAP	Desconexión hacia la red wifi	-	OK
AT + CIFRS	Obtiene dirección IP	-	IP192.168.X.X

Fuente: elaboración propia.

En la figura 16 se muestra el diagrama de conexión del módulo ESP8266 con un módulo USB serial para interactuar con una *hyperterminal*, por lo general se configura a una velocidad de 9 600 o 115 200 baudios, e ingresando comandos de texto AT se recibe la respuesta. En la tabla IV se enlistan algunos comandos básicos para el ESP8266, así mismo los parámetros necesarios si se solicitan y la respuesta esperada.

Figura 16. Diagrama básico de conexión ESP8266 con puerto serie



Fuente: elaboración propia.

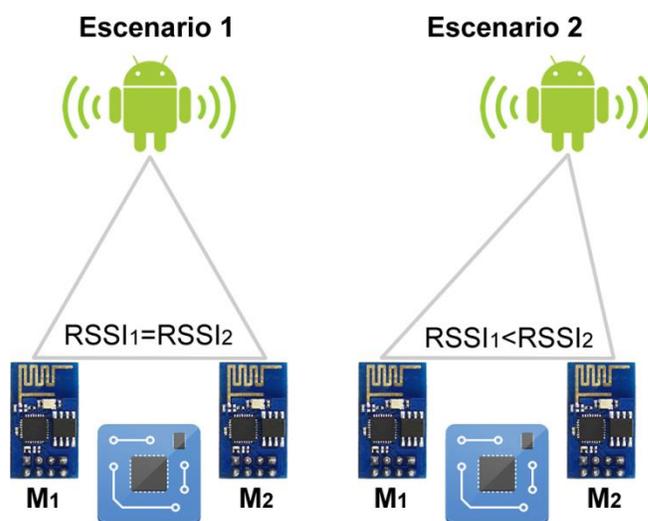
Sin embargo, para el diseño es necesario el uso intermedio de un controlador que interactúe de forma automática con el módulo wifi ES8266, es decir que ingrese comandos de texto AT e interprete las respuestas brindadas por este. Cabe mencionar que el CI que incorpora el módulo, el CI ES8266EX, puede ser programado y funcionar de forma independiente supliendo el controlador intermedio.

Ahora bien, luego de conocer el módulo wifi, se explica la forma en la que puede triangular la señal y poder ubicarse el robot en el espacio utilizando dichos módulos. Se deben utilizar dos módulos wifi además de la intervención de un *smartphone* o teléfono inteligente, ya que ofrece la utilidad de poder propagar una red wifi utilizándolo como punto de acceso. No es necesario contar con datos móviles para tal finalidad, únicamente se tendrán dos valores que proporcionan el punto de acceso, los cuales son el nombre de la red conocida como SSID y la potencia a la cual recibe tal señal, siendo esta el nivel de RSSI. Tal como lo muestra la figura 17 se delimitan dos escenarios posibles.

En el primer escenario se encuentra el sistema en el punto de equilibrio, en el cual se tendrá el mismo nivel de RSSI para ambos módulos, en cambio el

segundo escenario muestra un ligero movimiento del punto de acceso hacia la derecha, el cual provoca un cambio entre el nivel de recepción de la señal, siendo el RSSI mayor en el módulo hacia donde existe el movimiento, por lo que se tendrá que buscar nuevamente el punto de equilibrio para quedar como el primer escenario y así lograr el seguimiento automático. Para saber el nivel de RSSI que se tiene sobre una red, se tendrá que conectar a la red del teléfono inteligente e ir consultando periódicamente con el comando AT+CWJAP? denotado en la tabla IV. Para el procesamiento y comparación de datos se utiliza el microcontrolador intermedio.

Figura 17. **Triangulación de la señal emitida por un *smartphone***



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.2. Módulo Beacon

Los *Beacons* son dispositivos de bajo consumo basados en la tecnología de última generación de *bluetooth* 4.0 conocida como BLE, *Bluetooth Low Energy*, que se conectan con los dispositivos vía *bluetooth* emitiendo una señal

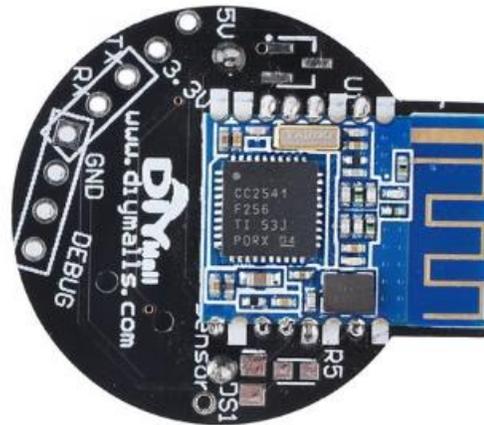
de *broadcast*, para transmitir mensajes *push* y avisos, sin la previa necesidad de una sincronización con tal aparato. Esta tecnología surge como alternativa a la tecnología NFC, sin embargo supera su capacidad y es utilizada de muchas más formas.

Utilizan una batería de reloj, pueden llegar a funcionar hasta 2 ó 3 años, dependiendo de la configuración que se les de, pueden ser expuestos a la humedad, temperaturas altas y son fáciles de instalar. Al transmitir su señal a una frecuencia muy baja, no representarán carga para la batería o alimentación del receptor. Además son sistemas de geolocalización, ya que funcionan con proximidad y no tienen que estar fijos a ningún lugar como las coordenadas de un GPS. Los *Beacons* funcionan en tres regiones:

- Inmediata: cuando el usuario se encuentra a centímetros de uno
- Cercana: a unos metros
- Lejana: más de diez metros

Para utilizar el módulo *bluetooth* Beacon se necesita únicamente una batería de reloj, ya que se puede decir que el módulo consta de una placa para soporte de la batería de reloj y un módulo HM-11 BLE que utiliza el CI CC2541, tal como lo muestra la figura 23. Y para el manejo de la información se utilizan de la misma forma por ser módulos *bluetooth* con comandos de texto AT, únicamente tendrán pequeñas variantes pero se sigue el mismo estándar.

Figura 18. **Módulo *bluetooth* Beacon**



Fuente: *DIYmall Bluetooth Beacon*. www.hackster.io/bigboystoys13/diyhall-bluetooth-beacon-getting-started-656c6b. Consulta: 15 de agosto de 2016.

Tiene un sinnúmero de aplicaciones en el campo de la electrónica y la robótica, se acoplará al diseño para la triangulación de la señal, aumentando la precisión.

Se necesitarán dos módulos *bluetooth* Beacon y un microcontrolador intermedio, el cual pueda realizar las consultas hacia los módulos del nivel de potencia que maneja el emisor. En este caso sigue siendo el teléfono inteligente utilizando el módulo *bluetooth* que incorpora por ser de esta misma tecnología. Podrá presentarse la dificultad si el módulo *bluetooth* del teléfono inteligente no pueda vincularse con más de un dispositivo; será un tanto más complicado, ya que se incorpora un nuevo comando AT para los Beacon, el comando AT+RSSI?, el cual devuelve el nivel de potencia pero únicamente funciona al estar vinculados los dispositivos, si no es así se tendrá que enlistar los dispositivos que se tienen cerca y luego filtrarlos de manera que se tendrá que interpretar por medio de un programa la información que devuelva el listado para así obtener el nivel de RSSI del dispositivo cercano. También se propone la utilización de una base estación iBeacon, supliendo el teléfono inteligente, ya

que soporta aún más comandos de texto AT, con ello se vuelve más accesible tanto de espacio como de precio, y también puede requerir un dispositivo extra para triangular la distancia.

2.2. Componentes y módulos para el funcionamiento del autómeta

2.2.1. Microcontrolador

Para la selección del controlador apto para el manejo del robot seguidor automático, triangulando una señal inalámbrica como referencia, se necesita cumplir varios requerimientos para asegurar el funcionamiento del mismo. Entre los requerimientos mínimos que debe cumplir el controlador están los siguientes:

- Entradas y salidas digitales de propósito general: utilizadas para el manejo de la información para reconocimiento de su entorno, por ejemplo la interacción con los sensores ultrasónicos; son necesarios 2 pines de salida para activar cada uno y 2 pines de entrada para la lectura de la medición.
- Pines para generar señales PWM: necesarios para graduar la velocidad de movimiento de las llantas del robot, 2 para uso del movimiento hacia delante y 2 para el movimiento hacia atrás, pudiendo utilizarse 2 únicamente variando el diseño del circuito de potencia.
- Pines analógicos de entrada (ADC), para convertir señales analógicas a digitales, se utilizarán para monitorear el nivel de carga que poseen las baterías. Se tiene previsto utilizar 2 baterías, una para alimentar los circuitos electrónicos y la otra para el manejo de los motores.

- Puertos seriales: necesarios para la comunicación con los módulos inalámbricos, 2 módulos para la triangulación y 1 módulo para la comunicación con el teléfono inteligente.
- Soporte de comunicación I2C: interacción con la pantalla LCD, GLCD, entre otros. Cabe mencionar que existen módulos intermedios capaces de convertir el bus de datos conformado por más de 8 pines en 2 pines de información, utilizando el protocolo I2C, ahorrándose cableado y puertos, con la misma eficacia y funcionalidad.

Se propone el controlador Mega o Due del vendedor Arduino, ambos con características similares, debido a que es complicado encontrar un controlador capaz de tener 3 o más puertos seriales a la vez, que sea económico y confiable, e inclusive este controlador no puede interactuar con más de 2 puertos seriales simultáneamente debido a que solo posee un puerto serial físico y los demás son programados, únicamente existe una interrupción a la cual responde cuando se detecta una señal serial, que es la del puerto físico. No es necesaria la comunicación simultánea de los dispositivos, se consultará cada módulo por separado.

2.2.2. Circuito de potencia

Encargado de controlar el consumo de corriente que se suministrará hacia los motores, dependerá de las especificaciones de los motores que se utilicen para su selección, además de tomar en cuenta que su control se basará en una señal modulando el ancho de pulso, es decir una señal de PWM, y por ello debe soportar frecuencias medias, es decir que no solo se debe basar en su capacidad de amplificar el paso de corriente sino también debe tener respuesta a altas frecuencias. Los requisitos que debe cumplir en el circuito de potencia a diseñarse o módulo a escoger son los siguientes:

- Cambio de giro
- Soportar altas corrientes continuas
- Trabajar a frecuencias altas

El módulo BTS7960B ofrece las siguientes características:

- Corriente de operación: 43A
- Corriente continua: 30A
- Rango de voltaje de operación: 5,5V - 27V
- Configuración: puente H
- Frecuencia máxima para PWM: 25 KHz
- Voltaje de alimentación: 3,3V - 5V

Además cuenta con 2 protecciones, paso de corriente de señal de error por sobrecalentamiento, el cual se apagará por protección, y el aislamiento entre voltaje de alimentación y operación de motores para protección por sobrecorrientes. Con ello se deja holgada la capacidad en potencia para tener espacio de escoger lo motores a conveniencia, sin preocuparse de las limitaciones de los mismos por factores de corriente y voltaje.

2.2.3. Motores

Será necesario utilizar 2 motores de potencia, es aconsejable utilizar motores de corriente continua que operen a 12V o, dependiendo del tipo de batería a utilizar, el motor a escoger debe brindar un alto desempeño en velocidad y torque. El torque puede variar dependiendo de la cantidad de peso que se desea soportar, y se debe tomar en cuenta que se tiene una holgura en el módulo de potencia, por lo cual no se debe sobrepasar el 60 % de la capacidad total que brinda el circuito de potencia. Se estaría contemplando un

motor con operación en corriente continua alrededor de los 20^a. Al necesitar fuerza y velocidad se recomienda usar motores utilizados para silla de ruedas, en este caso se propone el motor DG6135, que ofrece las siguientes características:

- Torque: 0,56N·m
- Velocidad: 80RPM - 300RPM
- Corriente continua: 18A
- Voltaje de operación: 12 VDC - 36 VDC
- Potencia de salida: 80W-600W

2.2.4. Fuente de alimentación

Se separa la alimentación del circuito electrónico y el circuito de potencia que servirá exclusivamente para accionar los motores. Se realiza con el objetivo de independizar el circuito de control y el de potencia, para no generar sobrecargas y picos de corriente que pueden afectar en los circuitos electrónicos de control por ser muy sensibles a daños, además, las baterías para los motores deben ser baterías de arranque y tracción, debido al esfuerzo y potencia que deben realizar. Se recomienda utilizar baterías de ácido plomo de 12V 7Ah para los motores, por suministrar intensidad de corrientes altas y porque su tamaño no es significativo para la potencia suministrada. Para el circuito de control se recomienda utilizar baterías de ion de litio, con características de 12V 1000mAh aproximadamente, ya que el circuito de control no demandará el uso de mucha corriente y estas baterías poseen una eficiencia energética del 90 %, superan los 400 ciclos de carga, son pequeñas, ligeras y con un alto rendimiento.

2.2.5. Sensor ultrasónico

Para detectar y evadir objetos se utilizan sensores de proximidad para alertar al robot y determinar si se realiza un cambio en su trayectoria, para no detener el avance y evitar riesgos y daños que pueda producir una colisión. El sensor más común entre los sensores ultrasónicos es el HC-SR04, por su bajo costo, calidad y confiabilidad, explicada en el inciso 2.1.2 de este capítulo, como propuesta para configurarlo de modo para realizar el seguimiento automático.

2.2.6. Sensor de voltaje

Sirve de apoyo para mantener el control del nivel de voltaje de las baterías del sistema, con la finalidad de monitorear para evitar la interrupción de su operación, procurando así mantener el nivel de la batería para su desempeño óptimo. El sensor de voltaje se realiza con la toma de datos de los bornes, cada batería por un conversor de señal analógica a digital, en este caso utilizando una entrada ADC del controlador y un divisor de voltaje, debido a que los niveles lógicos de un controlador se encuentran en el rango de 0 a 5V, de tal manera que se realiza una proporción para la toma de datos. El ADC que posee el Arduino es de 10bit, que significa que tiene la capacidad de detectar 1 024 de los niveles analógicos discretos.

2.2.7. Tablero

Integrar un indicador visual para interpretar el estado del sistema. Con apoyo de una pantalla LCD y varios indicadores led se puede monitorear visualmente el desempeño del sistema del robot, con la finalidad de verificar si no existe algún malfuncionamiento dentro del mismo y poder tomar acciones

preventivas antes de un suceso no deseado. Entre los puntos que se puede llegar a monitorear están los siguientes:

- Nivel de voltaje de baterías y corriente suministrada.
- Conexión exitosa con teléfono inteligente.
- Amenazas de colisión, mostrando distancia entre objetos detectados para evadir.
- Distancias de triangulación.
- Alertas de desconexión por abandono de robot.

3. DISCRIMINACIÓN DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS USADAS EN AUTÓMATAS

Cada tecnología inalámbrica posee características especiales que la aventajan respecto a las demás, marcando así una diferencia, sin embargo, también poseen limitaciones que dificultan su aplicación, por lo cual es necesario enlistar las ventajas y desventajas que tienen cada una, para realizar elección de la mejor tecnología a utilizar.

Los sensores infrarrojos en general son utilizados en la industria, debido a la accesibilidad por tener un circuito de bajo costo y simple, por ser conformados por componentes electrónicos sumamente económicos, que utilizan pocos requerimientos para ser implementados, ya que no requieren hardware especial y pueden ser incorporados sin dificultades, sin embargo, están propensos a la interferencia, por ser optoelectrónicos, ya que son sensibles a la luz directa e indirecta del sol, también a la niebla, el polvo, la polución y algunos factores del clima, siendo muy susceptibles al ambiente. No pueden configurarse en largas distancias, ya que son de corto alcance y se puede bloquear su transmisión con materiales. Además se tiene la ventaja que no requieren autorización especial en ningún país (excepto por los organismos de salud que limitan la potencia de la señal transmitida).

Los sensores de ultrasonidos son sensores de baja precisión. La orientación de la superficie a medir puede provocar que la onda se refleje, falseando la medición. Además, no resultan adecuados en entornos con gran número de objetos, dado que el sonido rebota en las superficies generando ecos y falsas mediciones. Tampoco son apropiados para el funcionamiento en

el exterior y al aire libre, sin embargo, es muy poco probable que tengan interferencia por fenómenos naturales, ya que poseen un circuito modulado a alta frecuencia, que los hace casi inmunes a los mismos, además que se encuentran fuera del rango audible del humano, por lo que no causarán incomodidad al usarlos. Además poseen un rango de alcance relativamente amplio, no dependen del material ni del color y son insensibles a la suciedad y el polvo.

La tecnología de radiofrecuencia puede transmitir a gran distancia, sin tener un eje de alineación entre emisor y receptor, puede traspasar cualquier superficie obteniendo una leve pérdida en la señal, dependiendo el grosor y material del obstáculo, únicamente puede operar a cierto rango de frecuencias, ya que se tienen normas para transmitir utilizadas por diversos estándares, lo cual hace que las mismas puedan tener interferencias entre ellas, sin embargo, al operar bajo estándares poseen diversos encabezados en señales digitalizadas y distintos canales para no tergiversar la información dentro de una misma área. Este caso es para el estándar wifi, rápido, versátil y fácil de instalar. El costo inicial es más elevado pero se tienen mejores beneficios a largo plazo y es una tecnología superior, ya que ha sido perfeccionada en los últimos años.

3.1. Especificaciones técnicas

Para contar con bases técnicas sobre el funcionamiento de los dispositivos, se recaba información acerca de la fabricación de los mismos en las hojas de datos proporcionadas por el fabricante o la casa de fabricación.

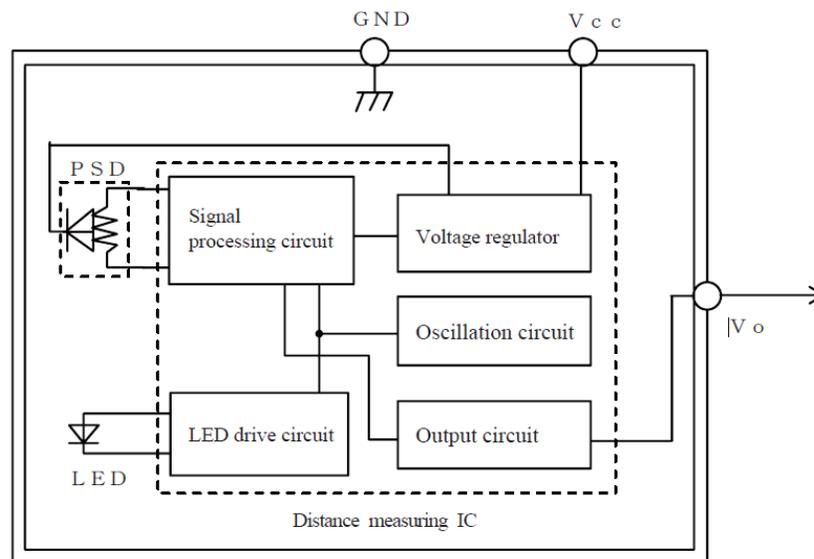
Las hojas de datos son documentos en los cuales el fabricante de cada dispositivo define las normas utilizadas y los parámetros eléctricos de

operación, así como rangos máximos y mínimos, aplicaciones y estudios que se utilizan para dar la idea del comportamiento y la tendencia del dispositivo.

3.1.1. Sensor infrarrojo Sharp GP2Y

La familia de sensores GP2Y pertenece a una gran variedad de sensores medidores de distancia, compuesta por una combinación integrada de PSD, IRED y el circuito integrado de medición de distancia, que consta de diversos circuitos: circuito de procesamiento de señales, de oscilación, de salida, controlador del IRED y regulador de voltaje, tal como lo ejemplifica el diagrama de bloques en la figura 19.

Figura 19. Diagrama de bloques de sensor infrarrojo Sharp GP2Y



Fuente: Sharp. *Electronic Components, Distance Measuring Sensor*. www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf. Consulta: 14 de abril de 2017.

La variedad de la reflectividad del objeto, la temperatura del ambiente y la duración de funcionamiento no influyen fácilmente en la detección de distancia debido a la adopción del método de triangulación. Este dispositivo emite el voltaje correspondiente a la distancia de detección, por lo que este sensor también puede utilizarse como sensor de proximidad. El número de parte a utilizar como prototipo es el sensor GP2Y0A21YK0F.

Figura 20. **Sensor de proximidad Sharp GP2Y0A21YK0F**

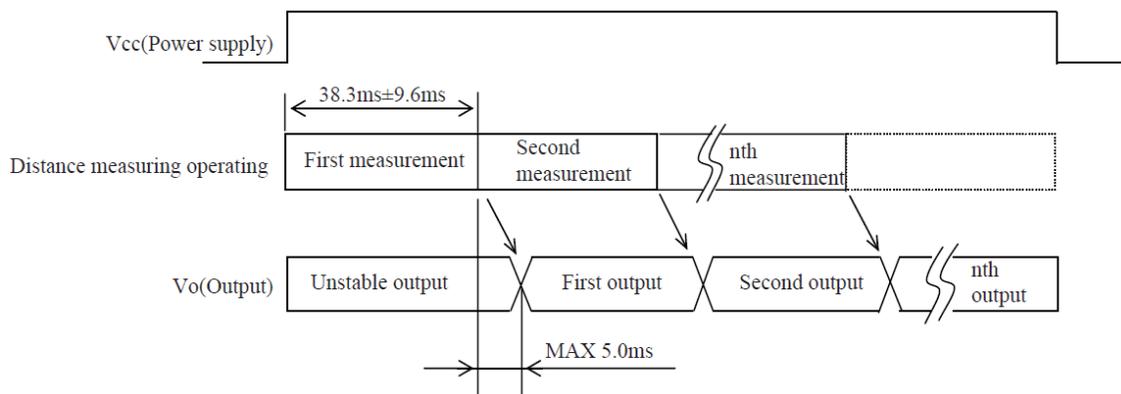


Fuente: Sharp. *Electronic Components, Distance Measuring Sensor*. www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf. Consulta: 14 de abril de 2017.

El sensor Sharp GP2Y0A21YK0F proporciona una lectura continua de la distancia medida, como una tensión analógica, dentro de un rango de 10 cm a 80 cm, según hoja de datos. La tensión de alimentación es de 5 voltios y la tensión de salida varía de 3,1V a 0,4V entre el margen mínimo y el máximo de la distancia medida, respectivamente. El encapsulado del GP2Y0A21YK0F es similar a otros sensores Sharp. La conexión se realiza mediante un conector JST de 3 cables, 2 son utilizados para la alimentación y uno para el voltaje de salida, cabe mencionar que el valor es actualizado cada 38,3 ms aproximadamente, como se observa en el diagrama del tiempo de respuesta en

la figura 21. Normalmente se conecta el conector de salida a la entrada de un convertidor analógico digital, el cual convierte la distancia en un valor analógico que luego puede ser procesado por el microprocesador.

Figura 21. **Tiempo de tiempo en respuesta de sensor Sharp GP2Y0A21YK0F**



Fuente: Sharp. *Electronic Components, Distance Measuring Sensor*. www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf. Consulta: 8 de mayo de 2017.

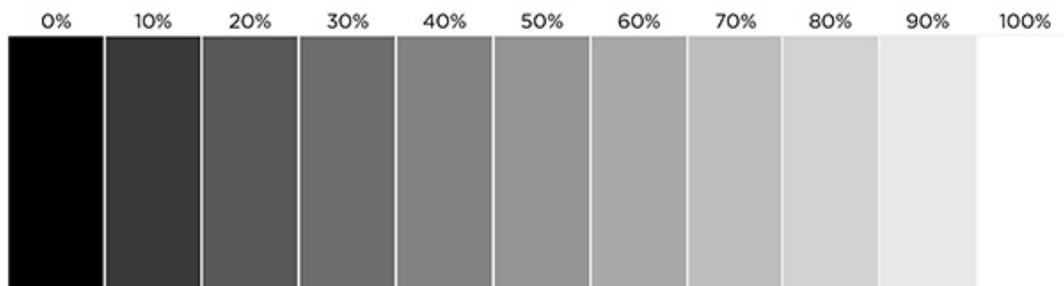
En la tabla V se enlistan las características de funcionamiento e información básica del sensor Sharp GP2Y0A21YK0F, según hoja de datos proporcionada por el fabricante, incluyendo las características eléctricas de operación, características electro-ópticas y rangos o condiciones de funcionamiento recomendadas.

