



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA MÓVIL
TODO TERRENO PARA SISTEMA DE SEGURIDAD POR RUTAS DE
PATRULLAJE PRE-PROGRAMADAS AUTOMÁTICO Y TELEOPERADO,
UTILIZANDO UNA CÁMARA Y UN SENSOR DE BARRIDO PARA
RECONOCIMIENTO DEL ÁREA.**

AUTOR: MIGUEL ANGEL ANALUISA GUALPA

DIRECTOR: ING. DARIO MENDOZA C.

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA MÓVIL TODO TERRENO PARA SISTEMA DE SEGURIDAD POR RUTAS DE PATRULLAJE PRE-PROGRAMADAS AUTOMÁTICO Y TELEOPERADO, UTILIZANDO UNA CÁMARA Y UN SENSOR DE BARRIDO PARA RECONOCIMIENTO DEL ÁREA**” Realizado por el señor **MIGUEL ANGEL ANALUISA GUALPA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **ANALUISA GUALPA MIGUEL ANGEL** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 14 de marzo del 2018

Atentamente,



**ING. DARIO MENDOZA
DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **MIGUEL ANGEL ANALUISA GUALPA**, con cédula de ciudadanía N° 1725595852, declaro que este trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA MÓVIL TODO TERRENO PARA SISTEMA DE SEGURIDAD POR RUTAS DE PATRULLAJE PRE-PROGRAMADAS AUTOMÁTICO Y TELEOPERADO, UTILIZANDO UNA CÁMARA Y UN SENSOR DE BARRIDO PARA RECONOCIMIENTO DEL ÁREA**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 14 de marzo del 2018

Atentamente,


MIGUEL ANGEL ANALUISA GUALPA
C.C.: 1725595852



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y

MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **MIGUEL ANGEL ANALUISA GUALPA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA MÓVIL TODO TERRENO PARA SISTEMA DE SEGURIDAD POR RUTAS DE PATRULLAJE PRE-PROGRAMADAS AUTOMÁTICO Y TELEOPERADO, UTILIZANDO UNA CÁMARA Y UN SENSOR DE BARRIDO PARA RECONOCIMIENTO DEL ÁREA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 14 de marzo del 2018

Atentamente,


MIGUEL ANGEL ANALUISA GUALPA
C.C.: 1726595852

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi familia por educarme como una persona correcta y responsable, por su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida. En el proceso de convertirme en un profesional fueron un pilar fundamental en el trascurso de la carrera. Mi madre por su cariño incondicional sobre todo por enseñarme que a pesar de todo lo que pueda estar pasando, nunca debes rendirte. Mi padre por su apoyo incondicional, por siempre apoyar mis decisiones. Mi hermanita, que con su compañía y alegría siempre fue una inspiración para seguir adelante y culminar esta etapa de mi carrera y por último, pero no menos importantes a mis abuelitos y tíos que siempre estuvieron junto a mí con sus consejos y siempre preocuparse por mi bienestar. Finalmente quiero mencionar que fue un orgullo pertenecer a una institución tan prestigiosa como es Universidad de las fuerzas armadas ESPE-L.

Miguel Angel Analuisa Gualpa

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios y a mis padres por educarme con valores por siempre inculcarme el deseo de superación, por su apoyo incondicional.

De igual manera al director del proyecto de titulación el Ing. Darío Mendoza quien supo orientarme en la culminación del proyecto; y en general me justaría extender un enorme agradecimiento a todos los docentes, que tuve la oportunidad de conocer durante este trascurso de la carrera, gracias por compartir sus conocimientos dentro y fuera de las aulas.

Miguel Angel Analuisa Gualpa

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación	4
1.4. Planteamiento del problema.....	4
1.5. Evolución en la robótica móvil	5
1.6. Sistema de Locomoción por ruedas	8
1.6.1. Locomoción Ackerman.....	9
1.6.2. Locomoción Diferencial.	10

	viii
1.6.3.	Locomoción sincronizada. 10
1.7.	Sistema de Navegación robótica móvil..... 11
1.7.1.	Percepción. 12
a.	Sensores. 12
a.1.	Los sensores Propioceptivo..... 13
a.2.	Sensor de Efecto Hall..... 14
a.3.	Los sensores Esteroceptivos. 16
a.4.	Sensor Ultrasonidos. 16
b.	Formulación de datos sensor barrido. 17
1.7.2.	Localización..... 19
a.	Localización Absoluta. 19
a.1.	Sistema posicionamiento global GPS. 20
b.	Localización Relativa..... 22
b.1.	Odometría. 23
1.7.3.	Planificación de trayectoria..... 25
1.7.4.	Métodos de planificación de trayectorias. 25
a.	Planificación Global..... 26
1.7.5.	Control de movimiento. 26
a.	Características de los robots..... 28
b.	Características del entorno. 29
1.8.	Programación para plataformas móviles..... 30
1.8.1.	Características de los lenguajes. 32
1.8.2.	Processing. 32
1.8.3.	Librería de Control de processing (Controlp5)..... 33

		ix
1.8.4.	Programación textual o indirecta.	34
a.	Nivel robot.	36
b.	Nivel tarea.	36
1.9.	Resumen.....	37

CAPÍTULO II

	METODOLOGÍA Y DISEÑO	39
2.1.	Diseño de investigación	39
2.1.1.	Necesidades de diseño	39
2.1.2.	Especificaciones técnicas del diseño	40
2.1.3.	Despliegue de la función de calidad QFD	41
2.2.	Estudio de factibilidad	42
2.2.1.	Estructura modular	42
2.3.	Módulo 1. Percepción	43
2.3.1.	Sensor de barrido.	43
a.	Selección de componentes para el sensor de barrido.....	44
a.1.	Sensor LIDAR Lite V2.	44
a.2.	Sensor ultrasónico HC SR04	44
a.3.	Sensor proximidad infrarrojo E18 D80NK.....	45
b.	Análisis del sensor barrido y selección para elaboración del proyecto.	46
c.	Diseño mecánico del sensor de barrido.	48
2.3.2.	Cámara.	67
a.	Alternativas para selección de cámara.	67
a.1.	Cámara WEB	67

		x
a.2.	Cámara IP.....	68
a.3.	Cámara Inalámbrica Wifi.....	69
b.	Análisis para selección de la cámara para elaboración de proyecto.	69
2.4.	Módulo 2. Localización	71
2.4.1.	Sistema posicionamiento global GPS.	71
a.	Selección del sistema de ubicación del robot.	72
a.1.	Módulo GPS Neo 6m Ublox.....	72
a.2.	Módulo GPS BU – 353.	73
a.3.	Módulo GPS Micro-mini.	74
b.	Análisis del módulo GPS y selección para elaboración del proyecto.	75
c.	Análisis de datos del sistema posicionamiento global.	77
2.4.2.	Método de Odometría.	79
a.	Selección sensor adecuado para el método de odometría.	79
a.1.	Sensor de efecto hall.	79
a.2.	Sensor óptico.....	80
a.3.	Sensor inductivo.....	81
b.	Análisis del sensor para odometría y selección para elaboración del proyecto.	81
c.	Análisis de datos del sensor efecto hall CS3020.	83
2.5.	Módulo 3. Planificación.....	84
2.5.1.	Estructura.	84
2.5.2.	Selección de la plataforma móvil.....	84
a.	Análisis y selección para elaboración del proyecto.	87
b.	Análisis para la modificación de la plataforma.....	89
2.5.3.	Análisis de trayectorias.	95

2.6.	Módulo 4. Comunicación.....	103
2.6.1.	Comunicación inalámbrica.	103
a.	Selección del sistema comunicación del robot móvil.	103
a.1.	Comunicación Wifi.	103
a.2.	Comunicación Zigbee.	104
a.3.	Comunicación Bluetooth.	104
b.	Evaluación del sistema comunicación del robot móvil.....	105
2.7.	Módulo 5. Control de movimiento.....	108
2.7.1.	Implementación eléctrica de las tarjetas de control.	108
2.7.2.	Implementación eléctrica del sensor de barrido.....	108
2.7.3.	Implementación eléctrica de la Tarjeta de control principal.....	113
a.	Fuente de alimentación para la tarjeta arduino y de control.	114
b.	Fuente de alimentación para la cámara IP y Router.	115
c.	Módulo GPS.....	116
d.	Módulo Driver de motores.....	116
e.	Módulo del sensor de barrido.	117
f.	Módulo servo.	118
g.	Módulo indicadores leds.	118
h.	Módulo LCD.	119
i.	Módulo X-BEE	119
j.	Tarjeta de control Diagrama General y total.....	120
2.7.4.	Selección de fuente para la alimentación del sistema electrónico.	121
2.7.5.	Selección de fuente para la alimentación motor DC.....	123
2.7.6.	Interfaz de usuario.....	124

2.8.	Definición de la plataforma final	xii 126
2.9.	Resumen.....	128

CAPÍTULO III

	CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS	130
3.1.	Introducción	130
3.2.	Diseño mecánico del sensor de barrido	130
3.3.	Carcasa y mecanismo del robot	130
3.3.1.	Circuitos eléctricos sensor de barrido.....	132
3.3.2.	Ensamble del mecanismo para el sensor de barrido.	133
3.4.	Estructura del robot.....	133
3.4.1.	Estructura del robot móvil.	134
3.4.2.	Ensamble de la estructura.	135
3.4.3.	Adaptación de la estructura en el chasis 4x4.	135
3.5.	Ensamble de los componentes	136
3.5.1.	Montaje de la tarjeta de control	136
3.5.2.	Montaje del sensor de barrido.....	137
3.5.3.	Montaje de la cámara IP y Router.....	138
3.5.4.	Montaje de las baterías del sistema electrónico.....	139
3.5.5.	Cableado y protección de seguridad.	140
3.6.	Software y control.....	140
3.6.1.	Programa de video.	140
3.6.2.	Programa de rutas y tele operación.	141
3.7.	Pruebas y resultados.....	142

		xiii
3.7.1.	Primera evaluación duración de carga.	142
a.	Resultados de las pruebas eléctricas.	143
3.7.2.	Segunda evaluación transmisión de datos.....	143
a.	Resultados de la transmisión de datos.	144
3.7.3.	Tercera evaluación trayectorias diferente PWM.....	145
a.	Resultado de las trayectorias pre programadas.	146
3.7.4.	Cuarta evaluación trayectorias pre programadas.	148
a.	Resultado de las trayectorias pre programadas.	149
3.7.5.	Quinta evaluación desempeño en terrenos irregulares.....	151
a.	Resultado del desempeño en terrenos irregulares.	151
3.7.6.	Sexta evaluación funcionamiento del sensor de barrido.....	153
a.	Resultado del funcionamiento del sensor de barrido.	153
3.7.7.	Séptima evaluación funcionamiento del módulo GPS.....	154
a.	Resultado del rango de precisión del módulo GPS.....	154
3.8.	Especificaciones técnicas de la plataforma.	155
3.9.	Resumen.....	156

CAPÍTULO IV

	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	157
4.1.	Conclusiones.....	157
4.2.	Recomendaciones	160
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Análisis de necesidades del cliente	39
Tabla 2	Especificaciones Objetivas	40
Tabla 3	Evaluación de ingeniería.....	42
Tabla 4	Estructura modular para diseño	43
Tabla 5	Ponderación de criterio para sensor de barrido.....	46
Tabla 6	Ponderación de detención para solución de sensor de barrido	47
Tabla 7	Ponderación de precio para solución de sensor de barrido	47
Tabla 8	Ponderación de medición para solución de sensor de barrido	47
Tabla 9	Solución del componente adecuado para sensor de barrido	47
Tabla 10	Datos técnicos del sensor HC SR04.....	48
Tabla 11	Datos técnicos Nema 17.....	50
Tabla 12	Datos técnicos anillo colector (slip ring)	51
Tabla 13	Componentes mecánicos para sensor de barrido	51
Tabla 14	Características de Sensor E18 D80NK	67
Tabla 15	Datos Técnicos cámara wanscam HW0024.....	70
Tabla 16	Datos Técnicos cámara wanscam HW0024.....	71
Tabla 17	Ponderación de criterio del sistema de posicionamiento global GPS	75
Tabla 18	Ponderación de precios de módulos GPS	75
Tabla 19	Ponderación de precisión de los módulos GPS.....	76
Tabla 20	Ponderación de implementación de los módulos GPS	76
Tabla 21	Ponderación de disponibilidad de los módulos GPS	76
Tabla 22	Solución del componente adecuado para módulo GPS	76

		xv
Tabla 23	Datos técnicos Trail hocho RTR.....	85
Tabla 24	Datos técnicos Monster Buggy KIT	86
Tabla 25	Datos técnicos Monster Jam Truck RTR.....	87
Tabla 26	Ponderación de criterio para plataforma del robot móvil	88
Tabla 27	Ponderación de dimensión adecuada para la implementación del robot.	88
Tabla 28	Ponderación de capacidad adecuada para la implementación del robot.	88
Tabla 29	Ponderación de diseño adecuado para la implementación del robot.	88
Tabla 30	Solución de la plataforma adecuada para la implementación del robot.....	89
Tabla 31	Análisis de carga	90
Tabla 32	Ponderación de criterio para tipo de comunicación.....	105
Tabla 33	Ponderación de alcance adecuado para la implementación del robot.....	106
Tabla 34	Ponderación de transmisión de datos para la implementación del robot.	106
Tabla 35	Ponderación de seguridad adecuada para la implementación del robot.	106
Tabla 36	Solución del dispositivo de comunicación para la plataforma móvil.	107
Tabla 37	Consumo de corriente del control	122
Tabla 38	Descripción de componentes del robot móvil.....	127
Tabla 39	Resultados finales	129
Tabla 40	Voltaje de batería en funcionamiento	143
Tabla 41	Datos ingresados para ruta	145
Tabla 42	Análisis de la trayectoria a diferentes porcentajes de PWM.....	147
Tabla 43	Datos para creación de rutas	149
Tabla 44	Análisis trayectoria Lineales.....	150
Tabla 45	Análisis trayectoria del triángulo ovalado	150
Tabla 46	Análisis de PWM en terrenos irregulares	152

		xvi
Tabla 47	Pruebas de obstáculos	153
Tabla 48	Evaluación del sensor en un ambiente cerrado	153
Tabla 49	Evaluación del sensor en un ambiente abierto	154
Tabla 50	Distancia cambio de datos del GPS	154
Tabla 51	Especificaciones del robot	155

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Esquema de un sistema de navegación tele operado.....	6
Figura 2	Esquema de un sistema de navegación autónoma.	7
Figura 3	Sistema Ackerman.	9
Figura 4	Proceso de navegación.	11
Figura 5	Efecto Hall en una lámina conductora	14
Figura 6	Forma onda de los sensores de efecto hall.....	15
Figura 7	Medir distancias mediante ultrasonidos.....	17
Figura 8	Representacion toma de datos de un sensor de barrido	18
Figura 9	Medición sistema posicion global GPS	21
Figura 10	Modelo de movimiento basado en la odometría	23
Figura 11	Planificacion global.....	26
Figura 12	Diagrama de control de un robot.....	27
Figura 13	Características Generales de un robot movil.....	28
Figura 14	Características de un espacio de trabajo.....	29
Figura 15	Esquema programación robot que esquiva obstáculos.....	31
Figura 16	Captura de pantalla del IDE de procesamiento	33
Figura 17	Programacion con Controlp5	34
Figura 18	Conjunto de instrucciones designadas al robot.	35
Figura 19	Casa de la calidad para la elaboración del proyecto.....	41
Figura 20	Pines del sensor HC SR04.....	48
Figura 21	Esquema de movimiento del sensor barrido	49
Figura 22	Motor Nema 17	49

		xviii
Figura 23	Relación de engranes de 2:1	50
Figura 24	Anillo colector (slip ring)	51
Figura 25	Mecanismo del sensor de barrido	52
Figura 26	Velocidad de trabajo del mecanismo	53
Figura 27	Diagrama de estimación de viscosidad	53
Figura 28	Ingreso de parámetros para diseño del engranes	55
Figura 29	Diseño del sistema de engranes	56
Figura 30	Características de los engranes	56
Figura 31	Fuerza aplicada 10N en el eje Z	63
Figura 32	Momento 7.744 Nmm entre el soporte y el engrane	64
Figura 33	La combinación de fuerza aplicada	65
Figura 34	Sensor de barrido ensamble final	66
Figura 35	Sensor infrarrojo E18 D80NK	66
Figura 36	Cámara HW0024	70
Figura 37	Router R220 12 V	71
Figura 38	GPS NEO 6M V2	72
Figura 39	GPS BU 353	73
Figura 40	GPS micro mini	74
Figura 41	Pines del módulo GPS Neo 6m Ublox	77
Figura 42	Señal generado sensor efecto hall	80
Figura 43	Señal generado por sensor Óptico	80
Figura 44	Señal generada sensor Inductivo	81
Figura 45	Sensor de efecto hall A3144	82
Figura 46	Funcionamiento del sensor efecto hall	83

		xix
Figura 47	Plataforma móvil Trail hocho RTR.....	84
Figura 48	Plataforma móvil Monster Buggy KIT	85
Figura 49	Plataforma móvil Monster Jam Truck RTR	86
Figura 50	Jaula de seguridad roll bar.....	89
Figura 51	Larguero principal de la jaula de seguridad	91
Figura 52	Cargas que actúan en el larguero principal	91
Figura 53	Análisis de desplazamiento generado por peso.....	93
Figura 54	Análisis del diseño de la base.....	94
Figura 55	Análisis de la estructura roll bar.....	94
Figura 56	Diseño final de la base	95
Figura 57	Configuración Ackerman	96
Figura 58	Dimensiones del sistema Ackerman	96
Figura 59	Análisis del radio del robot móvil.....	97
Figura 60	Nomenclatura utilizada para el sistema de dirección	98
Figura 61	Configuración del sistema de dirección Ackerman.....	101
Figura 62	Dispositivo XBee PRO S1	107
Figura 63	Arduino nano.....	109
Figura 64	Mapeo de pines Arduino NANO.....	109
Figura 65	Anillo mediante contactos tipo escobillas.....	110
Figura 66	Circuito de conexiones para un motor PAP.	111
Figura 67	Calibración del driver A4988.....	112
Figura 68	Diagrama final del sensor de barrido	112
Figura 69	Diagrama de flujo sensor de barrido.	113
Figura 70	Fuente de alimentación de la tarjeta de control y digital.....	115

		xx
Figura 71	Fuente de alimentación para la cámara IP y el Router	115
Figura 72	Diagrama de conexión del módulo GPS.	116
Figura 73	Diagrama de conexiones del Driver para motores IBT2.	117
Figura 74	Diagrama de conexión del sensor de barrido	117
Figura 75	Conexiones del servomotor.	118
Figura 76	Diagrama de indicadores luminosos LED.	118
Figura 77	Diagrama del Módulo LCD 4x2.	119
Figura 78	Módulo XBEE pro s1	120
Figura 79	Diagrama total del sistema de control robótico.	120
Figura 80	Diagrama de flujo final de la tarjeta control principal	121
Figura 81	Batería LiPo turnigy	122
Figura 82	Implementación de la librería ControlP5	125
Figura 83	Comunicación entre processing y arduino	125
Figura 84	Entorno de desarrollo de processing	126
Figura 85	Descripción de componente del robot móvil.	127
Figura 86	Diagrama del proceso de comunicación.	128
Figura 87	Componentes internos del sensor barrido	131
Figura 88	Carcasa del sensor de barrido.	132
Figura 89	Sistema del sensor de barrido armado.	132
Figura 90	Ensamble del sensor de barrido; (a) ensamble de los piñones, (b) montaje de los componentes, (c) sensor de barrido totalmente armado.	133
Figura 91	Acople para el armado de la estructura	134
Figura 92	Incorporación de acoples para el armado de la estructura	135
Figura 93	Adaptación de la estructura en el chasis 4x4.	136

		xxi
Figura 94	Montaje de la tarjeta de control.....	137
Figura 95	Montaje del sensor de barrido	138
Figura 96	Montaje de la cámara IP	139
Figura 97	Montaje de la batería del sistema electrónico	139
Figura 98	Cableado del sistema.....	140
Figura 99	Programa video	141
Figura 100	Interfaz HMI del robot móvil.....	142
Figura 101	Modulo XBEE s1 pro, tarjeta de control.....	144
Figura 102	Trayectoria pre programada	146
Figura 103	Desvió generado por punto inicial	146
Figura 104	Análisis en trayectorias rectas y circulares.	147
Figura 105	Análisis del desplazamiento generado por PWM	148
Figura 106	Análisis de ruta pre programada.....	148
Figura 107	Análisis de la trayectoria en triángulos ovalados	150
Figura 108	Análisis del desplazamiento generado por la ruta.....	151
Figura 109	Plataforma móvil con trayectorias pre programadas.....	155

RESUMEN

El presente trabajo de titulación consiste en una plataforma todo terreno para sistemas de seguridad, que, mediante la referencia obtenida por algoritmos pre-programados, permiten generar señales de control que muevan el sistema mecánico. La plataforma móvil desarrollada es un sistema mecatrónica, que está compuesto por una parte mecánica en la implementación de un sistema de locomoción ackerman con tracción individual a cada rueda además implementada con un sistema de suspensión, el cual permite la movilización en terrenos irregulares; el aspecto electrónico consta de un sensor de barrido de 360 grado para detección de objetos y una cámara giratoria que permite reconocer el entorno, método de edometría utilizados en la navegación del robot móvil en entornos abiertos y cerrados; y el aspecto informático en la programación del software es la encargada de la creación de una plataforma de control a distancia mediante la generación de trayectoria pre-programadas utilizando Software libre (PROCESSING), la transferencia de imágenes para la recepción de alertas enviadas y la determinación del lugar que se encuentra ubicado el robot móvil. Con las características antes mencionadas se convierte en una plataforma todo terreno con la capacidad de realizar inspecciones en terrenos irregulares.

PALABRAS CLAVE:

- **ROBOTS MÓVILES**
- **SISTEMAS DE SEGURIDAD**
- **LOCALIZACIÓN DE ROBOTS**
- **ROBOTICA**

ABSTRACT

The present project consists of an all-terrain platform for security systems, which, through the reference obtained by preprogrammed algorithms, allow the generation of control signals that move the mechanical system. The developed mobile platform is a mechatronic system, which is composed of a mechanical part in the implementation of an Ackerman locomotion system with individual traction to each wheel also implemented with a suspension system which allows the mobilization in irregular terrain; The electronic aspect consists of a 360 degree for object detection and a rotating camera that allows to recognize the environment, odometry method devices used in navigation of the mobile robot in open and closed environments; And the computer aspect in software programming is responsible for the creation of a remote control platform through the generation of pre-programmed path using a free software (PROCESSING), the transfer of images for the reception of sent alerts and the Determining the location of the mobile robot. With the characteristics mentioned above it becomes an off-road platform with the ability to perform inspections on uneven terrain with a great advantage in the field of safety.

KEYWORDS:

- **MOBILE ROBOTS**
- **SECURITY SYSTEMS**
- **LOCATION OF ROBOTS**
- **ROBOTICA**

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

A nivel tecnológico e industrial, los robots se están afianzando como una tecnología imprescindible en los sistemas de vigilancia gracias a las posibilidades que ofrece obtener información del entorno.

La mayoría de hogares, empresas, instituciones es importante satisfacer la necesidad de seguridad, actualmente existe gran variedad en los sistemas de seguridad, pero son fácilmente eludidos por los delincuentes, por tal motivo se busca crear un sistema robusto en el área de seguridad.

Esta plataforma móvil todo terreno a más de estar equipada por un sistema de seguridad basado en rutas pre programadas y detección de objetos, también es confiable y económico con respecto a otras plataformas que buscan satisfacer las mismas necesidades; es por esta razón que se implementa en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L extensión Latacunga una plataforma móvil todoterreno para sistema de seguridad por rutas de patrullaje pre-programadas y tele operado, utilizando una cámara y un sensor de barrido para reconocimiento del área.

1.2. Antecedentes

La principal función de la tecnología es transformar el entorno humano con el fin crear un estilo de vida seguro, por lo cual surge la necesidad de computarizar ciertas actividades inseguras para los seres humanos.

Los robots móviles son una máquina independiente capaz de moverse en cualquier ambiente designado, por este motivo este proyecto está centrado en el estudio de la robótica móvil. En la actualidad existen diferentes robots móviles como, por ejemplo:

Robot móvil Summit XL posee amortiguadores, que puede navegar de forma autónoma o tele operada por medio de una cámara PTZ que trasmite video en tiempo real, equipado por sensores de escáner láser Hokuyo, posee conectividad interna (USB; RS232) y externa (USB, RJ45, alimentación de 12V DC) para poder acoplar fácilmente todo tipo de componentes, permite llevar cargas pesadas (hasta 65Kg) desarrollado para diferentes tareas en el campo de agricultura, la principal aplicación es para la fase de recolección. (Robotnik, 2002)

Robot Spider Mite un robot robusto, ágil, todo terreno con la capacidad de subir pendientes de 45 grados, carga máxima 5 libras, equipado con un cámara pan / tilt para ver en la oscuridad total y el operador tiene la opción de grabar las señales de video en vivo. (INSPECTORBOTS, 2013)

- amento De Energía Y Mecánica. Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño e implementación de una plataforma móvil todoterreno para sistema de seguridad mediante la investigación de generación de trayectorias para rutas de patrullaje pre-programadas en espacios externos e internos con el uso de sensores para reconocimiento del entorno, en modo automático y teleoperado.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar técnicas para la implementación de un sistema de suspensión independiente tracción 4x4 para su empleo en terreno irregular.
- Indagar técnicas para la detección de los obstáculos dentro del entorno mediante un sensor de barrido, utilizando trayectorias en rutas de patrullaje pre-programadas y una cámara de seguridad a tiempo real.
- Analizar la implementación de sistemas de control de la plataforma móvil todo terreno mediante el método de Odometría en lugares externos e internos.
- Acoplar los algoritmos para el desarrollo del sistema total de plataforma móvil todoterreno para sistemas de seguridad mediante transmisión de imágenes a tiempo real para el operador en modo manual o automático.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema completo, en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL

1.4. Justificación

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L promueve la investigación aplicada a la seguridad y defensa, donde se podrá dar como beneficio a empresas e individuos que realizan este tipo de actividad.

El proyecto contempla un concepto del uso de plataforma móvil todoterreno enfocado a la seguridad y defensa, con un especial énfasis en la investigación de generación de trayectorias en áreas específicas de la Universidad de las Fuerzas Armada ESPE-L, usando hardware que consta de una cámara de seguridad y un sensor de barrido de 360 grados, un vehículo terrestre no tripulado con un sistema de suspensión todoterreno y una unidad de procesamiento.

Se pretende establecer un precedente en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, al crear una base para el desarrollo de futuros proyectos.

El estudio de la robótica se convirtió en una rama esencial por sus diversas aplicaciones en seguridad y exploración, su versatilidad al momento de ser controlados por sistemas remotos, hoy en día, los robots móviles son utilizados para realizar patrullaje en zonas consideradas de alta peligrosidad, este tipo de trabajo es de alto riesgo para los policías, con la ayuda de un robot móvil con rutas de patrullaje pre-programadas se podrá evitar pérdidas humanas.

1.5. Planteamiento del problema

Los últimos años el país ha sufrido duros golpes en la seguridad ciudadana como las amenazas externas. Ante la falta de seguridad, en dichos lugares se podrían tener problemas de infiltraciones de personas ajenas en busca de información importante u objetos de valor, en la percepción que existe sobre ella y los reclamos recurrentes que se observan a través de los medios de comunicación,

las redes sociales o se oyen en las conversaciones cotidianas, por tal motivo se da una alternativa para elevar la seguridad en áreas específicas con la presencia de un robot móvil todoterreno mediante navegación autónoma en espacios internos y externos que permite una vigilancia estática o dinámica, mediante rutas de patrullaje pre-programadas detectando obstáculos y permitiendo una visualización al operador a tiempo real.

De este modo, el presente proyecto pretende realizar un primer aporte a este campo de investigación en la generación de trayectorias.

1.6. Evolución en la robótica móvil

A partir del siglo XXI empiezan los grandes avances en la robótica que hacen que se presente como algo cotidiano en las vidas de estas nuevas generaciones. Así es común ver robots industriales que ejecutan labores habituales como soldaduras, pintan y mueven grandes piezas. Se puede encontrar robots colaborando en áreas como, hospitales o en ayuda de personas minusválidas, hasta robots exploradores que buscan y desactivan minas personales, buscan sobrevivientes en zonas de desastres naturales e incluso realizan tareas agrícolas que pueden ser riesgosas para los seres humanos como fumigación y cosecha.

Hay robots reconocidos por ser empleados en accidentes nucleares, naufragios o exploración extraterrestre, en definitiva, la robótica se instala en el entorno ofreciendo seguridad y calidad. La robótica ofrece a la zona industrial un excelente compromiso entre productividad y flexibilidad, una calidad uniforme ahorrando tiempo y dinero manejando un margen más grande de producción. La robótica ofrece grandes beneficios a los seres humanos, pero se pueden destacar el aumento de la productividad, alta flexibilidad, excelente calidad y mejora la seguridad. Por todo lo anterior

mencionado se puede decir que, como resultado, la robotización permite mejorar la calidad y las condiciones de trabajo, sustituyendo tareas pesadas para las personas.

Un robot móvil es una máquina automática capaz de trasladarse en cualquier ambiente dado, tienen la habilidad de moverse en su entorno y no se limitan a una ubicación física, para ser considerado como un robot móvil debe tener un sistema de locomoción para su desplazamiento, en la actualidad son un foco importante de la investigación se encuentran en la industria, hospitales, campos agrícolas, etc. (OBER, 2012).

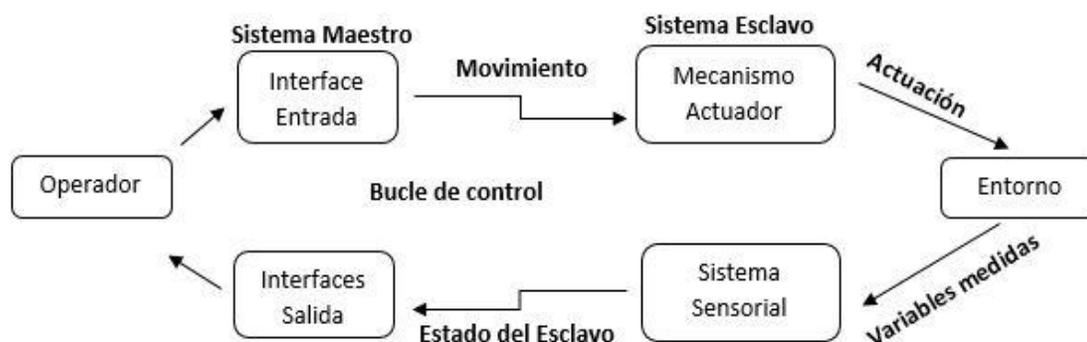


Figura 1. Esquema de un sistema de navegación tele operado.

Fuente: (Turmero, 2015)

Dentro de los robots móviles, se incluye el sistema de tele operación permitiendo gobernar un robot controlando sus movimientos, fuerza ejercida y localización mediante un sistema de comunicación Maestro/Esclavo, ubicado en una zona remota; El sistema esclavo se realiza mediante las acciones que el operador realice en el máster localizado en un sitio de trabajo.

En el diseño del sistema tele operado se desarrollan y aplican las tecnologías orientadas a la exploración espacial y terrestre. El sistema del robot dirigido se utiliza para operar en ambientes peligrosos para el operador, utilizando dispositivos de entrada, como por ejemplo la transmisión de imágenes en tiempo real, que ayuda al operador dirigir al robot y poder realizar una tarea asignada, desde a un sitio remoto utilizando comunicación Maestro / Esclavo. Existen áreas de investigación y desarrollo que incluyen:

- Los manipuladores y el mando del robot móvil.
- La arquitectura de la tele operación remota.
- Procesamiento e integración del sistema sensorial.
- Acciones interactivas que planea y ejecuta el robot.
- La visualización gráfica del entorno.
- Sensor y mando del robot
- Control para el despliegue e instrumentos utilizados por robot.

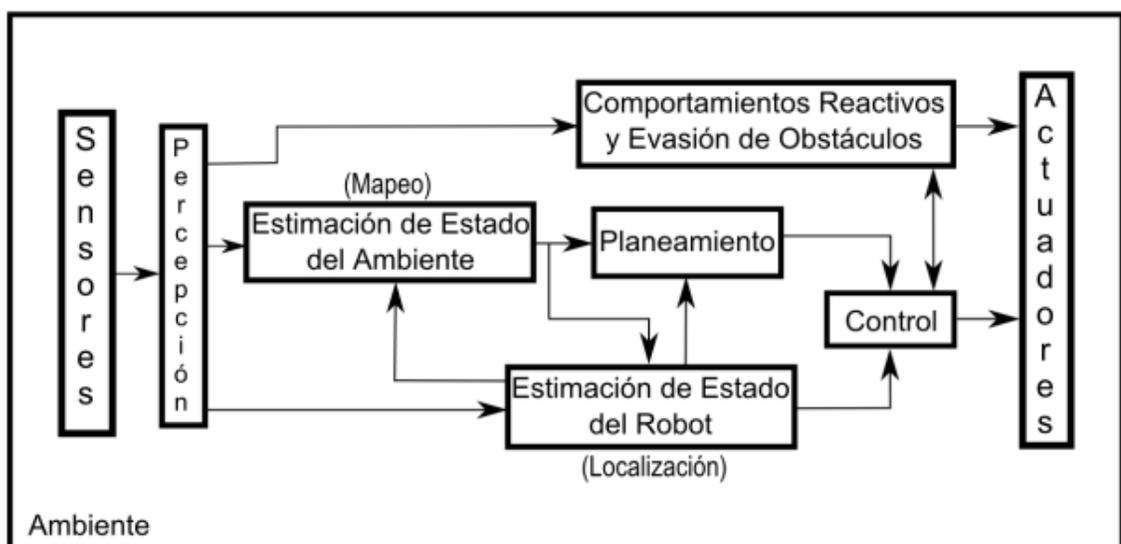


Figura 2. Esquema de un sistema de navegación autónoma.

Fuente: (Zamora, 2015)

A diferencia del robot tele operado pueden operar con un alto grado de autonomía, obtener información sobre su entorno, trabajar sin la necesidad de interacción del operador, evitar situaciones que son perjudiciales para los operadores, lo que es imprescindible en campos como la exploración espacial y tareas que puedan resultar pesadas o tediosas para las personas.

Los robots autónomos en la actualidad aun requieren de ayuda de los seres humanos para un mantenimiento regular, al igual que las máquinas industriales. Un robot autónomo debe adquirir la capacidad de moverse en sus entornos sin la ayuda de un usuario. Dentro de la robótica un robot móvil para considerarlo autónomo debe tener la capacidad de:

- Adquirir información sobre su entorno.
- Operar durante una etapa prolongado sin intervención operador.
- Tener la capacidad de moverse a través de su entorno operativo.
- Impedir escenarios perjudiciales para los individuos.
- Adquirir diversos conocimientos, como el ajuste de nuevas técnicas.

1.7. Sistema de Locomoción por ruedas

Los robots móviles con ruedas son una de las maneras más simples y eficaces para adquirir movilidad dentro de terrenos suficientemente duros, permitiendo obtener velocidades relativamente altas. Como restricción más significativa cabe indicar que dependiendo de la característica del

terreno pueden presentarse también deslizamientos y vibraciones. La locomoción mediante ruedas es poco eficaz en terrenos blandos.

Dentro de la locomoción por ruedas existen diferentes tipos de locomoción que tienen diferentes características propias de su estructura y propiedades diferentes respecto a maniobrabilidad, dimensión y carga útil. Para obtener mayor maniobrabilidad se puede elegir un vehículo omnidireccional que es capaz de moverse simultáneamente e independiente en cada eje del sistema con ciertas desventajas en su sistema generado por el equilibrio.

1.7.2. Locomoción Ackerman.

Aplicaciones más comunes se encuentran en vehículos convencionales de cuatro ruedas. De hecho, Las plataformas robóticas para exteriores son modificaciones de automóviles. Este tipo de sistema se observa en la figura 3. El ángulo de giro de la rueda delantera interior es ligeramente superior a la rueda exterior ($\theta_1 > \theta_0$) para evitar el deslizamiento.

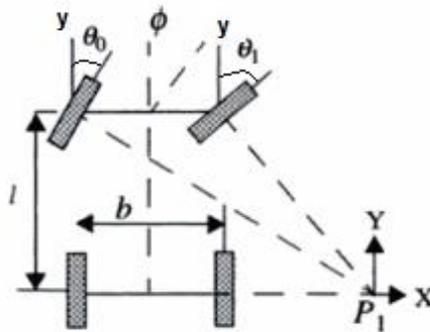


Figura 3. Sistema Ackerman.

Fuente: (Ollero Baturone, 2001)

Al prolongar los ejes de las ruedas delanteras y traseras del sistema ackerman se interceptan en un Punto P1 conocido como Centro Instantáneo de Rotación CIR. La geometría ackerman resuelve el trazado de la curva posibilitando que ambas ruedas realicen un giro con diferentes radios y velocidades, pero alrededor de un mismo punto P1.

1.7.3. Locomoción Diferencial.

El diseño diferencial permite al sistema de locomoción del robot poder ir recto, girar sobre sí mismo y trazar curvas, una desventaja de este sistema es el equilibrio del robot, necesita un apoyo adicional en las ruedas, cuando un motor se somete a diferentes resistencias, la velocidad de los motores varían, lo cual provoca que el robot gire incluso si se ajustó inicialmente para que realice una secuencia recta, por esta razón el sistema exige ser monitorizado y cambiar la velocidad del robot mientras avanza.

1.7.4. Locomoción sincronizada.

Este diseño generalmente es de tres ruedas, permite que una rueda sea de dirección y las otras dos motrices, las ruedas están diseñadas de tal forma que siempre apunte en la misma dirección. Para efectuar un cambio de dirección el robot gira simultáneamente todas sus ruedas alrededor de un eje vertical, de tal manera que la dirección del robot móvil cambia.

Si el robot tiene una parte delantera donde se concentran los sensores del robot, se tendrá que buscar un modo para que su chasis se oriente en la misma dirección que sus ruedas. El diseño sincronizado es mejor que el diseño diferencial, triciclo y ackerman, pero a costa de una mayor complejidad mecánica.

1.8. Sistema de Navegación robótica móvil

Se define navegación robótica como el procedimiento que permite guiar la trayectoria de un robot a través de un entorno. Existen varios métodos, pero todos tienen el mismo objetivo que es llevar el vehículo a su destino de forma eficiente. La capacidad de reaccionar en forma inmediata ante situaciones inesperadas es la principal característica que se busca para desenvolverse rápidamente dentro de un entorno.

La navegación permite guiar el curso de una plataforma robótica móvil a través de un entorno evadiendo obstáculos. Las partes principales que se debe tener en cuenta en la navegación de un robot móvil están determinadas por: la percepción del entorno mediante la utilización de diversos sensores creando una idealización del entorno, la planificación de una trayectoria que permita alcanzar un lugar predestinado, y el control de movimiento que está constituido por los actuadores para conseguir la trayectoria especificada. El proceso se detalla en la figura 4.

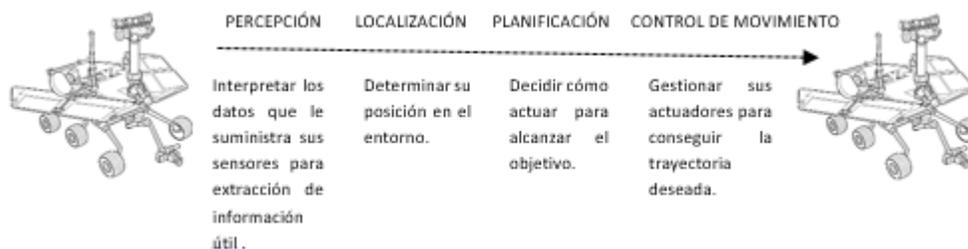


Figura 4. Proceso de navegación.

Fuente: (ORTIZ RODRIGUEZ, 2005)

Los procesos de navegación de un robot móvil son: la percepción del entorno mediante sensores, de tal manera que le permita adquirir una abstracción del entorno del robot, la planificación de una trayectoria para determinar la ruta desde el punto inicial al punto final mediante referencias.

El robot móvil puede involucrarse con ciertos elementos dentro del entorno. Se define como un concepto de operación mediante la programación de las herramientas que le permiten al robot móvil ejecutar la tarea especificada. Un ejemplo es el transporte automático de materiales dentro de una celda de manufactura flexible FMS, mediante el movimiento físico de dichos elementos empezando desde la estación de entrada del material. Además, puede efectuar operaciones que pueden ser el cambio automático de la herramienta o también descarga materiales. (Newman & Kempf, 1985)

1.8.2. Percepción.

El sistema de percepción robótica se establece a partir de sensores, permitiendo que se pueda adaptar su comportamiento en base a las variables que se produce en su entorno. El sistema de percepción está “Integrado por los transductores y circuitos eléctricos asociados que permiten la generación de señales eléctricas para mostrar el estado de su entorno significativo” (VELASCO SÀNCHEZ, 2007)

La percepción dentro de la robótica está formada por dos componentes los cuales son puramente físicos y secuenciales este último tiene la opción de guardar información para posteriormente poder tomar decisiones mediante el aprendizaje, tiene la capacidad de aprender y reaccionar sobre un espacio dinámico de información. Los sistemas de percepción permiten al robot móvil inspeccionar el entorno que le rodea y hacer un mapa imaginario mediante la ayuda de los sensores.

a. Sensores.

Un sensor convierte una variable física en un impulso eléctrico reconocible para otros elementos del robot, los sensores captan las señales que se encuentra en el entorno que rodea al robot, las señales se transforman en un impulso eléctrico que recibe el controlador, el sensor está siempre en

contacto directo con la magnitud que la condiciona, las variables de medida pueden ser intensidad, temperatura, distancia, rapidez, presión, fuerza, humedad, movimiento, etc.

De acuerdo con (Ollero Baturone, 2001) Los sensores permiten “la adquisición de la información necesaria para el control del robot” (p.166). El sensor realiza medición en contacto directo con la magnitud que va a ser evaluada, los sensores suelen ser llamados transductores. Los sensores en robótica se dividen en dos categorías propioceptivos y los esteroceptivos:

a.1. Los sensores Propioceptivo.

Un sensor propioceptivo es aquel que mide las variables internas del robot, se encuentran integrados en el sistema de control permitiendo cerrar lazos internos; Dentro de la clasificación se encuentran sensores odométricos, informan de la posición del robot (odo en griego significa camino y métricos que significa medición), miden la distancia recorrida del robot, dentro de esta familia están encoder, acelerómetro, etc.

Dentro de la clasificación de los sensores de posicionamiento se encuentran dos grupos:

- Sensor de medida absoluta: este tipo de sensores miden la posición con respecto a un sistema de referencia el cual se encuentra fijo al entorno. Este tipo de sensor genera errores en la medida, pero la ventaja es que no se acumulan con el paso del tiempo. Entre los diferentes tipos de sensores de medida absoluta se encuentra el GPS que se encarga de encontrar la posición respecto a un punto.
- Sensor de medida incremental: este tipo de sensor mide en forma incremental su movimiento con relación a un punto de inicio. Este tipo de sensores poseen errores

acumulativos y con el transcurso del tiempo la evaluación de la posición que obtiene es totalmente imprecisa.

a.2. Sensor de Efecto Hall.

Edwin Herbert Hall (Pérez García, 2014) El denominado “Efecto Hall” consiste en la aparición de una tensión transversal en láminas conductoras debido a la separación de carga cuando dicho conductor está sujeto a un campo magnético.

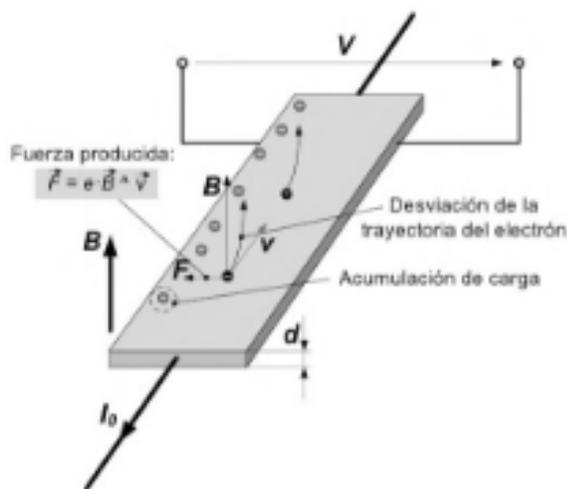


Figura 5. Efecto Hall en una lámina conductora

Fuente: (Pérez García, 2014)

En la Figura 5 se muestra el efecto Hall, cuya causa es la fuerza debida al campo magnético que aparece sobre la carga que se desplaza y que tiende a llevar las cargas positivas hacia un lado y las negativas hacia el otro, lo que termina produciendo una tensión transversal. La mayoría de los sensores de efecto hall suelen tener una alimentación simple, por lo que la salida suele estar

concentrada en torno al punto medio de la alimentación con una tensión de reposo V_Q en función a estos parámetros se obtiene una ecuación como la siguiente:

(1-1)

$$v_0 = v_Q + S \cdot B$$

Donde:

V_0 Voltaje de salida del sensor

S Es la sensibilidad del dispositivo.

B Campo magnético perpendicular al sensor.

Los sensores de efecto hall son usados como sensores de posición o detectores magnéticos, en la industria del automóvil se utilizan de forma frecuente para detectar posición de cigüeñal, asiento y pedal, además se encuentra dentro de circuitos integrados para controlar la sincronización del motor de corriente continua.

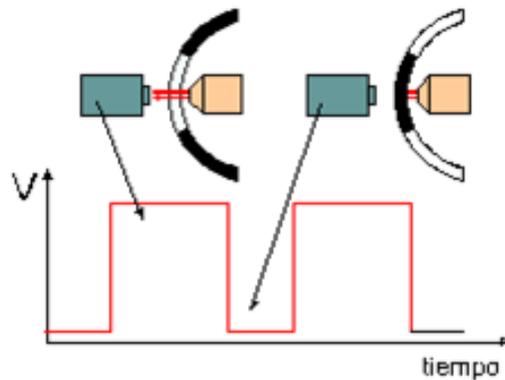


Figura 6. Forma onda de los sensores de efecto hall

Fuente: (MIAC Apoyo tecnologico, s.f.)

El sensor de efecto hall es utilizado para la medición de posición o como detector de elementos magnéticos, este tipo de sensores son ventajosos en la variación de campo magnético. Para utilizar el sensor como un dispositivo que permita determinar posición de algún elemento se utiliza imanes permanentes controlando señal de salida.

a.3. Los sensores Esteroceptivos.

Los sensores Esteroceptivos mide las variables externas del robot que se generan en su entorno, dentro de esta clasificación se encuentran los sensores de rango que miden la distancia de los objetos, los cuales se clasifican en sensor láser, ultrasonido e infrarrojo entre otros, también se encuentra sensores magnetómetros para calcular campo magnético terrestre, radar, cámara, sistemas de posicionamiento global etc.

a.4. Sensor Ultrasonidos.

Es un dispositivo de medición de distancia que se basa en una lámina de material magnetostrictivo, se deforma mecánicamente al ser excitado por una corriente eléctrica y produce ultrasonido. Las señales acústicas están en el rango de 20Khz hasta 1Ghz; Son utilizados para medir distancias, detectar presencia, mediante el emisor y receptor mide el tiempo que tarda una onda desde ser emitida hasta ser recibida por un rebote, el rebote crea un ángulo que se debe introducir con un factor de corrección.

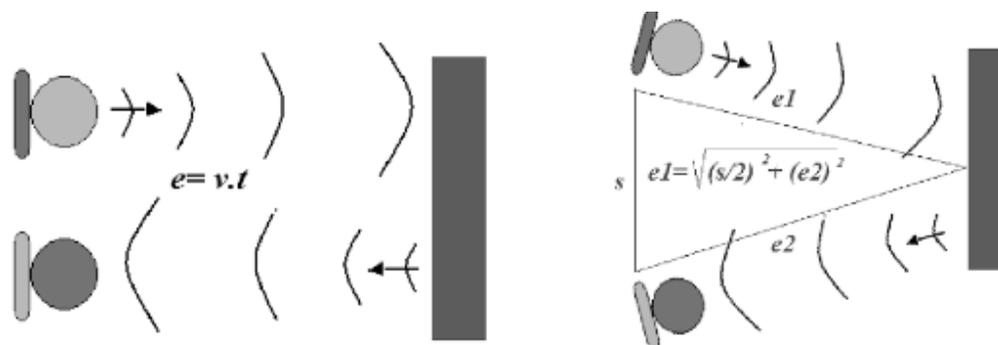


Figura 7. Medir distancias mediante ultrasonidos

Fuente: (Serna Ruiz, 2010)

Los sensores ultrasónicos son muy utilizados para determinar las distancias a la que se podría encontrar obstáculos y para vigilar un entorno determinado por el usuario, estos sensores se los puede encontrar integrados en los parachoques de vehículos para facilitar la detección de personas al retroceder el vehículo o en la entrada y salida de garajes y al momento de estacionarlos.

b. Formulación de datos sensor barrido.

La navegación de un robot autónomo en un ambiente 2D se realiza poblando de objetos con características rectilíneas las cuales podrían ser muros, estantes, cajas, etc. El sensor situado en lugar específico dentro del robot toma la distancia desde su ubicación hacia objeto en medición, los datos realizados son tomados en series de ángulo y rango, para posteriormente extraer características lineales, estimando un coeficiente de correlación admisible.

El sensor de barrido transmite ultrasonido continuamente y recibe sus retornos denominados rebotes. Se calcula el tiempo q tarda en regresar la luz, para determinar la distancia, de esta forma, obtener información del entorno.

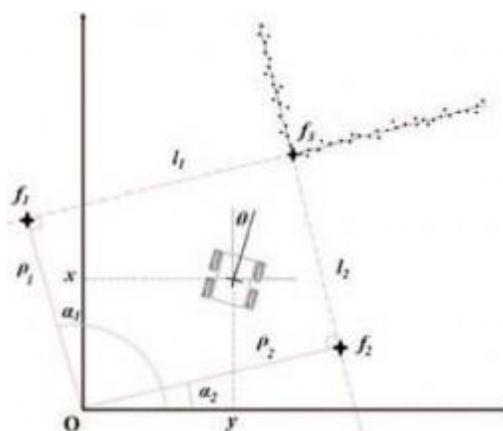


Figura 8. Representación toma de datos de un sensor de barrido

Fuente: (COSTELLA , 2016)

En la figura 8 se observa los algoritmos generales para extracción de líneas a partir de datos adquiridos por sensor. Dentro de un conjunto de datos una línea puede ser parametrizado de forma:

(1-2)

$$i = [\rho_i, \alpha_i]$$

Donde:

ρ_i Rango de los segmentos de datos

α_i Ángulo de los segmentos de datos

Los sensores de barrido, se basan en un espejo móvil que oscila en forma perpendicular en la dirección de la trayectoria, la cual permite la investigación del terreno, permitiendo ampliar la banda de la detección a longitudes de onda mayores. Este tipo de sensores poseen mayor facilidad en la calibración y corrección radiométrica.

1.8.3. Localización.

La localización para un robot autónomo es un requerimiento esencial para su navegación, por medio de la localización permite reconocer su posición y orientación. Entre los métodos más comunes están la odometría que consiste en integrar la trayectoria mediante la posición y orientación del robot utilizando las ruedas motrices del robot, otra alternativa consiste en el sistema de posicionamiento global (GPS) porque permite situar el robot en tiempo real en cualquier punto de la tierra. Existe un problema fundamental en la navegación de un robot que son los errores cometidos por los sensores de localización del robot móvil, al realizar una trayectoria se pueden generar dos casos:

- Partir de una posición desconocida por el robot
- Conocer en punto inicial de partida, pero los errores acumulados por los sensores son demasiado altos.

Las características a considerar al diseñar un sistema de localización son la posición del robot a un punto de referencia global (Localización absoluta) y su posición respecto al entorno (Localización relativa), permitiendo al sistema de control ubicarse y poder decidir la trayectoria que debe seguir para alcanzar el punto final de la trayectoria programada con anterioridad.

a. Localización Absoluta.

El concepto determinado por (Matus & Novoa, 2006) consiste en que “localización absoluta se vincula con la posición de un objeto sobre la superficie de la tierra con la ayuda de sistemas de referencia explícitos como el de la coordenadas geográficas” (p.17). Las posiciones pueden ser calculadas mediante latitud y longitud.

La localización absoluta se basa en las coordenadas geográficas porque permiten adquirir la localización absoluta o exacta de un lugar, en cualquier punto de superficie terrestre mediante la toma de datos del valor de latitud y longitud.

Las coordenadas geográficas están representadas por “La latitud que es la distancia que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el Ecuador, todos los puntos ubicados sobre el mismo paralelo tienen igual latitud. La longitud es la distancia que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el meridiano de origen. Todos los puntos situados sobre un mismo meridiano tienen igual longitud.” (Ortis, 2017)

a.1.Sistema posicionamiento global GPS.

El sistema de posicionamiento global (GPS) surge en año 1978 al poner en órbita el primer satélite de la serie Navstar, este sistema se basa en el cálculo de la distancia desde la estación radiorreceptor a varios satélites, compuesta por tres elementos: Los satélites en órbita en torno al planeta tierra, las estaciones terrestres rastreo y control, los radiorreceptores utilizados por el robot móvil.