Tabla V. **Características de sensor Sharp GP2Y0A21YK0F**

Voltaje de trabajo	5V DC (4,5V min – 5,5V max)
Consumo de corriente	30mA
Tipo de salida	Análoga
Distancia de detección	10 a 80 cm
Voltaje-Distancia	3,1VDC a 10cm hasta 0,4V a 80cm
Ángulo de trabajo	40° máximo
Tiempo de respuesta	38,3ms ± 9,6ms aproximadamente

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Escala de reflectancia de luz**

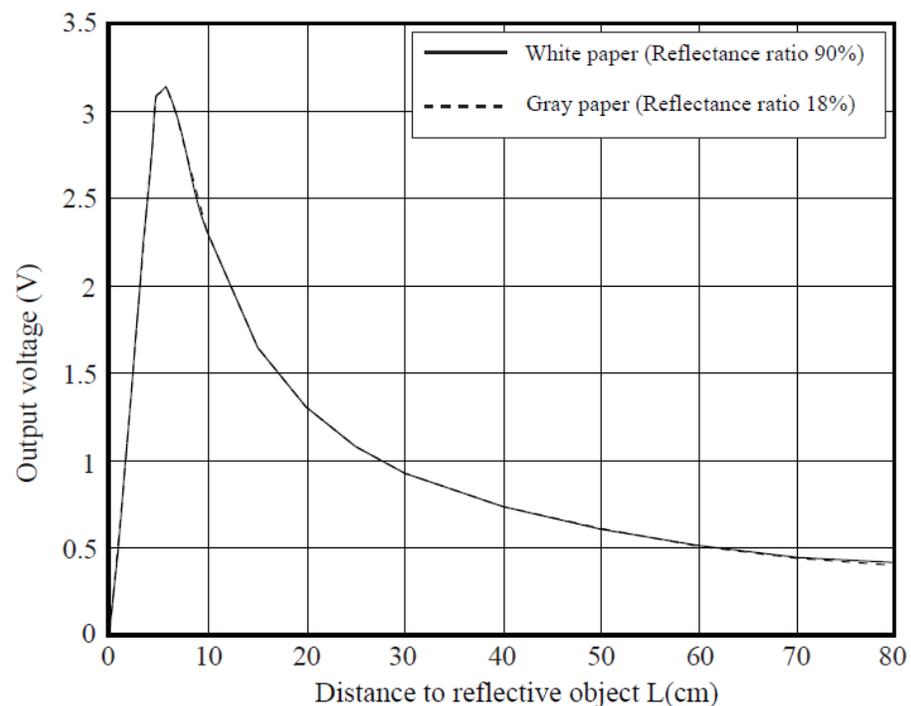


Fuente: *Light Reflectance Value*. www.diamondvogel.com/blog/light-reflectance-value-what-do-those-numbers-mean. Consulta: 10 de mayo de 2017.

Si bien se sabe que, por ser un sensor de luz infrarroja, se tiene el inconveniente de falsear los datos obtenidos debido a la reflexión variada para distintas superficies, en la figura 22 se grafica la escala de la reflectancia de la luz, acercándose a un 0 % para superficies especulares, como vidrio y metal pulido, así como para superficies que absorben la luz, siendo estos los materiales opacos o de colores oscuros, al contrario de las superficies difusas, como pintura mate blanca y colores claros, que tienen un índice de reflectividad alto, acercándose al 100 %. Sin embargo, el sensor Sharp GP2Y tiene la

peculiaridad de responder de una forma idéntica para el mayor rango de relaciones de reflexión, es decir que, no importando el mayor tipo de texturas o colores, el sensor obtendrá una distancia real, obteniendo una veracidad en objetos que tengan del 20 % al 90 % de reflectancia de luz, según la hoja de datos.

Figura 23. **Gráfica de respuesta de sensor GP2Y0A21YK0F. Distancia al objeto reflejante vs voltaje de salida**

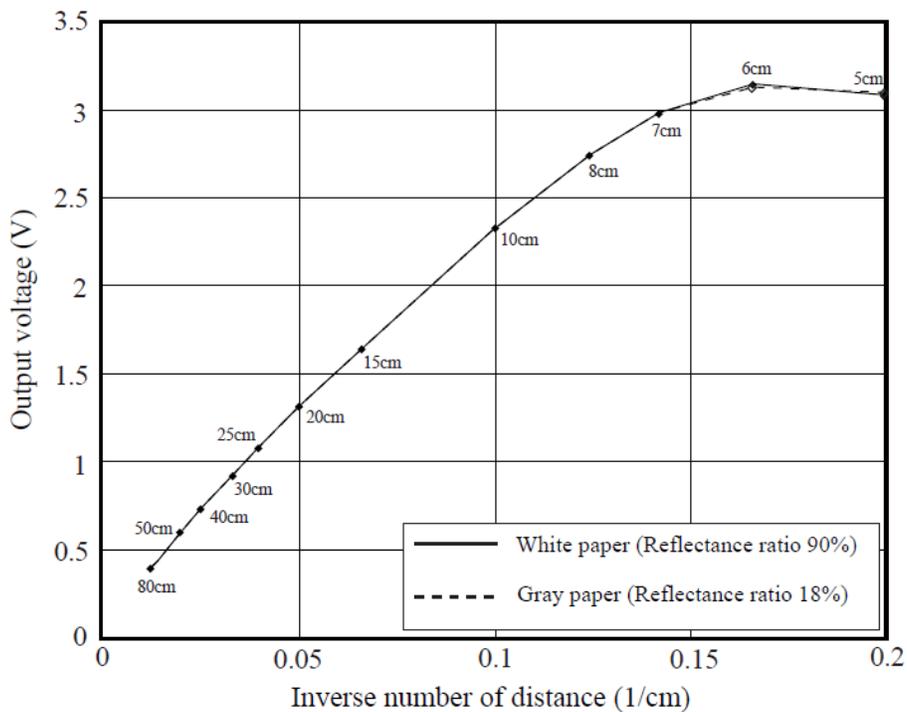


Fuente: Sharp. *Electronic Components, Distance Measuring Sensor*. www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf. Consulta: 12 de mayo de 2017.

En la figura 23 se grafica la respuesta que tiene el sensor ante la distancia, es decir que se tiene la salida de voltaje del sensor respecto a la

distancia con el objeto reflejante. Se grafica con una línea continua la respuesta del sensor ante papel blanco hecho por Kodak Co. (90 % de reflectancia) y con una línea discontinua la respuesta del sensor ante tarjetas grises R-27 (18 % de reflectancia).

Figura 24. **Gráfica del inverso de la distancia al objeto reflejante vs voltaje de salida del sensor GP2Y0A21YK0F**



Fuente: Sharp. *Electronic Components, Distance Measuring Sensor*. www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf. Consulta: 12 de mayo de 2017.

Para obtener un modelo matemático se delimitan los valores que expresan una tendencia capaz de poder ser formulada, se escoge el rango de distancia comprendida entre los valores de 5cm a 80cm, como se observa en la figura 24,

y también se le aplica el inverso al valor de la distancia del objeto reflejante, obteniendo así una gráfica creciente, dando la oportunidad de modelar la siguiente fórmula para predecir el valor del voltaje dependiendo de la distancia a la cual se encuentre el objeto:

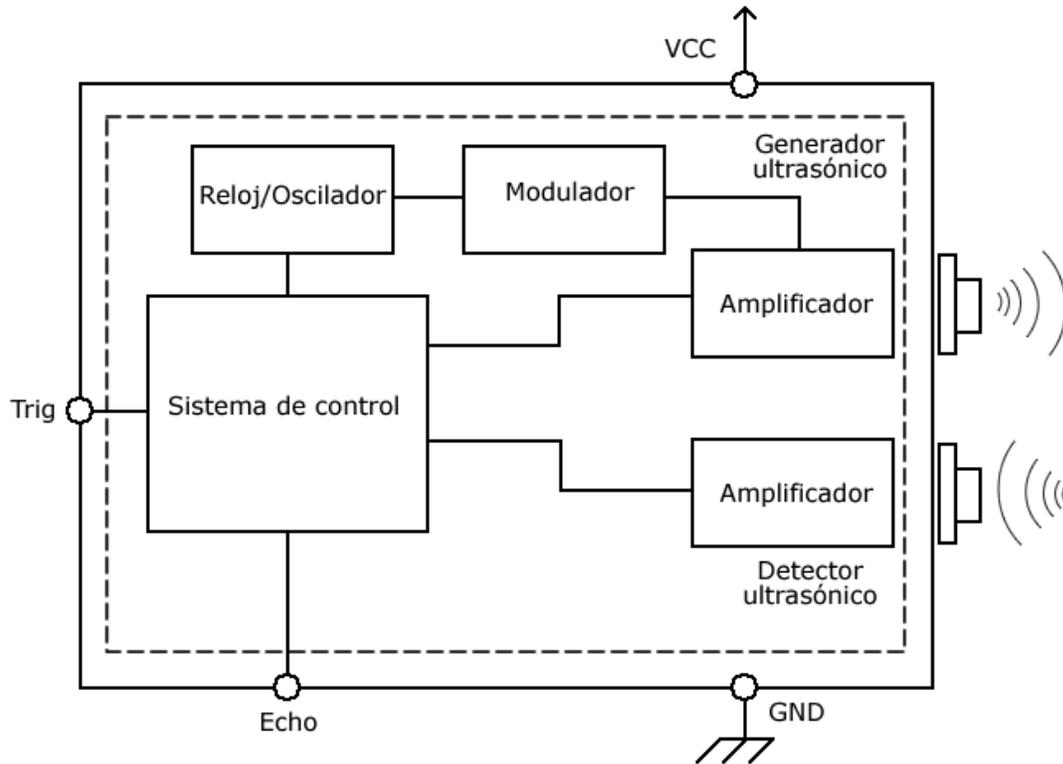
$$V = -79,925L^2 + 32,006L - 0,0378$$

La mayoría de sensores infrarrojos se diseñan para detección o posicionamiento de objetos, algunos otros diseños permiten la detección de formas, colores, superficies, entre otros. Algunas aplicaciones comunes son para usos domésticos, en los electrodomésticos, por ejemplo, ya que en un horno de microondas permite la medición de la distribución de la temperatura interior, también se utilizan para control climático en un área delimitada, detectando las oscilaciones de la temperatura, también se pueden utilizar como sensores de gas para prevenciones de fugas. Por último, se utilizan para la seguridad, facilitando la visión nocturna; también para seguridad aérea y territorial, para realizar monitorización del campo.

3.1.2. Módulo sensor ultrasónico HC-SR04

El módulo HC-SR04, de la gama de sensores de medición a distancia utilizando ultrasonido, ofrece un rango de medición de 2cm a 400cm, con una precisión que puede alcanzar los 3mm. El módulo incluye transmisor y receptor ultrasónico, amplificadores de señal, reloj u oscilador y circuito de control, tal como se aprecia en la figura 25, en el diagrama de bloques del funcionamiento del mismo.

Figura 25. Diagrama de bloques de sensor ultrasónico HC-SR04



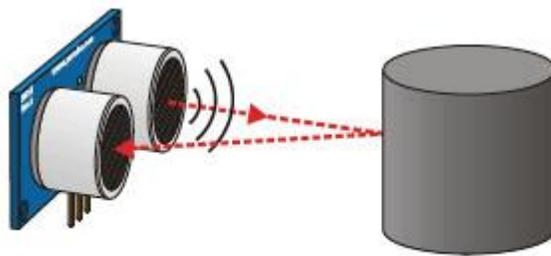
Fuente: elaboración propia.

El funcionamiento se basa en que el generador ultrasónico emite una onda ultrasónica direccional a una determinada frecuencia, inmediatamente cuando se dispara inicia un temporizador que lleva el conteo del tiempo de regreso de la onda ultrasónica. Los impulsos ultrasónicos viajan hacia fuera hasta que encuentran un objeto, el objeto hace que la onda sea reflejada de nuevo hacia la unidad y con ello entra en funcionamiento el receptor ultrasónico, que se encarga de detectar la onda reflejada y pararía el temporizador que comenzó posteriormente a la señal inicial. La velocidad de la ráfaga ultrasónica es de 340 m/s en aire, a una temperatura ambiente de 25°C, es decir que viaja a la velocidad del sonido. La fórmula de medición se expresa como la ecuación del movimiento rectilíneo uniforme:

$$D = C \times T$$

Esta ecuación se conoce como la fórmula del movimiento rectilíneo uniforme, la cual consta en la medición del tiempo, velocidad y distancia, donde D es la distancia medida, C es la velocidad de propagación en el aire (velocidad del sonido) y T representa el tiempo. En esta aplicación, T es dividido por 2, ya que T es el doble del valor de tiempo del transmisor al objeto de regreso al receptor, tal como se puede observar en la figura 26.

Figura 26. **Distancia-tiempo de sensor ultrasónico**



$$\begin{aligned} \text{Tiempo} &= 2 * (\text{Distancia} / \text{Velocidad}) \\ \text{Distancia} &= \text{Tiempo} \cdot \text{Velocidad} / 2 \end{aligned}$$

Fuente: LLAMAS, Luis. *¿Cómo funciona el sensor ultrasónico?*

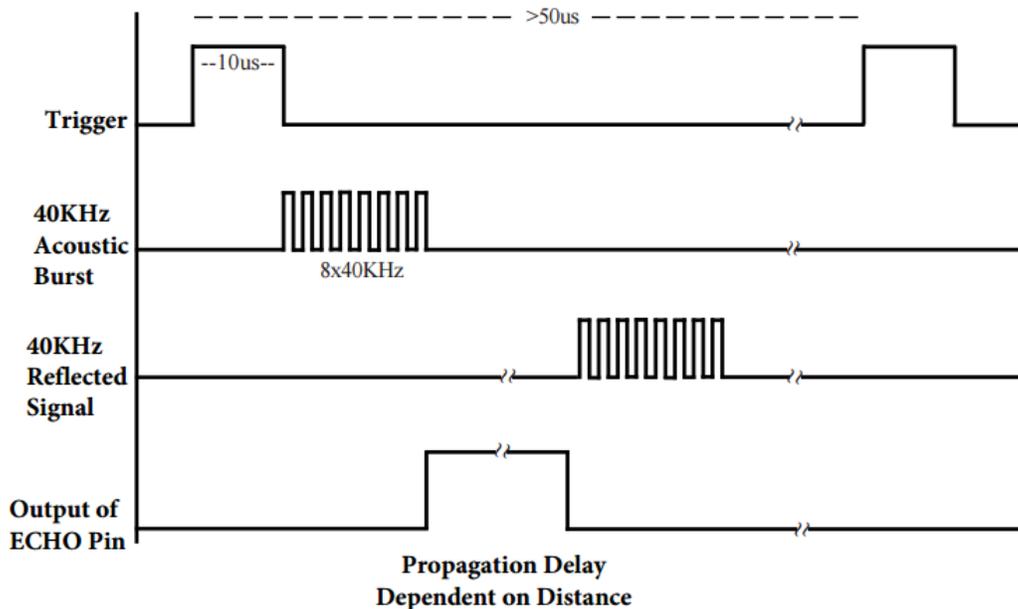
www.luisllamas.es/2015/06/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/

Consulta: 15 de agosto de 2016.

El diagrama de tiempo del sensor HC-SR04 se puede apreciar en la figura 27, indicando la secuencia en tiempos necesaria para obtener una medición de distancia, al momento de activar con un pulso la señal de entrada (Trigger) del módulo a través de su transmisor, es decir una bocina emitiendo sonidos de 40kHz, que emite 8 pulsos ultrasónicos, luego se activa el receptor (micrófono), el cual será el encargado de la recepción de la señal, tiene un retardo de 36mS

para la recepción, quiere decir que si en ese tiempo no obtiene una señal se indica que no encuentra ningún objeto cercano.

Figura 27. **Diagrama de tiempo en respuesta de sensor HC-SR04**



Fuente: *Guía de usuario HC-SR04*. www.mpja.com/download/hc-sr04_ultrasonic_module_user_guidejohn.pdf. Consulta: 23 de mayo de 2017.

El pin de *Trigger* o activador del sensor debe ser un pulso de $10\mu\text{s}$ como mínimo para iniciar la medición desde el microcontrolador, y se debe esperar como mínimo un tiempo aproximado de $50\mu\text{s}$ para realizar nuevamente una medición tomando en cuenta el máximo retardo de recepción.

El pin *Echo* o retardo en propagación es el tiempo desde el último pulso de las 8 ráfagas de 40kHz hasta la señal reflejada detectada de regreso. Este es un impulso de salida que recibe el microcontrolador, y luego de una conversión de tiempo que indica la distancia aproximada a la que se encuentra el objeto

con el cual se refleja la señal. Para realizar el cálculo de la medición a la cual fue reflejada la señal se deben aplicar las siguientes fórmulas:

$$\text{Distancia (cm)} = \text{ancho de impulso de eco (uS)} / 58$$

$$\text{Distancia (pulg)} = \text{ancho de pulso de eco (uS)} / 48$$

El módulo sensor ultrasónico HC-SR4 posee las siguientes características:

- Rendimiento estable
- Medición precisa de la distancia
- Alta densidad
- Tarjeta SMD de alta densidad
- Gama cercana (2cm)

Tabla VI. **Parámetros eléctricos de sensor HC-SR04**

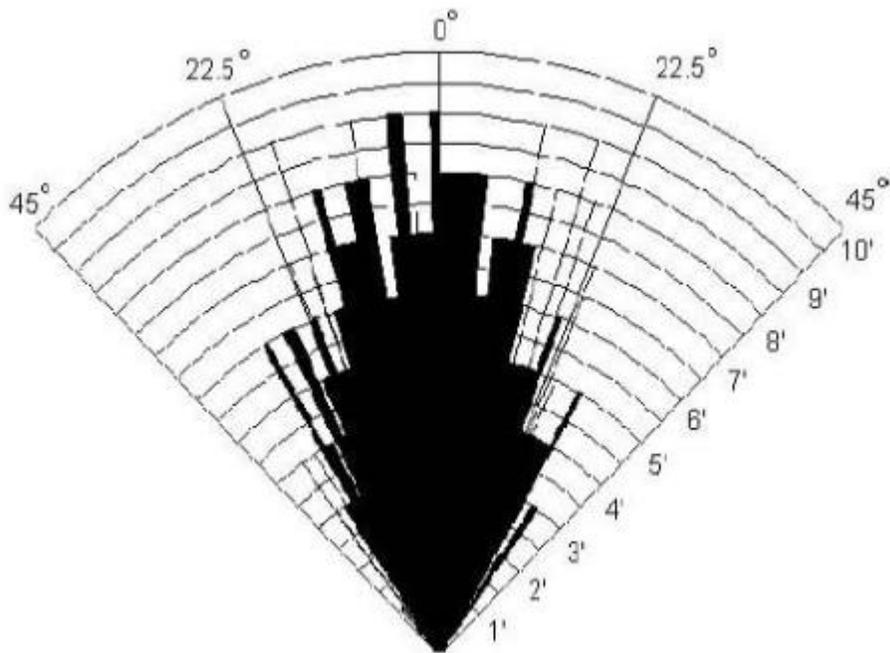
Tensión de alimentación	5V DC (4,5V min – 5,5V max)
Corriente de funcionamiento	15mA
Corriente en reposo	<2mA
Frecuencia de trabajo	40kHz
Rango de medición	2cm - 400cm
Incertidumbre de medición	3mm
Ángulo máximo de detección	30°
Ángulo de detección efectivo	<15°
Señal de entrada de disparo	pulso TTL >10uS
Señal eco de salida	Señal de nivel TTL, proporcional a distancia
Dimensiones del circuito	45 x 20 x 15mm

Fuente: elaboración propia.

Según la tabla VI, el sensor posee un ángulo de detección de alrededor de los 30°. Según las mediciones experimentales por el fabricante, se tiene un

patrón como lo muestra la figura 24, sin embargo, para asegurar la medida, el fabricante no garantiza una medición correcta fuera del rango de los 15°.

Figura 28. **Rango de detección de sensor ultrasónico HC-SR04**



Fuente: *Sensor ultrasónico HC-SR04 + Arduino*. panamahitek.com/wp-content/uploads/2014/06/sensor_angle.png. Consulta: 31 de enero de 2017.

La tecnología ultrasónica de aplicación se desarrolló en las últimas décadas. Con el avance ultrasónico y el desarrollo de la tecnología electrónica, especialmente como tecnología de dispositivos de semiconductores de alta potencia madura, la aplicación de ultrasonido se ha extendido cada vez más, tales como la medición ultrasónica de la distancia, en profundidad y grosor, imágenes de ultrasonido y maquinado ultrasónico, como pulido, perforación, limpieza y soldadura ultrasónica.

3.1.3. Módulo wifi ESP8266

La Plataforma de Conectividad Inteligente de Espressif Systems, por sus siglas en inglés ESCP, es un conjunto de alto rendimiento que consiste en una alta integración de componentes inalámbricos, ideal para diseñadores de plataformas móviles con limitación de espacio y potencia, tiene diversos aplicativos, con el menor costo y un mínimo espacio requerido.

El módulo ESP8266EX ofrece una solución de red wifi completa y autónoma; puede ser utilizado para alojar o descargar funciones de red wifi de otro procesador de aplicaciones. Cuando ESP8266EX aloja la aplicación, se inicia directamente desde una *flash* externa, se ha integrado caché para mejorar el rendimiento del sistema, alternativamente, sirviendo como adaptador wifi, el acceso inalámbrico a Internet se puede agregar a cualquier microcontrolador con una conectividad sencilla (SPI / SDIO o I2C / UART). ESP8266EX es uno de los *chips* wifi más integrados de la industria; integra la antena, interruptores, balun RF, amplificador de potencia, amplificador de bajo ruido, filtros y módulos de energía, además requiere una mínima circuitería externa, diseñada para ocupar un área mínima de PCB. También integra una versión mejorada del procesador de 32 *bits* de Tensilica L106 Diamond, con la SRAM *on-chip*. El ESP8266EX se integra a menudo con sensores y otros dispositivos específicos de la aplicación a través de sus GPIO.

Tabla VII. **Especificaciones técnicas de módulo ESP8266EX**

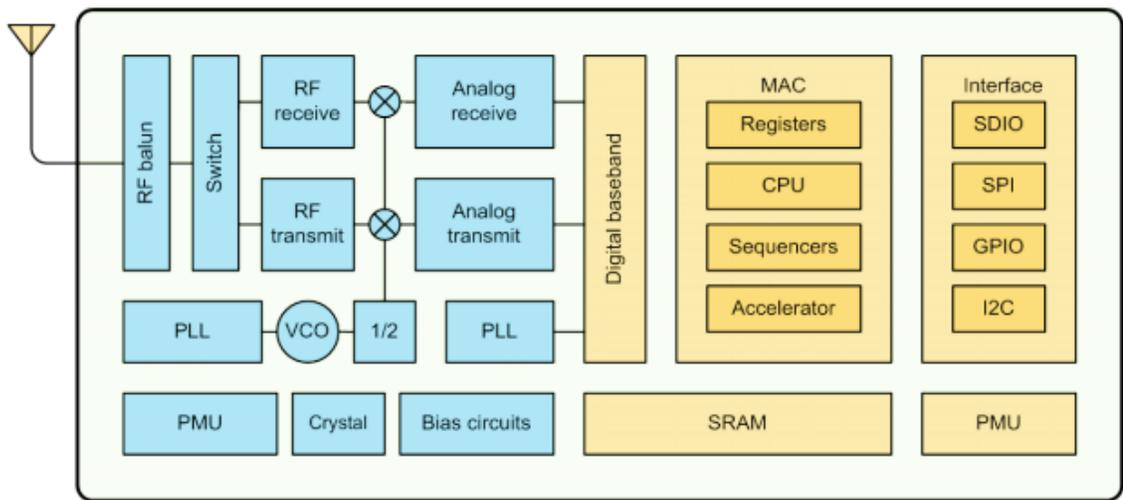
Categorías	Elementos	Parámetros
Wifi	Estándares	FCC/CE/TELEC/SRRC
	Protocolos	802.11 b/g/n/e/i
	Rango de frecuencia	2,4G ~ 2,5G (2400M ~ 2483,5M)
	Potencia TX	802,11 b: +20 dBm
		802,11 g: +17 dBm
		802,11 n: +14 dBm
	Sensibilidad RX	802,11 b: -91 dBm (11 Mbps)
802,11 g: -75 dBm (54 Mbps)		
802,11 n: -72 dBm (MCS7)		
Antena	Diseño en PCB, Externa, Conector IPEX, Chip cerámico	
Hardware	CPU	Tensilica L106 32-bit microcontrolador
	Interfaces periféricas	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/IR control remoto
		GPIO/ADC/PWM/led luz y botón
	Voltaje de operación	2,5V ~ 3,6V
	Corriente de operación	Valor promedio: 80 mA
	Rango de temperatura de operación	-40°C ~ 125°C
	Rango de temperatura de almacenamiento	-40°C ~ 125°C
	Tamaño de módulo	QFN32-pin (5 mm x 5 mm)
Interfaz eterna	-	
Software	Modo wifi	Station/SoftAP/SoftAP+Station
	Seguridad	WPA/WPA2
	Encriptación	WEP/TKIP/AES
	Actualización de <i>firmware</i>	UART Download / OTA (via <i>network</i>)
	Desarrollo de software	Soporta desarrollo en servidor de nube / <i>Firmware</i> y SDK para la programación rápida en el <i>chip</i>
	Protocolos de red	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP
	Configuración de usuario	Conjunto de instrucciones AT, servidor de nube, aplicación Android/iOS

Fuente: *Main Technical Specifications. ESP8266 Datasheet.*

espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf. Consulta: 31 de enero de 2017.