Los equipos actuales de sistemas de posicionamiento global GPS tiene la capacidad de indicar los siguientes datos:

- La posición exacta mediante un mapa digital.
- Fecha y hora a la que se está tomando los datos.
- Determina si se encuentra en movimiento o esta fijo.
- La distancia necesaria para recorrer otros puntos del mapa.
- La velocidad de desplazamiento

- El rumbo de desplazamiento.

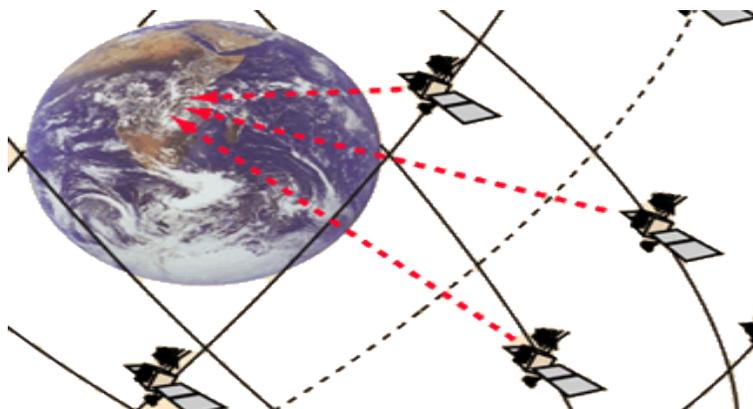


Figura 9. Medición sistema posición global GPS

Fuente: (Olmo & Nave, s.f.)

El estudio de (Olmo & Nave, s.f.) determina que “Los satélites están organizados en seis planos orbitales, con la recepción de tres señales satélites, como se observa figura 9 se puede obtener la localización sobre la tierra en un radio de 30 metros “. La precisión del sistema se basa en los relojes (osciladores) con gran estabilidad, colocados en satélite GPS, por este motivo sistema puede ser muy exacto en la escala de tiempo.

Las transmisiones que genera GPS son cronometradas para iniciar obtención de datos en forma precisa en cada minuto y medio minuto tal como señala el reloj atómico que se encuentra en el satélite. La transmisión de señal GPS se divide en dos partes, la primera indica al receptor la relación que existe entre el reloj atómico y la hora GPS y la segunda la serie de datos proporcionada por el receptor que emite la información de órbita exacta del satélite.

Conociendo las distancias en relación al satélite o las coordenadas geográficas de los satélites, es posible determinar la posición absoluta en un punto de medición

Las principales ventajas que proporciona el sistema de posicionamiento global GPS son:

- Localización, permite dirigirse a un determinado lugar sin la necesidad conocer la ruta.
- Antirrobo, garantiza su localización en caso de pérdida o robo.
- Información tiempo real, emite información distancia y tiempo necesario para llegar a un lugar definitivo.

Las principales desventajas que proporciona el sistema de posicionamiento global GPS son:

- Dispositivo GPS genera un alto consumo de energía.
- Genera ondas con uso prologado pueden dañar la salud.

b. Localización Relativa.

Según (Matus & Novoa, 2006) Localización relativa “define la ubicación de un lugar respecto a otro de similares características, utilizando conceptos y medidas de distancia y acceso” (p.17). En general localización relativa son puntos de referencia que utiliza el robot móvil para poder ubicarse los cuales podrían ser un registro datos establecidos para formar la ruta en base al punto de partida.

Para entender mejor este concepto un claro ejemplo es cuando se necesita trasladarse a un lugar determinado, se utiliza mentalmente una trayectoria por ejemplo una cuadra al frente y girar a la izquierda llegar al parque y cruzar la calle, lo que en realidad se realiza es un mapa mental para poder llegar a un lugar determinado, los mismo que realiza un robot móvil que se basa en puntos referencia para iniciar una ruta dentro de un entorno.

b.1.Odometría.

La odometría se basa en el estudio de la evaluación de la posición del robot móvil durante la navegación. El método de odometría utiliza la relación entre el giro de las ruedas y la distancia recorrida para determinar cambios en la posición en el transcurso del tiempo. Este término es muy utilizado para referirse a la distancia que ha recorrido los vehículos.

Los robots móviles utilizan la odometría para evaluar su localización relativa en base a su punto de partida. La odometría tiene una gran precisión al establecer rutas predeterminadas, la idea fundamental de este sistema es la obtención de información en forma incremental del movimiento, por lo cual es propensa a la acumulación de errores de orientación.

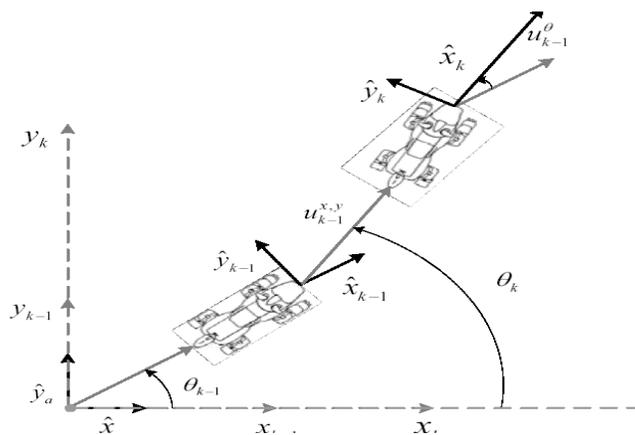


Figura 10. Modelo de movimiento basado en la odometría

Fuente: (Martin, 2006)

Una de las formas más comunes de odometría es la implementación sensor de efecto hall instalados en las ruedas del robot, los cálculos de la distancia recorrida por la rueda se basa en transformar las revolución generada por ruedas a desplazamiento lineal relativo al suelo, esta implementación tiene sus desventajas en ciertos casos por ejemplo en un caso extremo cuando la

rueda se resbala en el transcurso de la ruta por una mancha de aceite, el encoder registrará revoluciones de la rueda a pesar que no genere desplazamiento lineal.

Este tipo de error se puede clasificar en 2 clases errores sistemáticos dentro del sistema y errores no sistemáticos por el entorno.

Errores sistemáticos generados por método de odometría son:

- Diámetro de las ruedas motrices no son iguales.
- Alineación incorrecta de las ruedas.

Errores no sistemáticos generados por método de odometría son:

- Ruta recorrida en suelos desnivelados.
- Ruta recorrida sobre objetos inesperados en suelo.
- Deslizamiento de las ruedas.

1.8.4. Planificación de trayectoria.

Establecer la trayectoria de un robot implica el control del robot móvil de manera que realice una ruta planificada en forma eficiente. El objetivo de planificar trayectorias es para establecer rutas que debe seguir las articulaciones para alcanzar su objetivo y cumplir con las restricciones previstas para cada actuador.

La importancia de planificar una trayectoria se basa en la obtención de habilidades de control para poder obtener una trayectoria adecuada para el robot móvil, la cual permite que la trayectoria sea segura y se pueda encontrar un desplazamiento adecuado. Para realizar una adecuada planificación de trayectorias es fundamental obtener un modelo cinemático a la vez dinámico del robot móvil, para controlar la trayectoria del robot, depende de las características físicas del mismo, así como de sus actuadores. Dependiendo de los movimientos de operación definidas por el usuario como son destino, trayectoria y el tiempo en que se desee que se efectúe el movimiento.

1.8.5. Métodos de planificación de trayectorias.

El problema que se forma en la planificación de trayectorias es la necesidad de solucionar el problema en tiempo real. Por lo cual se necesita que la generación de trayectorias visto desde un punto de vista computacional sea eficiente. En robots móviles, las generaciones de trayectorias se realizan en tiempos casi inmediatos (milisegundos).

a. Planificación Global.

Construir o planificar la ruta que lleve al robot a cada una de los subtemas determinadas por el control de misión, según las especificaciones del problema que debe resolverse. Esta planificación es una aproximación al camino final que se va a seguir, ya que en la realización de esta acción no se consideran los detalles del entorno local al vehículo como se puede observar en la figura 11

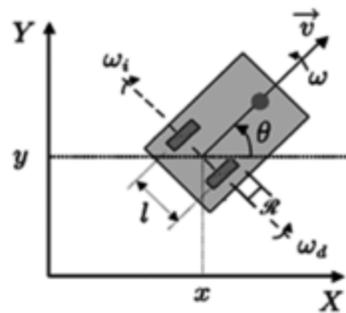


Figura 11. Planificación global.

Fuente: (Barrientos & Torres, 2013)

La construcción de la ruta global puede realizarse antes de que el vehículo comience a ejecutar la tarea, mientras que la planificación local se lleva a cabo en tiempo de ejecución.

1.8.6. Control de movimiento.

El diseño de control de un robot móvil con ruedas, depende de las características que tiene para el desplazamiento en sus diferentes direcciones, uno de los sistemas más comunes es la locomoción Ackerman en donde las ruedas delanteras son directrices, para lograr que el robot siga las trayectorias predeterminadas.

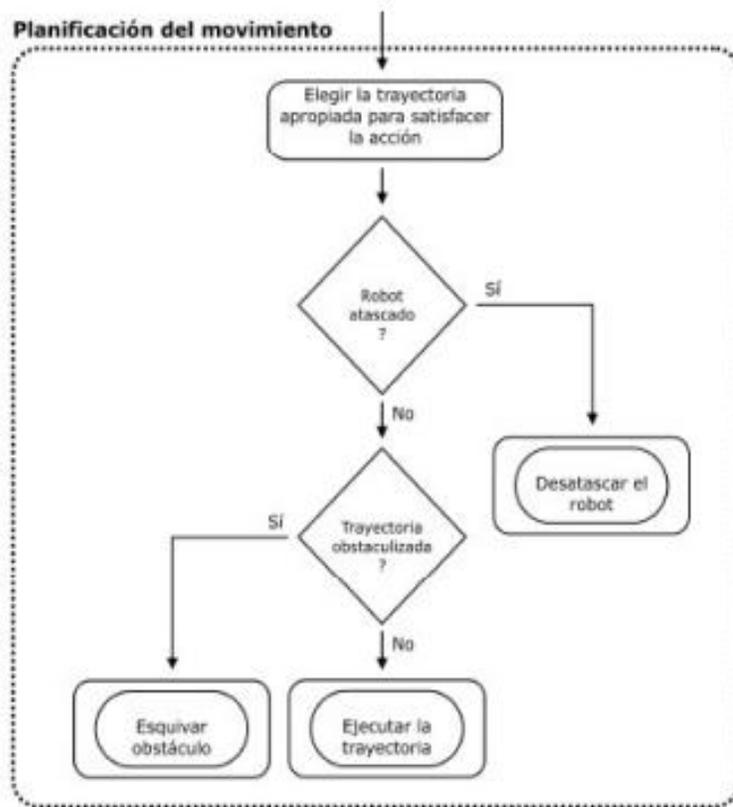


Figura 12. Diagrama de control de un robot.

Fuente: (Castilla, 2009)

Cuando un robot logra reconocer su localización y determinar su trayectoria, se aplica acciones de control sobre sus articulaciones que le permitan generar las rutas predeterminadas, en la figura 12 se detalla mediante un diagrama el sistema de control del robot, es importante tener en cuenta que el sistema de control actúa sobre el hardware del robot. Antes de planificar los movimientos del robot es necesario conocer características de robot y el entorno al que va ser expuesto.

a. Características de los robots.

El estudio de (Castilla, 2009) encontró que existen tres características que restringen la geometría de un robot móvil:

- Primera característica sistemas no holonómico, pueden moverse adelante y hacia atrás pero no hacia los lados, esto limita su libertad de movimiento y necesariamente se debe contemplar en la geometría de la trayectoria.
- Segunda característica posición del eje, los grados de las ruedas directriz pueden encontrarse desplazado horizontalmente respecto al centro de la rueda móvil.
- Tercera característica son los límites de velocidad y aceleración.



Figura 13. Características Generales de un robot móvil.

Fuente: (Bellester, 2015)

En la figura 13 se representa la estructura de un robot móvil explorador QUE está especialmente diseñado para inspección, utiliza el tipo de locomoción Ackerman dispone de una cámara con visión nocturna y la capacidad de poder desplazarse en terrenos irregulares. Los robots móviles pueden tener diferentes diseños es su estructura e incluso en su programación, todo dependiendo de la

aplicación para la que fue creado. Las características que se debe tomar en cuenta en un robot móvil son las siguientes:

- La precisión que tiene al realizar un movimiento o acción.
- La capacidad de carga
- Grado de libertad en sus movimientos.
- La programación de cada robot o forma de aprendizaje.

b. Características del entorno.

Las características del entorno son determinadas en base al problema de movimiento que se requiere resolver, el movimiento se plantea mediante planificación caminos, el entorno tiene que ser totalmente observable para proporcionar la información necesaria para localizar al robot móvil, debe poder determinar el estado siguiente del entorno en base al estado actual.

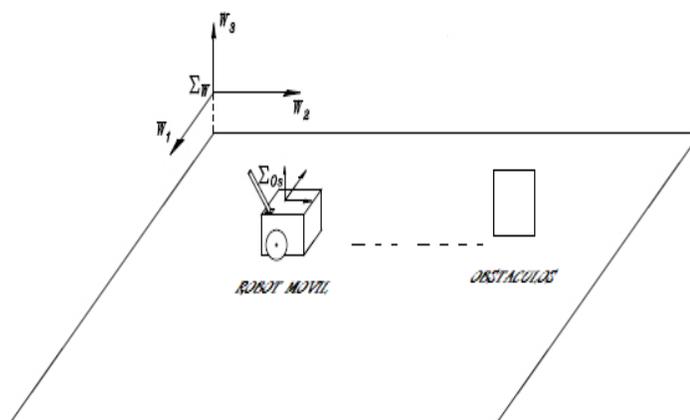


Figura 14. Características de un espacio de trabajo

Fuente: (Bellester, 2015)

Para determinar el entorno que va a recorrer el robot móvil, es importante determinar la forma, dimensión y estructura del entorno para poder determinar trayectoria y movimientos que va a realizar el robot móvil, estos tres aspectos tienen gran importancia debido al impacto que éstos ejercen en el diseño del robot, su programación y también en la forma de manipularlo.

- La forma es necesaria para definir el entorno donde robot se moverá.
- Las dimensiones ayudan a determinar el alcance del robot.
- La estructura del entorno es importante para determinar las características cinemáticas del robot.

Dentro de la robótica el término más común utilizado para el entorno que es expuesto a un robot se lo denomina espacio de trabajo. En una forma más clara el espacio de trabajo de un robot es el espacio donde su mecanismo puede trabajar.

1.9. Programación para plataformas móviles

Los lenguajes de programación más habituales son (Pascal, Logo, Visual Basic, Arduino, Processing, etc.) son lenguajes utilizados en propósito general, pueden ser empleados para cualquier tipo de aplicación, en particular, en la programación de robot móvil. Este tipo de lenguajes se utilizan en micro robots y robots destinados al propósito educativo y para investigación, pero no son utilizados en la industria.

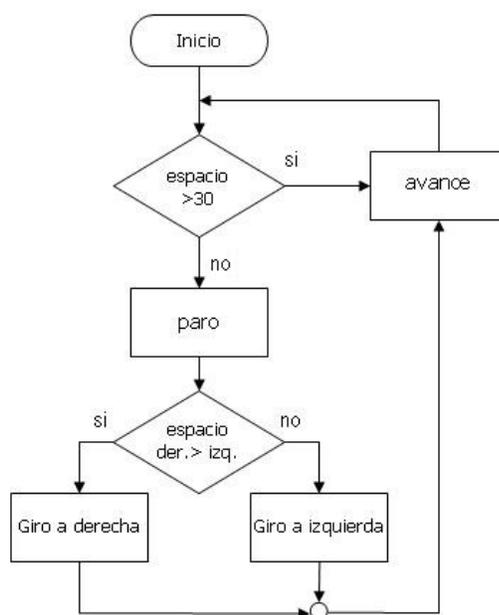


Figura 15. Esquema programación robot que esquiva obstáculos.

Fuente: (Chabier, 2012)

En la Figura 15, se describe un ejemplo de la programación de un robot móvil tratando de movilizarse basándose en los algoritmos programados y almacenando los datos obtenidos, de manera independiente, por situaciones que encuentra. La programación robótica relaciona una visión coherente del comportamiento similar con la conducta humana.

Para la programación de un robot móvil según (Aitor, 2011) consiste en “introducir en el sistema de control las instrucciones necesarias para el desempeño adecuado de las tareas para la cual fue diseñado” (p.1). Los procedimientos de programación de un robot se dividen en programación directa e indirecta.

1.9.2. Características de los lenguajes.

La programación que se efectúa para un robot es el resultado de un proceso prueba y error. Por esta razón la mayoría de los entornos de programación son interpretados, para poder realizar un seguimiento de la programación y evitar un ciclo repetitivo en la programación (editar, compilar, ejecutar, reprogramar). Al realizar un programa se desea una alta capacidad de depuración y ejecución. Para considerar ha un lenguaje de programación universal debe cumplir los siguientes requisitos:

Elemento de inicialización y terminación del robot, dentro de estos pueden ser acciones calibrado inicial, auto test.

- Mandos de movimiento, a los actuadores dentro del entorno, ser capaz de memorizar la posición en la que se encuentra para poder continuar en caso alguna interrupción.
- Sincronización en base a sucesos, capaz de modificar su función en base a sucesos inesperados
- Portabilidad capacidad de funcionar en otros equipamientos

1.9.3. Processing.

Processing es un lenguaje de programación que apareció en 2001 con código abierto basado en Java, se utiliza como medio para la enseñanza y elaboración de proyectos. Este lenguaje dio lugar a otro tipo de proyectos para manejar microcontroladores como Wiring y Arduino ayudando a los diseñadores y artistas a generar sus prototipos interactivos y así lograr sus modelos físicos al producto real.



Figura 16. Captura de pantalla del IDE de procesamiento

El procesamiento de processing está conformado por un cuaderno de bocetos, como una alternativa de entorno de desarrollo integrado IDE, utilizado para organizar proyectos, el procesamiento no está basado en un idioma único, sino en un enfoque orientado al arte para ayudar a los usuarios aprender, enseñar y hacer cosas con código.

1.9.4. Librería de Control de processing (Controlp5).

ControlP5 es una librería creada por Andreas Schlegel para el entorno de programación Processing; permite definir con facilidad los elementos de los formularios, entre algunos de los elementos que se pueden definir son:

- Cuadros de texto.
- Cuadros de contraseñas.
- Casillas de verificación.
- Barras de desplazamientos.
- Botones.

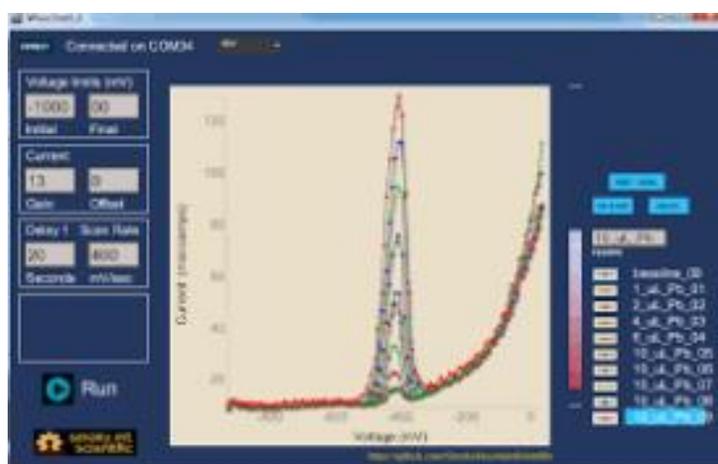


Figura 17. Programacion con Controlp5

Fuente: (Bulnes, 2012)

1.9.5. Programación textual o indirecta.

El programa consiste en formar un conjunto de instrucciones textuales, el programa graba las acciones determinadas por la programación textual en la memoria del robot, este tipo de programación permite realizar operaciones más complejas y con un grado de dificultad mayor, esto se basa en los datos generados por los sensores de forma que el robot actúe en base a las señales que emite sensor tal como ocurre en los robots denominados inteligentes.

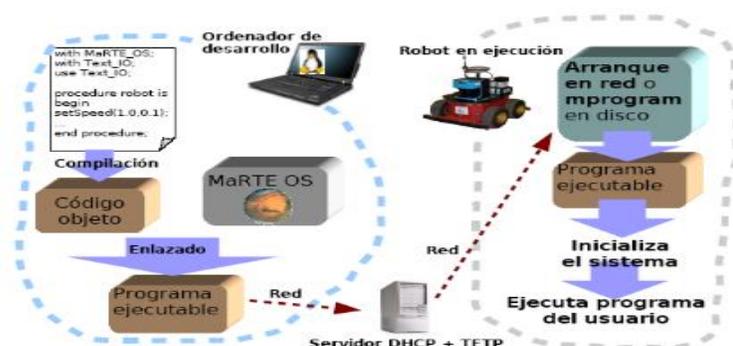


Figura 18. Conjunto de instrucciones designadas al robot.

Fuente: (Castilla, 2009)

Para conseguir que el robot sea eficiente se debe considerar en su programación la retroalimentación mediante la utilización de sensores, por esta consideración es necesario que el robot se desarrolle por medio de programación de alto nivel que permita especificar condiciones al robot.

Dentro de los niveles de programación debe tener características de programación para ser considerados como lenguajes universales según (Pratt & Zelkowitz, 2000) y estas son:

- Entendible y sencillo
- Comprensible en la estructura del programa.
- Fácil de aplicar.
- Posible de ampliar.
- Simple de corregir.
- Facilidad de mantenimiento.
- Eficacia.

Como se puede observar figura 18 la programación textual consiste en cargar en la memoria del robot las instrucciones que se desea que realice, este tipo de programación es idónea para navegación y exploración de entorno no conocidos ya que robot puede interactuar directamente con el entorno. Las programaciones textuales se dividen en tres niveles los cuales son nivel robot, nivel tarea, nivel objetivo.

a. Nivel robot.

La secuencia del robot es establecida por el programa. En tipo de lenguajes el programador es quien designa las funciones necesarias para la secuencia del robot como son velocidad, dirección, distancia, etc. Las asignaciones impuestas por el programador ayudan a realizar al robot su tarea asignada. Estos lenguajes están orientados a la descripción de las operaciones que debe realizar el robot.

b. Nivel tarea.

Dentro de este tipo de programación se engloba lenguajes de alto nivel en los que el programador define la operación en términos que relacionen la posición entre el robot y entorno, en vez de utilizar función que configuren parámetros necesarios para el movimiento del robot. Los programas que tienen determinado los modelos del entorno logran ejecutar operaciones más complicadas, utilizando ordenadores más avanzados.

Los problemas que se pueden encontrar este nivel son:

- Determinar trayectorias adecuadas para que el robot móvil pueda navegar evitando riesgos de colisión.

- Analiza la forma que utiliza el robot móvil para poder adquirir datos del espacio de trabajo.
- Permite la adaptación de las nuevas funciones dentro de la plataforma del robot móvil.

Dentro de los tipos de sistemas de programación en el nivel tarea existen los textuales donde el programador determina las relaciones del entorno deseado entre el robot al igual que la descripción geométrica entre los elementos y el robot que interviene. También los basados en el modelo geométrico del sólido, en esta situación las órdenes gráficas se descomponen en instrucciones para el robot.

1.10. Resumen

- Para considerar a un robot autónomo debe ser capaz de obtener información del entorno y operar sin necesidad de la interacción del ser humano, aunque en la actualidad requieren ayuda para su mantenimiento regular.
- En un sistema de locomoción Ackerman los ángulos de giro de rueda directrices son diferentes para evitar el deslizamiento.
- La navegación robótica permite guiar la trayectoria del robot a través de un entorno mediante percepción, localización, planificación y control de movimiento.
- El sistema de percepción involucra a los sensores permitiendo adaptar su comportamiento en base a las variables que genera su entorno.
- Los sensores que miden la variable interna del robot se conoce como propioceptivos (odométricos), y los sensores que miden las variables externas del robot son los esteroceptivos (rango).

- La localización permite al robot enterarse de su posición y orientación, las características a considerar son la posición del robot respecto a un punto de referencia (localización absoluta) y su posición respecto al entorno (localización relativa).
- La importancia de planificar una trayectoria se basa en la obtención de habilidades de control para poder obtener una trayectoria adecuada.
- Es importante considerar que el sistema de control actúa sobre el hardware del robot, es decir antes de planificar los movimientos del robot es necesario conocer las características del robot.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA Y DISEÑO

2.1. Diseño de investigación

Según (Kerlinger, 2002) mantiene que “generalmente se llama diseño de investigación al plan y a la estructura de un estudio, orientado a la elaboración de información o datos relevantes a los problemas planteados para obtener una solución del problema planteado” (p.27).

2.1.1. Necesidades de diseño

Todo estudio surge de una necesidad, al detectar una necesidad es cuándo empieza la investigación para determinar las características y prestaciones para el diseño. La falta de seguridad en lugares donde podrían ingresar personas ajenas en busca de información u objetos valor.

Tabla 1

Análisis de necesidades del cliente

Número	Requerimientos
1	Tamaño máximo
2	Masa total
3	Fácil funcionamiento (Interface)
4	Seguir trayectoria
5	Visualización en tiempo real
6	Evitar colisión
7	Mando manual
8	Ubicarse en tiempo real
9	Funcionar varios ambientes
10	Flexibilidad del software

Los requerimientos especificados en la tabla 1 son las necesidades que debe cumplir el proyecto, para esto se analizará por separado y se encontrará posibles soluciones para la implementación del diseño de la plataforma móvil con fin de encontrar soluciones objetivas acorde a las necesidades requeridas

2.1.2. Especificaciones técnicas del diseño

Las especificaciones técnicas de diseño son datos en cual se especifica las normas, exigencia en lenguaje técnico donde se define las exigencias del cliente las cuales se deben cumplir o exceder, en otras palabras, son las necesidades del cliente traducidas a datos técnicos. Mediante las especificaciones técnicas se puede empezar la implementación de la plataforma basados en este tipo de datos.

Tabla 2

Especificaciones Objetivas

Número	Especificaciones	Importancia	Unidad	Valor Marginal	valor Ideal
1	Dimensiones externas	5	Cm	60,5 X 40,5	60 X 40
2	Peso	5	Kg	<0,5	<0,46
3	Interfaz de usuario	4	Lista	Ninguno	Todos
6	Navegación	5	Lista	Ninguna	Todas
7	Transmisión de video	4	Fps	20.97	29.97
8	Rango de detección	4	grados	<45	<22,5
9	Formas de control	3	Lista	Ninguno	Todos
10	Transmisión/Accionamiento	5	4WD	Pasa	Pasa
11	Portable	3	Lista	Ninguno	Todos

En la tabla 2 se especifica necesidades del usuario traducido en lenguaje técnico, mediante estas especificaciones se puede empezar el diseño de la plataforma en formas más objetiva.

2.1.3. Despliegue de la función de calidad QFD

Este método de gestión de calidad ayuda a modificar la demanda del usuario en calidad de diseño. Es importante destacar que el despliegue de la función de calidad QDF está enfocado en todo el desarrollo del producto refiriéndose a las necesidades del cliente, el concepto de calidad y los requerimientos se entiende como una satisfacción de los requisitos, implementando los requerimientos que aporten mayor calidad del diseño.

QDF se define según (Juran, 1990) “El proceso estructurado y disciplinado que proporciona un medio para recoger e interpretar la voz del cliente y convertirlo en requisitos internos a lo largo de la vida del producto o servicio, con la participación de todas las funciones de la empresa que intervine en el proceso”

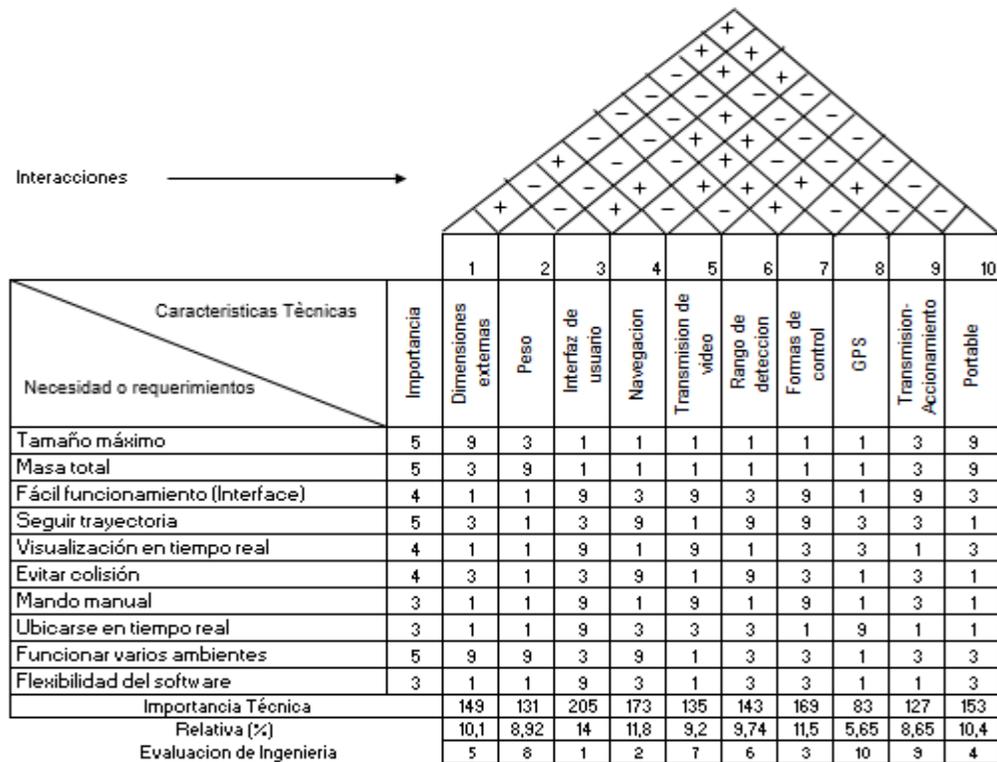


Figura 19. Casa de la calidad para la elaboración del proyecto

En la figura 19 se observa los aspectos más relevantes entre la relación de la necesidad del cliente y características técnicas, ordenando mediante la evaluación de ingeniería de mayor a menor en la tabla 3.

Tabla 3

Evaluación de ingeniería

Hitos	Características Tecinas	Porcentaje de ponderación
1	Interfaz de usuario	14
2	Navegación	11,8
3	Forma de control	11,5
4	Portable	10,4
5	Dimensiones externas	10,1
6	Rango de detección	9,74
7	Transmisión de video	9,2
8	Peso	8,92
9	Transmisión/Accionamiento	8,65
10	GPS	5,65

2.2. Estudio de factibilidad

Mediante el estudio de Factibilidad es posible obtener un mejor criterio a la hora de tomar decisiones respecto a la evaluación de proyectos, que corresponde a la última etapa. Se analiza utilizando información con menor incertidumbre de esta manera poder medir la posibilidad de aciertos o errores del proyecto en el cual se piensa invertir, utilizando este método se puede determinar si es factible implementar el proyecto.

2.2.1. Estructura modular

Mediante el análisis del despliegue de la función de calidad QFD, el resultado obtenido se debe organizar en módulos para formar una estructura modular, de esta manera se puede determinar de mejor manera las necesidades del proyecto y dar un cumplimiento equitativo, Para dar solución a

las necesidades del proyecto se debe empezar solucionando cada módulo utilizando tablas de ponderación la cual permita elegir entre varias opciones la más adecuada para la implementación del proyecto.

Tabla 4

Estructura modular para diseño

Numero	Módulos	SUBSISTEMA	Hitos a cumplir
1	Percepción	Sensor de barrido Cámara	1;2;6;7
2	Localización	GPS Odometría	2;10
3	Planificación	Estructura Trayectoria	1;3;4;5;8;9
4	Comunicación	Comunicación inalámbrica	1;2;4
5	Control de movimiento	Diseño eléctrico Interfaz Usuario	2;3;

Los módulos generados en la tabla 4 permiten una distribución ordenada para el desarrollo del proyecto utilizando la evaluación de ingeniería. Obtenido la estructura modular para diseño se prosigue a solucionar cada módulo utilizando el método de ponderación por tablas, permitiendo seleccionar una opción adecuada en diferentes posibilidades de esta manera dar solución a las necesidades de la plataforma móvil.

2.3. Módulo 1. Percepción

2.3.1. Sensor de barrido.

El sistema percepción dentro de la robótica se realiza a partir de sensores que permiten medir las variables externas que rodean al robot, con la utilización de un sensor de barrido el robot móvil

realiza una inspección del entorno que lo rodea permitiendo al robot detectar obstáculos enviar una señal de alerta al operador.

a. Selección de componentes para el sensor de barrido.

a.1. Sensor LIDAR Lite V2.

Sensor detección de luz y determinación de distancia LIDAR, permite determinar distancia de objetos a partir de un emisor y receptor. El cálculo de la distancia se realiza midiendo el tiempo que tarda la emisión del láser en ser recibido.

Ventajas

- Respuesta Rápida
- Cantidad de información
- Usos múltiples

Desventajas

- Precio
- Datos erróneos en objetos transparentes.

a.2. Sensor ultrasónico HC SR04

El HC-SR04 es un sensor ultrasónico utilizado para medir la distancia, contiene la electrónica incorporada para medir distancia mediante el envío de pulsos de arranque y la medición de tiempo de retorno del pulso.

Ventajas

- Bajo costo
- Gran precisión
- Fácil de programar

Desventajas

- Presión deficiente en zonas ciegas.
- Datos erróneos en objetos suaves.

a.3.Sensor proximidad infrarrojo E18 D80NK

El sensor E18 D80NK es un sensor de proximidad óptico reflexivo, diseñado para detectar presencia de objetos con regulador de distancia para utilizarlo en varias aplicaciones, ideal para proyectos con arduino, PIC, etc.

Ventajas

- Distancia ajustable.
- Precio.
- Fácil implementación.
- Menor interferencia por luz visible.

Desventajas

- No devuelve valores de distancia.

b. Análisis del sensor barrido y selección para elaboración del proyecto.

Para un análisis y selección adecuada del sensor de barrido se usará la herramienta de matriz de comparación ponderada con los siguientes parámetros:

- **Detención de obstáculos:** La plataforma móvil será expuesta en áreas internas y externas donde es propensa a generar colisiones con objetos desconocidos, requiere detención de obstáculos con gran precisión.
- **Precio:** El proyecto busca crear un sensor de barrido, con las características similares a los ya existen, pero a menor precio del mercado.
- **Medición:** Se busca determinar las distancias de los obstáculos encontrados para realizar un análisis del entorno que rodea al robot.

Tabla 5

Ponderación de criterio para sensor de barrido

Criterio	Detención	Precio	Medición	$\sum+1$	Ponderación
Detención	-	0	0	1	0,17
Precio	1	-	0	2	0,33
Medición	1	1	-	3	0,5
			Suma	6	1

Solución establecida para sensor de barrido en el módulo 1:

- Solución 1: Sensor LIDAR
- Solución 2: Sensor ultrasónico HC SR04
- Solución 3: Sensor proximidad infrarrojo E18 D80NK

Tabla 6**Ponderación de detención para solución de sensor de barrido**

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1	-	1	0	2	0,33
Solución 2	0	-	0	1	0,17
Solución 3	1	1	-	3	0,5
			Suma	6	1

Tabla 7**Ponderación de precio para solución de sensor de barrido**

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1	-	0	0	1	0,17
Solución 2	1	-	1	3	0,5
Solución 3	1	0	-	2	0,33
			Suma	6	1

Tabla 8**Ponderación de medición para solución de sensor de barrido**

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1	-	0	1	2	0,33
Solución 2	1	-	1	3	0,5
Solución 3	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Tabla 9**Solución del componente adecuado para sensor de barrido**

Criterio	Detención	Precio	Medición	\sum	Orden de Selección
Solución 1	0,05	0,06	0,17	0,28	3
Solución 2	0,03	0,16	0,25	0,44	1
Solución 3	0,08	0,11	0,09	0,28	2
			Suma		

El componente adecuado para realización del sensor de barrido es ultrasónico HC SR04, por las ventajas que ofrece en precio, consumo de energía, precisión de los datos. En la tabla 10 podemos observar sus características técnicas.



Figura 20. Pines del sensor HC SR04

Fuente: (Aviles, 2016)

Tabla 10

Datos técnicos del sensor HC SR04

PARAMETROS	Datos
Dimensiones	43x20x17 mm
Tensión de alimentación	5 Vcc
Corriente	15 mA
Rango máximo	4,5 m
Rango mínimo	1,7 cm
Tiempo mínimo de espera	20Ms
Sensor ultrasónico	\$ 4,50

c. Diseño mecánico del sensor de barrido.

Para lograr que el robot móvil evite colisionarse con algún obstáculo, es necesario realizar la medición de distancia entre robot y obstáculo, esto se puede lograr mediante un mapeo del entorno, el inconveniente es que el sensor realiza las medidas de distancia en forma unidimensional por este motivo es necesario implementar un diseño mecánico que dote de movimiento al sensor para que pueda realizar mediciones bidimensionales.

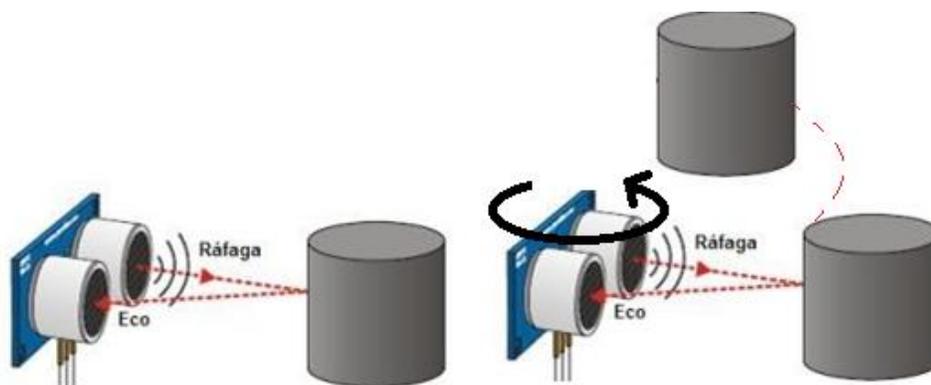


Figura 21. Esquema de movimiento del sensor barrido

Fuente: (Aviles, 2016)

Como se observa en a la figura 21, diseñando un mecanismo que genere movimiento al sensor se puede detectar cualquier objeto en un giro 360 grados, por lo cual, para el diseño mecánico, que permita la rotación del sensor HC SR04 sobre su propio eje se utilizara un motor paso a paso, como se observa en la figura 22, de esta manera se evita utilizar un encoder para el análisis de posición angular del sensor.



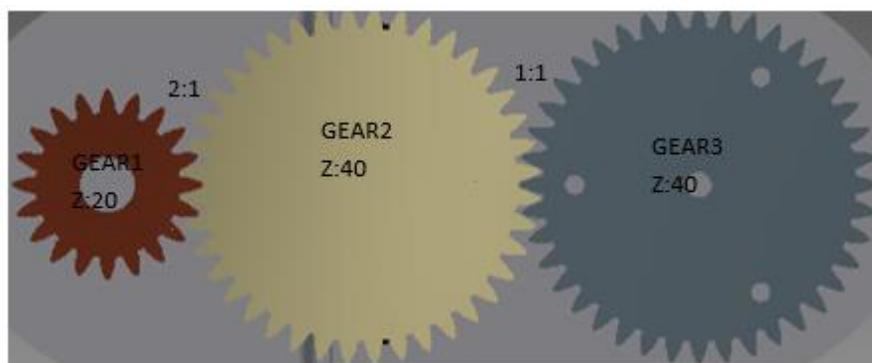
Figura 22. Motor Nema 17

Fuente: (Moviltronic, s.f.)

Tabla 11**Datos técnicos Nema 17**

Parámetros	Datos
Angulo de paso	1,8 °
Temperatura de funcionamiento	80 °C
Voltaje operación	12V DC
Corriente bobinado	1,2 A
Torque	9,54 N.m
Pasos por revolución	200
Diámetro del eje	5 mm
Precio	\$ 16,00

El motor Nema 17 paso a paso completa el giro 360 grados en 200 pulsos, se realiza una relación de engranes para la transmisión de movimiento es 2:1, es decir cada dos vueltas del servo se realiza una vuelta del sensor ultrasónico, en otras palabras 400 pasos equivale a una vuelta del sensor, como se observa en l figura 23.

**Figura 23** Relación de engranes de 2:1

El sistema mecánico realiza un giro 360 sobre su mismo eje, se requiere solucionar el problema del cable, al realizar el giro el cable tendería a enrollarse, para la solución de este problema se utiliza Anillo colector como se observa en la figura 23 que se hace posible el giro del sensor sin enrollar los cables.



Figura 24 Anillo colector (slip ring)

Fuente: (Moviltronic, s.f.)

Tabla 12

Datos técnicos anillo colector (slip ring)

Parámetros	Datos
Voltaje	240 DC
Corriente	2 A
Cables	6
Velocidad	300 Rpm
Precio	\$ 19,00

El diseño mecánico de sensor de barrido se basa en el diseño mecánico de un radar como se puede observar en la figura 24, utilizando un motor Nema 17 motor paso a paso y adaptándolo aún mecanismos de engranes para el movimiento del sensor HC SR04, para obtener un giro de 360 grados sobre su mismo eje. El mecanismo está compuesto por los siguientes elementos como se observa en la tabla 13.

Tabla 13

Componentes mecánicos para sensor de barrido

N	Descripción
1	Engrane motriz
2	Engrane conducido puente
3	Engrane conducido base del sensor
4	Soporte del sensor
5	Sensor ultrasónico
6	Cabeza del sensor
7	Carcasa

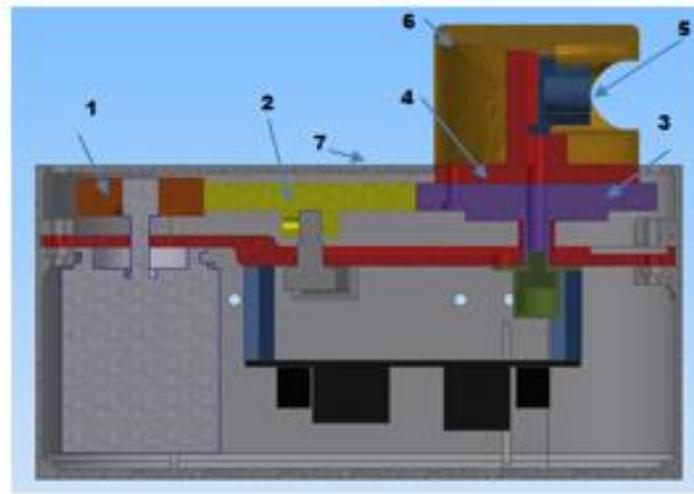


Figura 25. Mecanismo del sensor de barrido

Para el análisis del mecanismo se procede a ser el cálculo del momento de rozamiento en función de la velocidad de giro de la cabeza del sensor, utilizando:

$$v * n \geq 2000 \quad (2-1)$$

Dónde:

- v Requerimiento de viscosidad.
- n Velocidad de funcionamiento

Para el cálculo de la viscosidad se requiere la velocidad de trabajo del mecanismo, como se observa en la figura 26, el torque generado por motor nema17 es 9.54 [Nm] obteniendo una velocidad de trabajo de 500rpm.

Design Calculation

Method of Strength Calculation
ISO 6336:1996

Loads

	Gear 1	Gear 2
Power	P 1,000 kW	0,980 kW
Speed	n 1000,00 rpm	500,00 rpm
Torque	T 9,549 N m	20,717 N m
Efficiency	η 0,980 ul	

Material Values

Gear 1 User material

Gear 2 User material

Bending Fatigue Limit	σ_{Hlim} 352,0 MPa	352,0 MPa
Contact Fatigue Limit	$\sigma_{Hc,lim}$ 1140,0 MPa	1140,0 MPa
Modulus of Elasticity	E 206000 MPa	206000 MPa
Poisson's Ratio	μ 0,300 ul	0,300 ul
Heat Treatment	2 ul	2 ul

Required Life L_h 10000 hr

Factors Accuracy

Figura 26. Velocidad de trabajo del mecanismo

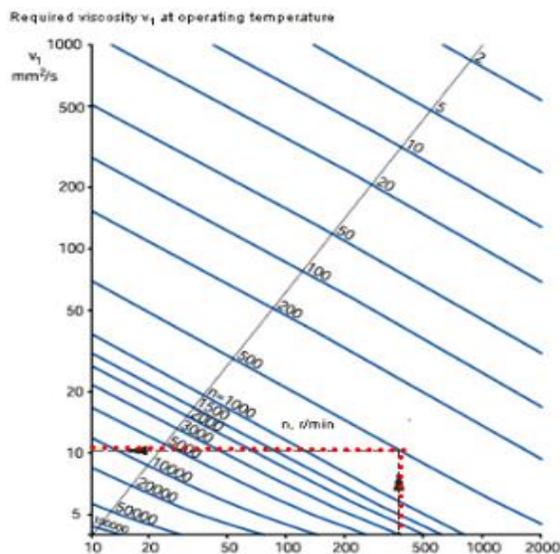


Figura 27. Diagrama de estimación de viscosidad

Fuente: (Lubrication conditions, s.f.)

Al obtener velocidad de 500 rpm como velocidad de la cabeza del sensor, tomado como referencia de la velocidad máxima que podría moverse el mecanismo se establece una viscosidad de 10 mm²/s como se observa en diagrama de estimación de viscosidad cinemática en la figura 27.

Al reemplazar en la ecuación (2-1) se tiene que:

$$v * n \geq 2000$$

$$(500) * 10 \geq 2000$$

$$5000 \geq 2000$$

Teniendo en cuenta que la condición es que:

$v * n \geq 2000$ se usará la ecuación:

$$M_o = f_o * (n * v)^{\frac{2}{3}} * d_m^3 * 10^{-7} \quad (2-2)$$

Donde

- f_o Coeficiente de tipo de rodamiento, para romper inercia en función de la velocidad.
- d_m Diámetro medio de rodamiento.

Utilizando el diagrama de viscosidad cinemática se obtiene los siguientes datos

$$f_o = 16.95$$

$$d_m = 25 \text{ mm}$$

Que se reemplazarán en la ecuación (2-2) de la siguiente manera

$$M_o = f_o * (n * v)^{\frac{2}{3}} * dm^3 * 10^{-7}$$

$$M_o = 16.95 * (5000)^{\frac{2}{3}} * 25^3 * 10^{-7}$$

$$M_o = 7.7441 \text{ Nmm}$$

De esta manera se sabrá que el momento de rozamiento que se debe vencer para poner el sistema en marcha es de:

$$M_o = 7.7441 \text{ Nmm}$$

$$M_o = 0.77441 \text{ Ncm}$$

Tren de engranajes del sensor.

La transmisión de movimiento se la realizará por medio de un tren de engranajes, para prevenir posibles deslizamientos y obtener la precisión deseada al momento de realizar las mediciones por medio del sensor de ultrasonido HC SR04.

la función que tiene el tren de engranajes es transmitir el movimiento del motor y hacer una única reducción de 2:1 para así obtener la velocidad deseada.

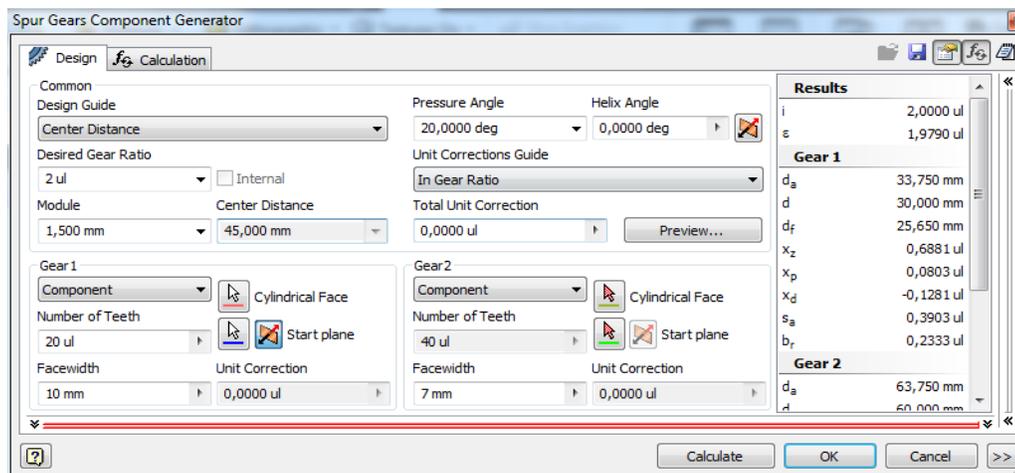


Figura 28. Ingreso de parámetros para diseño del engranes

Las condiciones que se impuso para el diseño del tren de engranajes son de poco espacio, máximo torque entregado, y facilidad de acoplamiento.

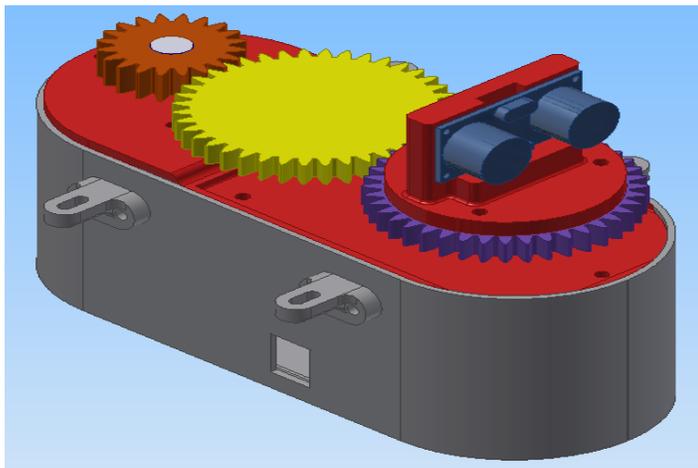


Figura 29. Diseño del sistema de engranes

Siendo así que el piñón motriz es de 33.75mm de diámetro externo, se diseña un tren de engranaje como se observa en la figura 30.

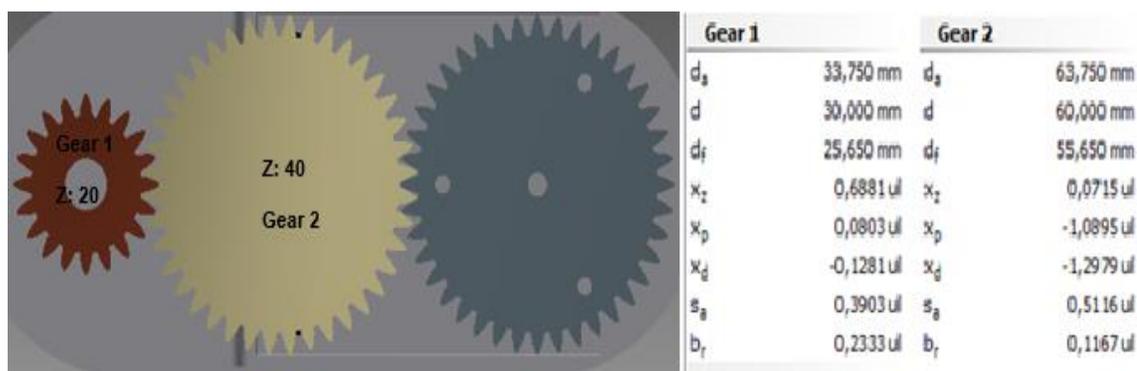


Figura 30. Características de los engranes

Para el cálculo del módulo de los engranes se utilizará la siguiente ecuación:

$$m = \frac{D_p}{N}$$

Donde

m Módulo de engrane

D_p Diámetro primitivo

N Número de dientes

$$m = \frac{D_p}{N}$$

$$m = \frac{30}{20}$$

$$m = 1.5$$

Cabe aclarar que los últimos dos engranes son gemelos lo que significa que tienen una relación de transmisión de 1:1, se obtiene la misma velocidad en el último engrane donde descansa el sensor de ultrasonido.

Se procede a comprobar la carga límite del desgaste de los dientes de los engranes, se calcula mediante la ecuación (2-4)

(2-4)

$$F_W = 2 * D_p * b * k * \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)$$

Donde:

- F_w Carga límite de desgaste.
- b Ancho de cara de los dientes.

- k Factor de carga.
- z_1 Número de dientes del engranaje del motor = 20
- z_2 Número de dientes del engranaje arrastrado = 40

La anchura de cara se la definió por espacio b : 10 mm, Obtenido este dato se procede al cálculo del factor de carga mediante la ecuación (2-5).

(2-5)

$$k = (17 * BHN - 428) * \sin 20 * \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)$$

Donde:

- BHN Número de dureza Brinell del plástico ABS.
- E_1 y E_2 Módulos de elasticidad de los engranes en plástico ABS.
- k Factor de carga.

De la tabla de propiedades del plástico ABS de SUPERTONIC S.A. se obtuvo los siguientes datos:

$$BHN = 1520$$

$$E_1 \text{ y } E_2 = 2.3 \text{ KN/mm}^2$$

Remplazando los valores en la ecuación (2-5) se obtiene:

$$k = (17 * 1520 - 428) * \sin 20 * \left(\frac{2}{2300E_1} \right)$$

$$k = 20.17$$

Encontrado el valor del factor de carga, se reemplaza en la ecuación (2-4) se obtiene la carga límite de desgaste.

$$F_W = 2 * 30 * 10 * 20.17 * \left(\frac{40}{60}\right)$$

$$F_W = 8.068 \text{ N}$$

Se calcula la fuerza tangencial en función de la fuerza de rodamiento:

$$F_t = \frac{M}{r}$$

Donde r es el radio del engranaje siendo $r = 1.5\text{cm}$, obteniendo así:

Donde r es el radio del engranaje ($D_p/2$), es decir $r = 15 \text{ mm}$, obteniéndose:

$$F_t = \frac{0.77}{1.5}$$

$$F_t = 0.5163 \text{ N}$$

Sabiendo que $F_t < F_W$ se comprueba que el desgaste del diente con este material no supera los límites tolerables, demostrando que al ser impresos en ABS el tren de engranajes es muy superior a lo esperado.