La Plataforma de Conectividad Inteligente (ESCP), de Espressif Systems, ofrece funciones sofisticadas que incluyen el cambio rápido entre el modo de reposo y el modo de activación para fines energéticamente eficientes, polarización adaptativa de radio para el funcionamiento de baja potencia, procesamiento de señales avanzadas, *bluetooth*, DDR, LVDS y mitigación de la interferencia del LCD.

Figura 29. Diagrama de bloques de módulo ESP8266EX



Fuente: *Functional Block Diagram, ESP8266 Datasheet.*

espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf. Consulta: 31 de enero de 2017.

3.1.3.1. Protocolos wifi

- Soporte 802,11 b/g/n/e/i.
- Soporte WFi Directo (P2P).
- Descubrimiento P2P, modo P2P GO (propietario de grupo), modo GC (grupo de cliente) y P2P gestión de energía.

- Infraestructura de modo estación BSS / Modo P2P / Soporte modo SoftAP.
- Aceleradores de hardware para CCMP (CBC-MAC, modo contador), TKIP (MIC, RC4), WAPI (SMS4), WEP (RC4), CRC.
- WPA / WPA2 PSK y controlador WPS.
- Funciones de seguridad adicional como 802.11i, como preautenticación.
- Interfaz abierta para varios esquemas de autenticación de capa superior sobre EAP como TLS, PEAP, LEAP, SIM, AKA o específicos del cliente.
- Soporte 802,11n (2,4 GHz).
- Compatible con la agregación de tramas MIMO 1 × 1 y 2 × 1, STBC, A-MPDU y A-MSDU e intervalo de protección de 0,4µs.
- Potencia WMM baja U-APSD.
- Gestión de colas múltiple para utilizar plenamente la priorización de tráfico definida por el estándar 802,11e.
- Compatible con UMA y certificado.
- Encapsulado de marco 802,1h / RFC1042.
- DMA disperso para la CPU de óptima de carga en las operaciones de transferencia de datos de copia cero.
- Diversidad y selección de antenas (hardware gestionado por software).
- Conector de reloj/alimentación combinado con una gestión de energía compatible con 802,11, adaptada dinámicamente a la condición de conexión actual que proporciona un consumo de energía mínimo.
- El algoritmo de *fallback* de velocidad adaptativa establece la velocidad de transmisión óptima y la potencia TX basada en la información real de SNR y pérdida de paquetes.
- Retransmisión automática y respuesta en MAC para evitar el descarte de paquetes en entornos de *host* lentos.
- Soporte de *roaming* sin problemas.

- El arbitraje de tráfico de paquetes configurable (PTA), con diseño basado en el procesador esclavo dedicado, que proporciona un soporte de coexistencia de sincronización flexible y preciso para una amplia gama de vendedores de *chips bluetooth*.
- Soporte de coexistencia de *bluetooth* de doble y única antena con capacidad opcional de recepción simultánea (*Wifi / bluetooth*).

Existe una diversidad de aplicaciones wifi, entre las más comunes se encuentra la domótica, que incluye enchufes inteligentes, cualquier otro tipo de aplicación que requiera un control inalámbrico, cámaras IP de seguridad y/o monitoreo, dispositivos de ubicación y posicionamiento como los Beacons, entre otros.

3.2. Valores experimentales

Un valor experimental es aquel valor estimado mediante un conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud o proceso de medición. Es necesario, para realizar un análisis de discriminación y comparación sobre las tecnologías, tomar valores experimentales que demuestren la veracidad de los dispositivos propuestos respecto a las especificaciones técnicas brindadas por el fabricante.

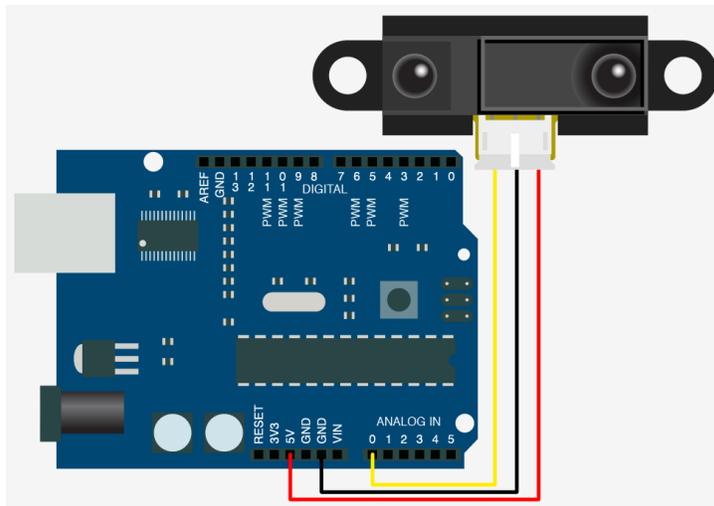
3.2.1. Sensor IR Sharp GP2Y0A21YK0F

Se realiza la toma de datos experimentales para el sensor IR Sharp GP2Y0A21YK0F, utilizando un microcontrolador por medio del fabricante Arduino, donde se utiliza como convertidor análogo digital y procesador de la información capturada por medio de un programa (mostrado en el apéndice 1), donde se configura un puerto analógico del microcontrolador para luego ser

desplegada la información obtenida vía puerto serial, y aprovechando el procesador del microcontrolador se realiza la conversión de los valores lógicos del ADC a valores reales del voltaje real, para realizar el análisis respectivo en una hoja de cálculo según datos obtenidos.

En la figura 30 se encuentra el diagrama que se utiliza para la toma de datos, para alimentar el sensor se utiliza la alimentación proporcionada o utilizada por el microcontrolador y se conecta el pin de salida del sensor hacia un pin analógico digital del microcontrolador para realizar la captura de los datos. Cabe mencionar que en el diagrama se utiliza un controlador Arduino UNO, sin embargo se puede utilizar cualquier microcontrolador de la misma familia, o con funciones similares, ya que únicamente se utiliza un convertidor ADC y la interacción con el puerto serial de la computadora para desplegar los datos.

Figura 30. **Diagrama con conexión Arduino con sensor IR Sharp GP2Y**



Fuente: *Sensor de proximidad + Arduino*. www.pinterest.com/pin/163114817729814153.

Consulta: 14 de mayo de 2017.

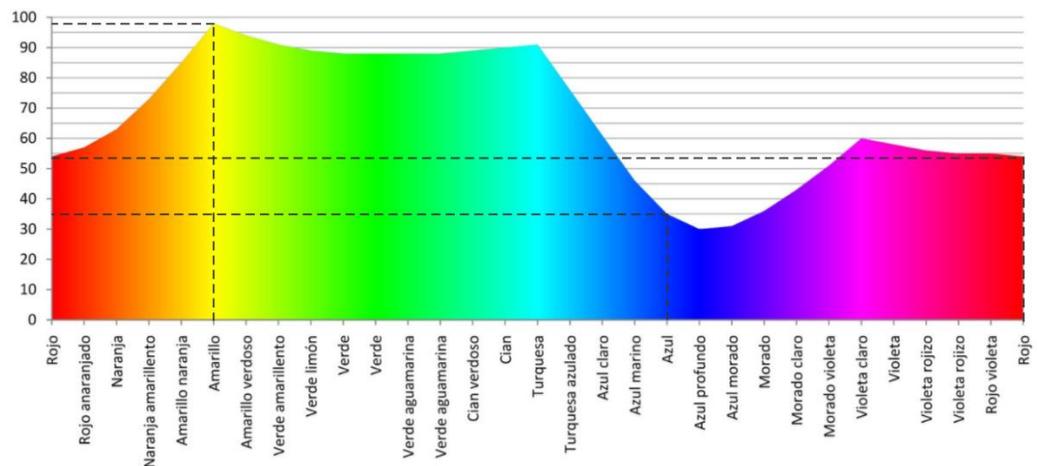
Según hoja de datos del fabricante, se asegura que se tendrá una medición efectiva para las reflectancias entre el rango del 18 % hasta el 90 %, por lo cual, para la toma de datos, se utilizan objetos de la misma textura pero distinto color para realizar pruebas en diversos porcentajes de reflectancia, utilizando para ello los colores primarios. Se enlista en la tabla VIII el índice de reflectancia para cada color primario, los datos fueron extraídos según figura 31.

Tabla VIII. Índice de reflectancia de los colores primarios

Color	Amarillo	Rojo	Azul
Reflectancia	97 %	53 %	35 %

Fuente: elaboración propia.

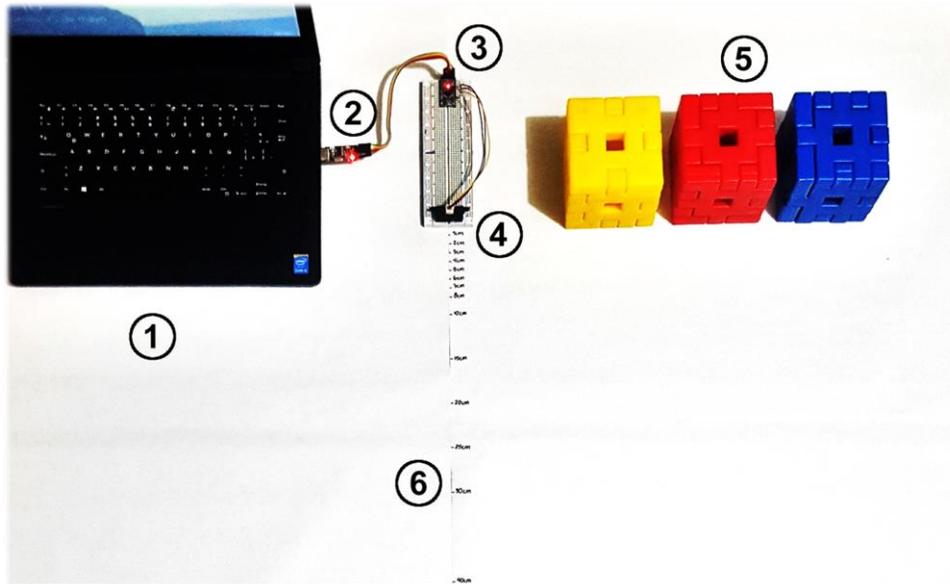
Figura 31. Índice de reflexión según color



Fuente: ACOSTA, Ignacio. *Los materiales y la luz III: color*.

arcdaylight.blogspot.com/2013/04/los-materiales-y-la-luz-iii-color.html Consulta: 05 de junio de 2017.

Figura 32. Laboratorio de toma de datos para sensor GP2Y0A21YK0F



Fuente: elaboración propia.

Tal como se observa en la figura 32, se crea un laboratorio para probar la veracidad del sensor IR, constando de los siguientes elementos:

- Computadora, para desplegar los datos enviados por el FTDI, se abre el puerto COM13 con apoyo del programa SecureCRT (1).
- Convertidor USB-TTL, conocido como FTDI (2).
- Microcontrolador de la familia Arduino, Arduino Mini Pro (3).
- Sensor GP2Y0A21YK0F (4).
- Cubos de colores primarios para realizar la toma de datos con distintos índices de reflectancias (5).
- Marcas de referencia de distancias, para toma de datos desde 5 cm hasta 80 cm para la tecnología IR (6).

Tabla IX. **Valores experimentales de sensor IR Sharp GP2Y0A21YK0F**

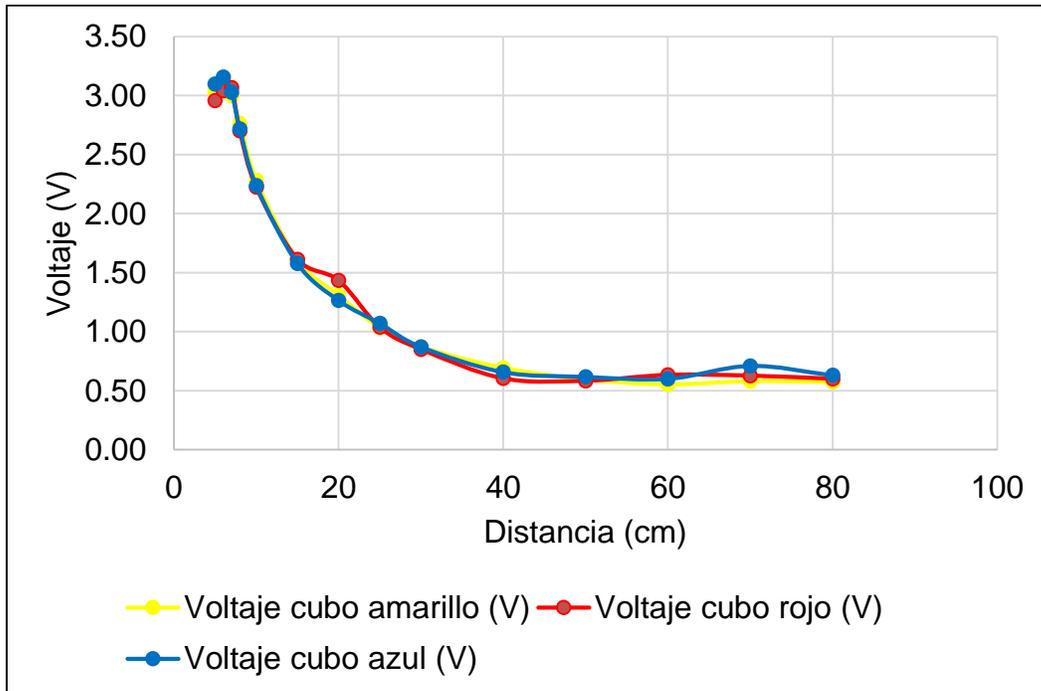
Distancia (cm)	Voltaje cubo amarillo (V)	Voltaje cubo rojo (V)	Voltaje cubo azul (V)
5	3,03	2,96	3,10
6	3,10	3,04	3,16
7	3,00	3,07	3,03
8	2,76	2,70	2,72
10	2,28	2,22	2,24
15	1,61	1,61	1,58
20	1,31	1,43	1,26
25	1,03	1,04	1,07
30	0,87	0,85	0,87
40	0,69	0,60	0,66
50	0,59	0,58	0,62
60	0,55	0,63	0,60
70	0,58	0,63	0,71
80	0,57	0,60	0,63

Fuente: elaboración propia.

La tabla IX se extrae de los promedios de los datos recabados para cada cubo, ya que el laboratorio consiste en realizar 3 mediciones por cada distancia del mismo y con ello tratar de eliminar el error para tener un valor intermedio de una medición aleatoria. En el apéndice 2 se muestra cómo se desplegaron los datos obtenidos de las 3 mediciones del cubo de color amarillo.

En la figura 33 se grafican los datos de la tabla IX. Se puede observar que la curva para cada color es similar, además que la tendencia es muy similar a la proporcionada por el fabricante en la hoja de datos.

Figura 33. **Distancia al objeto reflejante vs voltaje de salida**



Fuente: elaboración propia.

Se realiza un promedio de los promedios ya calculados por cada cubo de distinto color, para obtener una tendencia de la respuesta del sensor IR GP2Y0A21YK0F ante diversos índices de reflectividad, asegurando con ello la respuesta fiable del mismo ante cualquier textura, color, superficie, entre otros.

La tendencia a calcular se extrae de la tabla X, donde se calcula el inverso de la distancia, siguiendo el patrón de la gráfica mostrada en la figura 24, según hoja de datos del fabricante versus el promedio de los voltajes de la tabla IX. Con ello se obtiene la gráfica de la figura 34, modelando la siguiente fórmula:

$$V = -67,13L^2 + 28,836L + 0,0893$$

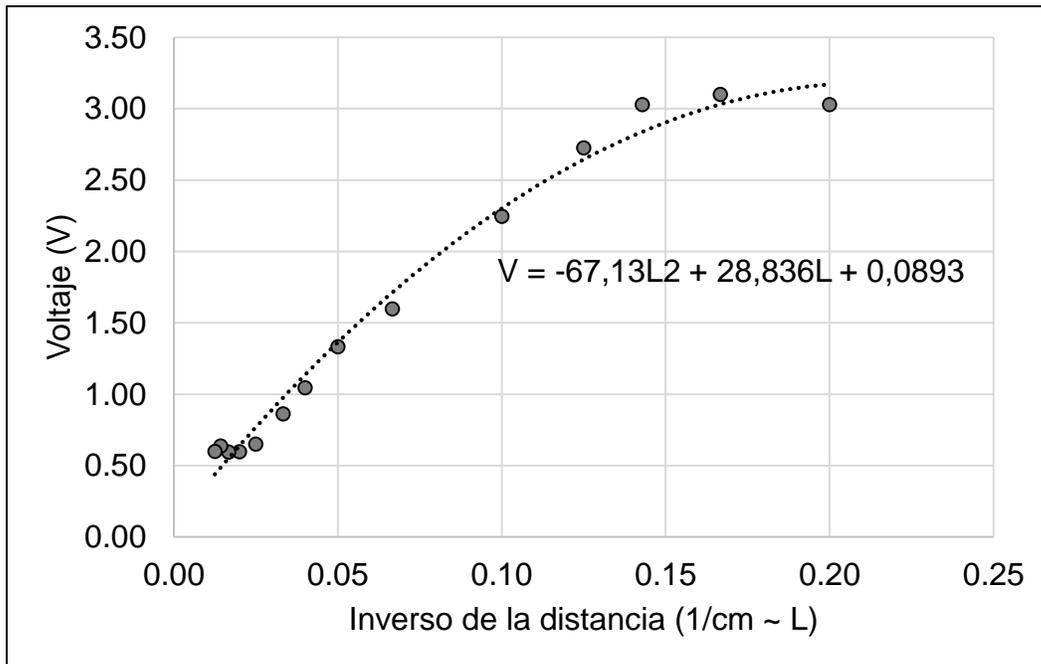
Tabla X. **Respuesta promedio del sensor IR GP2Y0A21YK0F**

Inverso distancia (1/cm)	Voltaje promedio (V)
0,20	3,03
0,17	3,10
0,14	3,03
0,13	2,73
0,10	2,25
0,07	1,60
0,05	1,33
0,04	1,05
0,03	0,86
0,03	0,65
0,02	0,60
0,02	0,60
0,01	0,64
0,01	0,60

Fuente: elaboración propia.

Esta tabla se compara gráficamente con la fórmula modelada de las gráficas de la hoja de datos del fabricante, comparando la teoría y la práctica, tal como se observa en la figura 44.

Figura 34. **Inverso de la distancia al objeto reflejante vs voltaje de salida**



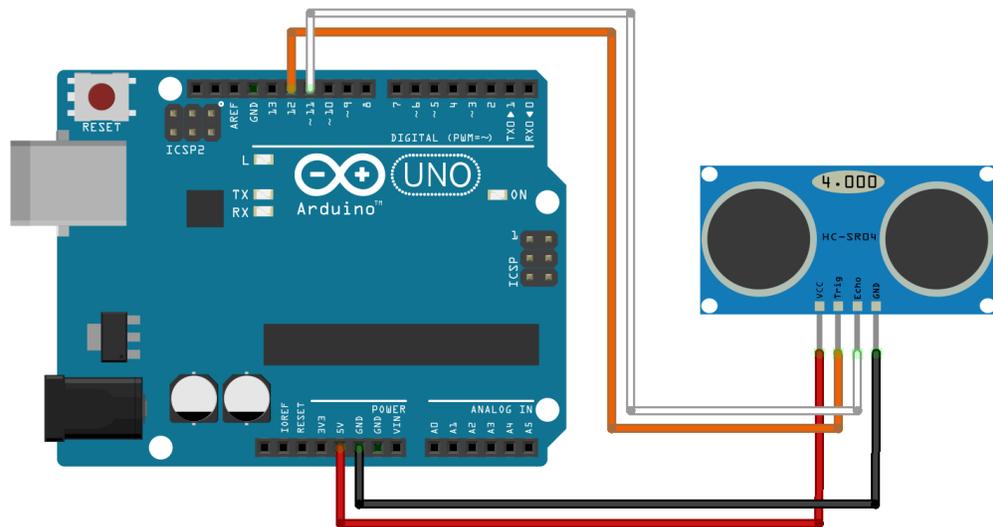
Fuente: elaboración propia.

3.2.2. **Sensor ultrasónico HC-SR04**

Para la toma de datos experimentales del sensor ultrasónico a distancia HC-SR04 se utiliza un mecanismo similar para la obtención de los datos experimentales del sensor IR, ya que ambos sensores son de distancia. Se utiliza un microcontrolador de la familia Arduino, en esta ocasión se utiliza como controlador para manejar el envío de la señal ultrasónica y como temporizador para captar el retardo en propagación de la onda ultrasónica. Se tiene la ventaja de que existe una función ya incorporada del lenguaje Arduino, la cual devuelve el valor en microsegundos del tiempo en que existe un pulso, ya sea alto o bajo; en este caso el pin *Echo* devuelve el tiempo en que se tarda la señal desde ser enviada hasta ser nuevamente reflejada, con ello únicamente se divide en 2,

suponiendo que es el mismo el tiempo en que tarda la onda en viajar hasta encontrar un objeto y que esta misma se refleje, como se muestra en la figura 26.

Figura 35. **Diagrama de conexión Arduino con sensor HC-SR04**



Fuente: SANTA, Jesús. *Tutorial sensor ultrasónico HC-SR04 y Arduino.*
[www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/sensor-ultrasonico-hc-sr04-y-arduino.](http://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/sensor-ultrasonico-hc-sr04-y-arduino)
Consulta: 15 de junio de 2017.

En la figura 35 se puede observar el diagrama básico de conexión que se utiliza para conectar el microcontrolador con el sensor ultrasónico HC-SR04, sin embargo, existe una variante, se usa fuente de alimentación diferente entre los sensores y el microcontrolador, con ello se logra reducir el ruido e incertidumbres que se puedan presentar, debido a que la carga de todo el circuito puede aumentar, reduciendo con ello el voltaje de alimentación del microcontrolador y pudiendo este reiniciarse como medida de autoprotección.

En la figura 36 se observa cómo se crea el laboratorio para probar la veracidad del sensor ultrasónico HC-SR04, constando de los siguientes elementos:

- Computadora, para desplegar los datos enviados por el FTDI, se abre el puerto COM13 con apoyo del programa Secure CRT (1).
- Convertidor USB-TTL, conocido como FTDI (2).
- Microcontrolador de la familia Arduino, Arduino Mini Pro (3).
- Primer sensor ultrasónico HC-SR04 (4).
- Segundo sensor ultrasónico HC-SR04 (5).
- Batería externa portátil de 5V/2000mAh (6).
- Marcas de referencia de distancias, para toma de datos desde 2 cm hasta 140cm para la tecnología ultrasónica (7).
- Objeto de madera para reflejar la onda emitida por los sensores colocados a distintas distancias (8).

El laboratorio consiste en la toma de datos de distancias variando desde 2 cm hasta 140cm, para comprobar la veracidad de la lectura del sensor ultrasónico HC-SR04. Se utilizan 2 sensores nuevos del mismo lote para comparar las incertidumbres entre los mismos. Se realizan un total de 6 mediciones por cada sensor, las primeras 3 mediciones se realizan en un ambiente libre de interferencias, en horario nocturno, y las siguientes 3 se realizan en horario diurno con diferente carga auditiva. Se compila y se carga el programa mostrado en el apéndice 3 al microcontrolador, en donde se declaran los parámetros y funciones a utilizar, los pines de entrada y salida que controlan ambos sensores, y se establece el procedimiento para recabar la información.

Tabla XI. **Valores experimentales de sensor HC-SR04**

Distancia (cm)	Horario nocturno		Horario diurno	
	Sensor1 (cm)	Sensor2 (cm)	Sensor1 (cm)	Sensor2 (cm)
2	3,57	3,30	3,58	4,13
3	4,37	4,16	3,77	4,07
4	4,88	5,13	4,94	4,38
5	6,04	6,13	5,54	5,28
6	6,84	7,16	6,47	6,67
7	8,13	7,79	7,43	7,70
8	8,75	8,45	8,43	8,29
10	10,81	10,85	10,39	9,94
15	16,21	16,51	15,69	15,56
20	21,31	21,37	21,09	20,94
25	26,13	26,07	25,84	25,49
30	30,64	31,01	30,25	30,07
40	40,36	40,38	39,77	39,42
50	49,95	49,83	50,09	50,28
60	60,22	59,99	59,97	60,03
70	69,98	69,43	69,69	69,48
80	79,53	79,77	80,10	79,69
90	88,18	90,28	89,25	89,15
100	98,89	98,55	98,73	99,93
120	118,96	118,46	118,53	118,95
140	138,71	137,95	138,92	138,74

Fuente: elaboración propia.

La tabla XI muestra los valores promedios de las tres mediciones tomadas, todos los valores se encuentran en centímetros, ya que en el programa se realiza una operación para devolver el valor en centímetros luego de realizar el cálculo de la siguiente manera:

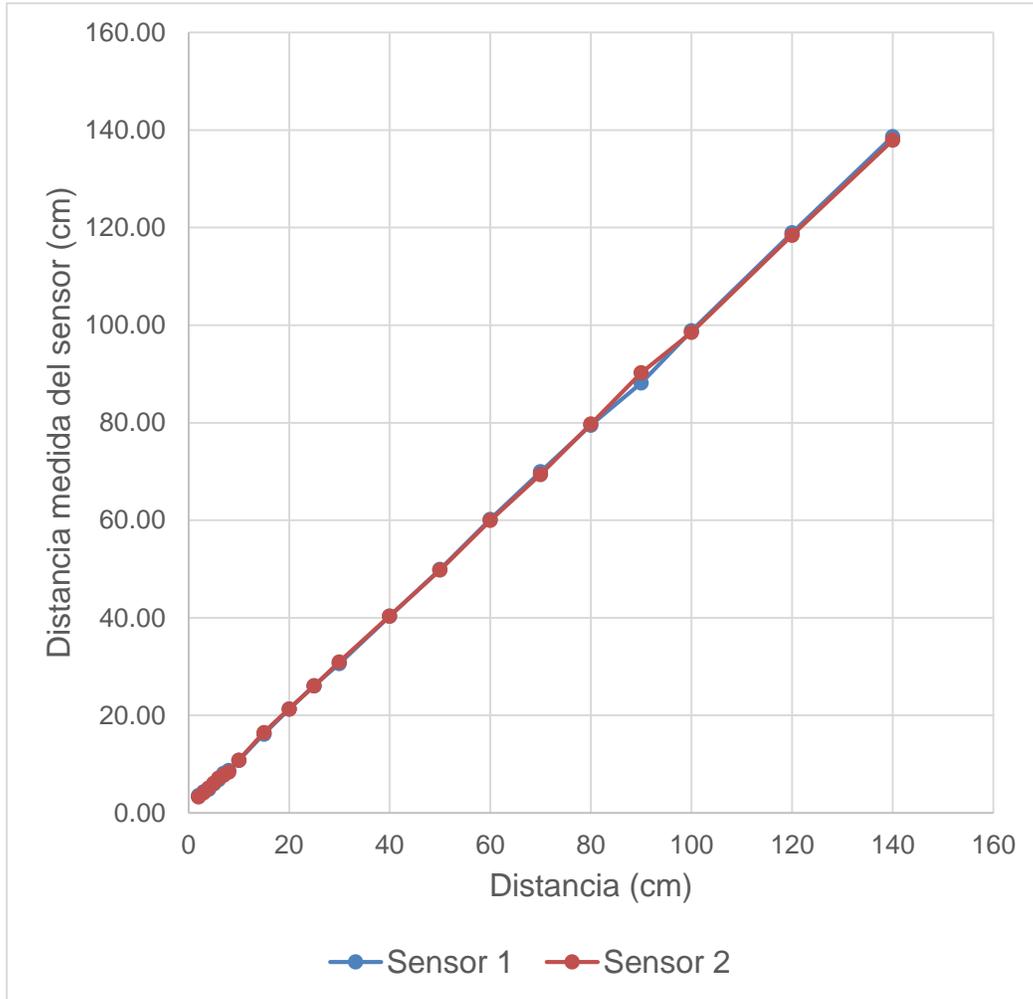
$$tiempo = \frac{temporizador}{2} = \frac{pulseIn(pinEcho, HIGH)}{2}$$

$$distancia = tiempo \times 343,2 \text{ m/s} = tiempo \times 0,0343 \text{ cm}/\mu\text{s}$$

Cabe mencionar que, por el tipo de toma de datos, no se puede realizar una medición simultánea, ya que se deben utilizar dos temporizadores en paralelo, el microcontrolador únicamente maneja un reloj que es proporcionado por un cristal de sincronización para ejecutar todas las tareas asignadas de forma consecutiva, por ello la medición se realiza consecutivamente, es decir se realiza una medición detrás de otra, por ello se envía la señal para activar el primer sensor, entonces empieza a correr el temporizador del primero. El temporizador del segundo sensor se encuentra en espera mientras se reciba la señal de regreso del primero. Cuando se recibe el dato del primer temporizador inmediatamente se envía la señal para activar el segundo sensor y entra en funcionamiento el temporizador para tomar la medición.

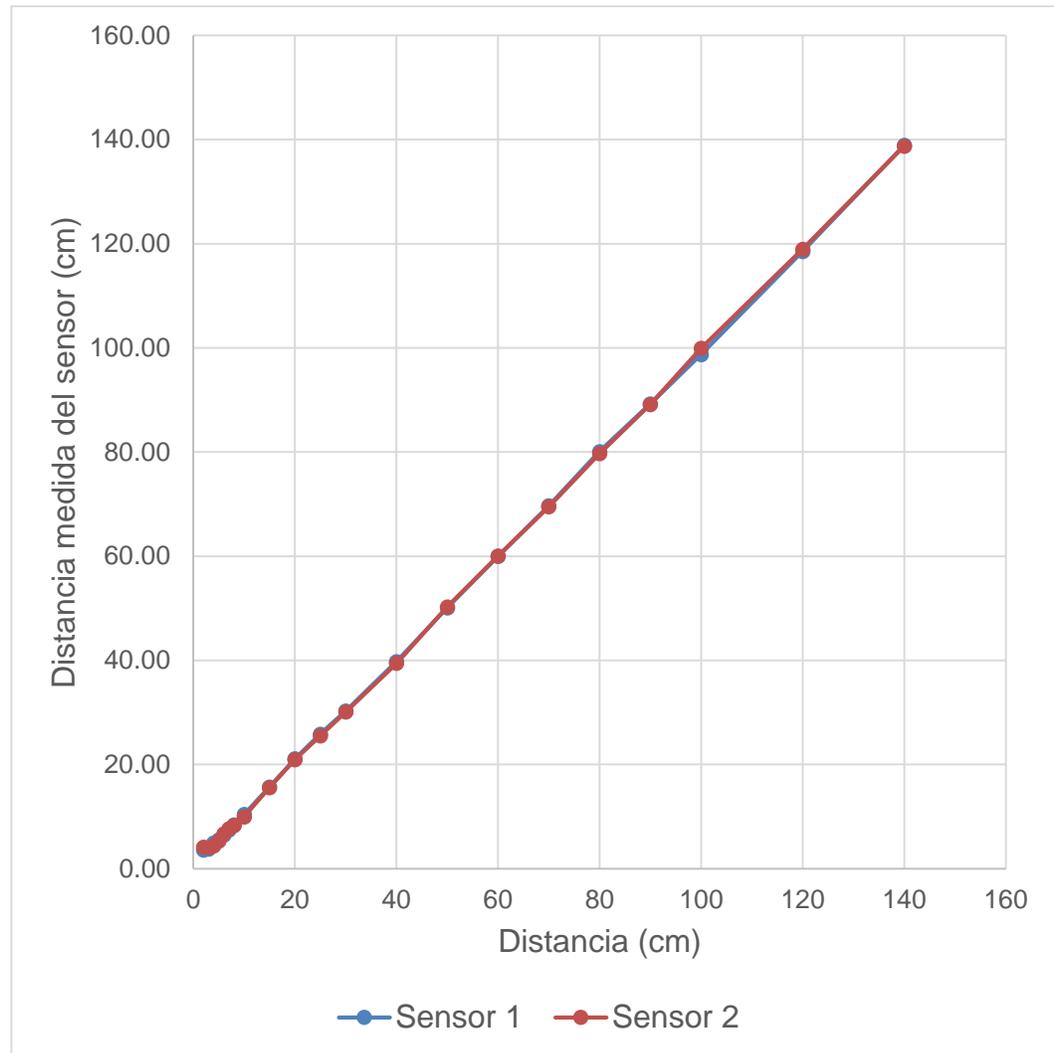
En la figura 37 y en la figura 38 se puede observar la tendencia que surge al comparar la distancia real donde se encuentra el objeto versus la distancia medida del sensor. Se aprecia una tendencia lineal, en la cual la tendencia debe acercarse a tener una pendiente muy cercana a la unidad y reducir el valor del intersección en el eje vertical.

Figura 37. **Distancia del objeto vs distancia de sensores ultrasónicos HC-SR04 sin carga auditiva (horario nocturno)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Distancia del objeto vs distancia de sensores ultrasónicos HC-SR04 con carga auditiva (horario diurno)**



Fuente: elaboración propia.

Se calcula la ecuación de la recta para cada sensor en cada horario y se obtienen los siguientes resultados:

$$\text{Distancia } S1 (\text{nocturno}) = 0,9787x + 1,2536\text{cm}$$

$$\text{Distancia } S2 \text{ (nocturno)} = 0,9776x + 1,3064\text{cm}$$

$$\text{Distancia } S1 \text{ (diurno)} = 0,9834x + 0,8650\text{cm}$$

$$\text{Distancia } S2 \text{ (diurno)} = 0,9855x + 0,7631\text{cm}$$

En donde x es la distancia real a la cual se encuentra el objeto. Como se puede observar, las ecuaciones se acercan significativamente a las predicciones en que la pendiente se aproxima a la unidad y el intersepto es poco significativo.

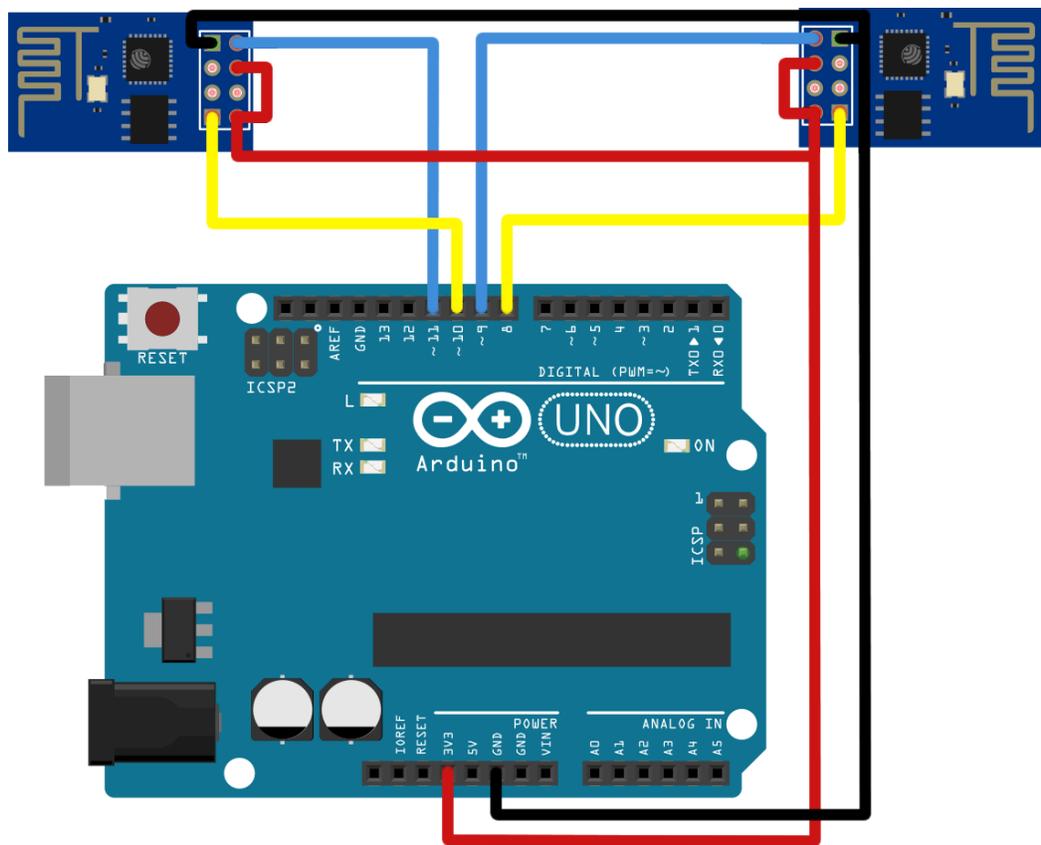
3.2.3. Módulo wifi ESP8266

Se recolectan los datos experimentando con el módulo wifi ESP8266, a diferencia de las dos tecnologías anteriores en que se utilizan sensores como dispositivos de prueba para la recolección de datos, prediciendo la distancia de un objeto. En esta situación se utiliza un módulo capaz de conectarse a los dispositivos vía wifi, el cual no tiene la finalidad de medir distancias, sin embargo, se utilizará el parámetro del nivel de potencia de la señal recibida por el dispositivo conectado a la red inalámbrica. El parámetro a medir es el RSSI, que indica la fuerza con la cual se percibe la señal, y esto se utilizará para estimar la distancia a la cual se encuentra el transmisor del receptor.

Nuevamente se utiliza un microcontrolador de la familia Arduino como intermediario para la recolección de datos, si bien se sabe que el ESP8266EX es un microcontrolador del fabricante chino Espressif que incorpora wifi, es decir que el módulo ESP8622 posee la capacidad de funcionar como microcontrolador autónomo, sin embargo, no se programa como tal, ya que debe funcionar como esclavo y ser gobernado por otro controlador, en referencia al controlador Arduino, que a su vez gobernará otro módulo y podrá comparar los datos extraídos de cada uno. En la figura 39 se puede observar el

diagrama de conexión de ambos módulos wifi ESP8266, que enviarán datos de potencia de señal recibida del punto de acceso conectado, en este caso un *smartphone*, al microcontrolador Arduino por medio de comandos AT, y este a su vez realizará el análisis de los datos para triangular y determinar la posición del punto de acceso.

Figura 39. Diagrama de conexión Arduino con módulos wifi ESP8266



Fuente: elaboración propia.

Se convierte un *smartphone* en punto de acceso wifi (transmisor), de tal forma que se configura las propiedades del punto de acceso con los siguientes parámetros, como lo muestra la figura 40.

- Nombre de red (SSID): Daniel Fernando
- Seguridad: WPA2 PSK
- Contraseña: danielfernandov2

Figura 40. **Configuración de zona portátil en *smartphone***



Fuente: elaboración propia, mediante captura de pantalla extraída de Smartphone SM-G930.

Los datos presentados en la figura 40, nombre de red y contraseña, se utilizarán para conectar los módulos ESP8266 configurados en modo estación.

Se usan dos módulos ESP8266 (receptores) del mismo lote para realizar las pruebas y comparar incertidumbres entre los mismos, y se utilizan comandos AT para gobernar la funcionalidad de cada módulo wifi. En la figura 41 se tiene una muestra de la interacción que se tiene con el módulo vía puerto serial, consultando el modo actual del módulo, luego consultando las redes disponibles a conectarse, para después conectarse a una red sabiendo el nombre de la red y la contraseña, con ello se logra conectar y obtener una dirección IP del punto de acceso. El nivel de RSSI del punto de acceso conectado se puede consultar con el comando AT+CWJAP?, el cual será de gran utilidad para triangular la trayectoria del movimiento del punto de acceso (*smartphone*).

Figura 41. **Conexión de módulo ESP8622 con punto de acceso**



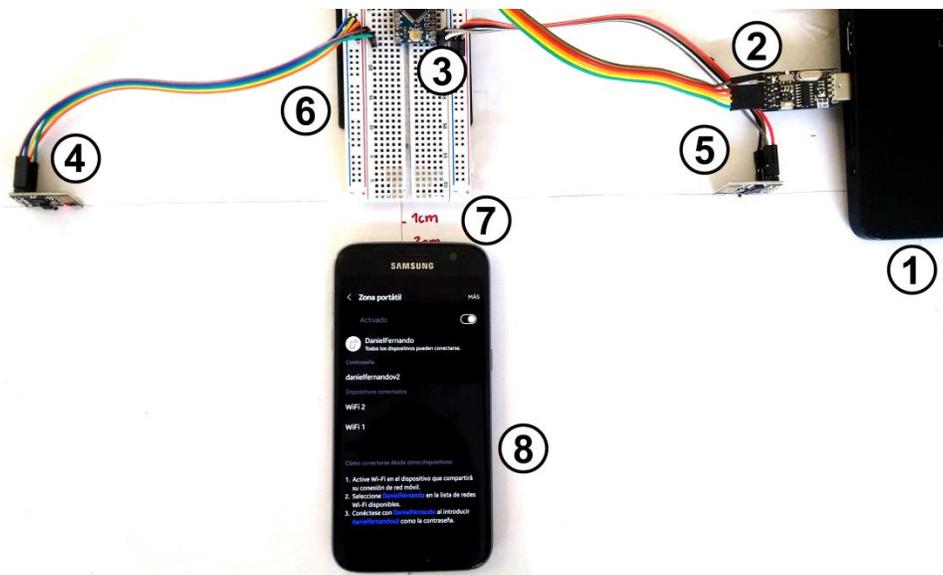
```
COM13
|
| Send
|
AT
OK
AT+CWMODE?
+CWMODE:1
OK
AT+CWLAP
+CWLAP: (3, "DanielFernando", -34, "ae:5f:3e:82:43:15", 11)
+CWLAP: (3, "TURBONETT_2", -64, "00:e0:20:82:43:15", 5)
+CWLAP: (3, "TURBONETT", -79, "00:21:94:82:43:15", 5)
OK
AT+CWJAP="DanielFernando","danielfernandov2"
WIFI CONNECTED
WIFI GOT IP
OK
AT+CWJAP?
+CWJAP: "DanielFernando", "ae:5f:3e:82:43:15", 11, -37
OK
 Autoscroll
Both NL & CR
9600 baud
```

Fuente: elaboración propia.

Conectados los dos módulos wifi ESP8266 al punto de acceso, se procede a la recolección de datos experimentales. En la figura 42 se muestra el laboratorio a utilizar con los siguientes elementos:

- Computadora, para desplegar los datos enviados por el FTDI, se abre el puerto COM13 con apoyo del programa SecureCRT (1).
- Convertidor USB-TTL, conocido como FTDI (2).
- Microcontrolador de la familia Arduino, Arduino Mini Pro (3).
- Primer módulo wifi ESP8266 (4).
- Segundo módulo wifi ESP8266 (5).
- Batería externa portátil de 5V/2000mAh (6).
- Marcas de referencia de distancias, para toma de datos desde 2 cm hasta 140 cm para la tecnología de radiofrecuencia (7).
- *Smartphone* configurado como punto de acceso (8).

Figura 42. Laboratorio de toma de datos de módulo wifi ESP8266



Fuente: elaboración propia.

Sabiendo que el módulo wifi ESP8266 no fue creado para la medición de distancia respecto a un objeto, se toman los datos desplazando el *smartphone* por las distintas mediciones utilizadas anteriormente. No obteniendo un patrón o tendencia se calcula la diferencia entre medidas de un módulo respecto al otro, obteniendo los siguientes datos de la tabla XII, en donde se aprecia la mínima diferencia de 0,25 dBm hasta 11,75 dBm, el cual es un parámetro alto de incertidumbre. Las mediciones son arbitrarias, para lo cual se podría reducir el riesgo de incertidumbre si se realiza un promedio de una serie de medidas continuas.

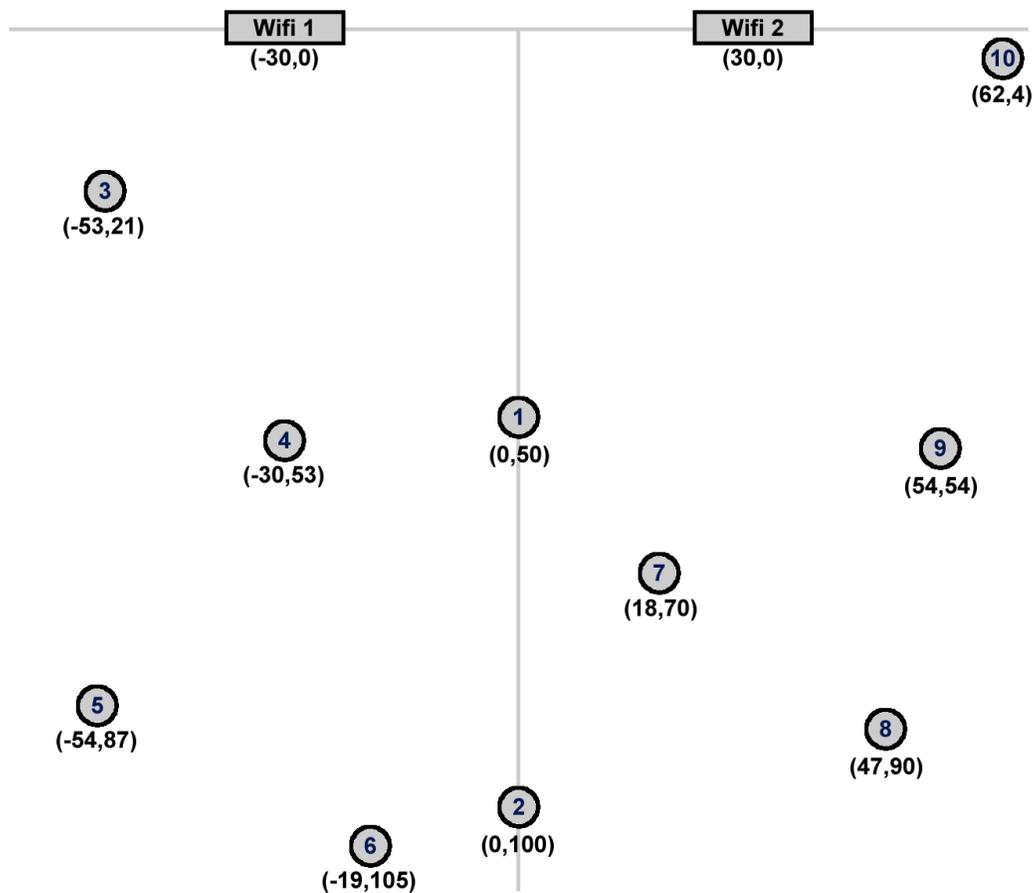
Tabla XII. **Niveles de potencia de recepción de módulos wifi ESP8266**

Distancia (cm)	Wifi1 (dBm)	Wifi2 (dBm)	Wifi1 -Wifi2
2	-37,00	-39,50	2,50
3	-39,75	-40,00	0,25
4	-40,75	-42,75	2,00
5	-44,25	-43,50	0,75
6	-49,00	-49,75	0,75
7	-51,00	-56,50	5,50
8	-53,25	-55,00	1,75
10	-62,50	-50,75	11,75
15	-54,00	-47,25	6,75
20	-52,00	-49,50	2,50
25	-52,75	-58,25	5,50
30	-56,50	-60,00	3,50
40	-59,50	-66,50	7,00
50	-61,00	-67,50	6,50
60	-67,25	-69,75	2,50
70	-65,00	-67,00	2,00
80	-65,75	-64,50	1,25
90	-72,00	-67,50	4,50
100	-72,00	-67,00	5,00
120	-79,00	-69,50	9,50
140	-71,25	-73,50	2,25

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, luego de verificar que el nivel de potencia de la señal recibida de los módulos wifi ESP8266, respecto al punto de acceso, no responde a una tendencia, se procede a colocar distintos puntos arbitrarios sobre un plano coordenado para determinar que la diferencia entre las potencias sea razonable y se pueda estimar la ubicación del punto de acceso. El plano con los puntos arbitrarios marcados se ejemplifica en la figura 43; las medidas se encuentran en centímetros.

Figura 43. **Plano coordenado con puntos arbitrarios para medición de distancia entre módulos ESP8266 y punto de acceso**



Fuente: elaboración propia.

La tabla XIII enlista la toma de datos de los niveles de potencia percibidos por los módulos wifi ESP8266 respecto al punto de acceso colocado en los distintos puntos marcados del plano anterior. La distancia es calculada con la fórmula de distancia entre 2 puntos en un plano cartesiano, siendo la fórmula:

$$d(P_1, P_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Aplicada para calcular la distancia de cada módulo wifi ESP8266 respecto a cada punto en el plano coordenado. Luego se realizan 10 mediciones consecutivas por cada punto para cada módulo, y el promedio de las medidas se enlista en la columna RSSI. Para los primeros 2 puntos la potencia recibida por cada módulo debe ser similar y la diferencia debe ser mínima, para los siguientes puntos la diferencia entre las potencia debe ser mayor, adicionalmente la potencia recibida debe ir acorde a la distancia, es decir, entre menos distancia mayor potencia, entre mayor distancia menos potencia.