La velocidad tangencial en la línea de paso de contacto del engrane con el piñón es:

$$V_t = \omega_t \cdot r$$

$$V_t = 52.36 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0.015 \text{ m}$$

$$V_t = 0.785 \text{ m/s}$$

Donde ωt es la velocidad de trabajo del motor = 500 rpm = 52.36 rad/s

En análisis de esfuerzos en los engranajes se realiza mediante el método AGMA definida en el estándar 2001-B88, aplicando la siguiente ecuación de esfuerzo de flexión:

$$\sigma_b = \frac{F_t}{b \cdot m \cdot J} \cdot \frac{K_a \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_B}{K_v}$$

Donde:

m = módulo métrico del engrane = 1.5

b = ancho de la cara del engrane = 10 mm

J = factor geométrico de resistencia a la flexión

K_v = factor dinámico

K_a = factor de aplicación

K_s = factor de tamaño

K_m = factor de distribución de la carga

K_B = factor del espesor del aro

El factor J depende del número de dientes del piñón (20 dientes) y del engrane (40 dientes) y se obtiene a partir de la figura del anexo 01.

$$J = 0.38$$

El factor dinámico K_v toma en cuenta las cargas vibratorias internas que se generan por el impacto entre dientes y del índice de calidad Q_v del engranaje. Para un engrane con índice de calidad $Q_v=10$ (recomendado para transmisiones mecánicas), el factor dinámico se obtiene del anexo 02.

$$K_v = 0.94$$

El factor de aplicación K_a considera la posibilidad de que las variaciones de carga, vibraciones, choque, cambios de velocidad y otras condiciones puedan dar por resultado picos de carga que excedan a la carga tangencial F_t y se obtiene del anexo 03

$$K_a = 1.25$$

El factor de tamaño refleja la falta de uniformidad de las propiedades del material, debida al tamaño. La AGMA recomienda considerar $K_s=1.0$

El factor K_m refleja la distribución no uniforme de la carga a lo largo de la línea de contacto y su valor depende del ancho del diente y se obtiene del anexo 03.

$$K_m = 1.6$$

El factor K_B toma en cuenta engranes hecho con aro y brazos radiales, en lugar de un disco sólido. Pero debido a que nuestros engranes son de disco sólido se tiene:

$$K_B = 1.0$$

Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene el esfuerzo de flexión en los dientes del engrane:

$$\sigma_b = \frac{0.5163N}{10 \text{ mm} \cdot 1.5 \text{ mm} \cdot 0.38} \cdot \frac{1.25 \cdot 1.0 \cdot 1.6 \cdot 1.0}{0.94}$$

$$\sigma_b = 0.193 \frac{N}{\text{mm}^2} = 0.193 \text{ MPa}$$

La ecuación para determinar la resistencia a la fatiga por flexión en los engranes es:

$$S_{fb} = \frac{K_L}{K_T \cdot K_R} S'_{fb}$$

Donde: S_{fb} = resistencia corregida de fatiga por flexión

S'_{fb} = resistencia a la fatiga por flexión publicada por la AGMA

K_L = factor de vida

K_T = factor de temperatura

K_R = factor de confiabilidad

La resistencia sin corregir de fatiga por flexión S'_{fb} se obtiene de la ecuación:

$$S'_{fb} = 6.235 + 0.174BHN - 1.26 \cdot 10^3 BHN^2$$

$$S'_{fb} = 6.235 + 0.174 \cdot 152 - 1.26 \cdot 10^3 \cdot 152^2$$

$$S'_{fb} = 3,57 \text{ MPa}$$

Se considera que los engranajes deben tener una vida útil no menor a 10 000 horas de operación.

Por lo tanto, el número de ciclos se obtiene a partir de la velocidad de trabajo:

$$N = 10\,000 \text{ h} \frac{500 \text{ rev}}{\text{min}} \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$N = 3 \cdot 10^8 \text{ rev} = 3 \cdot 10^8 \text{ ciclos}$$

A partir del número de ciclos se obtiene el factor de vida K_L del anexo 04.

$$K_L = 0.87$$

Para temperaturas de operación menor a 250 °F se considera $K_T = 1.0$

Para una confiabilidad del 99.99% el factor de confiabilidad es $K_R = 1.5$

Reemplazando los valores en la ecuación, se obtiene la resistencia a la fatiga por flexión de los engranes:

$$S_{fb} = \frac{0.87}{1.0 \cdot 1.5} \cdot 3.57 \text{ MPa}$$

$$S_{fb} = 2.07 \text{ MPa}$$

La falla en los engranajes ocurre cuando el esfuerzo del diente excede el límite de resistencia a la fatiga por flexión. Por lo tanto, el factor de seguridad contra fallas en el engrane se obtiene:

$$FS = \frac{S_{fb}}{\sigma_b}$$

$$FS = \frac{2.07 \text{ MPa}}{0.193 \text{ MPa}}$$

$$FS = 10.7$$

Entonces se comprueba que el engranaje tendrá una vida útil no menor a 10 000 horas de operación

Análisis de deformación para el diseño mecánico

Análisis de la resistencia mecánica utilizado en el diseño del sensor de barrido mediante software de diseño mecánico inventor, utilizando el método de elementos finitos se simulará la deformación generada por una carga axial del peso total del robot móvil simulando un apoyo excesivo en la cabeza del sensor.

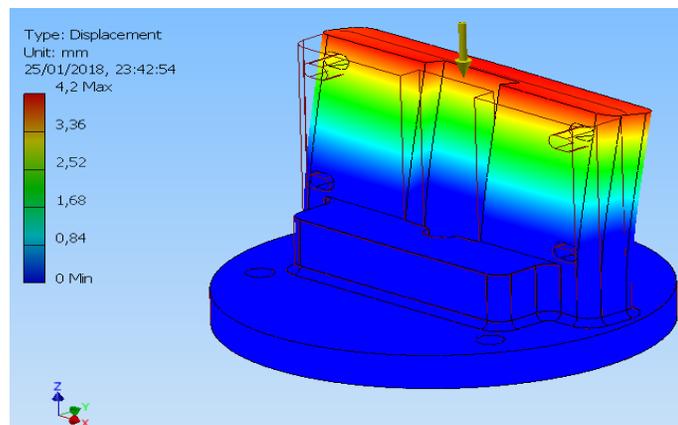


Figura 31. Fuerza aplicada 10N en el eje Z

Para el análisis descrito en la figura 31 se utilizó el rozamiento al momento de romper la inercia, obtenida mediante el cálculo anterior, partiendo de los datos del rodamiento (7.7 Nmm), también se añade una carga axial la cual es equivalente al peso de la carcasa del sensor y el engranaje (10N). Analizado la resistencia del soporte de sensor ultrasónico, se prosigue a realizar un análisis similar al ensamble encargado de la transmisión de movimiento, los resultados se pueden observar en la figura 32.

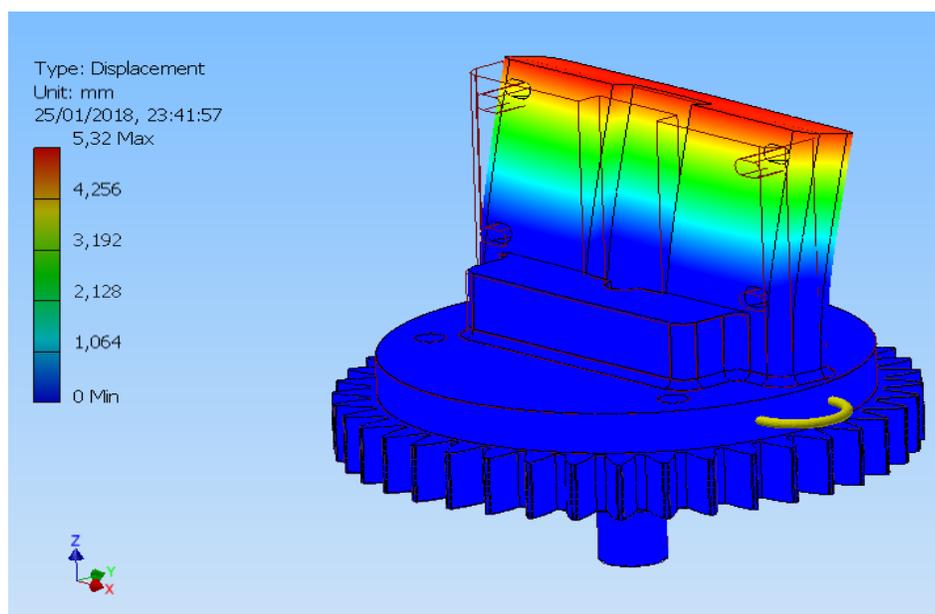


Figura 32. Momento 7.744 Nmm entre el soporte y el engrane

En el análisis de deformación entre el soporte y el engranaje aplicando un momento de (7,7 Nmm), se obtiene valores de deformación aceptables para el diseño del mecanismo del sensor ultrasónico. El sistema diseñado debe ser capaz de realizar un censado alrededor de su propio eje, para proteger del clima es importante diseñar una carcasa apta para la funcionalidad que se requiere,

además es importante tener en cuenta que el sensor debe estar con vista directa al exterior sin obstaculizar la toma de datos del sensor de barrido.

En la figura 33 se realizará un análisis al ensamble completo mediante una combinación de esfuerzos, arroja un desplazamiento máximo crítico de 0,006 micrómetros, se puede decir que el diseño mecánico ensamblado completamente cumple con los requerimientos del sistema mecánico.

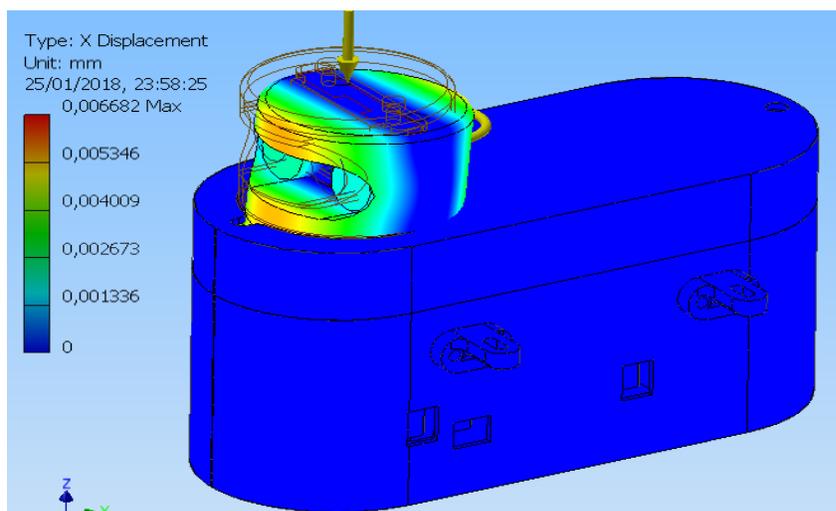


Figura 33. La combinación de fuerza aplicada

Luego de diversas pruebas, finalmente en la figura 34 se muestra el sensor completamente ensamblado, la carcasa diseñada cuenta con espacio suficiente para el acople del motor y el cableado interno del sensor. Debido al sistema de engranes los pasos del servo en relación al sensor se duplica, es decir para que la cabeza del sensor realice un giro 360 debe recorrer servo 400 pasos, este motivo se realizaron las mediciones cada 50 pasos traducido a grados serán 45 grados.

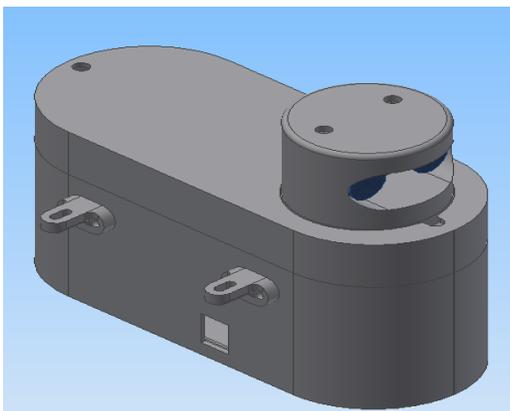


Figura 34. Sensor de barrido ensamble final

Considerando la tabla 6, que analiza la ponderación de detección, para la solución del sensor de barrido, se buscó una solución adecuada para mejorar el sistema de detección de la plataforma incluyendo el sensor E18 D80NK para corregir la detección en movimiento de la plataforma móvil.



Figura 35. Sensor infrarrojo E18 D80NK

Fuente: (electrotekMega, s.f.)

La desventaja de este sensor es que no permite la medición de distancia, pero es ideal para la detención de obstáculo, a continuación, en la tabla 14 se describen las características del sensor a implementar para la corrección del sistema de detención del robot móvil.

Tabla 14**Características de Sensor E18 D80NK**

Parámetros	Datos
Corriente de salida	100 mA / 5V
Consumo de corriente	<25 mA DC
Tiempo de respuesta	2ms
Ángulo de detección	15 grados
Distancia ajustable	5 M
Pin amarillo	GND
Pin café	VCC
Pin azul	Señal
Precio	\$ 15,00

2.3.2. Cámara.

Dentro del sistema de percepción la cámara es la encargada del procesamiento de imágenes para la transmisión a tiempo real, tanto en modo tele operado como autónomo, ayuda al operador visualizar el entorno que rodea al robot desde su espacio de trabajo sin la necesidad de encontrarse en la misma área de trabajo del robot móvil.

a. Alternativas para selección de cámara.***a.1. Cámara WEB***

Dispositivo digital conocido como webcam, este tipo de dispositivos se conectada al computador procesando imágenes y transmitiendo a una página web u otra computadora en forma privada.

Ventajas

- Precio
- Permite conectar entre personas que viven en otro lado del mundo
- Cómoda instalación
- Dimensiones

Desventajas

- Necesita estar conectado por cable.
- Uso exclusivo para un computador.

a.2. Cámara IP

Este tipo de dispositivos transmite las imágenes directamente al internet sin la necesidad de un computador, este dispositivo tiene incorporado un miniordenador el cual le permite transmitir los videos por sí solo, se conecta a la red por medio de una IP para envío de datos comprimidos para obtener mejor velocidad de transmisión.

Ventajas

- Accesibilidad remota
- Calidad de imagen
- Integración con otros sistemas

Desventajas

- Software dedicado
- Dificultad implementación

a.3. Cámara Inalámbrica Wifi

Permite transmitir las imágenes directamente a cualquier dispositivo como pueden ser ordenadores, laptop, celulares, etc. En la actualidad es uno de los sistemas utilizados por las ventajas de implementación y facilidad de transmisión hacia cualquier dispositivo remoto.

Ventajas

- Fácil instalación
- Compatibilidad con otros dispositivos
- Accesibilidad remota

Desventajas

- Requiere aplicaciones propias del fabricante para su funcionamiento.
- Precio

b. Análisis para selección de la cámara para elaboración de proyecto.

Para la selección adecuada de la cámara se basa en la necesidad de obtener accesibilidad remota, se realizó pruebas con una cámara con dos sistemas de comunicación IP e inalámbrica y wifi, en las pruebas realizadas del sistema comunicación se determina que la comunicación inalámbrica wifi, no es compatible debido a quiere una aplicación específica por el fabricante, de esta manera se seleccionó el sistema de comunicación IP implementando un router en la plataforma móvil para la comunicación inalámbrica. Los factores que influyeron en la decisión se describen a continuación:

- Este tipo de comunicación permite informatizar todo el proceso, posibilidad que ofrece transmisión en cualquier por medio mediante un router con una IP privada.

- Este tipo de cámara con comunicación IP permiten ser programados para múltiples funciones como detección avanzada de movimiento, reconocimiento facial, Detección de objetos.

El dispositivo para la transmisión de imágenes a tiempo real seleccionado es cámara wanscam HW0024 IP wifi HD utilizando comunicación IP, incorporando un router a la plataforma dedicado únicamente para la comunicación de la cámara.



Figura 36. Cámara HW0024

Fuente: (AliExpress, s.f.)

Tabla 15

Datos Técnicos cámara wanscam HW0024

Parámetros	Datos
Definición	720P HD
Conectividad	IP / red inalámbrica
Corriente	2A
Alimentación	5 V
Lente	3.6 mm
Visión nocturna	10 LED
Precio	\$ 65,00

Para obtener comunicación inalámbrica con la cámara utilizando el sistema IP es necesario la implementación de un router R220 se seleccionó este router por ser utilizado en vehículos, debido tiene la capacidad detectar la red y reiniciar automáticamente, mediante la función reconexión automática que brinda el dispositivo.



Figura 37. Router R220 12 V

Tabla 16

Datos Técnicos cámara wanscam HW0024

Parámetros	Datos
Puertos	LAN
Tipo	Wireless
Velocidad transferencia	150 Mbps
Antena	Externa
Corriente	2A
Voltaje	12v
Precio	\$ 65,00

2.4. Módulo 2. Localización

2.4.1. Sistema posicionamiento global GPS.

El sistema de posicionamiento global se encargará de enviar los datos de ubicación de la plataforma móvil para determinar la ubicación respecto a un punto fijo de referencia localización absoluta.

a. Selección del sistema de ubicación del robot.

a.1. Módulo GPS Neo 6m Ublox.

Este tipo de modelo GPS puede utilizarse con mega v2, este módulo emplea la última tecnología para brindar una mejor información de posicionamiento.

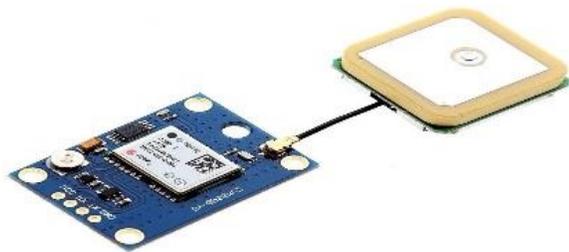


Figura 38. GPS NEO 6M V2

Fuente: (electrotekMega, s.f.)

Especificaciones

- Receptor GPS independiente.
- Comunicación Serial
- EEPROM para guardar los ajustes
- Batería recargable de copia de seguridad.
- Sensibilidad 148 dbm
- Exactitud 1 microsegundo
- Corriente 15mA
- Precio \$24,00

a.2.Módulo GPS BU – 353.

Módulo GPS BU 353, Es ideal para aplicaciones que requieran una señal GPS se reciban y decodifiquen en un ordenador, es adecuado para su uso en vehículos, navegación marítima, aviación, etc.



Figura 39. GPS BU 353

Fuente: (SAT, s.f.)

Especificaciones

- Alimentación $5V \pm 5\%$
- Consumo 60 [mA]
- Sensibilidad 159 dbm
- Tiempo de inicio 35 seg
- Conexión USB
- Precio \$ 45,18

a.3.Módulo GPS Micro-mini.

El GPS Micro-mini basado en el chip MN5010HS, suministra una alta sensibilidad en la detección del satélite para ejecutar la geolocalización incorporado una antena LNA.



Figura 40. GPS micro mini

Fuente: (Brico Geek, s.f.)

Especificaciones

- Velocidad de actualización 1Hz
- Alimentación 3.30V hasta 5.5V
- Corriente 36 m.A
- Sensibilidad 159 dbm
- Margen error < 3m
- Tiempo de inicio 35 seg
- Precio \$ 18,50

b. Análisis del módulo GPS y selección para elaboración del proyecto.

En esta etapa se realizará una ponderación de criterios para obtener una alternativa objetiva del componente a utilizar para ubicación del robot móvil teniendo en cuenta precio del componente, porcentaje de precisión del módulo, Facilidad de implementación y sobre todo disponibilidad del módulo en mercado.

Tabla 17

Ponderación de criterio del sistema de posicionamiento global GPS

Criterio	Precio	Precisión	Implementación	Disponibilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Precio	-	0	0	0	1	0,1
Precisión	1	-	0	1	3	0,3
Implementación	1	1	-	1	4	0,4
Disponibilidad	1	0	0	-	2	0,2
				Suma	10	1

Solución establecida para el sistema de posicionamiento global del módulo 2:

- Solución 1: Módulo GPS Neo 6m Ublox
- Solución 2: Módulo GPS BU 353
- Solución 3: Módulo GPS Micro mini

Tabla 18

Ponderación de precios de módulos GPS

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	-	1	0	2	0,33
Solución 2	0	-	0	1	0,17
Solución 3	1	1	-	3	0,5
			Suma	6	1

Tabla 19

Ponderación de precisión de los módulos GPS

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1	-	0	1	2	0,33
Solución 2	1	-	1	3	0,5
Solución 3	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Tabla 20

Ponderación de implementación de los módulos GPS

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1	-	1	1	3	0,5
Solución 2	0	-	0	1	0,17
Solución 3	0	1	-	2	0,33
			Suma	6	1

Tabla 21

Ponderación de disponibilidad de los módulos GPS

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1	-	1	1	3	0,5
Solución 2	0	-	1	2	0,33
Solución 3	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Tabla 22

Solución del componente adecuado para módulo GPS

Criterio	Precio	Precisión	Implementación	Disponibilidad	\sum	Orden de Selección
Solución 1	0,03	0,1	0,2	0,1	0,43	1
Solución 2	0,02	0,15	0,07	0,07	0,31	2
Solución 3	0,05	0,05	0,13	0,03	0,26	3
			Suma		1	

El sistema de posicionamiento global adecuado para localizar la posición del robot móvil sobre la tierra por ponderación, se estableció que el Módulo más adecuado es GPS Neo 6m Ublox, por ser un módulo fácil de implementar y gran disponibilidad en el mercado y por estar en un promedio en precio y precisión referente a los otros módulos.

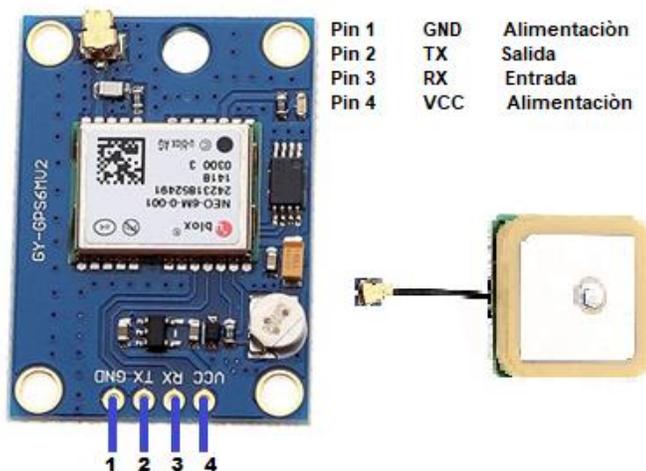


Figura 41. Pines del módulo GPS Neo 6m Ublox

c. Análisis de datos del sistema posicionamiento global.

El módulo GPS sigue protocolo de la asociación nacional de electrónica marina NMEA, la cual tiene la siguiente estructura:

084530.000, A,4221.0289, N,00724.5210, W,0.37,64.45,020118

Significado

- 084530.000 representa la hora GMT (08:45:30)
- “A” indica dato posicionamiento fijo y correcto. “V” dato valido.
- 4221.0289 representa la longitud $42^{\circ} 21.0289'$

- “S” representa sur. “N” representa Norte.
- 00724.5210 representa la latitud $7^{\circ} 24.5210'$.
- “W” representa el Oeste. “E” representa el este.
- 0.37 representa la velocidad en nudos.
- 64.45 representa la orientación en grados.
- 020118 representa la fecha 2 de enero del 2018.

Es necesario realizar el cálculo de conversión de coordenadas en grados, minutos, segundos GMS a coordenadas en grados decimales GD debido a que google maps reconoce este tipo de formato para la ubicación del robot móvil.

Longitud 4221.0289, N. Conversión de signos N/+ y S/-

Latitud 00724.5210, W. Conversión de signos E/+ y W/-

Para el cálculo la conversión a grados decimales, primero se realiza una extracción de datos para su mejor manejo.

Longitud: Grados 42. Minutos 21. Segundos 02.89

Latitud: Grados 07. Minutos 24. Segundos 52.10

Después aplica la siguiente fórmula:

$$\text{minutos1} = \frac{\text{minutos}}{60}$$

$$\text{segundos1} = \frac{\text{segundos}}{3600}$$

Longitud: Grados 42. Minutos1 0.35. Segundos1 0.0008027

Latitud: Grados 07. Minutos1 0.4. Segundos1 0.014472

Finalmente se suma las tres cantidades

$$GD = \text{Grados} + \text{Minutos1} + \text{Segundos1}$$

Longitud: 42.3508027

Latitud: - 7.414472

2.4.2. Método de Odometría.

Para la localización relativa se utiliza el método de odometría, que se basa en la estimación de posición del robot móvil con ruedas calculando rotación de la rueda durante la navegación.

a. Selección sensor adecuado para el método de odometría.

Dentro de la industria automotriz se utilizan tres tipos de sensores para determinar la posición del árbol de levas, para la implementación del robot móvil se analizará estos sensores y se determinará la mejor opción:

a.1.Sensor de efecto hall.

Sensor basado en la medición de campos magnéticos, permite determinar la posición sin contacto, este tipo de sensores se utilizan para ambientes extremos como salpicadura fluido, polvo, grasa no requiere mantenimiento de limpieza.



Figura 42. Señal generado sensor efecto hall

Fuente: (Sensor arbol levas, s.f.)

a.2.Sensor óptico.

Sensor integrado con led para realizar un destello de luz a una foto-resistencia, este sistema se trata una resistencia que disminuye su valor al exponerlo a la luz.



Figura 43. Señal generado por sensor Óptico.

Fuente: (Oficios tecnicos, s.f.)

a.3.Sensor inductivo.

Sensores detecta materiales ferrosos, utilizados para posicionamiento, detección de metales, este sensor genera corriente alterna, al aumentar la velocidad de giro proporcionalmente se aumenta la corriente.



Figura 44. Señal generada sensor Inductivo

Fuente: (Sensor arbol levas, s.f.)

b. Análisis del sensor para odometría y selección para elaboración del proyecto.

Luego del análisis del funcionamiento de los sensores se decide implementar sensor efecto hall para la implementación de odometría en el robot móvil. Los factores que ayudaron en la selección se definen a continuación:

- Al ser una plataforma móvil todo terreno el sensor será expuesto a ambientes extremos puede ser polvo, lodo, salpicadura de agua, etc.

- Al ser una señal de pulso que se forma al realizar una acción es más controlable lo cual facilita su implementación.
- Al ser un sensor que no requiere contacto físico para la medición, no tiene partes móviles, por lo que necesita menor mantenimiento.



Figura 45. Sensor de efecto hall A3144

Fuente: (Moviltronic, s.f.)

Características

- Estabilidad dentro de temperaturas altas para aplicaciones automotrices
- Rango de alimentación 4.5V hasta 24V voltaje no requiere regulación
- Voltaje de salida 1,75V
- Corriente 25 mA
- Resistencia a estrés físico

c. Análisis de datos del sensor efecto hall CS3020.

El sensor de efecto hall CS3020 cambia de estado cuando el imán entra en el rango de sensado, la salida es digital se comporta como en interruptor. Para generación de señal del sensor se utiliza imanes implementados en el árbol de transmisión.

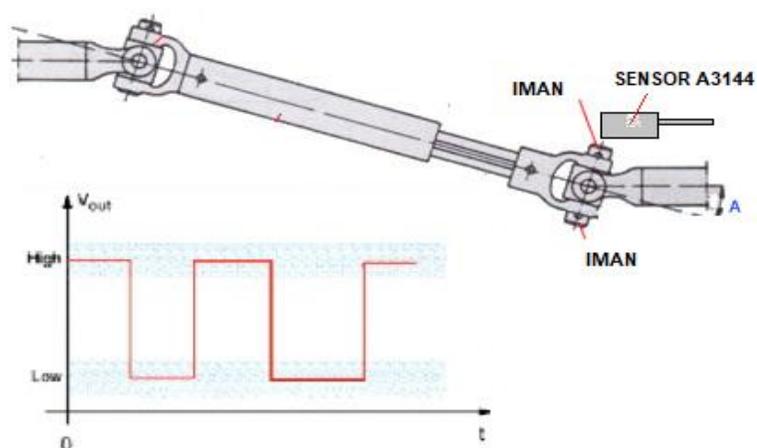


Figura 46. Funcionamiento del sensor efecto hall

La relación entre el árbol de transmisión y la llanta es 3:1, es decir 3 giros completos del árbol de transmisión representa una vuelta completa de la llanta, el árbol por cada vuelta genera 2 pulsos y la longitud de la circunferencia de la rueda es 38.50cm.

$$\frac{39cm}{distancia} \longleftrightarrow \frac{6 pulsos}{n pulsos}$$

La fórmula para determinar la distancia recorrida del sensor móvil es:

$$npulsos = \frac{distancia \times 6}{39}$$

2.5. Módulo 3. Planificación

2.5.1. Estructura.

Dentro de la planificación de trayectoria es importante seleccionar el tipo de locomoción a utilizar, para definir las rutas a seguir dependiente de las restricciones impuesta por el sistema de locomoción para cumplimiento del objetivo de una plataforma todo terreno se utilizará sistema locomoción Ackerman con transmisión y accionamiento 4WD, Las plataformas robóticas utilizadas para exploración son modificaciones de los vehículos

2.5.2. Selección de la plataforma móvil.

- **Trail Hocho RTR**

Una plataforma diseñada para la aventura, capaz de movilizarse en caminos extremos con chasis de bastidor en forma C, sistema de amortiguación en espiral ajustable, probado dentro de las montañas como campo de prueba obteniendo resultados favorables por su tenacidad técnica y diseño.



Figura 47. Plataforma móvil Trail hocho RTR

Fuente: (Axial , s.f.)

Tabla 23

Datos técnicos Trail hocho RTR

CARACTERISTICAS	DATOS
Distancia entre ejes	31.3 cm
Anchura	22.7 cm
Altura	20cm
Claridad del piso	6.8 cm
Peso	4.0 lbs
Longitud corporal	45.7 cm
Motor	35T
Servo	20kgf
Precio	\$ 398

- **Monster Buggy KIT**

Es una plataforma ingeniosamente diseñada con eje trasero sólido y una suspensión delantera independiente, inspirado en un camión del desierto proporcionando resistencia y habilidades técnicas, con amortiguadores de aluminio que ofrecen un movimiento de suspensión suave al igual que una barra estabilizadora trasera.



Figura 48. Plataforma móvil Monster Buggy KIT

Fuente: (Axial , s.f.)

Tabla 24

Datos técnicos Monster Buggy KIT

CARACTERÍSTICAS	DATOS
Longitud	25,75 cm
Anchura	19.50cm
Altura	17.50cm
Distancia entre ejes	18.5 cm
Claridad del piso	6.3cm
Peso	12.75lb
Motor	27T
Servo	10kgf
Precio	\$ 400

- **Monster Jam Truck RTR**

Este tipo de modelo tiene chasis y jaula antivuelco para este tipo de plataforma, el diseño está basado en camiones monstruo, el chasis fue pensado en obtener una fuerza máxima y un aspecto detallado, el realismo en la fuerza y la escala se obtiene a partir de la triangulación de los tubos implementados en el chasis, esto le ayuda para un ataque máximo.



Figura 49. Plataforma móvil Monster Jam Truck RTR

Fuente: (Axial , s.f.)

Tabla 25

Datos técnicos Monster Jam Truck RTR

CARACTERISTICAS	DATOS
Longitud	42,75 cm
Anchura	20.50cm
Altura	27.3 cm
Distancia entre ejes	30.5 cm
Claridad del piso	7.4cm
Peso	7.11lb
Motor	35T
Servo	151 oz in
Precio	328.99

a. Análisis y selección para elaboración del proyecto.

Para una elección lógica de las características de la plataforma móvil todo terreno se analizarán los siguientes parámetros:

- Dimensión, para el desarrollo de la autonomía de la plataforma es importante implementar al robot sensores, tarjeta de control, una cámara y un sistema de comunicación para lo cual se requiere una plataforma amplia, para poder integrar estos componentes.
- Capacidad de Movimiento, debido a los componentes que se instalaran se incrementara el peso de la plataforma, por lo cual los actuadores deben tener mejor capacidad de movimiento.
- Diseño, el proyecto requiere una plataforma capaz de moverse en caminos extremos.

Tabla 26**Ponderación de criterio para plataforma del robot móvil**

Criterio	Dimensión	Capacidad	Diseño	$\sum+1$	Ponderación
Dimensión	-	1	0	2	0,33
Capacidad	0	-	0	1	0,17
Diseño	1	1	-	3	0,5
			Suma	6	1

Solución establecida para plataforma móvil en el módulo 3:

- Solución 1: Plataforma Trail Hocho RTR
- Solución 2: Plataforma Monster Buggy KIT
- Solución 3: Plataforma Monster Jam Truck RTR

Tabla 27**Ponderación de dimensión adecuada para la implementación del robot.**

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1	-	1	1	3	0,5
Solución 2	0	-	0	1	0,17
Solución 3	0	1	-	2	0,33
			Suma	6	1

Tabla 28**Ponderación de capacidad adecuada para la implementación del robot.**

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1	-	1	1	3	0,5
Solución 2	0	-	0	1	0,17
Solución 3	0	1	-	2	0,33
			Suma	6	1

Tabla 29**Ponderación de diseño adecuado para la implementación del robot.**

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1	-	1	0	2	0,33
Solución 2	0	-	0	1	0,17
Solución 3	1	1	-	3	0,5

Suma	6	1
------	---	---

Tabla 30**Solución de la plataforma adecuada para la implementación del robot.**

Criterio	Dimensión	Capacidad	Diseño	Σ	Orden de Selección
Solución 1	0,16	0,09	0,17	0,42	1
Solución 2	0,06	0,02	0,09	0,17	3
Solución 3	0,11	0,05	0,25	0,41	2
			Suma	1	

La plataforma seleccionada es Trail Hocho RTR debido tener una mejor capacidad y dimensión, comparado con las otras plataformas, además de ser diseñada para movilizarse en caminos extremos.

b. Análisis para la modificación de la plataforma.

Para construcción de la estructura se basa en la teoría de jaula de seguridad conocida como barras de seguridad sirve para proteger a los componentes en caso de un accidente. Esta teoría se basa en construir una estructura tipo C formando con la sumatoria de sus ángulos internos 360 grados.

**Figura 50. Jaula de seguridad roll bar**

Fuente: (roll bar, s.f.)

Para la construcción de la base, se parte de análisis de estructuras trianguladas, el cual consiste en encontrar un diseño que se base en la unión de triángulos, y obtener una geometría indeformable, para el análisis de plataforma se determinara la carga que soporta la estructura como se observa en la tabla 31.

Tabla 31**Análisis de carga**

Accesorios	Masa
Sensor barrido	0,7 Kg
Cámara	0,6Kg
Modem	1,0Kg
Tarjeta control	0,5Kg

La masa estimada que la estructura debe soportar es 2,8Kg. A continuación, se determina el peso ejercido sobre la estructura.

$$w = mxg$$

$$w = 2.8 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$w = 2.8 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$w = 27.4 \text{ N}$$

Con el fin de determinar cual es el tamaño de tubo más adecuado para fabricar la jaula de seguridad de la plataforma móvil, se considera el caso crítico de esfuerzos, donde uno de los largueros principales de la estructura (figura 51), soporta el peso total de los componentes del sistema, es decir, 27.4 N.

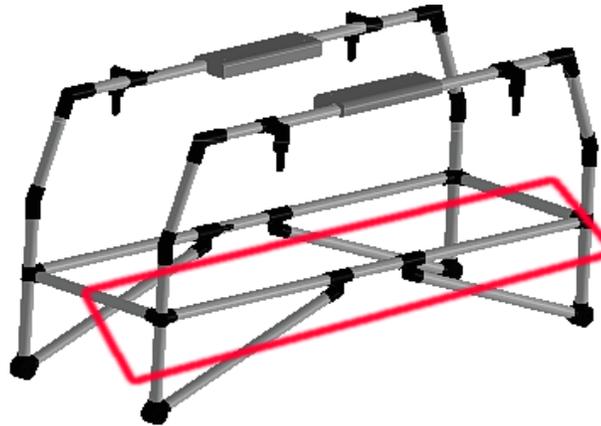


Figura 51. Larguero principal de la jaula de seguridad

A partir de la figura 52 se determina el momento máximo M_{max} que se produce en el larguero mediante la siguiente ecuación:

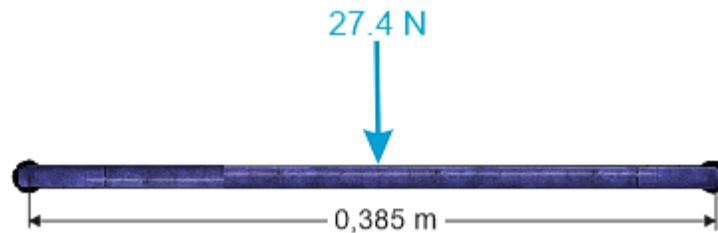


Figura 52. Cargas que actúan en el larguero principal

$$M_{max} = \frac{w \cdot l}{4}$$

$$M_{max} = \frac{27.4 \text{ N} \cdot 0.385 \text{ m}}{4}$$

$$M_{max} = 2.63 \text{ Nm}$$

El esfuerzo normal generado por el momento máximo M_{max} debe ser menor que el límite de fluencia del acero ASTM A36 dividido para el factor de seguridad FS. Entonces, el módulo de la sección W del tubo que se requiere para la jaula viene dado:

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max}}{W} \leq \frac{S_y}{FS}$$

Reemplazando y despejando se tiene:

$$W = \frac{FS \cdot M_{max}}{S_y}$$

$$W = \frac{2.5 \cdot 2.63 \text{ Nm}}{145 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$W = 4.53 \cdot 10^8 \text{ m}^3 = 0.045 \text{ cm}^3$$

dónde:

S_y = es el límite de fluencia del aluminio 6063 T5 = 145 MPa

FS = es el factor de seguridad = 2.5

Para tubos circulares el módulo de la sección viene dado por la ecuación:

$$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$$

dónde:

D= Diámetro mayor del tubo

d= Diámetro menor del tubo

Considerando un diámetro exterior del tubo 1.27 cm con un espesor de pared de 0.08 cm, el módulo de la sección es:

$$W = \frac{\pi(1.27^4 - (1.27 - 0.08)^4)}{32 \times 1.27}$$

$$W = 0.046 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, se selecciona dicho tubo ya que tiene un módulo de sección un poco mayor que el requerido.

En la figura 53 se observa el desplazamiento generado por peso que ejerce los componentes del robot móvil, el punto más crítico se encuentra en la parte de arriba de la estructura con un desplazamiento máximo de 0.19 mm mientras que la base principal no sufre deformación.

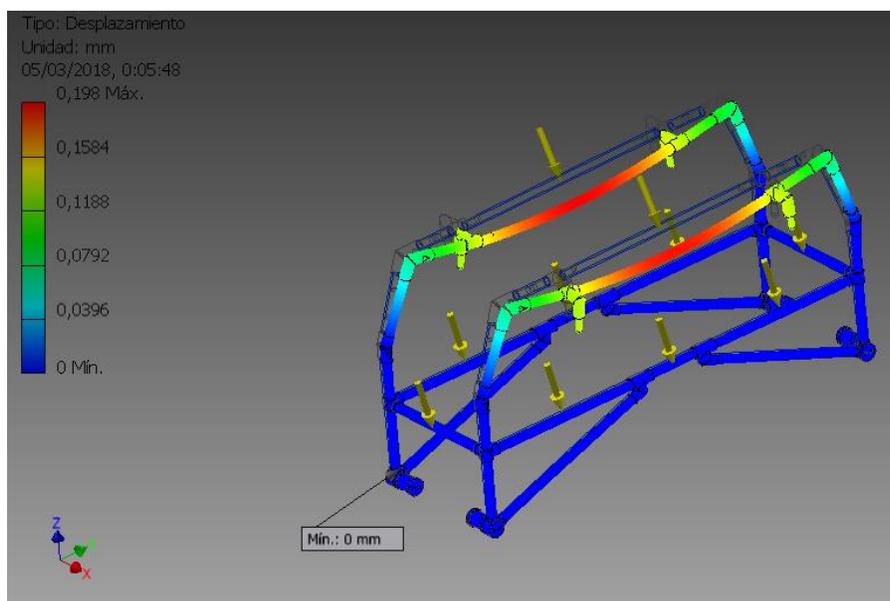


Figura 53. Análisis de desplazamiento generado por peso

Con el fin de determinar el peso en la cual la base empieza a deformarse se duplica el peso de los componentes, se realiza el análisis con un peso de 47 N, como resultado se obtiene que sufre fallo elástico con una energía de distorsión elástica de 0,755MPa

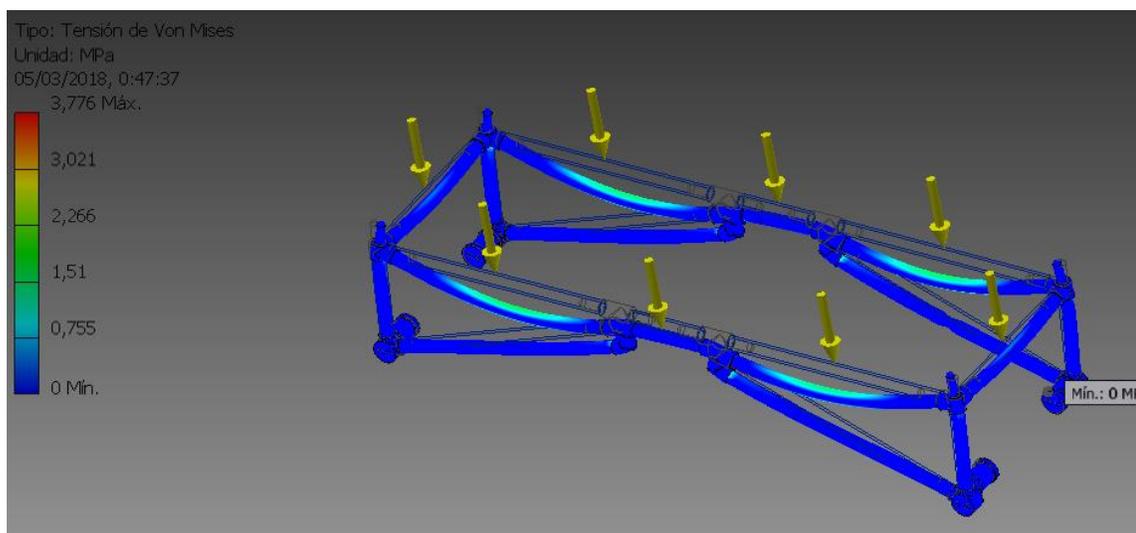


Figura 54 .Análisis del diseño de la base

Con la finalidad de probar la estructura roll bar se realiza un análisis de fuerzas ejercidas al momento del impacto considerando el peso del vehículo y la velocidad mínima que requiere el vehículo para generar movimiento es 27.4 Nm, obteniendo una deformación proporcional a la energía de distorsión de 6.47 Mpa.

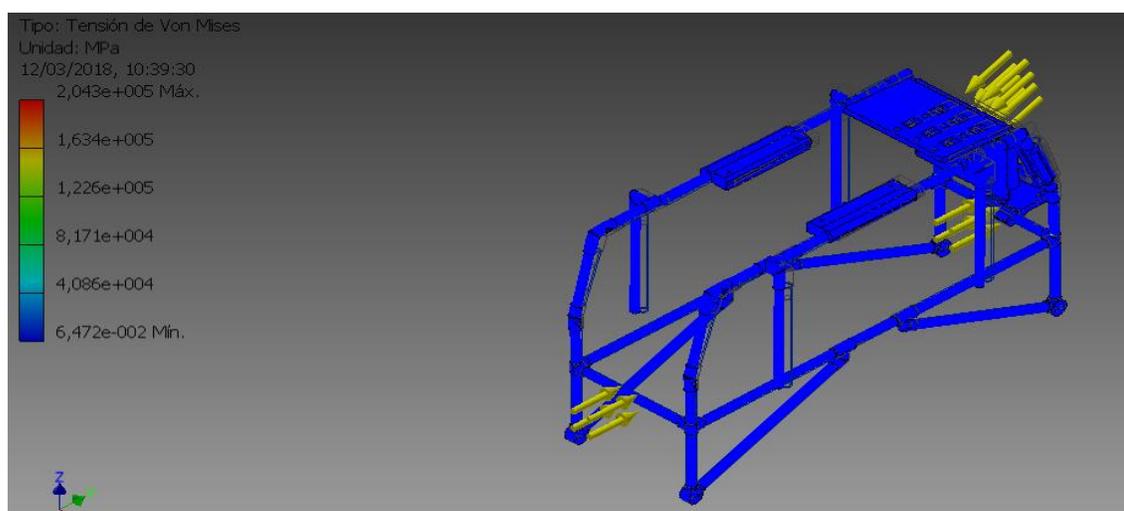


Figura 55. Análisis de la estructura roll bar

Finalmente, en la figura 50, muestra el diseño final de la base a implementar, principalmente tomando en cuenta los espacios suficientes para la implementación de los componentes del robot móvil.

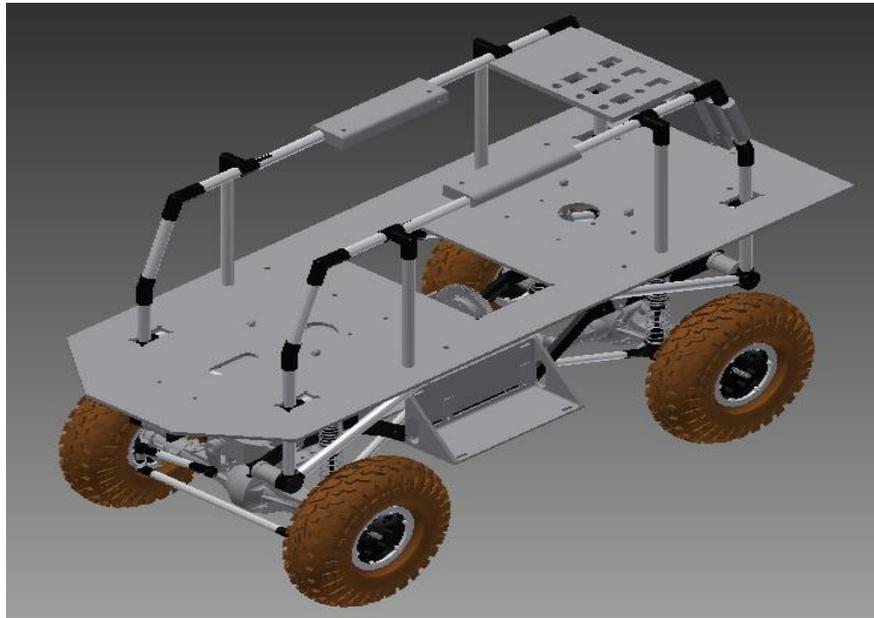


Figura 56. Diseño final de la base

2.5.3. Análisis de trayectorias.

Para el análisis de trayectorias se empezará analizando los ángulos de giro de la plataforma móvil.

Las formulas descritas por la trayectoria Ackerman son las siguientes:

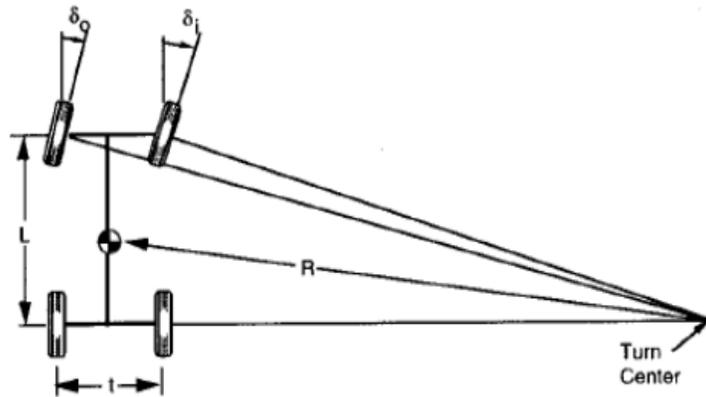


Figura 57. Configuración Ackerman

Fuente: (Formula Racing Enthusiasts, s.f.)

El análisis condición Ackerman determina la relación entre la rueda interior y exterior en un giro.

$$\frac{1}{\tan \delta_o} - \frac{1}{\tan \delta_i} = \frac{t}{l}$$

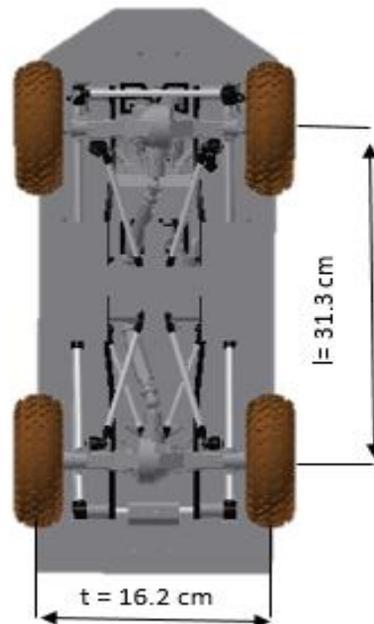


Figura 58. Dimensiones del sistema Ackerman

Dónde,

δ_i = ángulo de dirección de la rueda delantera interior, es ángulo máximo gira auto 30°

δ_o = ángulo de dirección de la rueda delantera exterior

$$\frac{1}{\tan \delta_o} - \frac{1}{\tan 30} = \frac{16.2 \text{ cm}}{31.3 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{\tan \delta_o} = 2.25$$

$$\delta_o = \tan^{-1} 0.4$$

$$\delta_o = 21.80$$

La configuración Ackerman determina que el ángulo interior es superior al ángulo exterior $\delta_i > \delta_o$, para evitar el deslizamiento.

$$30^\circ > 21.80^\circ$$

Con una velocidad mínima que requiere para movimiento el diámetro de giro es: 357 cm, para el análisis de trayectoria, se determina el perímetro circunferencia que genera el radio.

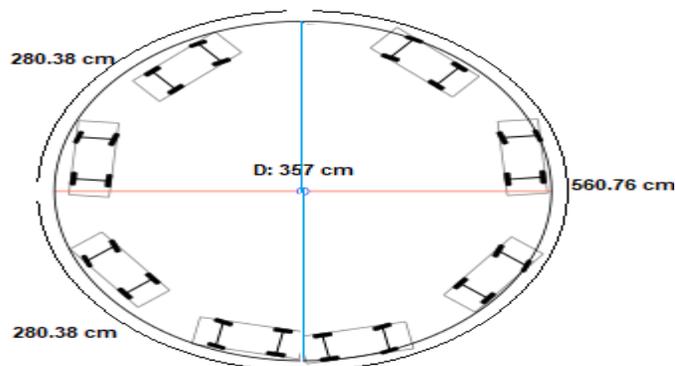


Figura 59. Análisis del radio del robot móvil

$$R = \frac{3570 \text{ mm}}{2}$$

$$R = 1785 \text{ mm}$$

$$p = 2\pi \times R$$

$$p = 11215.3 \text{ mm}$$

Angulo δ i, se designa de acuerdo a la plataforma móvil, al realizar las pruebas con el mayor ángulo que me permite generar una trayectoria sin tener problemas de estabilidad.

Cuando se mueve la dirección del prototipo para tomar una curva, las ruedas directrices cambian su orientación y adquieren la posición mostrada en la figura 60, donde el radio de giro del arco que describe cada rueda, es perpendicular a la proyección de la rueda sobre la prolongación del eje trasero.

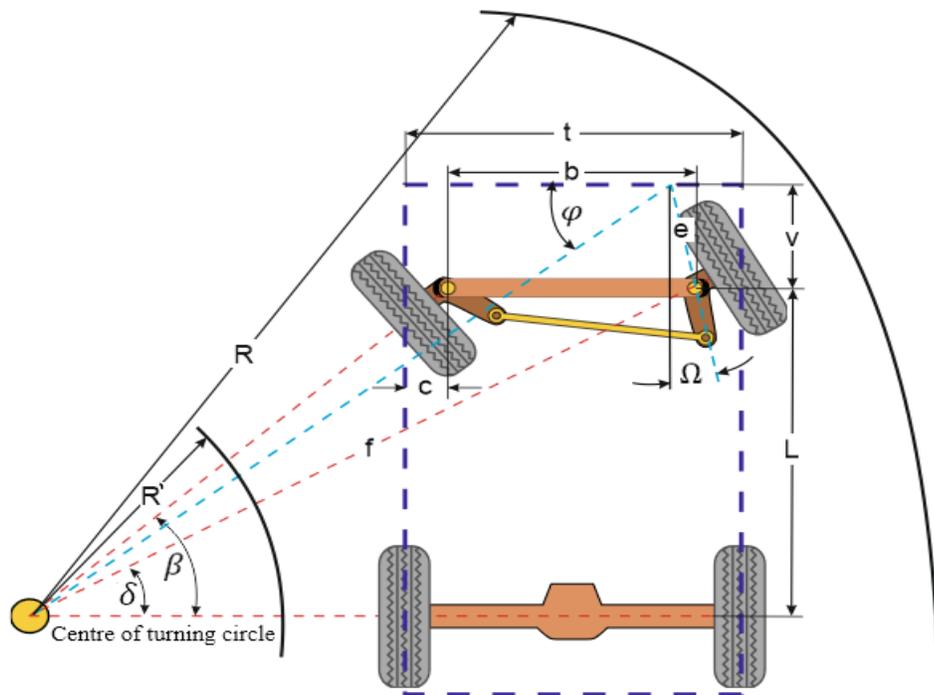


Figura 60. Nomenclatura utilizada para el sistema de dirección

El ángulo mínimo de giro (δ_{\min}), para que la plataforma móvil se inscriba dentro de un anillo de radio exterior R y radio interior R' , se obtiene a continuación:

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{L + v}{R}$$

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{313 \text{ mm} + 30 \text{ mm}}{1785 \text{ mm}}$$

$$\varphi = 11.08^\circ$$

dónde:

v = voladizo delantero de la plataforma móvil = 30 mm

$$c = \frac{t - b}{2}$$

$$c = \frac{162 \text{ mm} - 110 \text{ mm}}{2}$$

$$c = 26.0 \text{ mm}$$

Entonces, la distancia e , viene dada por:

$$e = \sqrt{c^2 + v^2}$$

$$e = \sqrt{26^2 + 30^2}$$

$$e = 39.70 \text{ mm}$$

Al ángulo Ω entre el eje longitudinal y la línea e , se obtiene de la ecuación siguiente:

$$\Omega = \tan^{-1} \frac{c}{v}$$

$$\Omega = \tan^{-1} \frac{26 \text{ mm}}{30 \text{ mm}}$$

$$\Omega = 40.91^\circ$$

Aplicando la ley de cosenos, se obtiene la distancia f :

$$f = \sqrt{e^2 + R^2 - 2 \cdot e \cdot R \cdot \cos(90 - (\Omega + \varphi))}$$

$$f = \sqrt{39.7^2 + 1785^2 - 2 \cdot 39.7 \cdot 1785 \cdot \cos(90 - (40.91^\circ + 11.08^\circ))}$$

$$f = 1753.89 \text{ mm}$$

A partir de estos valores se obtiene el ángulo mínimo de giro (δ_{min}) que garantice que cuando la plataforma gire, quede inscrita dentro de una circunferencia con un radio máximo de 1785 mm:

$$\delta_{min} = \varphi - \sin^{-1} \left(\frac{e}{f} \sin(90 - (\Omega + \varphi)) \right)$$

$$\delta_{min} = 11.08^\circ - \sin^{-1} \left(\frac{39.70}{1753.89} \sin(90 - (40.91^\circ + 11.08^\circ)) \right)$$

$$\delta_{min} = 10.28^\circ$$

Como este valor es menor que el ángulo de giro máximo (δ) establecido en 30° , los parámetros calculados son correctos.