Tabla XIII. **Datos experimentales de módulo wifi ESP8266**

Punto	Coordenadas		Distancia (cm)			RSSI (dBm)			Diferencia (dBm) Wifi1 -Wifi2
	X	Y	Wifi 1		Wifi 2	Wifi 1		Wifi 2	
1	0	50	58,31	=	58,31	-66,2	~	-68,2	2,00
2	0	100	104,40	=	104,40	-69,6	~	-68,2	1,40
3	-53	21	31,14	<	85,62	-53,0	>	-56,0	3,00
4	-30	53	53,00	<	80,06	-64,7	>	-67,2	2,50
5	-54	87	90,25	<	120,93	-62,0	>	-69,6	7,60
6	-19	105	105,57	<	115,87	-67,8	>	-82,7	14,90
7	18	70	84,88	>	71,02	-71,5	<	-69,2	2,30
8	47	90	118,44	>	91,59	-73,5	<	-61,8	11,70
9	54	54	99,86	>	59,09	-69,3	<	-58,0	11,30
10	62	4	92,09	>	32,25	-64,8	<	-48,3	16,50

Fuente: elaboración propia.

3.3. Cuadro comparativo

Con base en las especificaciones técnicas y valores experimentales, se realiza una discriminación entre las tecnologías expuestas, denotando las ventajas y desventajas que conlleva utilizar cada una de las mismas. En la tabla XIV se enlista las características técnicas para cada tecnología, realizando una comparación previa a la comparación experimental.

Tabla XIV. **Comparación de especificaciones técnicas**

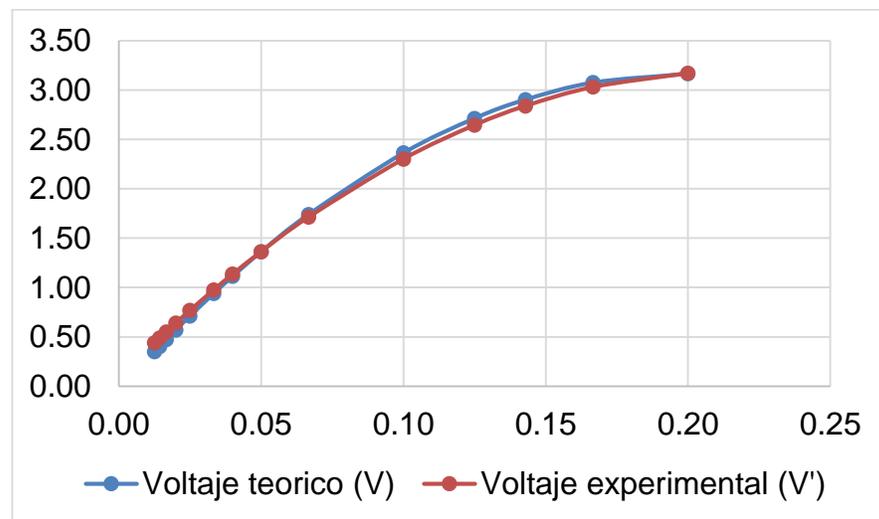
Dispositivo	GP2Y0A21YK0F	HC-SR04	ESP8266
Tecnología	Infrarrojo	Ultrasonido	Radiofrecuencia
Mayor alcance	80cm	400cm	10m
Precisión	Alta	Alta	Baja
Ángulo de trabajo	40°	30°	NA
Tiempo de respuesta	40ms	50us	50us
Tipo de salida	Análoga	Digital, pulsos TTL	Digital
Voltaje de operación	5VDC	5VDC	3,3VDC
Corriente de operación	30mA	15mA	80mA
Frecuencia de operación	300GHz - 400THz	40kHz	2,4Ghz
Circuito integrado	GP2Y0A21YK0F	QUAD OP-AMP LM324, EM78P1635, MAX232	CI ESP8266EX, Memoria Flash 25Q80
Alineación	√	√	X
Tendencia	√	√	X

Fuente: elaboración propia.

La tecnología más vulnerable es la infrarroja, ya que todos los cuerpos emiten luz infrarroja pero en diferentes cantidades y frecuencias. Es altamente

sensible a la luz directa del sol y algunas otras fuentes de iluminación, también puede falsear mediciones por cambios en el clima, temperatura, ambiente y varios factores externos. Además la detección es afectada por el material y color del objeto, ya que solo se tiene un porcentaje efectivo de medición dentro del rango de reflectividad, y este porcentaje es derivado dependiendo del material y el color del objeto. A pesar de la alta vulnerabilidad y poco alcance a distancia, realiza una compensación con la precisión del sensor. En la figura 44 se grafica la respuesta teórica versus la respuesta experimental del sensor GP2Y0A21YK0F, donde se denota y se confirma la precisión experimental del sensor respecto a los valores teóricos esperados. La tendencia experimental es formulada mediante la respuesta promedio del sensor experimentada en diferentes porcentajes de reflectividad, con una desviación estándar de 0.0287V.

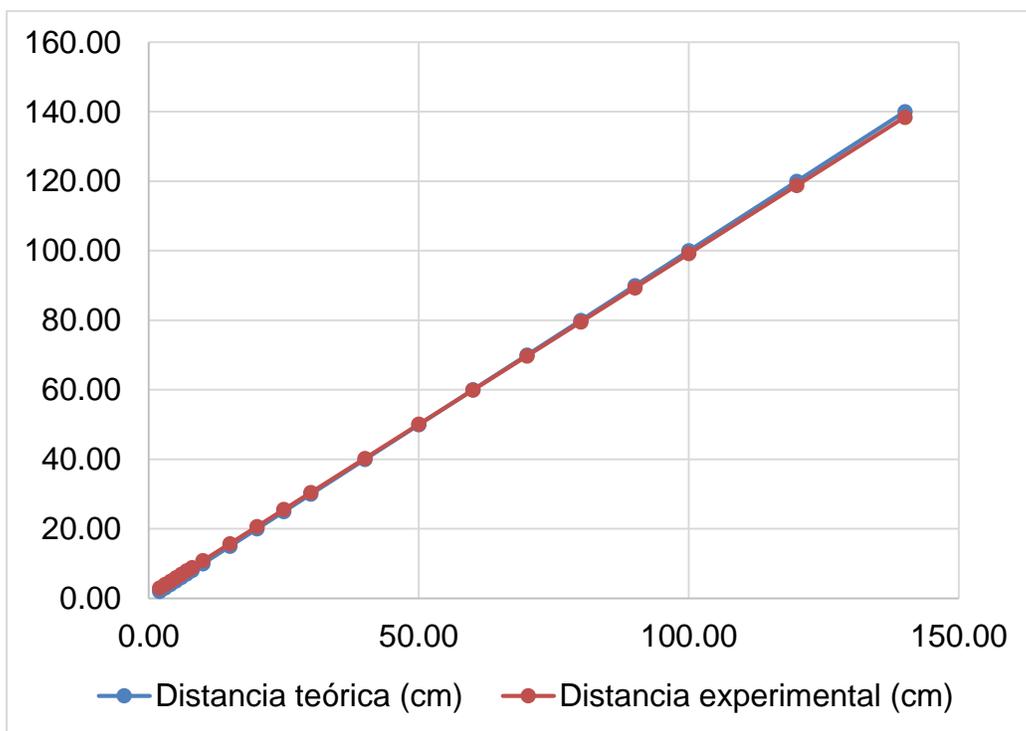
Figura 44. **Voltaje de salida teórico versus distancia experimental del sensor GP2Y0A21YK0F**



Fuente: elaboración propia.

Para el sensor ultrasónico la detección no es afectada por el tipo de material y/o color del objeto, además es inmune a factores externos como el polvo, agua, luz, entre otros. Según diversas fuentes de información, se compara la tecnología ultrasónica con la infrarroja, caracterizando que la tecnología ultrasónica supera en alcance de distancia a la tecnología infrarroja, y afirman que la precisión de esta última es mayor. En la figura 45 se denota que la precisión del sensor ultrasónico es alta, con una desviación estándar de 0,3674cm; no es comparable con la precisión del sensor infrarrojo pero es muy próxima a la misma.

Figura 45. **Distancia teórica vs distancia experimental del sensor ultrasónico HC-SR04**

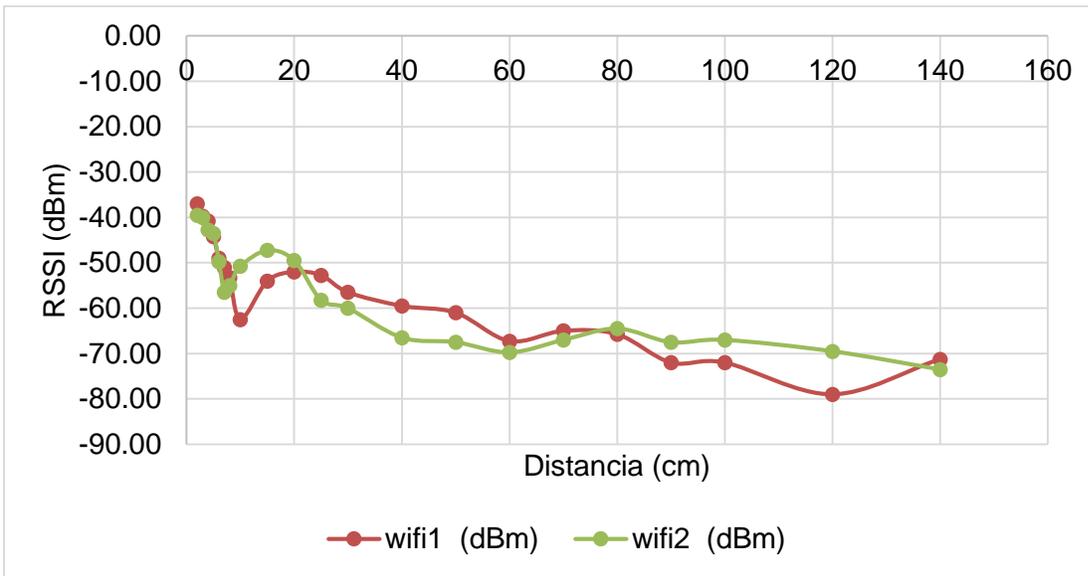


Fuente: elaboración propia.

Analizando el módulo wifi ESP8266, a cambio de un mayor consumo promedio de corriente, el módulo wifi ESP8266 utiliza tecnología más compleja y no necesita alineación para obtener la información de la distancia donde se encuentra del objeto. Sin embargo, el wifi ESP8266 es deficiente a la hora de obedecer a una tendencia de medir la distancia a la que se encuentra su objetivo, tal como se puede observar en la figura 46 graficando los datos de la tabla XIII. La tecnología infrarroja y ultrasónica sí obedecen a una tendencia, sacrificando con ello la distancia que pueden alcanzar, ya que ambas tecnologías alcanzan menos de la mitad de distancia que puede alcanzar el módulo wifi.

Cabe mencionar que, en la gráfica que presenta la respuesta de la señal de potencia recibida, el módulo es decreciente, exceptuando al inicio, en que se observa una pequeña elevación. Entonces, el segmento inicial de distancia menor de 10cm se puede obviar para buscar una tendencia o patrón, para estimar con mayor precisión la posición a la cual se encuentra el objeto a triangular.

Figura 46. **Distancia vs nivel de potencia recibido de los módulos wifi ESP8266**



Fuente: elaboración propia.

4. DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO

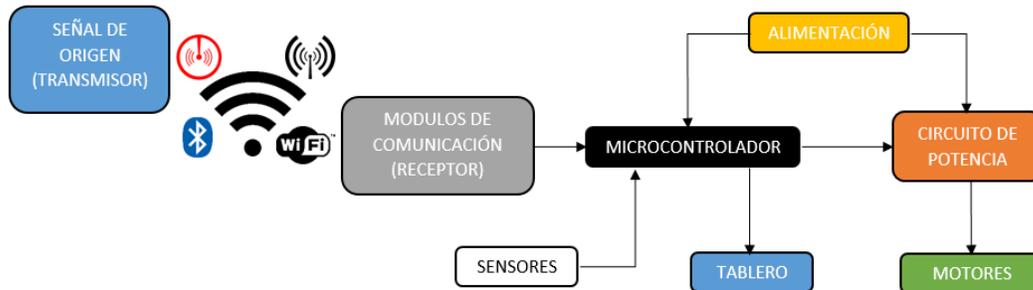
Independientemente de la tecnología a utilizar, sea una tecnología de las expuestas anteriormente o se halle una mejor solución tanto económica como funcional, se plasmará el diseño básico que se debe realizar para crear un autómata capaz de seguir una trayectoria guiada proveniente de una señal.

Según los valores experimentales obtenidos, se orientará el diseño utilizando el módulo wifi ESP8266, o bien usando Beacons, ya que cumplen la misma función solo que en estándares diferentes, wifi y *bluetooth*, respectivamente.

4.1. Diagrama de bloques

En la figura 47 se observa el diagrama de bloques básico que se debe establecer para realizar el autómata, explicando la función de cada bloque y a su vez cómo interactúa con los demás bloques en el sistema para darle funcionalidad al mismo.

Figura 47. Diagrama de bloque del diseño del autómeta



Fuente: elaboración propia.

- Alimentación, por ser un dispositivo totalmente portátil se debe trabajar con baterías recargables. Se recomienda la utilización de 2 diferentes tipos de batería.
 - Batería de iones litio (Li-ion) para el control electrónico, utilizando una batería de 12/5VDC para eliminar la etapa de regulación de voltaje a 5V. Dependiendo de la tecnología a utilizar, se necesitarán 3,3VDC y para ello sí se utilizará la regulación de voltaje por medio de reguladores fijos o reguladores ajustables, calculando la salida para 3,3VDC.
 - Batería de ácido-plomo, comúnmente se utiliza en vehículos, esta batería provee una potencia alta, destinada para los motores en el área de amplificación.

La razón principal por la cual se utilizan diferentes fuentes de energía es para protección del circuito electrónico, ya que la batería destinada para alimentar los motores genera sobrecorrientes que pueden dañar parcial o totalmente la placa electrónica de control y/o sensores. El

circuito de potencia controlará el suministro de corriente necesario para accionar los motores.

- Microcontrolador. Existen un sinnúmero de opciones de placas para controlar e interactuar con el autómata, la placa utilizada en las pruebas de discriminación de tecnología es de desarrollo Arduino, por ser una plataforma de desarrollo electrónica de código abierto basado en hardware y software fácil de usar. Con ello se pretende crear un diseño fácil de comprender, pudiendo ser replicado más adelante. Percibirá la información de los diferentes sensores para reconocer el entorno del autómata, y también es el encargado de traducir la información de los sensores y/o módulos de comunicación para triangular la señal de origen y definir una trayectoria de seguimiento. Además se encargará de interactuar con el tablero, desplegando tal información del entorno, niveles de batería, alertas de pérdida, entre otros.
- Sensores/Módulos de comunicación, encargados de detectar la señal de origen y obtener la información de tal manera que se pueda predecir la distancia a la cual se encuentra de la señal de origen. Luego tal información debe ser procesada por el microcontrolador y comparada con la información obtenida de ambos sensores, para determinar la posición y movimiento realizado, luego de una serie de cálculos. Además se podrá adicionar un módulo *bluetooth*, el cual se utilizará para la comunicación entre el autómata y un *smartphone*, con la finalidad de conocer el entorno y el estado del autómata, así mismo como un control auxiliar.
- El circuito de potencia es el intermediario entre el microcontrolador y los motores. Se utilizarán semiconductores de potencia para accionar los motores, los cuales son alimentados por la batería de ácido-plomo. Los semiconductores o módulos de potencia son accionados por lo general con señales PWM provenientes del microcontrolador.

- Los sensores del ambiente y el entorno ayudarán a predecir y evitar obstáculos que puedan presentarse en la trayectoria del autómatas, enviando la información al microcontrolador que, a su vez, desplegará la información en el tablero o bien informará al *smartphone* sobre el desempeño y funcionamiento del mismo, según sea el caso e importancia. Adicionalmente se agregarán sensores de voltaje para tener el control del nivel de carga de las baterías, para tener un mejor rendimiento y control del estado de las baterías para mantener operativo el autómatas.
- En el tablero se desplegará la información sobre el estado y procesos presentes del autómatas, utilizando una pantalla LCD, GLCD, entre otros. El tablero puede ser sustituido de emplearse la función de trasladar toda la información hacia el *smartphone* por medio del módulo *bluetooth*.
- Los motores a utilizar deben ser motores de potencia de voltaje directo, se obtendrá un mayor torque, arriesgando un tanto la velocidad, sin embargo, no se tendrá otra opción, ya que se debe trasladar y soportar un peso considerable, para lo cual están destinados. Los mismos serán gobernados por el circuito de potencia, regulando el paso de corriente para cada motor.
- La señal de origen es la encargada de guiar al autómatas, describiendo una trayectoria a seguir que el autómatas triangulará por medio de la potencia o intensidad de la señal recibida, convirtiendo tal valor en una distancia para predecir los movimientos.

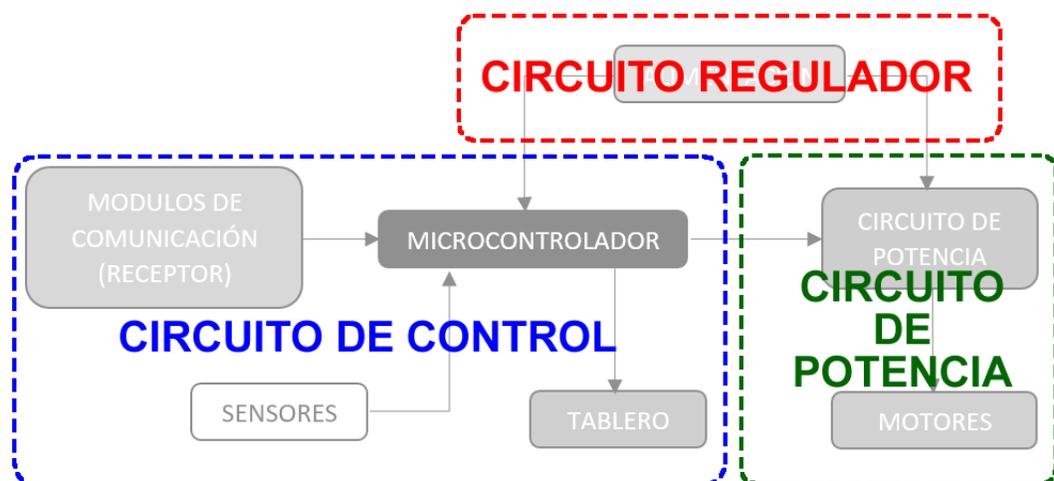
4.2. Diseño de circuito electrónico

Para diseñar un circuito electrónico existen diferentes metodologías, pudiendo ser un circuito analógico o digital. La complejidad de un circuito dependerá del número de componentes que lo forman, para lograr una

determinada función. Los circuitos de baja complejidad se denominan SSI, MSI y LSI para los circuitos de media y alta complejidad, respectivamente, y a los circuitos extraordinariamente complejos se les denomina VLSI, pues los conforman hasta cientos de millones de transistores, por ejemplo los microprocesadores modernos.

Al utilizar un microcontrolador, el diseño del circuito electrónico se vuelve mucho más práctico, ya que el microcontrolador forma parte de un circuito VLSI, dejando únicamente el diseño de circuitos auxiliares que tendrán que alcanzar un objetivo específico, para lo cual se orientarán al microcontrolador para controlar el autómata, valga la redundancia, automáticamente. Los circuitos electrónicos auxiliares necesarios para controlar se dividirán en 3 grupos, tal como lo muestra la figura 48, tomando como referencia el diagrama de bloques de la figura 47, seccionando a su vez el área donde estarán los diferentes circuitos electrónicos.

Figura 48. **Grupos de circuitos electrónicos auxiliares**



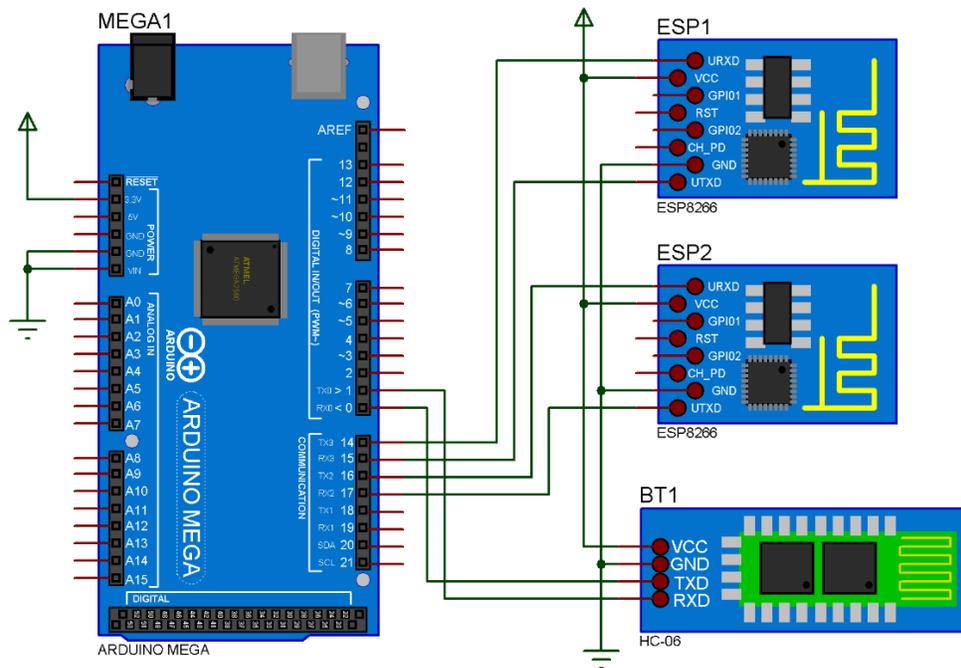
Fuente: elaboración propia.

4.2.1. Circuito de control

El circuito de control es la parte más importante y delicada del autómata, se encarga de recibir la información del entorno y enviar todas las instrucciones para desempeñar el funcionamiento del autómata, ya que dispone de las entradas y salidas principales. Para el envío de las instrucciones debe interpretar los datos entrantes para procesarlos y luego tomar decisiones con base en los resultados, accionando así las funcionalidades del autómata.

Partiendo de que, para el circuito de control, únicamente se diseñarán circuitos auxiliares que trabajarán conjuntamente con alguna placa controladora ya desarrollada, se propone trabajar con la placa Mega del vendedor Arduino, ya que se busca una placa que cumpla las características expuestas en el segundo capítulo. Se seccionarán los circuitos de la placa de control, en la figura 49 se observa la conexión de los módulos wifi ESP8266 hacia la placa en los puertos de conexión serial auxiliares, y en el puerto serial principal se encuentra conectado el módulo *bluetooth*.

Figura 49. Diagrama de conexión de controlador hacia dispositivos con puerto serial



Fuente: elaboración propia, empleando Proteus 8 Professional.

La razón por la cual el módulo de comunicación *bluetooth* se conecta en el puerto serial principal es la característica que posee tal puerto de tener una bandera de interrupción para realizar cualquier instrucción inmediatamente, sobreponiéndose ante cualquier tarea designada. Por ejemplo, desde un *smartphone* se podrá controlar el autómeta ante cualquier eventualidad, realizando la acción, de manera inmediata, de detener el autómeta, cambiando a algún modo manual de manejo, entre otros.

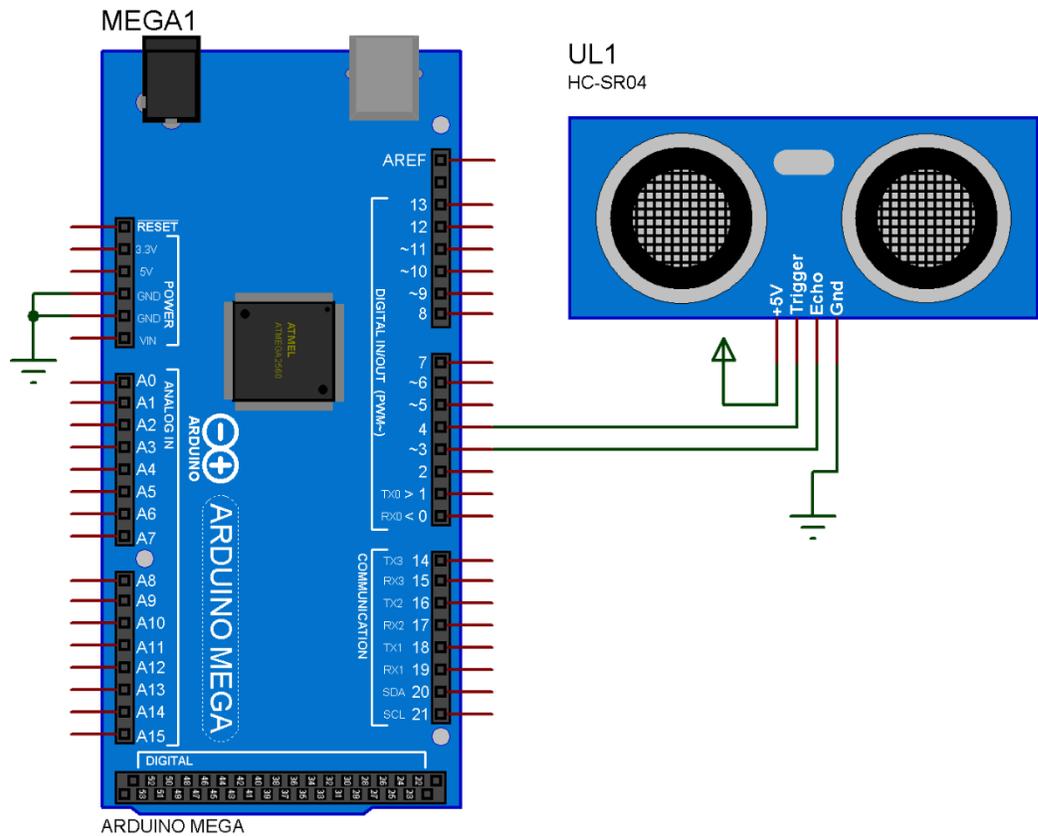
La interacción que tendrá el controlador con los módulos wifi ESP8266 será recibir el dato de la potencia de señal recibida, de una red wifi específica a la cual se deberá estar conectado, por medio de una cadena de caracteres, tal como se muestra en la figura 41. Cuando esté conectado se podrá enviar el

texto "AT+CWJAP?" para recibir una cadena de caracteres con la siguiente estructura: "+CWJAP:"SSID","MAC AddressesVendor",Area,RSSI", en la que se resalta el dato que interesa. Por medio de un análisis del orden de los caracteres se podrá separar los datos recibidos por medio de comas (,), siendo el último dato el de interés para determinar y triangular la distancia a la cual se encuentra el receptor del emisor.