Por otro lado, para el radio interior del anillo de la curva (R'), es necesario que se cumpla con la siguiente relación:

$$f \cdot \cos \delta - R' \geq \frac{b + t}{2}$$

$$1753.89 \cdot \cos 30^\circ - 500 \geq \frac{162 + 110}{2}$$

$$1018.91 \geq 136.0$$

Ya que se cumple la relación anterior, se continúa con el dimensionamiento de los diferentes eslabones del sistema de dirección.

Es necesario garantizar que cuando las ruedas directrices se encuentren en posición de marcha recta, la prolongación de las bielas de la dirección, se corten en un punto x situado sobre el eje longitudinal de las ruedas posteriores del vehículo a la distancia L , como se muestra en la figura 60.

El ángulo entre las bielas de las manguetas y el eje longitudinal viene dado por:

$$\gamma = \sin^{-1} \frac{b}{2 \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + L^2}}$$

$$\gamma = \sin^{-1} \frac{110 \text{ mm}}{2 \cdot \sqrt{\left(\frac{110 \text{ mm}}{2}\right)^2 + 313^2 \text{ mm}^2}}$$

$$\gamma = 9.97^\circ$$

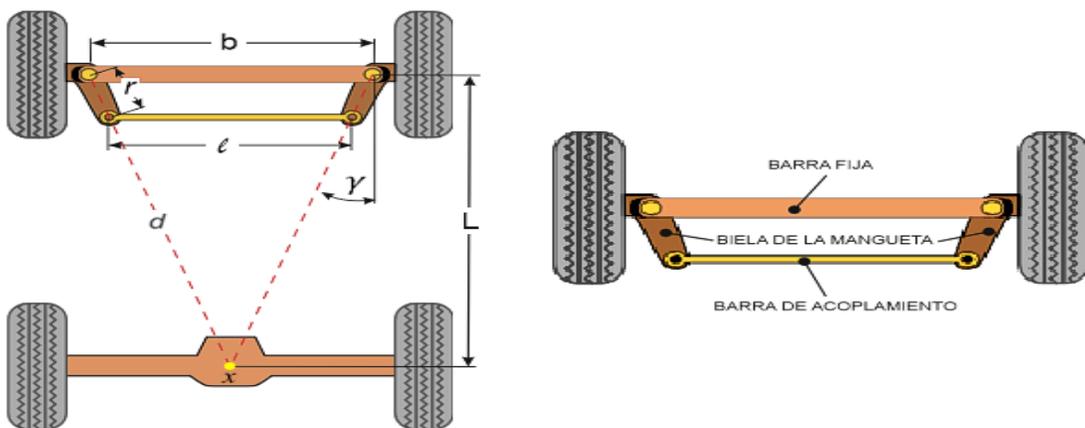


Figura 61. Configuración del sistema de dirección Ackerman.

La distancia (d), desde la rueda delantera al punto de corte de la prolongación de las bielas, viene dado por:

$$d = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + L^2}$$

$$d = \sqrt{\left(\frac{110}{2}\right)^2 + 313^2}$$

$$d = 317.80 \text{ mm}$$

Luego se determina la longitud de la biela de la mangueta (r) y de la barra de acoplamiento (l):

$$r = \left(\sin(\gamma - \delta) + 1 - \frac{b}{d} \right) \frac{1/2 \cdot d^2}{2 \cdot d - b}$$

$$r = \left(\sin(9.97^\circ - 30^\circ) + 1 - \frac{110}{317.80} \right) \frac{1/2 \cdot 317.80^2}{2 \cdot 317.80 - 110}$$

$$r = 27.08 \text{ mm}$$

Entonces, las bielas de las manguetas se fabricarán con una longitud estándar de 30 mm.

$$l = \frac{b(d - r)}{d}$$

$$l = \frac{110(317.80 - 30)}{317.80}$$

$$l = 99.62 \text{ mm}$$

Para la barra de acoplamiento se considera una longitud de 100.0 mm.

2.6. Módulo 4. Comunicación

2.6.1. Comunicación inalámbrica.

El estudio de la robótica móvil ayuda a obtener soluciones en situaciones críticas o cotidianas, por ejemplo: búsqueda, rescate, exploración, limpieza y transporte para esto es necesario obtener una comunicación coordinada con el robot. Este módulo provee una visión comparativa con distintos métodos de comunicación inalámbrica.

a. Selección del sistema comunicación del robot móvil.

a.1. Comunicación Wifi.

La comunicación wifi es un sistema inalámbrico mediante ondas, la cual es la más utilizada en la actualidad, para usuarios avanzados, brinda facilidad de crear un punto de acceso solo para dispositivos asignados, con alcance de 100 metros.

Ventajas

- Elección entre varias señales wifi
- Acceso múltiple entre varios ordenadores.
- Compatibilidad con todas las marcas WIFI

Desventaja

- Rango limitado para recepción de señal
- Propensa al hackeo
- Consume de energía alta.

a.2.Comunicación Zigbee.

En un conjunto de especificación de alto nivel en comunicación inalámbrica, el sistema de comunicación zigbee fue creado para aplicaciones que requieran comunicación segura con una tasa de datos baja y mayor duración en la vida útil baterías, con un alcance de 10 m a 75m.

Ventajas

- Ideal para conexión punto a punto.
- Ideal para redes baja transmisión de datos.
- Fácil implementación.
- Comunicación Gratuita

Desventaja

- Tránsito de datos baja
- Capacidad de manipulación.
- Cobertura reducida, pertenece a redes WPAN

a.3.Comunicación Bluetooth.

El sistema de comunicación Bluetooth permite la transmisión de datos entre varios dispositivos utilizando radio frecuencia, esta tecnología permite comunicar sin cables y la creación de redes inalámbrica doméstica para compartir datos entre dispositivos. Los ordenadores, celulares móviles, cámara digital son dispositivos que utilizan la tecnología bluetooth con un alcance de 30 metros.

Ventajas

- Eliminación de cables.
- Fácil de implementar
- Servicio Gratuito

Desventaja

- Seguridad
- Reducido alcance.

b. Evaluación del sistema comunicación del robot móvil.

Parámetros de elección para determinar el tipo de comunicación que se utilizara en el robot son los siguientes:

- Alcance de comunicación, es importante para obtener una buena sincronización entre el operador y el robot móvil en ambientes amplios el cual permite mayor espacio de exploración,
- Trasmisión de datos, para control del robot móvil es importante obtener un manejo adecuado en la trasmisión de datos entre el HMI y robot.
- Seguridad, al ser un proyecto dirigido al ámbito de seguridad es importante evitar la pérdida de información en personas que puedan hacer mal uso de ellas.

Tabla 32
Ponderación de criterio para tipo de comunicación

Criterio	Alcance	Trasmisión	Seguridad	$\sum+1$	Ponderación
Alcance	-	1	1	3	0,33
Trasmisión	0	-	1	2	0,5
Seguridad	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Solución establecida para plataforma móvil en el módulo 4:

- Solución 1: Comunicación wifi
- Solución 2: Comunicación zigbee
- Solución 3: Comunicación bluetooth

Tabla 33

Ponderación de alcance adecuado para la implementación del robot.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	-	1	1	3	0,5
Solución 2	1	-	0	2	0,33
Solución 3	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Tabla 34

Ponderación de transmisión de datos para la implementación del robot.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	-	0	0	1	0,17
Solución 2	1	-	1	3	0,5
Solución 3	1	0	-	2	0,33
			Suma	6	1

Tabla 35

Ponderación de seguridad adecuada para la implementación del robot.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1	-	0	0	1	0,17
Solución 2	1	-	1	3	0,5
Solución 3	1	0	-	2	0,33
			Suma	6	1

Tabla 36**Solución del dispositivo de comunicación para la plataforma móvil.**

Criterio	Alcance	Trasmisión	Seguridad	Σ	Orden de Selección
Solución 1	0,17	0,09	0,03	0,29	2
Solución 2	0,11	0,25	0,08	0,44	1
Solución 3	0,05	0,16	0,06	0,27	3
		Suma		1	

El sistema de comunicación Zigbee fue seleccionada por brindar facilidad en su implementación, por tener un alcance promedio comparado con los otros dispositivos de comunicación además de ser una red segura, es ideal para la trasmisión de datos en las que se requiere envío de datos cortos.

**Figura 62. Dispositivo XBee PRO S1**

Características:

- Alimentación: 3.3V
- Velocidad de transferencia: 250kbps Max
- Potencia de salida: 1mW o 60mW (+18dBm)

- Alcance: 90metros o 1500 metros aprox.
- Certificado FCC
- 6 pines ADC de 10-bit
- 8 pines digitales IO
- Encriptación 128-bit
- Configuración local o de forma inalámbrica
- Comandos AT o API

2.7. Módulo 5. Control de movimiento

2.7.1. Implementación eléctrica de las tarjetas de control.

Toda la idea del desarrollo del sistema robótico se basa en secciones modulares, por lo cual cada módulo externo a la tarjeta de control es independiente entre si y va a ser explicado de tal forma.

2.7.2. Implementación eléctrica del sensor de barrido.

Partiendo del sensor de Barrido, el cual se encarga de recoger la distancia desde el robot hacia algún objetivo presente en cualquier posición alrededor del sistema robótico. Este proyecto se utiliza un Arduino NANO, ya que no se requiere mucha capacidad en cuanto a memoria o procesamiento.

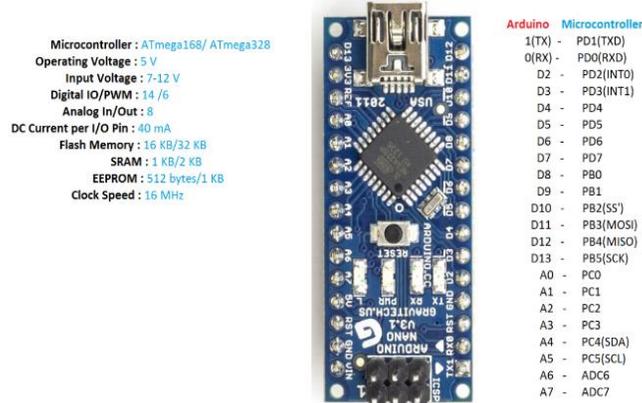


Figura 63. Arduino nano

Fuente: (electrotekMega, s.f.)

La plataforma Arduino tiene como núcleo a controladores de 8 bits, con sus diferentes numeraciones las cuales ofrecen prestaciones excelentes a la hora del desarrollo de sistemas embebidos, a continuación, se presenta en la Figura 55, el mapeado de pines y sus respectivas funciones del arduino nano utilizado en el desarrollo del sensor de barrido.

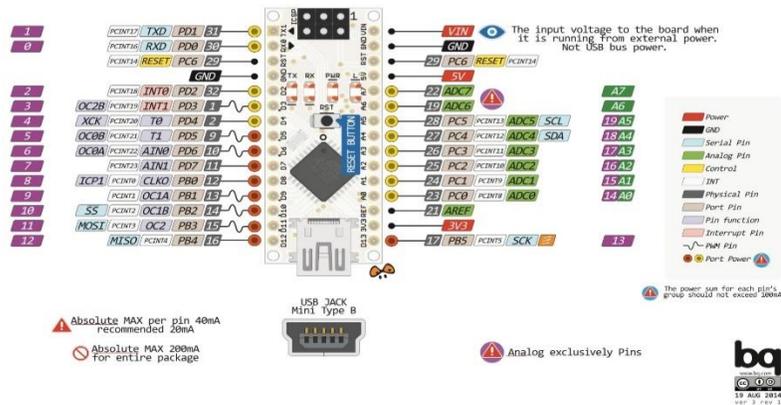


Figura 64. Mapeo de pines Arduino NANO.

Fuente: (GeekFactory, s.f.)

Este módulo o sensor de barrido tiene un mecanismo que le permite realizar un giro de 360 grados de libertad, obtenido un movimiento totalmente circular, sea en sentido horario o anti horario, dependiendo de la necesidad del sensor, sin tener problemas de cableado enredado o tener trabas por los cables, utilizando un anillo colector como se observa en la figura 65, su funcionalidad es de adaptar un mecanismo de giro circular en la parte mecánica, mediante escobillas de altas prestaciones electromecánicas y anillos de forma circular adaptados a los elementos mecánicos y así poder transmitir los datos, de información, corrientes y voltajes eléctricos hacia el sensor.

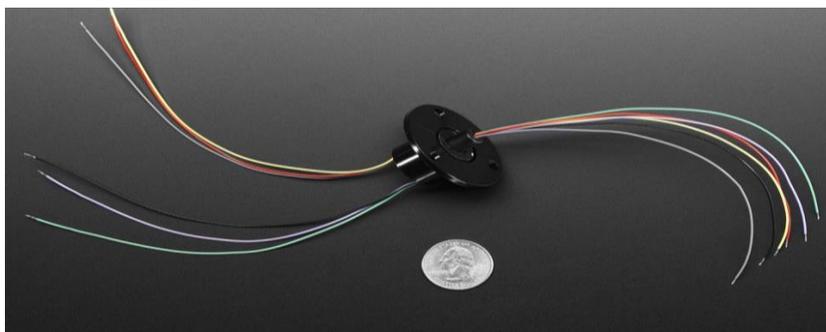


Figura 65. Anillo mediante contactos tipo escobillas

Fuente: (Electronica LAB, s.f.)

Para control de motor paso a paso se utiliza un driver A4988 que simplifica el manejo del motor, con una alimentación lógica de 5[V] que se conecta a través de los pines VDD y GND y un voltaje de alimentación para motor de 12[V] conectado en los pines VMOT y GND con un condensador de desacoplamiento permitiendo proteger de driver de los picos de voltaje producidos por cables de poder largos, caídas de tensión. Utilizando un capacitor con un mínimo de 100 [uF] recomendado por el fabricante.

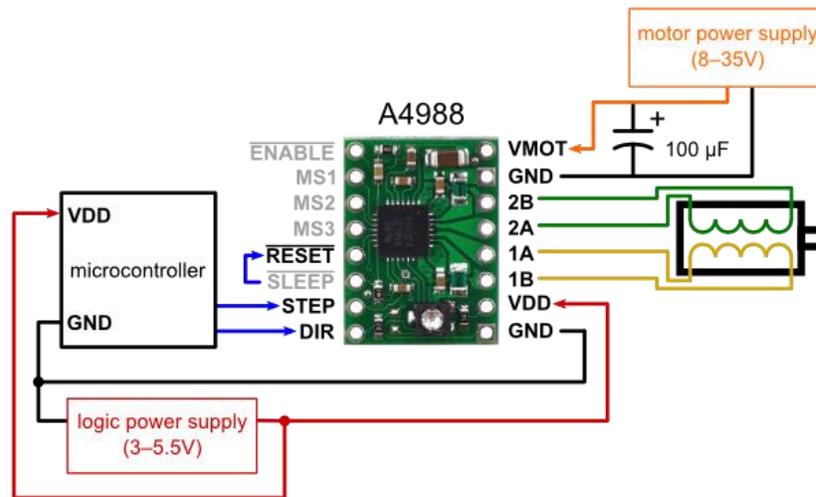


Figura 66. Circuito de conexiones para un motor PAP.

Fuente: (Electronica LAB, s.f.)

Antes de conectar el driver al motor es necesario limitar el paso de corriente debido que la corriente entregada por el driver nunca debe exceder la corriente nominal del motor. La calibración del driver A4988 se realiza ajustando el potenciómetro integrado en el mismo driver a una corriente de salida 70% con referencia a la corriente nominal del motor paso a paso es 1.2 [A] por bobinado.

$$\text{Corriente limite} = V_{ref} * 0.25$$

$$\frac{1.2}{0.7} = 1.71 [A]$$

$$V_{ref} = \frac{1.71}{2.5}$$

$$V_{ref} = 0,68 [V]$$

Para verificar que limite de corriente este perfectamente calibrado se debe medir voltaje del pin REF con respecto a GND.



Figura 67. Calibración del driver A4988.

Para finalizar se integran todas las partes anteriores con el circuito de control, el cual es elaborado con un Arduino NANO, y posteriormente programado con ciertos comandos a través de las conexiones seriales o puerto serial que posee dicho Arduino, realizando con una velocidad transmisión 9600 baudios para comunicaciones estándar, con comunicación bidireccional.

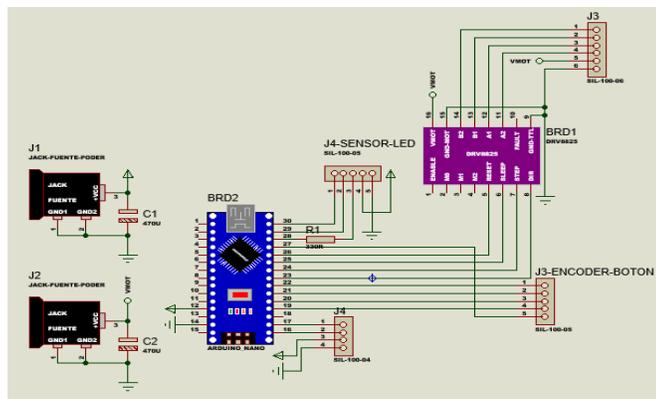


Figura 68. Diagrama final del sensor de barrido

En la Figura 68, se muestra todo el diseño electrónico implementado y sus correspondientes conexiones eléctricas como los conectores J4-SENSOR-LED , que es el que enlaza al elemento eléctrico móvil, el cual transmite la información del sensor hacia el Arduino NANO integrado con led para verificación , el conector J4 se encarga de conectar la comunicación serial para sacar o meter comandos y realizar las operaciones requeridas por la tarjeta de control que se detalla más

adelante y finalmente se tiene el conector J3, que se encarga de conectar el driver hacia los cables del motor paso a paso.

Existen dos conectores de tipo Jack que sirve para las conexiones de alimentación tanto de la parte digital como la de potencia o de la alimentación del motor paso a paso PAP.

Para facilitar el entendimiento del código o la forma de uso del sensor de barrido, se detalla a continuación un diagrama de flujo, que se indica en la Figura 69.

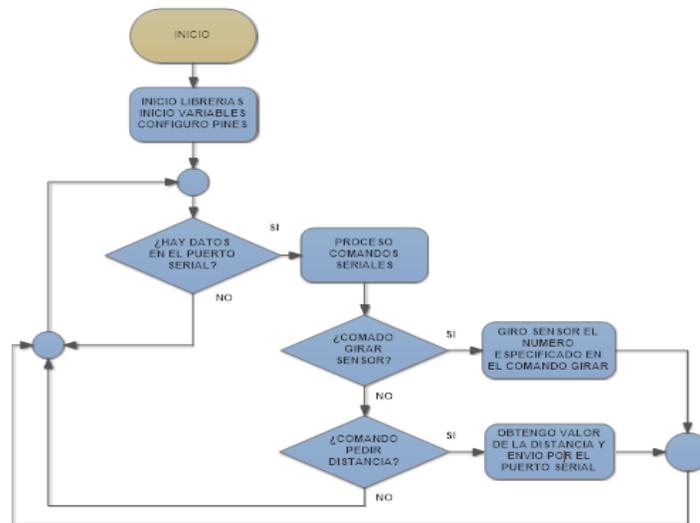


Figura 69. Diagrama de flujo sensor de barrido.

2.7.3. Implementación eléctrica de la Tarjeta de control principal.

Para el diseño de la tarjeta de control principal se escogió como núcleo de trabajo y control de procesos a la tarjeta electrónica Arduino MEGA560, la cual se encarga de recibir comandos desde uno de sus 4 puertos seriales para integrar la parte electrónica y mecánica de todo el sistema robot móvil, el control se realiza con la plataforma Processing, que también es de código abierto en la cual interviene un sinnúmero de personas para su desarrollo y actualizaciones de su entorno de trabajo.

La tarjeta electrónica de control consta de varias etapas que se detallan a continuación:

- Fuente de alimentación para la tarjeta Arduino y de control.
- Fuentes de alimentación para la cámara IP y Router inalámbrico.
- Módulo GPS.
- Módulo Driver de motores.
- Módulo Sensor de barrido.
- Módulo Servomotor.
- Módulo indicadores leds.
- Módulo X-BEE
- Módulo LCD 4x20.

a. Fuente de alimentación para la tarjeta arduino y de control.

Para el diseño electrónico de cualquier sistema de control siempre se parte del diseño de la fuente de poder o en este caso desde su entrada de voltaje, mediante una fuente de batería de litio o lipo que entrega a su salida un voltaje de 12V en corriente continua o DC, para dicha sección de fuente se optó por el diseño fuente para microcontroladores, el cual se basa en un filtro de tipo pi, los valores adoptados son de tipo estándar según la recomendación de los creadores de microcontroladores, para evitar ruidos inducidos como dirigidos, pueden darse por fuentes con motores, generadores de poder, ondas electromagnéticas, las cuales inducen ruido que a la larga afecta el funcionamiento de los microcontroladores, a continuación se detalla el diagrama de la fuente de alimentación que ayuda al Arduino MEGA2560, en su correcto funcionamiento, dicho diagrama se detalla en la Figura 61.

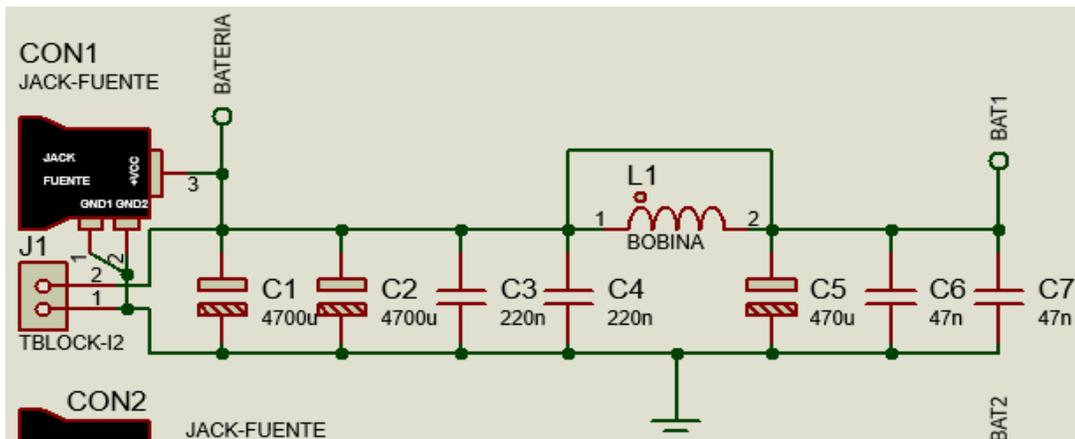


Figura 70. Fuente de alimentación de la tarjeta de control y digital.

b. Fuente de alimentación para la cámara IP y Router.

Como apoyo e idea de centralizar todas las conexiones eléctricas del sistema robótico, así como sus periféricos, se decide montar la mayor parte de conexiones o puntos de conexiones sean estos de voltaje como datos hacia la tarjeta principal, en la Figura 62, se indica el diagrama electrónico de dicha sección para alimentar la cámara IP de 5V y el Router inalámbrico de 12V, los cuales tienen como elementos de apoyo una fuente similar a la parte digital con una tarjetas switching step down de 3 amperios de salida y reguladas a 5V y 12V respectivamente.

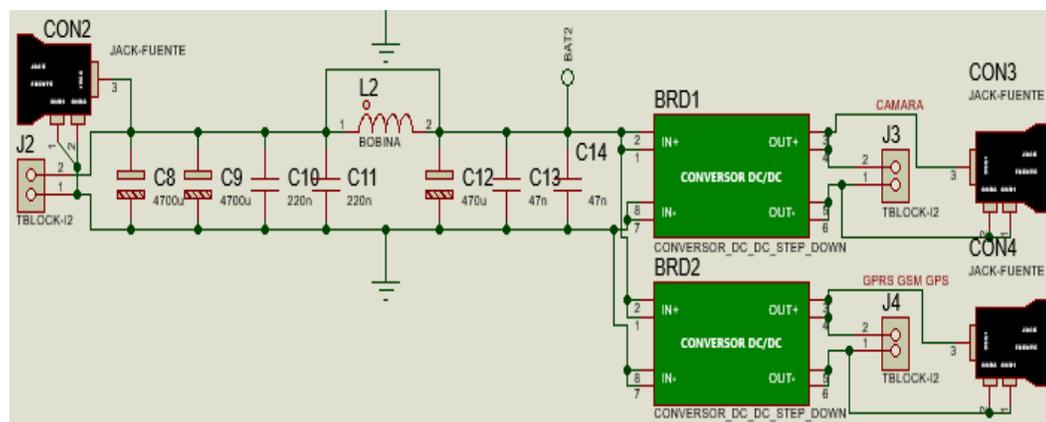


Figura 71. Fuente de alimentación para la cámara IP y el Router

c. Módulo GPS.