Como parte del circuito de control también se incluye el manejo de información sobre el entorno, en el cual se encuentra el autómata, para evitar obstáculos que puedan presentarse por cuestión de topología del lugar o mal funcionamiento o falseamiento en las mediciones de distancia. Se incluye la opción de utilizar un conjunto de sensores ultrasónicos para evitar choques y mantener una distancia promedio entre usuario y autómata.

En la figura 50 se presenta el diagrama básico que se utiliza para manejar un sensor ultrasónico, no se requiere más de 2 pines digitales de propósito general para poder controlar cada sensor ultrasónico HC-SR04, una salida por parte del controlador para gobernar los tiempos de funcionalidad y una entrada cuyo sensor ultrasónico devuelve el valor del rebote de la señal ultrasónica. Cabe mencionar que no se puede realizar una medición simultánea entre sensores ultrasónicos, ya que estos, para operar, utilizan un temporizador mientras esperan la señal de retorno, por lo que se deberá trabajar consecutivamente para conocer el entorno del autómata.

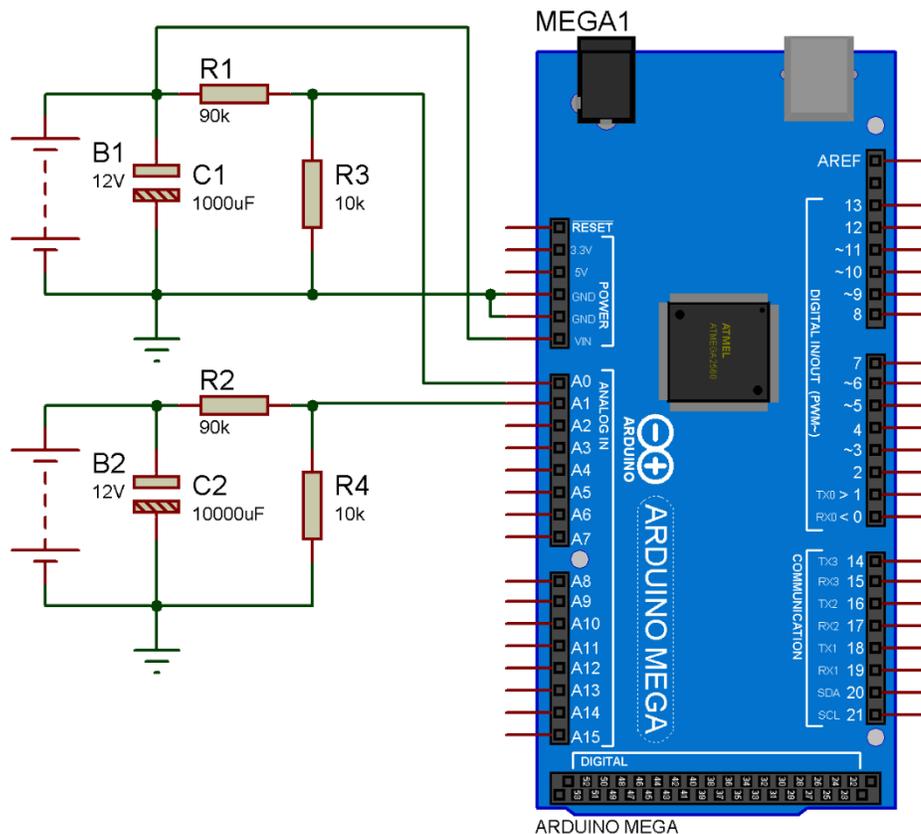
Figura 50. Diagrama de conexión de controlador con módulo HC-SR04



Fuente: elaboración propia, empleando Proteus 8 Professional.

Además de los sensores de proximidad para evitar obstáculos, también se agregan sensores para medir los niveles de ambas fuentes de energía, para evitar descargas en las baterías sin previa anticipación para ser cargadas o cambiadas. Entre las especificaciones necesarias para escoger el controlador se encontraba el contar con puertos analógicos, en este caso se utiliza la funcionalidad de convertir un valor analógico en digital (ADC). La lectura, por lo general, se realiza en valores de 10 *bits*, por lo que abarca los valores digitales de 0 a 1023, siendo 1023 el mayor valor, tomando como referencia de valor máximo el voltaje digital VCC (5VDC).

Figura 51. **Diagrama de controlador utilizando sensores ADC para baterías**



Fuente: elaboración propia, empleando Proteus 8 Professional.

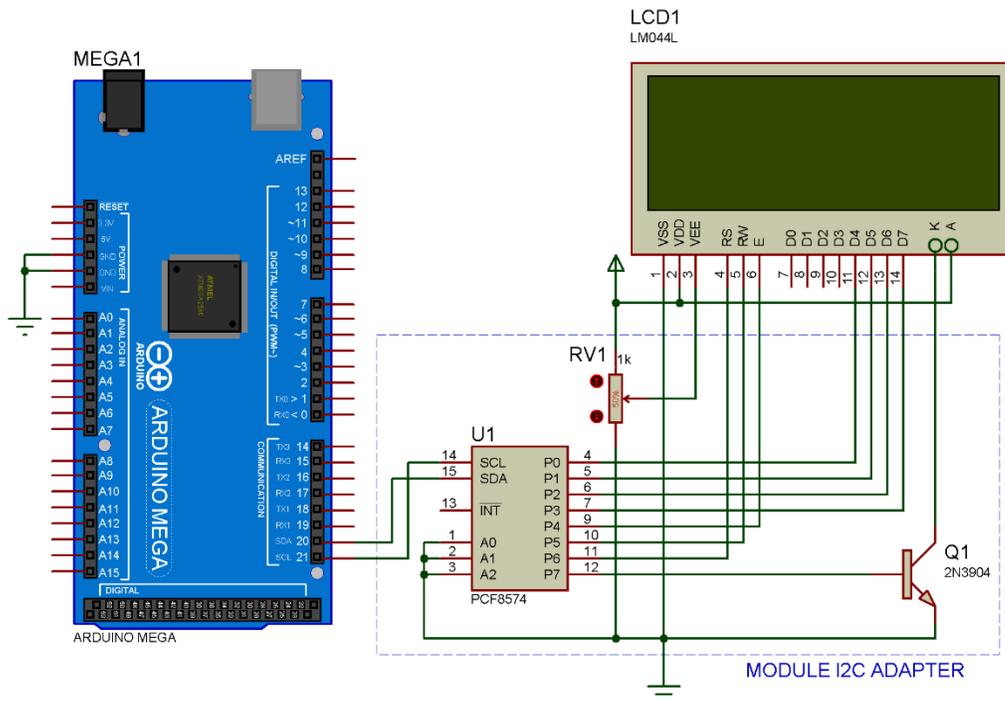
Sin embargo, como se menciona anteriormente, el valor máximo de voltaje de referencia es de 5VDC, por lo que no se puede colocar las terminales de la batería conectadas directamente al puerto analógico para su medición, ya que las mismas superan los 5VDC. Se encuentran alrededor de los 12VDC, por ello se tiene que recurrir a realizar un divisor de voltaje previo a la medición, para ello bastará con colocar 2 resistencias colocadas en serie paralelamente a la batería, tal como se observa en la figura 51, y el punto de conexión entre estas resistencias proporcionará el valor a medir. Para facilidad y optimización se

recomienda buscar y utilizar proporciones sencillas para conversión, en este caso sumando las resistencias en serie, de $90k\Omega + 10k\Omega = 100k\Omega$. La fracción de voltaje que se concentra en la resistencia de $10k\Omega$ es del 10 % del total de la batería a medir, con ello se puede determinar que, partiendo de que el valor máximo ADC de 1023 corresponde al voltaje digital de referencia VCC (5VDC), se puede calcular el valor ADC para 1,2VDC, siendo un valor de 246 cuando la batería se encuentre cargada al 100 %.

Para tener visibilidad del estado del autómeta se incluye un dispositivo visual con el cual se dispondrá la información más relevante de los acontecimientos entre la interacción entre usuario y autómeta, además de desplegar información sobre el desempeño del autómeta, niveles de batería, interrupciones, entre otros. Sin embargo, la visibilidad del estado del autómeta se podrá desplegar en un *smartphone* con el apoyo del módulo *bluetooth* y se podrán enviar tales datos para ser desplegados en la pantalla del mismo.

En la figura 52 se detalla el diagrama de conexión entre el controlador y la pantalla de cristal líquido (LCD), utilizando de por medio un módulo de comunicación utilizando protocolo I2C, adaptando la comunicación por medio de 2 cables sin bajar el desempeño del funcionamiento. El módulo de comunicación I2C se enmarca entre el recuadro punteado, únicamente consiste en el CI PCF8574, expandiendo puertos E/S de 8 *bits* para bus bidireccional de dos líneas (I2C), facilitando la conexión y la optimización de puertos de E/S del controlador.

Figura 52. Diagrama de conexión de controlador hacia pantalla LCD utilizando protocolo I2C por medio de un adaptador

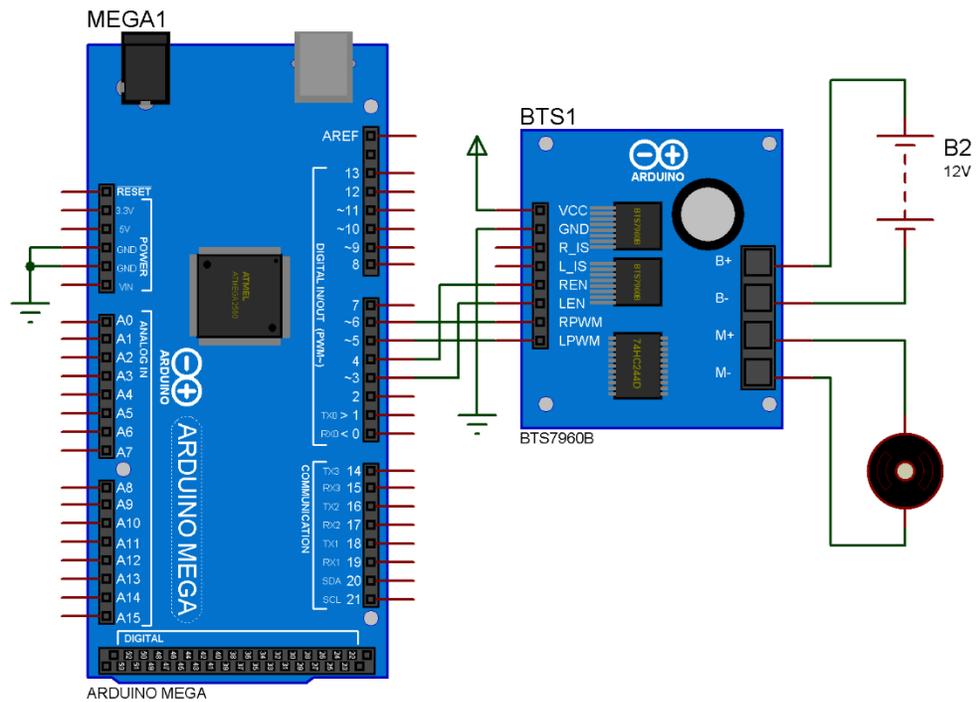


Fuente: elaboración propia, empleando Proteus 8 Professional.

4.2.2. Circuito de potencia

El circuito de potencia se encarga de controlar y suministrar el consumo de corriente que necesitan los componentes de potencia, en este caso los motores. Recibe las instrucciones del circuito de control, puede contener supresores de corriente directa para contrarrestar los picos de voltaje y sobretensiones generadas por la carga inductiva. Se alimenta de las dos fuentes de energía, utiliza la batería de Li-ion para la parte de control y la batería de ácido plomo para suministrar la energía a los motores.

Figura 53. Diagrama de conexión de controlador con módulo amplificador de potencia BTS7960B

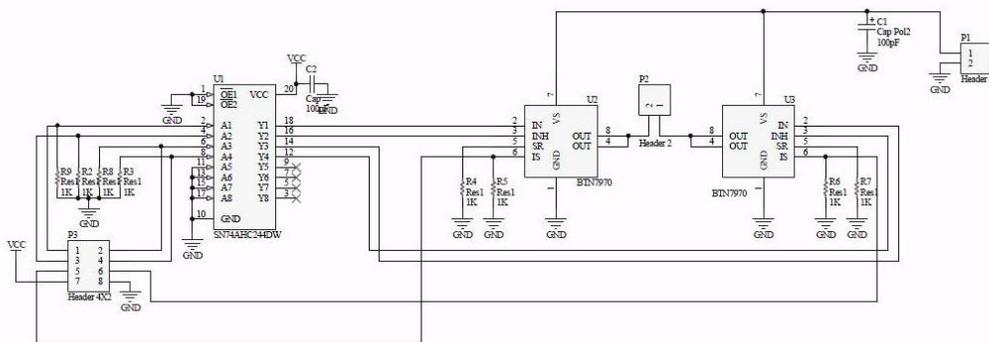


Fuente: elaboración propia, empleando Proteus 8 Professional.

En la figura 53 se diagrama la conexión entre controlador con el módulo de potencia BTS7906. Tomando en cuenta las recomendaciones en el segundo capítulo, se recomienda utilizar tal módulo de potencia por la característica de soportar corrientes continuas de 30A y 43A para picos de corrientes, ya que se pretende utilizar motores utilizados en sillas de ruedas eléctricas o carros de golf, como por ejemplo el motor DG6135, demandando una corriente máxima continua aproximadamente de 20A, dejando un margen de holgura ante sobrecargas o disparos de corrientes parásitas. El módulo BTS7906B aísla completamente el circuito digital de control con el circuito de potencia. El circuito digital consta de 8 pines, 2 de ellos son de alimentación lógica, cuenta con 2 pines de control para activar o desactivar alguna dirección, 2 pines de sensor de

corriente y diagnóstico, para detectar sentido de corriente y sobrecargas; por último, 2 pines para graduar el paso de corriente graduando con ello la velocidad a la cual trabajarán los motores, en una escala de 0 a 255, por ser una señal PWM que proviene del controlador. El módulo de potencia consta de 3 circuitos integrados, un CI 74HC244, dos CI BTS7960B y varios componentes pasivos, tal como se muestra en el diagrama esquemático en la figura 54.

Figura 54. Diagrama esquemático de módulo BTS7906B



Fuente: *Schematic BTS7906B*.

www.hmangas.com/Electronica/Datasheets/DCMotorDrivers/IBT-2_schematic.JPG. Consulta: 2 de septiembre de 2017.

4.2.3. Circuito regulador de tensión

Un circuito regulador de tensión es el encargado de mantener o estabilizar un nivel de tensión constante, sin importar la carga que esté soportando, además sirve de protección por sobrecargas de voltaje y corriente que pueden ser inyectadas al circuito de control, evitando el daño en el mismo. Existen diversas formas de diseñar un circuito regulador de tensión, por lo general, la mayoría de dispositivos operan con un voltaje de 5VDC, sin embargo, ya existen varios dispositivos que deben operar con un voltaje de 3,3VDC, por ello

se exponen las siguientes opciones para diseñar el circuito de regulación. Por fiabilidad y efectividad se recomienda el uso de cualquiera de las últimas 2 opciones de la siguiente lista:

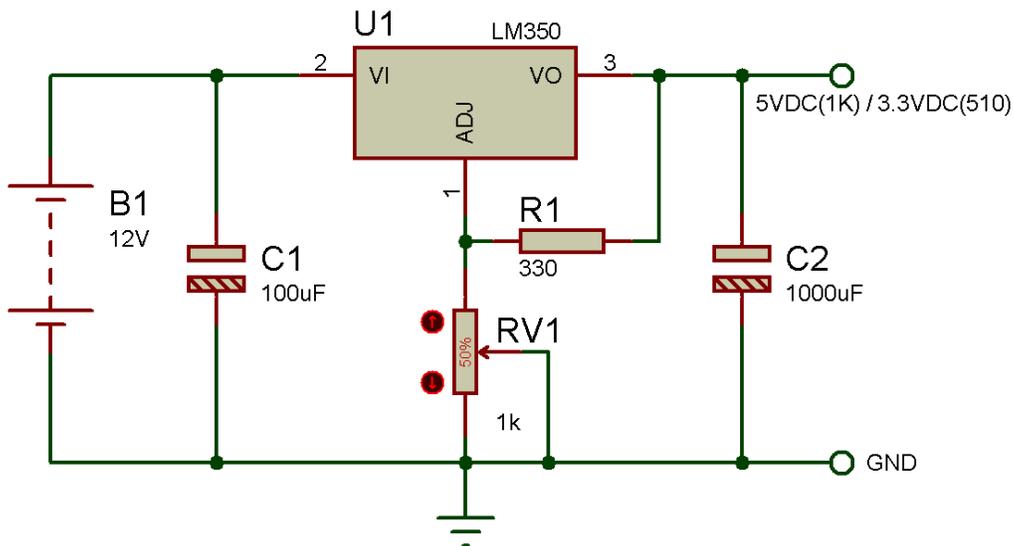
La primera opción es utilizar un divisor de tensión o divisor de voltaje, tal como se redujo en un 10 % el voltaje de las fuentes de energía en la figura 51. Se debe buscar una proporción para obtener el voltaje deseado, sin embargo, se tiene el inconveniente de que la carga influye en el desempeño del regulador, ya que la impedancia de entrada puede alterar el valor de la carga y con ello se reduce el voltaje y/o aumento de corriente. Es posible añadir diodos Zener en serie. Un diodo es una caída de tensión que es proporcional a la corriente que circula a través de él, por ende, cuanto mayor sea la corriente, mayor será la caída de tensión, entonces el voltaje depende de la corriente, el inconveniente es que la corriente depende a su vez de la resistencia que también es alterada por la impedancia de entrada.

La segunda opción se realiza mediante un *buffer* alimentado a 3,3VDC, una de las utilidades principales de un *buffer* es precisamente la de acoplar circuitos cuando sus impedancias son diferentes. Se alimenta el *buffer* a 3,3VDC, luego se conectan las salidas digitales de 5VDC en las entradas del *buffer* y el dispositivo a utilizar se conecta a las salidas del mismo, entonces ya no se tendrá el inconveniente con las impedancias, sin embargo, se debe tener ya una tensión regulada de 3,3VDC previamente para utilizarla como referencia.

La tercera opción es utilizar un regulador de voltaje variable, una opción un tanto estable comparada con las anteriores. Tendrá un leve inconveniente de disminución de voltaje dependiendo de la carga a la cual será sometido, sin embargo, tiene la singularidad de poder ser graduado con un potenciómetro o resistencia variable, ajustándose para distintas cargas.

En la figura 55 se diagrama el circuito regulador de tensión utilizando el regulador LM350. Con este dispositivo se asegura una entrega de corriente alrededor de 3A según especificaciones, superior a los demás reguladores que solo entregan una corriente máxima de hasta 1A, sin necesidad de agregar ningún componente más que 2 resistencias de ajuste. Independientemente de que sea un circuito electrónico demanda un alto consumo de corriente, pudiendo fallar el circuito si el voltaje de alimentación decrece.

Figura 55. **Diagrama regulador de voltaje variable con LM350**

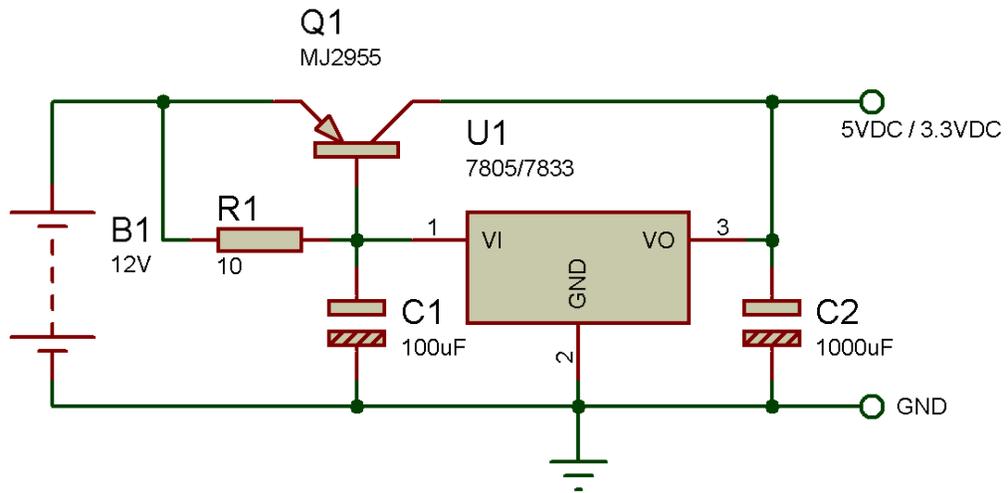


Fuente: elaboración propia, empleando Proteus 8 Professional.

La cuarta opción es un regulador de tensión fijo con el cual se asegura la entrega de un voltaje constante, sin embargo, dependerá de las especificaciones técnicas del dispositivo, ya que en su mayoría entrega una corriente máxima de 1A, de la misma forma que, en los casos anteriores, por la teoría de la máxima transferencia de potencia se verá afectado si la carga o la impedancia de entrada consume una corriente alta. Para este caso existe una modificación, pudiendo utilizar un transistor de paso para poder aumentar el

paso de corriente; con ello el transistor se encarga del paso de corriente y el regulador de mantener un voltaje constante. En la figura 56 se diagrama el diseño utilizando un transistor de paso. Cabe mencionar que se debe utilizar un transistor BJT de potencia para aprovechar y amplificar al máximo la corriente.

Figura 56. **Diagrama regulador de voltaje fijo utilizando transistor de paso**



Fuente: elaboración propia, empleando Proteus 8 Professional.

4.3. **Diseño de estructura y dimensiones del autómat**

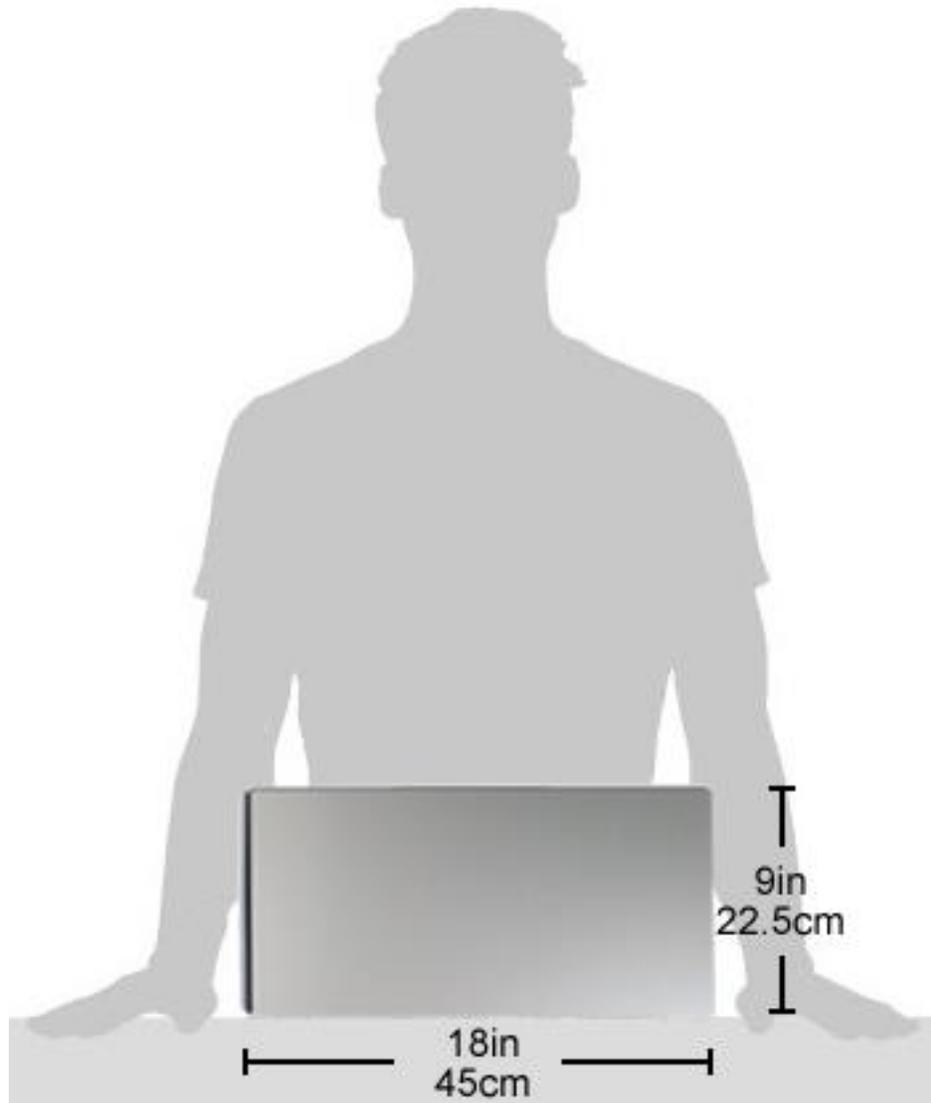
El autómat debe cumplir con algunos requisitos físicos fundamentales para realizar un óptimo desempeño como herramienta capaz de facilitar la vida humana. La estructura del autómat debe ser liviana, pero a su vez resistente, ya que tiene como finalidad el traslado de objetos pesados. Se recomienda utilizar aluminio con un grosor considerable, adicionalmente se debe crear una sección en donde se encontrará toda la circuitería debidamente protegida, evitando daños por algún mal funcionamiento del dispositivo y que este sufra

algún daño, además, para evitar futuros peligros en infraestructuras y posibles heridas en el cuerpo humano por golpes o roces, se recomienda eliminar las puntas de la estructura.

En el diseño de la estructura se puede combinar la portabilidad, creando un diseño desplegable tal que, aplicando una fuerza contraria a la del peso, la estructura se compacte convirtiéndose en un maletín de mano, para luego poder desplegarse con facilidad para su nuevo uso. Para establecer las dimensiones de la base y el peso máximo a soportar, se toma como referencia el promedio de las maletas y objetos comunes que se cargan en la vida diaria, tales como un garrafón de agua, bote de basura, entre otros. Se estima que las dimensiones necesarias de la base son de 45cm^2 , soportando un peso máximo alrededor de 25kg .

En la figura 57 se muestra la relación de dimensiones que tendrá el autómata respecto al usuario, colocando las dimensiones del autómata compacto, es decir, ya retraído para su portabilidad como un maletín metálico doblado, justamente a la mitad para poder transportarse a cualquier lugar ocupando el mínimo espacio.

Figura 57. **Relación de dimensiones del autómata respecto al usuario**

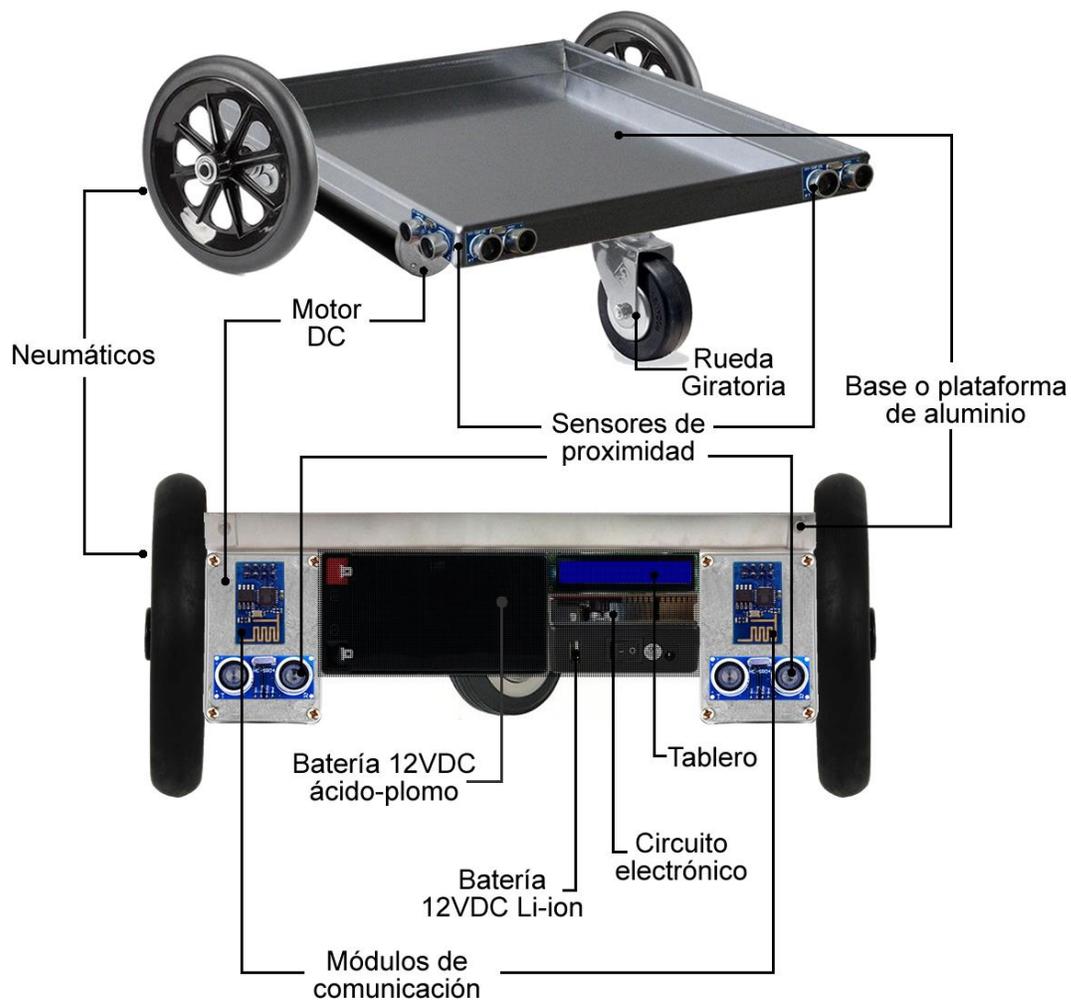


Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, para empezar con el diseño y colocación de los componentes, se realiza una lista de los componentes necesarios y su funcionalidad para ser incluidos en el diseño de la estructura, los cuales se ejemplifican en la figura 58,

adecuando los componentes de manera que puedan cumplir juntamente con el objetivo.

Figura 58. **Vista lateral y frontal del diseño de las partes de la estructura del autómat**



Fuente: elaboración propia.

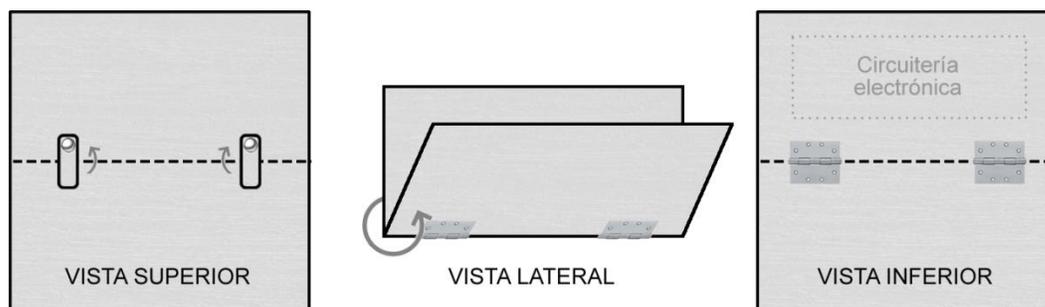
- Base o plataforma, superficie plana y amplia para soportar el peso de los objetos, realizada de aluminio para reducir el peso del diseño.

- Rueda loca, de pivote o rotatoria. Rueda sin tracción, simple o doble, generalmente está situada en la parte inferior, sujeta a la superficie con una estructura que tiene un eje en su centro, anclado a la rueda que puede girar libremente.
- Neumáticos, ruedas fabricadas de caucho por lo general, ajustados por medio de los cojinetes al eje del motor DC. se estima trabajar con un neumático con radio de 10cm como máximo.
- Cojinetes, elementos mecánicos que reducen la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este por medio de rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.
- Motor eléctrico de 12VDC o 24VDC, alta velocidad, potencia y torque. Se recomienda utilizar un modelo de motor con caja de cambios o de cremallera, por ejemplo el motor DG6135, con el que, sacrificando el valor del torque, se obtiene un alto valor en las RPM, pudiendo llegar hasta 300RPM sin perder potencia. Partiendo de que la velocidad promedio al caminar o trasladarse de una persona es de 5km/h, equivalente a 1,4m/s aproximadamente, por lo que para trabajar con una llanta de radio de 10cm será necesario un motor que entregue como mínimo una prestación de 130RPM para igualar o superar la velocidad promedio humana al caminar. Los datos fueron calculados tal como se observa en el apéndice 8.
- Sensores de proximidad, colocados alrededor de las terminaciones de la estructura para predecir el entorno que rodea el autómatas, pudiendo así esquivar obstáculos evitando realizar algún daño humano o material.
- Módulos de comunicación, colocados al frente del autómatas para tener la mejor visibilidad y eje de movimiento del autómatas respecto al usuario, pudiendo tomar las direcciones según los datos recibidos.
- Circuitería electrónica, colocada por debajo de la estructura evitando ser estorbo en la funcionalidad el portador de objetos, dejando libre el área

de la base o plataforma para colocar los objetos a trasladar. Se recomienda asegurarla debidamente en una pequeña caja, protegiéndola de cualquier golpe o daño que pueda recibir el autómata.

El diseño de la estructura portable consistirá en la modificación de la base, partiéndola por la mitad y colocando 2 pequeñas bisagras de tal forma que la estructura pueda cerrarse por dentro, ya que si fuera hacia el otro lado se tendría conflicto con la circuitería electrónica y las llantas, como se puede observar en la vista inferior de la figura 59, sin embargo, se deben colocar dos pequeñas placas con remaches en uno de sus extremos, como lo muestra la vista superior, para movilizar las pequeñas placas y así poder darle soporte a la base cuando se encuentren perpendiculares al corte, ya que, con el peso de los objetos, se doblaría la estructura hacia abajo. La función de los remaches es tener la opción de regresarlos a su posición paralelos al corte de la estructura para doblar nuevamente la misma, así quedando portable, tal como se observa en la vista lateral.

Figura 59. **Diseño de estructura portable**

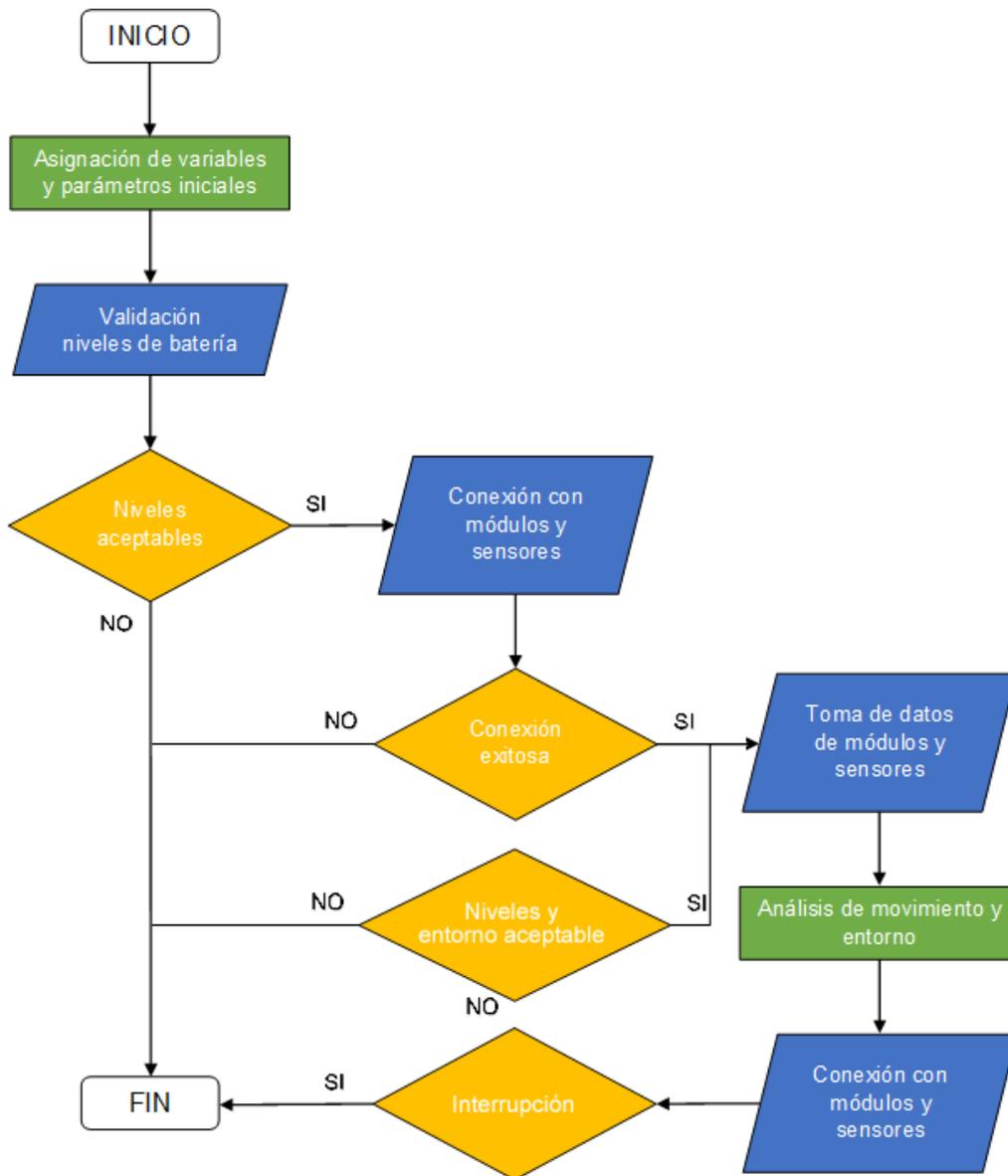


Fuente: elaboración propia.

4.4. Diseño de software

El software necesario para controlar el autómata se debe desarrollar en 2 partes, siendo cada una en distinta plataforma. El primer software es el principal y por lo tanto elemental, es el encargado de dirigir la funcionalidades del autómata por medio del controlador, en este caso se deberá tener conocimiento básico sobre programación para lograr accionarlo según los acontecimientos percibidos de su entorno, siguiendo la lógica secuencial del diagrama de flujo de la figura 60. Cabe mencionar que las interrupciones son generadas por el control o mando, en este caso, por el segundo software, siendo este una aplicación del *smartphone*. Para asegurar el desempeño del autómata tendrá la función de detenerse al momento de no contar con los niveles mínimos de batería ni el entorno aceptable, para evitar mal funcionamiento del mismo.

Figura 60. Diagrama de flujo de software principal para autómeta

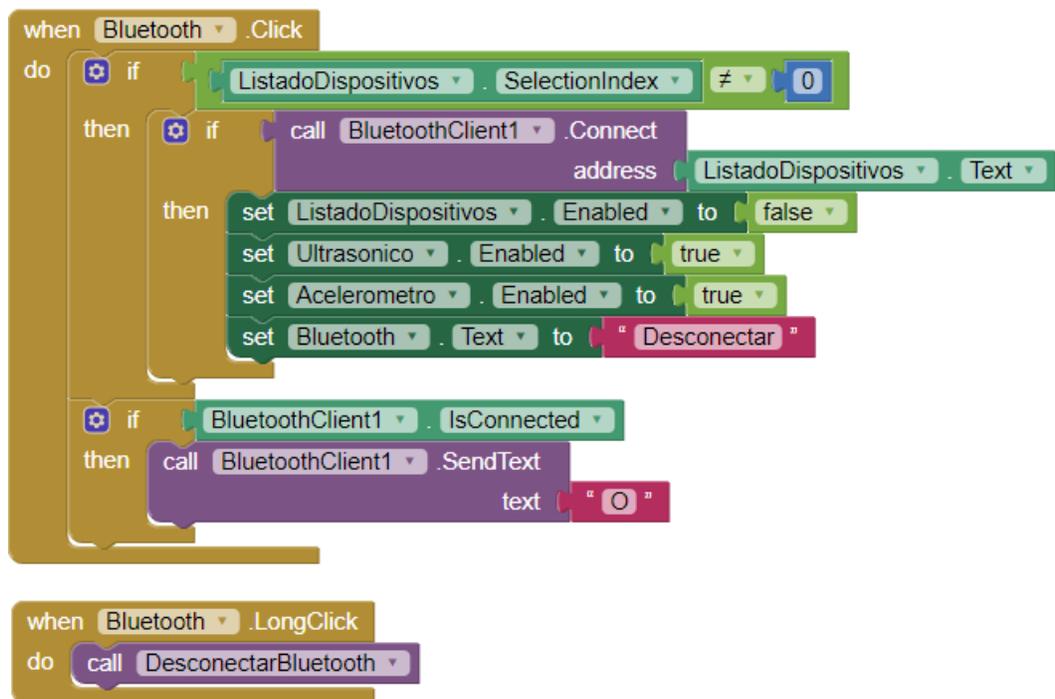


Fuente: elaboración propia.

El tipo de lenguaje a utilizar es indiferente, por ello se presta más atención a la lógica secuencial de la programación. Ahora bien, respecto al siguiente software a realizar, existen diversos lenguajes y programas para desarrollar

aplicaciones para teléfonos inteligentes, sin embargo, la forma más sencilla de desarrollar una será de modo gráfico, limitando funcionalidades y desarrollos, sin embargo, aumenta en cuanto a accesibilidad para programar, ya que es una programación realizada en diagrama de bloques, tal como lo muestra la figura 61, un proceso para vincular por medio de *bluetooth* el *smartphone* con el módulo del autómeta para envío y recepción de información, utilizando la plataforma online MIT App Inventor.

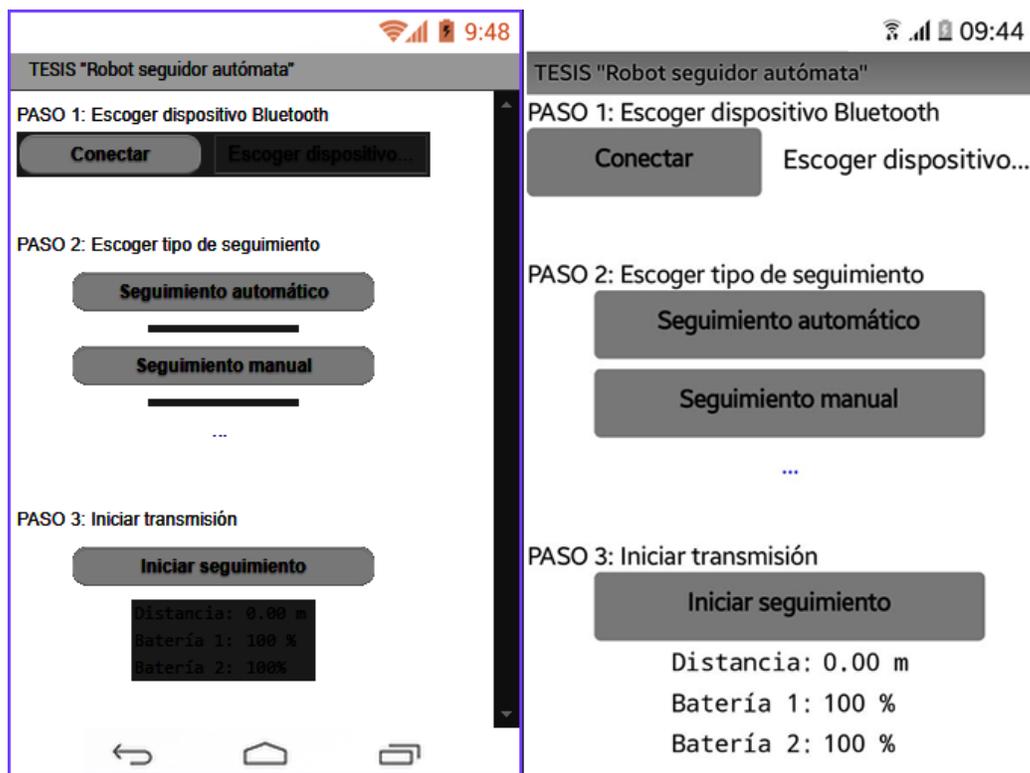
Figura 61. Programación en diagrama de bloques del proceso de vinculación *bluetooth* entre autómeta y *smartphone* en MIT App Inventor



Fuente: MIT App Inventor. *Robot seguidor autómeta*. ai2.appinventor.mit.edu.Consulta: 10 de septiembre de 2017.

Se tendrá que prestar atención al diseño gráfico de la aplicación, será de importancia ser explícito con las funcionalidades, utilizando a su vez la mayor simplicidad posible, ya que será la interacción entre autómata-usuario y, por lo tanto, tendrá que ser entendible sin la necesidad de tener presente un manual de usuario. El diseño propuesto se observa en la figura 62, del lado izquierdo se presenta el diseño dentro de la plataforma *online* MIT App Inventor, del lado derecho se presenta una vista previa de la aplicación, que consiste en 3 simples pasos.

Figura 62. **Diseño de la aplicación para robot seguidor autómata en MIT App Inventor y vista en *smartphone***



Fuente: MIT App Inventor. *Robot seguidor autómata*. ai2.appinventor.mit.edu. Consulta: 10 de septiembre de 2017.

- Paso 1: escoger dispositivo *bluetooth*, se encuentran los demás botones bloqueados y se espera la conexión entre el *smartphone* y el módulo del autómeta. Una vez realizada la conexión, se desbloquean los botones del siguiente paso.
- Paso 2: escoger tipo de seguimiento, brindando la opción de seguimiento automático y seguimiento manual. El seguimiento automático consiste en la utilización de la triangulación de la señal inalámbrica, es decir de la señal wifi proporcionada por el *smartphone* al ser utilizado como punto de acceso (*hotspot*). Por su parte, el seguimiento manual se habilitará por algún mal funcionamiento o preferencia de usuario, siendo gobernado por el *smartphone* y utilizado como *joystick*, utilizando el acelerómetro y giroscopio incorporado en todos los *smartphones*. Una vez escogido el tipo de seguimiento se desbloquea el botón del paso 3.
- Paso 3: iniciar transmisión. Empezarán a fluir los datos entre el *smartphone* y el autómeta, brindando una estimación de la distancia entre estos, además se recolecta la información del porcentaje de las baterías para ir controlando el uso del autómeta.

CONCLUSIONES

1. Tanto la tecnología infrarroja como la tecnología ultrasónica, siendo catalogadas como sensores de proximidad, tienen la desventaja de que el área efectiva de trabajo dependerá en un gran porcentaje de la distancia a la cual se trabaje. En este caso la distancia óptima no podrá sobrepasar un radio de 4 metros, siendo la mayor desventaja superar el requerimiento de encontrarse dentro de un rango visible para operar correctamente, de lo contrario estas tecnologías están anuentes a medidas erróneas, por lo que únicamente serán ideales para evitar obstáculos más no para realizar un robot seguidor automático.
2. La tecnología de radiofrecuencia, por ser una tecnología que utiliza las ondas electromagnéticas para poder propagarse en el medio, no tiene el inconveniente de requerir estar alineada para transmitir la información, ya que puede atravesar la mayoría de superficies, superando el alcance de hasta 10 metros en un espacio abierto, por ello es una tecnología adaptable para el desarrollo como seguidor automático, pudiendo utilizar estándares reconocidos, tales como el wifi y *bluetooth*.
3. Los módulos wifi ESP8266, según los datos experimentales, brindan medidas fuera de lo esperado, o carentes de un patrón de respuesta a distancias menores de 50 centímetros, por lo que se debe delimitar como distancia mínima tal medida entre usuario y automático, y como distancia máxima el mayor alcance posible, aproximándose a 10 metros en espacio abierto, protegiendo así al usuario por golpes imprevistos del

autómata a causa de mal funcionamiento y convirtiendo la debilidad en una fortaleza.

RECOMENDACIONES

1. Proveer al robot de un sistema de protección antirrobo, equipando sensores o alarmas cuando sobrepase un límite de distancia entre usuario y autómeta, bloqueando el movimiento y enviando imágenes por cámara previamente instalada, y tomar en cuenta la ubicación por medio de un módulo GPS, aplicando el sistema de protección ante cualquier mal funcionamiento del autómeta.
2. Utilizar fuentes de energía renovable, desarrollar un sistema creado con paneles solares u otra fuente similar, para el autosostenimiento de la alimentación del robot autómeta seguidor.
3. Fabricar estructura a base de fibra de carbono, con el objetivo de reducir el peso y rigidez en la misma. Adicionalmente este material absorbe las vibraciones de las superficies, aligerando el avance del autómeta, sin embargo, tendrá un costo mayor por el uso de este material.
4. Comparar las tecnologías expuestas en este trabajo con tecnologías ya desarrolladas de seguidores automáticos, tomando en cuenta especificaciones técnicas, experimentales, alcances, costos, entre otros.
5. Evaluar la selección de los motores y neumáticos óptimos para el desarrollo del autómeta, aumentando con ello la tracción y rapidez, mejorando la respuesta y soportando mayor peso en la estructura.

6. Desarrollar autonomía inteligente para el robot, siendo capaz de llegar a un punto de destino previamente establecido sin la necesidad de ser guiado, buscando la mejor trayectoria para hacerlo.

BIBLIOGRAFÍA

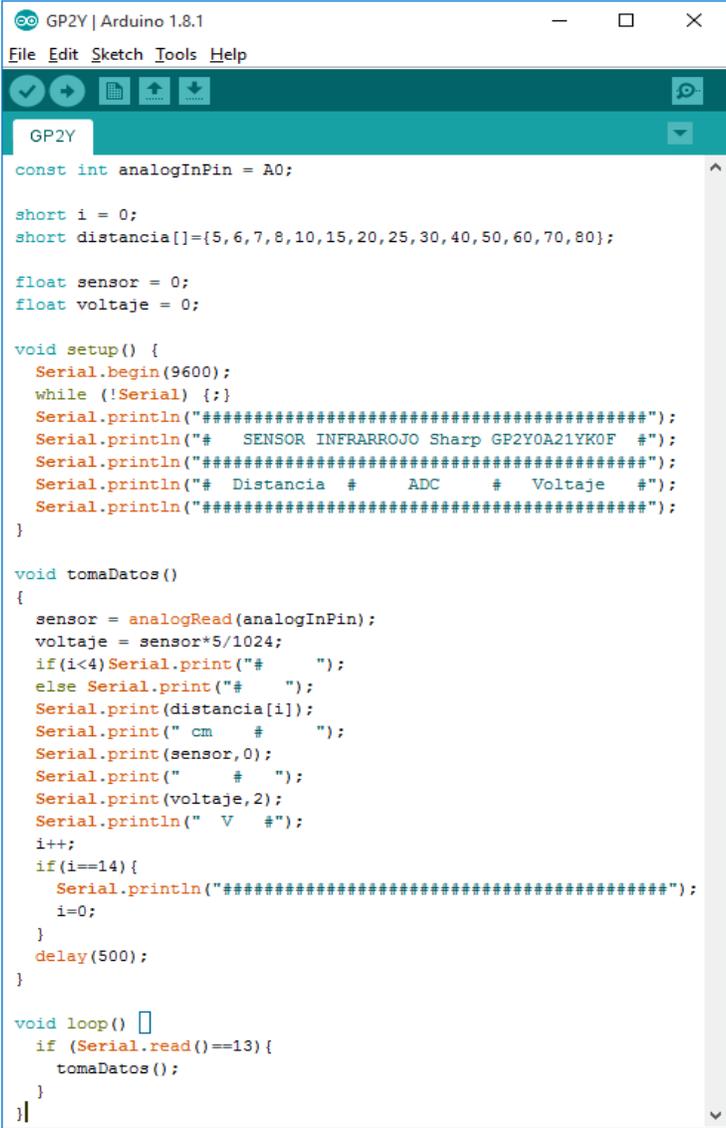
1. Área de Ingeniería de Sistemas y Automática. *Autómatas en la historia*. [en línea] <automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/automas_en_la_historia.htm>. [Consulta: 17 de julio de 2016].
2. BREUER, Enrique. *Pasar de 5V a 3.3V*. [en línea] <www.educachip.com/pasar-de-5v-a-3-3v>. [Consulta: 2 de septiembre de 2017].
3. CHAPMAN, Carol; SHEEHAN, Moira; ALDERTON, Gill. *Catalyst: a framework for success*. EE.UU.: Heinemann, 2003. 120 p.
4. CID, Felipe; MELILLANCA, Javier. *Diseño y programación de algoritmos de control en robots móviles. Estudio y aplicación a ROBOTINO - FESTO*. Trabajo de graduación de Ingeniería Electrónica. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile, 2010. 10 p.
5. Consinfin. *¿Qué es la comunicación inalámbrica (wireless)?* [en línea] <consinfin.com/que-es-la-comunicacion-inalambrica-wireless/>. [Consulta: 20 de julio de 2016].
6. CONTRERAS, Luis. *Diseño y construcción de robot seguidor de línea*. Trabajo de graduación de Técnico Superior Universitario en Mecatrónica, Área de Automatización. Universidad Tecnológica de Querétaro, 2014. 2 p.

7. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. *Sensores*. [en línea] <www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>. [Consulta: 20 de julio de 2016].
8. Espressif Systems. *ESP8266EX Datasheet*. [en línea] <espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf>. [Consulta: 31 de enero de 2017].
9. GUERRERO, Alberto. *Electrotecnia: fundamentos teóricos y prácticos*. Madrid: McGraw-Hill, 1994. 36 p.
10. *Historia de la Informática. Historia de las redes inalámbricas*. [en línea] <histinf.blogs.upv.es/2010/12/02/historia-de-las-redes-inalambricas>. [Consulta: 20 de julio de 2016].
11. MOHR, Otto. *Electrotecnia general*. México: UTEHA, 1962. 89 p.
12. MPJA, Inc. *HC-SR04 User Guide*. [en línea] <www.mpja.com/download/hc-sr04_ultrasonic_module_user_guidejohn.pdf>. [Consulta: 23 de mayo de 2017].
13. OLLERO, Aníbal. *Robótica: manipuladores y robots móviles*. España: Marcombo, 2005. 1 p. 6p. 11 p.
14. PARRA, Sergio. *Los primeros autómatas de la historia*. [en línea] <www.xatakaciencia.com/robotica/los-primeros-automatas-de-la-historia>. [Consulta: 17 de julio de 2016].

15. Sharp. *Datasheet GP2Y0A21YK0F*. [en línea] <www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf>. [Consulta: 14 de abril de 2017].
16. SPITZER. *¿Qué es el infrarrojo?* [en línea] <legacy.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/ir/infrared.html>. [Consulta: 14 de agosto de 2016].
17. Upcommons. *Sistemas de control*. [en línea] <upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf>. [Consulta: 20 de julio de 2016].

APÉNDICES

Apéndice 1. Programa para recabar información de sensor GP2Y



```
GP2Y | Arduino 1.8.1
File Edit Sketch Tools Help
GP2Y
const int analogInPin = A0;

short i = 0;
short distancia[]={5,6,7,8,10,15,20,25,30,40,50,60,70,80};

float sensor = 0;
float voltaje = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {}
  Serial.println("#####");
  Serial.println("# SENSOR INFRARROJO Sharp GP2Y0A21YK0F #");
  Serial.println("#####");
  Serial.println("# Distancia # ADC # Voltaje #");
  Serial.println("#####");
}

void tomaDatos()
{
  sensor = analogRead(analogInPin);
  voltaje = sensor*5/1024;
  if(i<4)Serial.print("# ");
  else Serial.print("# ");
  Serial.print(distancia[i]);
  Serial.print(" cm # ");
  Serial.print(sensor,0);
  Serial.print(" # ");
  Serial.print(voltaje,2);
  Serial.println(" V #");
  i++;
  if(i==14){
    Serial.println("#####");
    i=0;
  }
  delay(500);
}

void loop() {
  if (Serial.read()==13){
    tomaDatos();
  }
}
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Programa para recabar información de sensor HC-SR04

```
SR-HC04 | Arduino 1.8.1
File Edit Sketch Tools Help
SR-HC04 $

byte Trigger1 = 2;
byte Trigger2 = 8;
byte Echo1 = 3;
byte Echo2 = 9;

long tiempo1;
long tiempo2;
float distancia1;
float distancia2;

short i = 0;
short distancia[]={2,3,4,5,6,7,8,10,15,20,25,30,40,50,60,70,80,90,100,120,140};

void tomaDatos()
{
  // TOMA DE DATOS DEL PRIMER SENSOR
  digitalWrite(Trigger1,LOW);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(Trigger1,HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(Trigger1,LOW);
  tiempo1 = (pulseIn(Echo1,HIGH)/2);
  distancia1 = float(tiempo1 * 0.0343);

  // TOMA DE DATOS DEL SEGUNDO SENSOR
  digitalWrite(Trigger2,LOW);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(Trigger2,HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(Trigger2,LOW);
  tiempo2 = (pulseIn(Echo2,HIGH)/2);
  distancia2 = float(tiempo2 * 0.0343);

  // DESPLIEGUE DE INFORMACIÓN POR PUERTO SERIAL
  Serial.print(distancia[i]);
  Serial.print(distancia1);
  Serial.print(distancia2);
  i++;
  delay(500);
}

void setup()
{
  pinMode(Trigger1, OUTPUT);
  pinMode(Trigger2, OUTPUT);
  pinMode(Echo1, INPUT);
  pinMode(Echo2, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {}
}

void loop()
{
  // TOMA UN DATO CADA VEZ QUE SE PRESIONE ENTER
  if (Serial.read()==13){
    tomaDatos();
  }
}
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Programa para recabar información de módulo wifi ESP8266

```
ESP8266 | Arduino 1.8.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP8266 $
#include <SoftwareSerial.h>
#define baudios 115200
SoftwareSerial Wifi1( 8, 9);
SoftwareSerial Wifi2(10,11);
char c;
char rssi1[3];
char rssi2[3];
unsigned short i = 0;
unsigned short k = 0;
unsigned short l = 0;
boolean flag = false;
short distancia[]={2,3,4,5,6,7,8,10,15,20,25,30,40,50,60,70,80,90,100,120,140};

void setup() {
  Serial.begin(baudios); while (!Serial) {};
  Wifi1.begin(baudios); Wifi2.begin(baudios);
  delay(1000);
}

void loop() {
  if (Serial.read()==13) {
    delay(100);
    i=0; k=0; flag = false;
    Wifi1.listen(); Wifi1.println("AT+CWJAP?");
  }
  if (Wifi1.available()>0) {
    c = Wifi1.read();
    if(i==5 && c>47 && c<58) { rssi1[k]=c; k++; }
    else if(i==6)
    {
      i=0; k=0; Wifi2.listen();
      Wifi2.println("AT+CWJAP?");
    }
  }
  if(c==44 || c ==13) i++;
}
if (Wifi2.available()>0) {
  c = Wifi2.read();
  if(i==5 && c>47 && c<58) { rssi2[k]=c; k++; }
  else if(i==6) { i++; flag = true; }
  if(c==44 || c ==13) i++;
}
if(flag == true)
{
  if(l<7)Serial.print("#   ");
  else if(l<18)Serial.print("#   ");
  else Serial.print("#   ");
  Serial.print(distancia[l]);
  Serial.print(" cm #   ");
  Serial.print(rssi1);
  Serial.print(" #   ");
  Serial.print(rssi2);
  Serial.println(" #");
  l++;
  if(l==21)
  {
    Serial.println("#####");
    l=0;
  }
  flag = false;
}
}
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Datos desplegados por SecureCRT del sensor GP2Y

```

SerialCOM13 - SecureCRT
File Edit View Options Transfer Script Tools Window Help
SerialCOM13
#####
# SENSOR INFRARROJO Sharp GP2Y0A21YK0F #
#####
# Distancia # ADC # Voltaje #
#####
# 5 cm # 617 # 3.01 V #
# 6 cm # 617 # 3.01 V #
# 7 cm # 611 # 2.98 V #
# 8 cm # 566 # 2.76 V #
# 10 cm # 471 # 2.30 V #
# 15 cm # 330 # 1.61 V #
# 20 cm # 271 # 1.32 V #
# 25 cm # 213 # 1.04 V #
# 30 cm # 179 # 0.87 V #
# 40 cm # 137 # 0.67 V #
# 50 cm # 122 # 0.60 V #
# 60 cm # 114 # 0.56 V #
# 70 cm # 127 # 0.62 V #
# 80 cm # 114 # 0.56 V #
#####
# 5 cm # 630 # 3.08 V #
# 6 cm # 672 # 3.28 V #
# 7 cm # 614 # 3.00 V #
# 8 cm # 565 # 2.76 V #
# 10 cm # 470 # 2.29 V #
# 15 cm # 332 # 1.62 V #
# 20 cm # 268 # 1.31 V #
# 25 cm # 213 # 1.04 V #
# 30 cm # 179 # 0.87 V #
# 40 cm # 137 # 0.67 V #
# 50 cm # 118 # 0.58 V #
# 60 cm # 110 # 0.54 V #
# 70 cm # 114 # 0.56 V #
# 80 cm # 118 # 0.58 V #
#####
# 5 cm # 617 # 3.01 V #
# 6 cm # 618 # 3.02 V #
# 7 cm # 616 # 3.01 V #
# 8 cm # 567 # 2.77 V #
# 10 cm # 462 # 2.26 V #
# 15 cm # 325 # 1.59 V #
# 20 cm # 265 # 1.29 V #
# 25 cm # 209 # 1.02 V #
# 30 cm # 178 # 0.87 V #
# 40 cm # 151 # 0.74 V #
# 50 cm # 122 # 0.60 V #
# 60 cm # 114 # 0.56 V #
# 70 cm # 114 # 0.56 V #
# 80 cm # 118 # 0.58 V #
#####
Ready Serial: COM13, 9600 50, 1 50 Rows, 89 Cols VT100 CAP NUM

```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Datos desplegados por SecureCRT del sensor HC-SR04

```

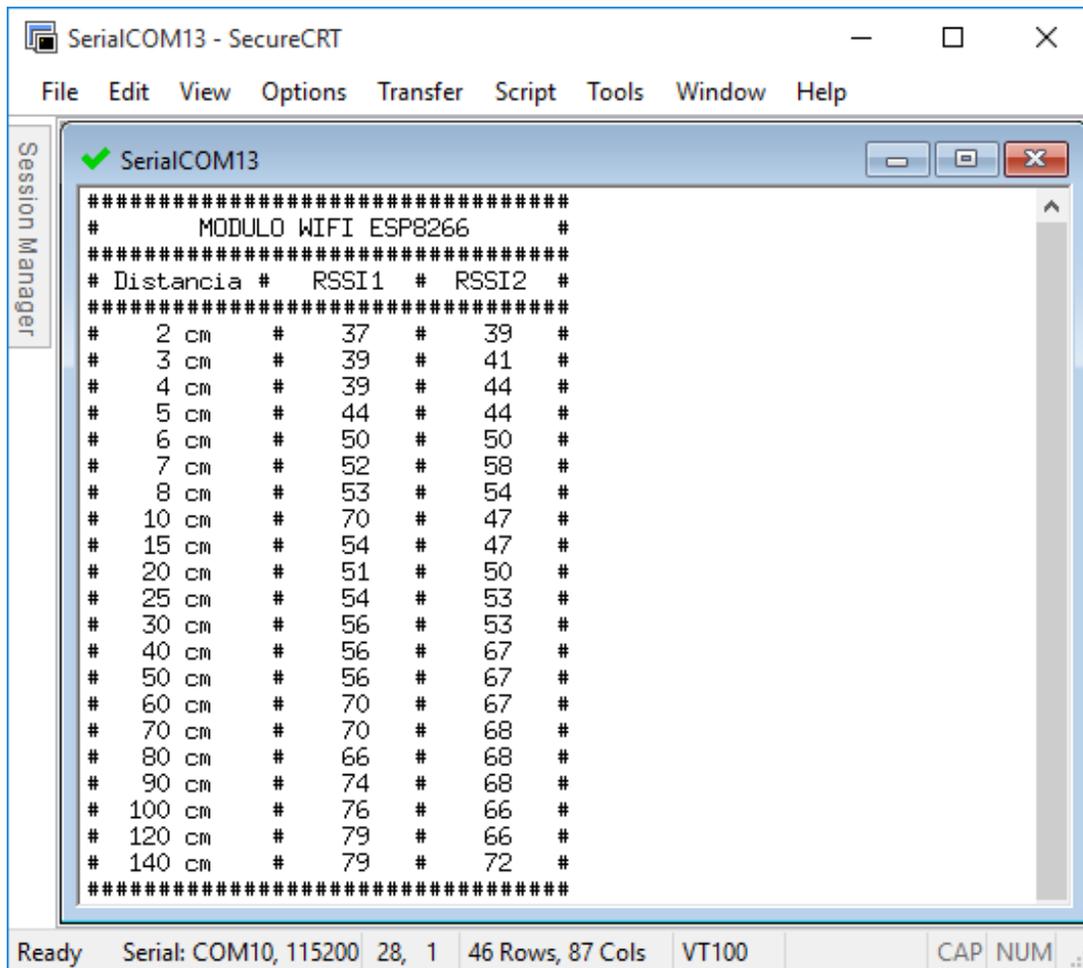
SerialCOM13 - SecureCRT
File Edit View Options Transfer Script Tools Window Help

SerialCOM13
#####
#          SENSOR ULTRASONICO  HC-SR04          #
#####
# Distancia # Distancia(1) # Distancia(2) #
#####
# 2 cm # 3,84 cm # 4,46 cm #
# 3 cm # 3,57 cm # 3,98 cm #
# 4 cm # 4,73 cm # 4,46 cm #
# 5 cm # 5,63 cm # 5,49 cm #
# 6 cm # 6,14 cm # 6,28 cm #
# 7 cm # 7,58 cm # 7,79 cm #
# 8 cm # 8,51 cm # 8,30 cm #
# 10 cm # 10,70 cm # 10,08 cm #
# 15 cm # 15,68 cm # 15,68 cm #
# 20 cm # 21,03 cm # 20,72 cm #
# 25 cm # 26,51 cm # 25,79 cm #
# 30 cm # 30,42 cm # 29,81 cm #
# 40 cm # 39,48 cm # 39,20 cm #
# 50 cm # 50,22 cm # 50,01 cm #
# 60 cm # 60,51 cm # 60,27 cm #
# 70 cm # 69,94 cm # 69,35 cm #
# 80 cm # 80,26 cm # 79,64 cm #
# 90 cm # 88,80 cm # 89,08 cm #
# 100 cm # 98,65 cm # 100,77 cm #
# 120 cm # 118,58 cm # 118,71 cm #
# 140 cm # 138,61 cm # 138,43 cm #
#####
# 2 cm # 3,46 cm # 3,94 cm #
# 3 cm # 3,77 cm # 4,25 cm #
# 4 cm # 5,21 cm # 4,29 cm #
# 5 cm # 6,11 cm # 5,08 cm #
# 6 cm # 7,03 cm # 7,07 cm #
# 7 cm # 7,44 cm # 7,58 cm #
# 8 cm # 8,47 cm # 8,20 cm #
# 10 cm # 10,32 cm # 9,47 cm #
# 15 cm # 15,74 cm # 15,30 cm #
# 20 cm # 21,16 cm # 20,82 cm #
# 25 cm # 25,48 cm # 25,31 cm #
# 30 cm # 30,12 cm # 29,91 cm #
# 40 cm # 39,93 cm # 39,45 cm #
# 50 cm # 49,74 cm # 50,49 cm #
# 60 cm # 59,65 cm # 59,85 cm #
# 70 cm # 69,53 cm # 69,77 cm #
# 80 cm # 79,99 cm # 79,16 cm #
# 90 cm # 90,04 cm # 89,18 cm #
# 100 cm # 98,61 cm # 100,02 cm #
# 120 cm # 118,44 cm # 118,54 cm #
# 140 cm # 138,61 cm # 137,99 cm #
#####
# 2 cm # 3,43 cm # 3,98 cm #
# 3 cm # 3,98 cm # 3,98 cm #
# 4 cm # 4,87 cm # 4,39 cm #
# 5 cm # 4,87 cm # 5,28 cm #
# 6 cm # 6,24 cm # 6,65 cm #
# 7 cm # 7,27 cm # 7,72 cm #
# 8 cm # 8,30 cm # 8,37 cm #
# 10 cm # 10,15 cm # 10,26 cm #
# 15 cm # 15,64 cm # 15,71 cm #
# 20 cm # 21,09 cm # 21,27 cm #
#####
Ready Serial: COM13, 9600 59, 1 59 Rows, 101 Cols VT100 CAP NUM

```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Datos desplegados por SecureCRT del módulo wifi ESP8266



The screenshot shows a SecureCRT window titled 'SerialCOM13 - SecureCRT'. The main content area displays the following data:

```
#####  
#      MODULO WIFI ESP8266      #  
#####  
# Distancia #  RSSI1 #  RSSI2 #  
#####  
#   2 cm   #   37   #   39   #  
#   3 cm   #   39   #   41   #  
#   4 cm   #   39   #   44   #  
#   5 cm   #   44   #   44   #  
#   6 cm   #   50   #   50   #  
#   7 cm   #   52   #   58   #  
#   8 cm   #   53   #   54   #  
#  10 cm   #   70   #   47   #  
#  15 cm   #   54   #   47   #  
#  20 cm   #   51   #   50   #  
#  25 cm   #   54   #   53   #  
#  30 cm   #   56   #   53   #  
#  40 cm   #   56   #   67   #  
#  50 cm   #   56   #   67   #  
#  60 cm   #   70   #   67   #  
#  70 cm   #   70   #   68   #  
#  80 cm   #   66   #   68   #  
#  90 cm   #   74   #   68   #  
# 100 cm   #   76   #   66   #  
# 120 cm   #   79   #   66   #  
# 140 cm   #   79   #   72   #  
#####
```

The status bar at the bottom indicates: Ready Serial: COM10, 115200 28, 1 46 Rows, 87 Cols VT100 CAP NUM

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Datos desplegados por SecureCRT del módulo wifi ESP8266

```
SerialCOM13 - SecureCRT
File Edit View Options Transfer Script Tools Window Help

SerialCOM13
#####
#          MODULO WIFI ESP8266          #
#####
# Distancia #  RSSI1 #  RSSI2 #
#####
# Punto 1 #    65 #    66 #
# Punto 2 #    65 #    68 #
# Punto 3 #    65 #    68 #
# Punto 4 #    64 #    68 #
# Punto 5 #    63 #    68 #
# Punto 6 #    75 #    68 #
# Punto 7 #    65 #    69 #
# Punto 8 #    65 #    69 #
# Punto 9 #    65 #    69 #
# Punto 10 #   65 #    69 #
#####
# Punto 1 #    69 #    69 #
# Punto 2 #    69 #    67 #
# Punto 3 #    68 #    67 #
# Punto 4 #    70 #    67 #
# Punto 5 #    70 #    67 #
# Punto 6 #    70 #    77 #
# Punto 7 #    70 #    67 #
# Punto 8 #    70 #    67 #
# Punto 9 #    70 #    67 #
# Punto 10 #   70 #    67 #
#####

Ready  Serial: COM10, 115200  28, 1  46 Rows, 87 Cols  VT100  CAP NUM ...
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Cálculo RPM del motor según radio del neumático a utilizar

Se tendrán las siguientes variables para calcular el valor óptimo de las RPM mínimas necesarias que debe cumplir el motor a elegir, dependiendo del radio del neumático o viceversa:

- Revoluciones por minuto del motor (*RPM*)
- Radio de la rueda o neumático (*r*)

Adicionalmente, se utiliza el valor de la velocidad promedio al caminar de una persona común, es decir $5\text{km}/\text{h}$, luego se convierte en dimensionales amigables:

$$\frac{5\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \approx 1.38 \text{ m/s}$$

La distancia que recorre la rueda por cada revolución será el perímetro de la misma, el valor se obtiene de la fórmula del perímetro de una circunferencia, es decir que $1 \text{ revolución} = 2\pi r$. La velocidad que debe alcanzar el autómeta debe ser superior a la velocidad promedio, por lo tanto:

$$\frac{2\pi r}{s} \cdot x \geq 1.38 \text{ m/s}$$

En donde r es el radio del neumático, x son las revoluciones necesarias, despejando para x quedaría la siguiente fórmula, luego se sustituye para el valor de $r = 0.1\text{m}$, multiplicando por 60 se obtendrán las RPM mínimas:

$$x = \frac{1.38}{2\pi r/s} = \frac{1.38 \text{ m/s}}{2\pi \cdot 0.1 \text{ m/s}} \approx 2.21048 \cdot 60 \text{ seg} \approx \mathbf{132.63 \text{ RPM}}$$

Fuente: elaboración propia