Este módulo GPS Neo 6m Ublox es el más común utilizado en el desarrollo de prototipos funcionales para el ámbito de control y posicionamiento de un punto sobre el planeta tierra, sin entrar en detalle en la Figura 63, se indica su conector que es un Jack del tipo telefónico con el código RJ11 y el GPS el cual se conecta a trases de dicho JACK RJ11.

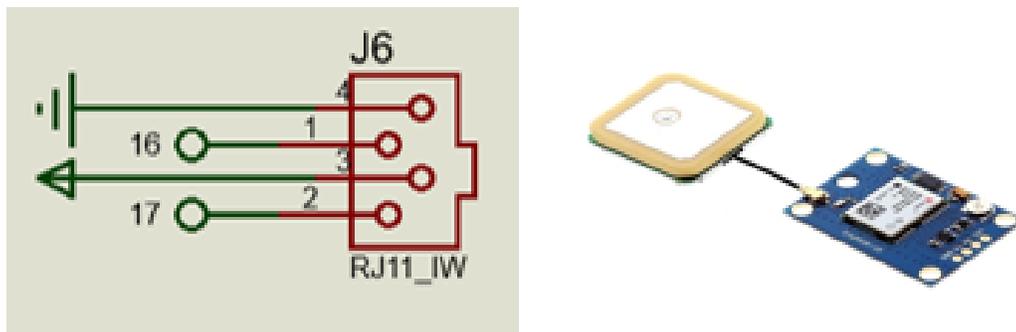


Figura 72. Diagrama de conexión del módulo GPS.

d. Módulo Driver de motores.

Para esta sección del desarrollo se optó por recurrir a un driver robusto de tipo modular que justamente es adaptable para las plataformas desarrolladas con Arduino, dicho módulo es el IBT-2, que posee una salida de manejo para cargas inductivas o en nuestro caso motores de hasta 3 amperios con voltaje de 8V, en la figura 64, se indica dicho diagrama electrónico.

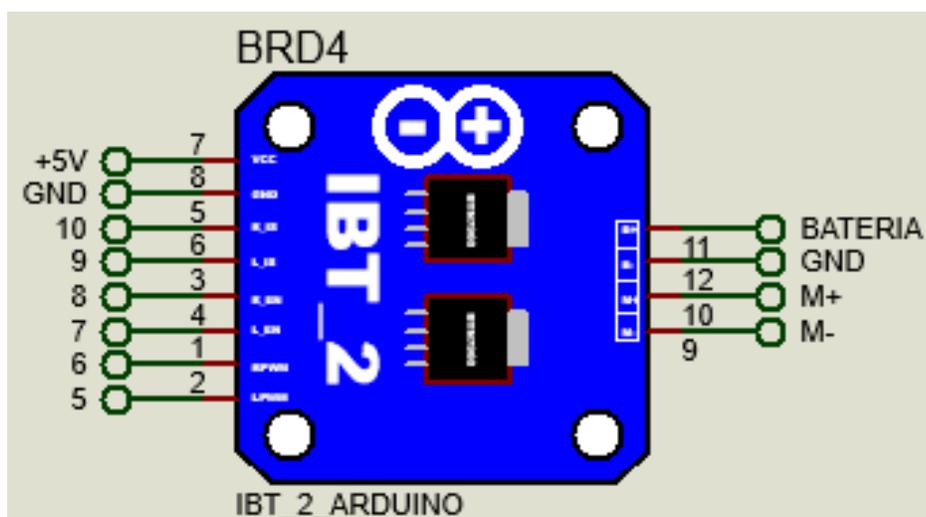


Figura 73. Diagrama de conexiones del Driver para motores IBT2.

e. Módulo del sensor de barrido.

Para integrar el sensor de barrido se utiliza puntos o conectores de conexión, mediante un JACK RJ11, el cual sirve para alimentar y recibir los datos de las tramas NMEA y así poder sacar los datos de longitud, latitud y sus respectivas direcciones o sentidos, en la figura 65, se indica la imagen del conector utilizado junto con el sensor de barrido.

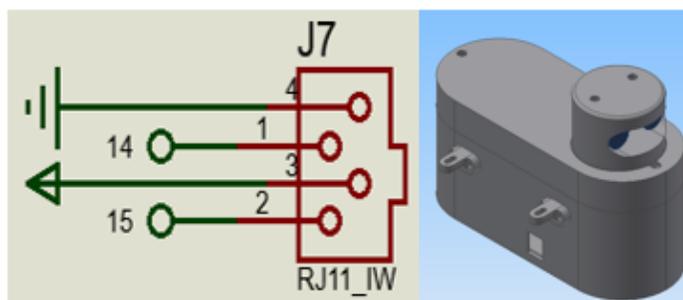


Figura 74. Diagrama de conexión del sensor de barrido

f. Módulo servo.

Este módulo indica el diagrama de conexión servomotor Tower Pro Mg958 encargado de la dirección del robot móvil en la Figura 66, se detalla los pines de conexiones cable café Gnd, cable rojo Vcc y amarillo Señal

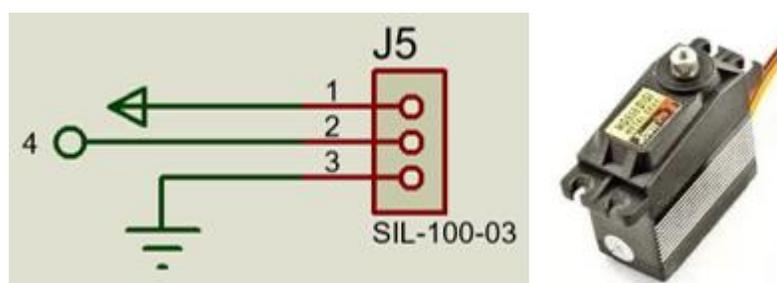


Figura 75. Conexiones del servomotor.

g. Módulo indicadores leds.

En esta etapa se decidió tener la posibilidad de verificar sean datos activación de algún proceso o incluso la posibilidad de control de dispositivo adicionales a estos pines dependiendo de si surge la necesidad de hacerlo para posteriores mejoras del sistema robótico, en la Figura 67, se indica dicho diagrama de conexiones.

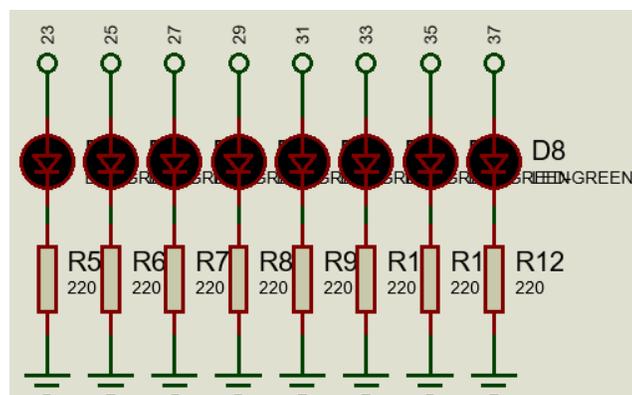


Figura 76. Diagrama de indicadores luminosos LED.

h. Módulo LCD.

Para finalizar el uso de periféricos se indica en la Figura 68, el diagrama de conexiones del visualizador LCD de 4 filas por 20 columnas en donde se puede desplegar información tanto de los periféricos como de comandos que realizan las diferentes operaciones de los comandos enviados y recibidos por la tarjeta de control.

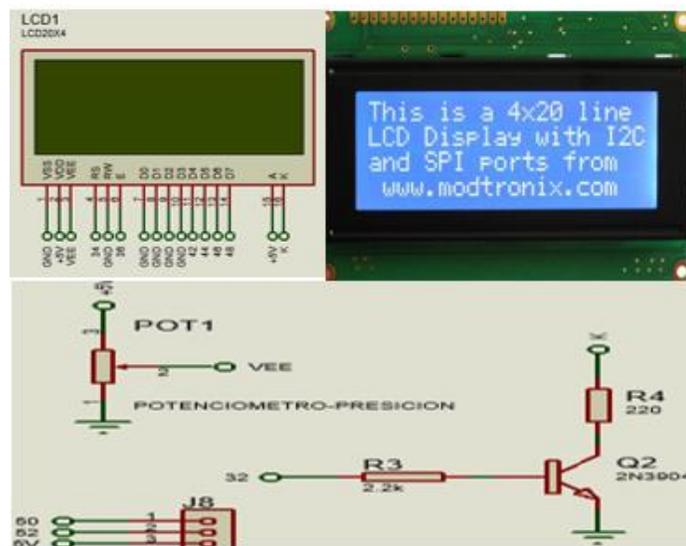


Figura 77. Diagrama del Módulo LCD 4x20

i. Módulo X-BEE

Es fundamental recordar que el canal más importante de comunicaciones viene dado por los módulos de tipo inalámbricos de modelo X-BEE que se encargan de enlazar el envío y recepción de datos desde la PC hasta el sistema de control robótico, para ejecutar o pedir información de la parte robótica total, en la Figura 69 se puede localizar a dicho módulos de comunicaciones y sus respectivos números de conexión hacia el Arduino MEGA2560.

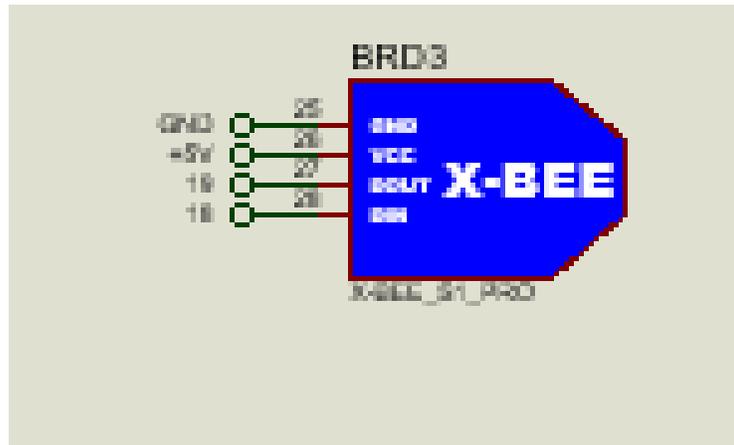


Figura 78. Módulo XBEE pro s1

j. Tarjeta de control Diagrama General y total.

Finalmente, se indica en la Figura 70, el esquema o diagrama total del diseño electrónico de toda la plataforma móvil, donde se integran todos los módulos antes mencionados, utilizando como núcleo de control un arduino ATMEGA2560, como punto de control principal de todo el sistema del robot móvil.

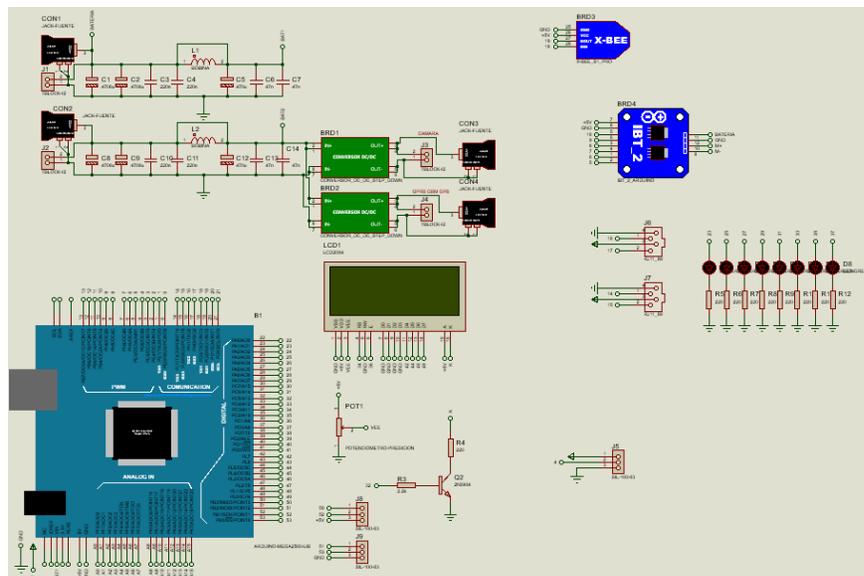


Figura 79. Diagrama total del sistema de control robótico.

El Diagrama flujo de la tarjeta de control muestra el funcionamiento de todos los elementos instalados en la plataforma móvil como se observa en la figura 71 donde especifica de mejor manera el funcionamiento de la tarjeta de control principal.

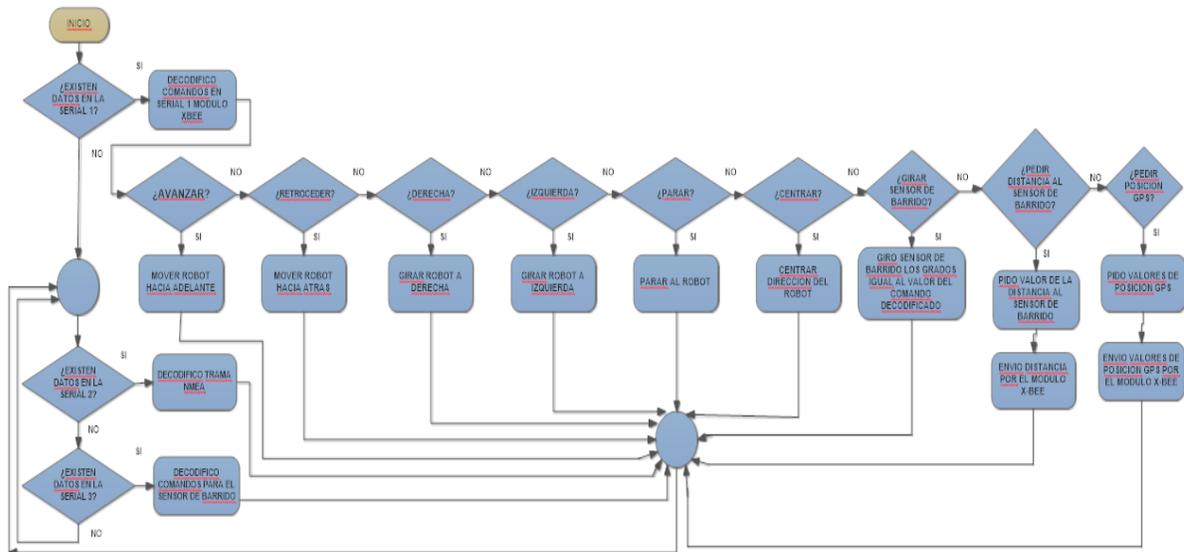


Figura 80. Diagrama de flujo final de la tarjeta control principal

2.7.4. Selección de fuente para la alimentación del sistema electrónico.

Establecido el diseño de la tarjeta principal y los componentes a utilizar el proyecto, se establece utilizar dos baterías de LiPo (Polímetro de Litio) como se observa en la figura 72. Este tipo de baterías están diseñadas exclusivamente para uso electrónico que operar bajo un control electrónico.



Figura 81. Batería LiPo turnigy

Esta batería destinada para uso exclusivo del control debe cumplir el requerimiento de todos los componentes que integran el sistema electrónico, en la tabla 37 se describe los componentes utilizados para control.

Tabla 37

Consumo de corriente del control

Descripción	Consumo
Tarjeta control	1090mA
Router R220	200mA
Cámara	200mA
Sensor de barrido	1020mA

Se establece una autonomía de una hora y con la tabla 37 se determina el consumo de corriente total en este ciclo:

$$I_{Total} = I_{Tarjeta\ control} + I_{Router} + I_{Camara} + I_{sensor\ de\ barrido}$$

$$I_{Total} = 2510\ mA$$

Utilizando un factor de seguridad del 25% de consume de corriente se obtiene:

$$I_{sistema\ control} = I_{Total} * 1.25 = 3138[mA]$$

La fórmula para determina la capacidad de la batería viene expresada de la siguiente forma:

$$Autonomía_{bateria} = \frac{capacidad\ de\ la\ bateria}{consumo\ esperado}$$

$$capacidad\ de\ la\ bateria = Autonomía\ bateria * consumo\ esperado$$

$$capacidad\ de\ la\ bateria = 3138[mA] * 1[h] = 3138 [mAh]$$

Para determinar el valor del voltaje que se necesita para la batería de control se basa que la alimentación de la tarjeta de control debe estar entre 5 [v] a 12[v], de esta manera se decide utilizar dos baterías de LiPo de 5 celdas con una capacidad 2200 [mA] a 12[v] conectado en paralelo obteniendo 4400 [mAh] garantizando una autonomía de 1 hora.

2.7.5. Selección de fuente para la alimentación motor DC.

Para determinar la batería necesaria para motor DC se analiza los siguientes aspectos: el consumo de corriente es de [A], El voltaje de operación es de 7.2[V] hasta 7.4 [V] con estas características la capacidad de la batería se realiza el cálculo basado en 3[A] considerando la autonomía de 1 hora.

$$Autonomía_{bateria} = \frac{capacidad\ de\ la\ bateria}{consumo\ esperado}$$

$$capacidad\ de\ la\ bateria = Autonomía\ bateria * consumo\ esperado$$

$$capacidad\ de\ la\ bateria = 3000[mA] * 1[h] = 3000 [mAh]$$

Debido a que en el mercado no se encuentra una batería de Lipo con esta capacidad, se toma la decisión de utilizar dos baterías de 2200 [mA] y 7.4[v], conectado en paralelo obteniendo 4400[mA] con 7.2[v] garantizando la autonomía de 1 hora.

2.7.6. Interfaz de usuario.

Para la creación de la interfaz hombre maquina HMI, se utilizó el software processing basándose en los siguientes criterios:

- Software libre
- Software adaptable
- Orientado a la creación de prototipos de investigación
- Entorno para el desarrollo HMI
- Facilidad de implementación.

Por tal motivo software processing está acorde a las necesidades que exige el proyecto, la interfaz HMI se realizó buscando la mejor manera de convertir el programa en un entorno amigable con el usuario, que cuenta con diversas librerías las cuales ayudan a hacer más fácil la implementación de la interfaz hombre maquina HMI.

Una de las librerías más usadas dentro del software processing es ControlP5, comúnmente conocida como el creador de la interfaz, permitiendo esta librería crear botones, cuadro de texto, menú, etc.



Figura 82. Implementación de la librería ControlP5

Fuente: (Grauwald Creative, s.f.)

Processing es un instrumento orientado al desarrollo de código abierto. Es el software más utilizados para comunicar entre un ordenador y una tarjeta de arduino, utilizando la librería processing. Serial.

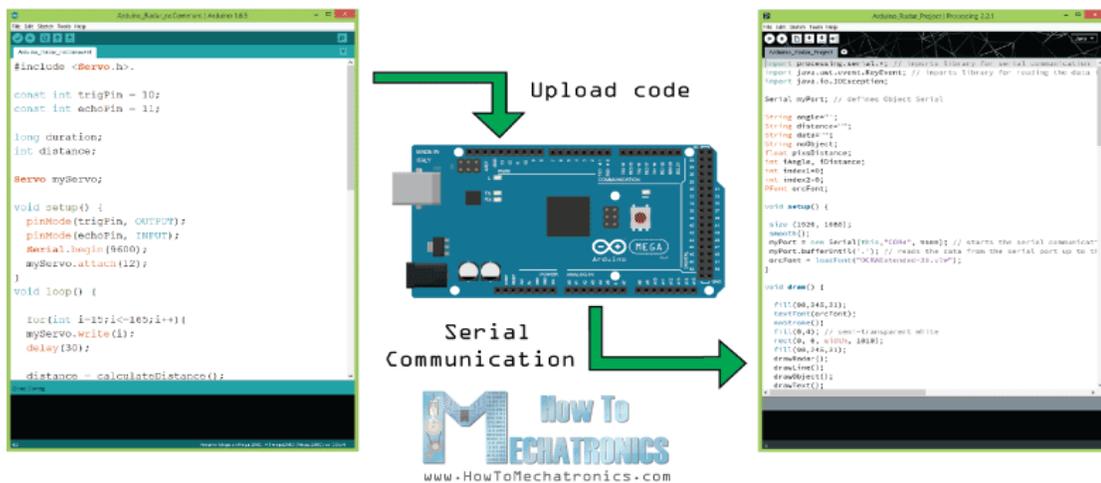


Figura 83. Comunicación entre processing y arduino

Fuente: (Grauwald Creative, s.f.)

Una de las ventajas que tenemos con plataformas como arduino es que se trata de un aprendizaje plug and play, es decir, no tenemos que andar configurando e instalando miles de cosas para ponernos a trabajar, debido a que tiene su propio entorno de desarrollo

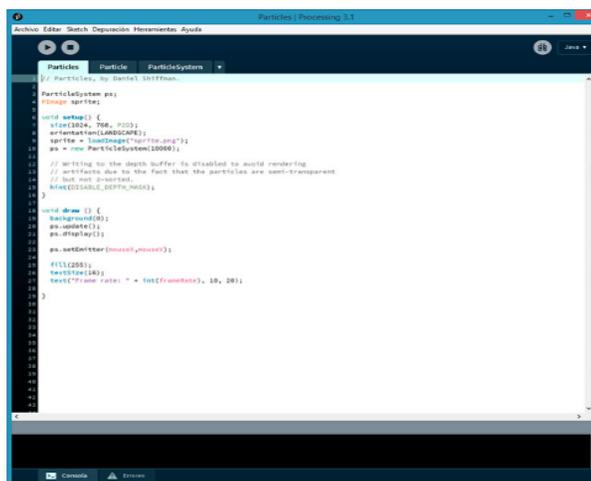


Figura 84. Entorno de desarrollo de processing

Fuente: (Grauwald Creative, s.f.)

2.8. Definición de la plataforma final

Una de las características principales de la plataforma móvil es su construcción modular, permitiendo facilidad en el ensamblaje y mantenimiento, teniendo en cuenta que la plataforma móvil será una base para futuros proyectos, por tal motivo el diseño se realizó buscando la forma de hacerlo adaptable, para no tener conflictos a la hora de querer implementar nuevos sensores o aplicaciones.

Anteriormente en el diseño eléctrico se observó que todos los módulos se encuentran separados, de tal manera que al unir todos los módulos dentro del sistema del robot móvil se logra el objetivo deseado.

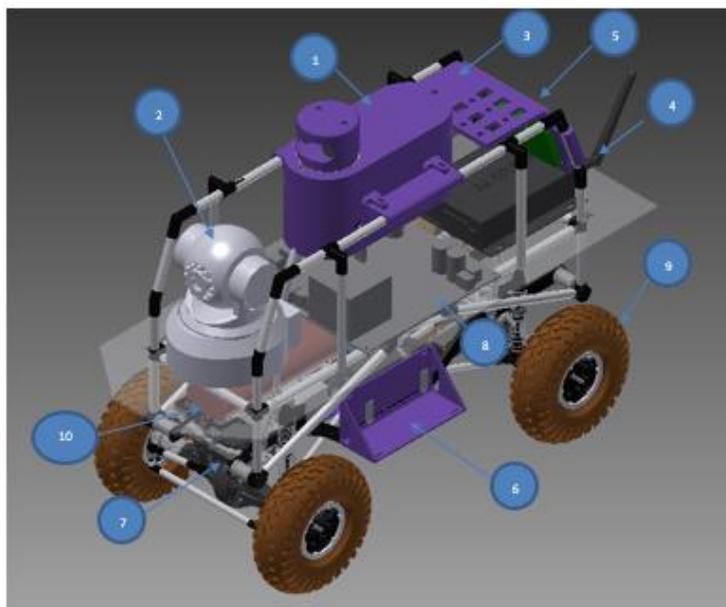


Figura 85. Descripción de componente del robot móvil

El robot móvil cuenta con un sensor de barrido de cabeza intercambiable para poder realizar diferentes tipos de aplicaciones dentro de un entorno, actualmente funciona como un detector de obstáculo, pero puede ser modificado, por ejemplo, por un sensor de gas para identificar ambientes tóxico.

Tabla 38

Descripción de componentes del robot móvil

Numero	Descripción
1	Sensor de barrido
2	Cámara IP
3	Modulo GPS
4	Router
5	LCD 4 x 20
6	Soporte base baterías de control
7	Servomotor
8	Tarjeta control principal
9	Llanta
10	Soporte batería para motores

Los procesos interactúan como se muestra en la figura 77

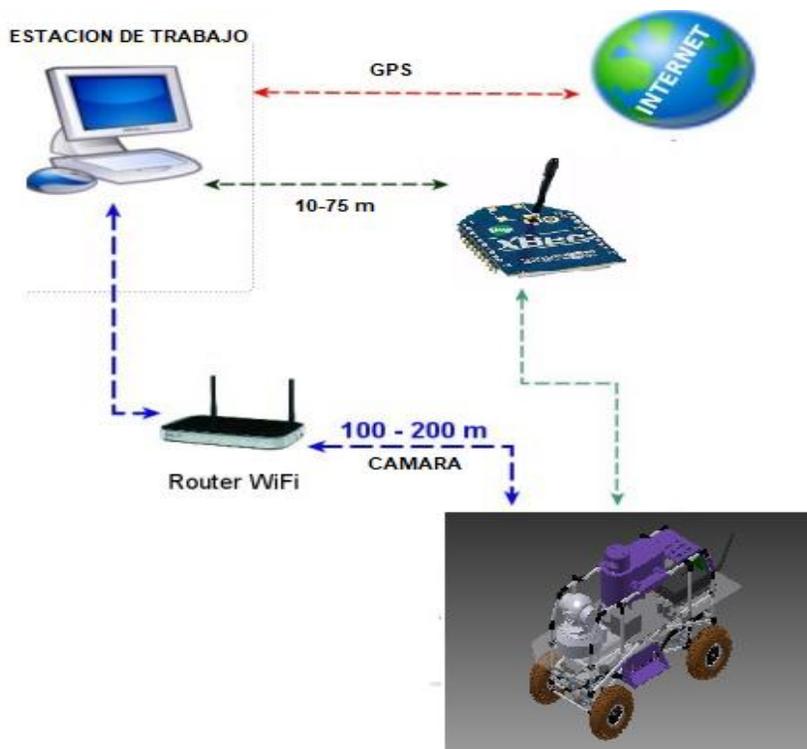


Figura 86. Diagrama del proceso de comunicación

2.9. Resumen

- Al emprender un proyecto es importante analizar los requerimientos del cliente, de tal manera que se pueda determinar las características técnicas que satisfagan las necesidades del problema planteado, los aspectos más importantes al tomar en cuenta en el diseño de una plataforma móvil son percepción, localización, planificación, control.
- Los requerimientos establecidos por el cliente se trasladan a lenguaje técnico y de esta manera se los convierte en características técnicas del proyecto por lo general las

características a tomar en cuenta son dimensión, peso, tipo de comunicación, alcance entre otros.

- Es importante dividir en módulos los aspectos más importantes del proyecto, esto se logra con la ayuda de la matriz QDF, que desarrolla una estructura funcional permitiendo determinar todos los aspectos de proyecto generando un orden para poder cubrir todas las necesidades.
- El método ponderación de criterios sirve para seleccionar de una manera adecuada los componentes que se integran al proyecto sin perder de vista las necesidades del cliente, en la tabla 39 podemos observar un resumen de las soluciones encontradas para el proyecto.

Tabla 39

Resultados finales

N	MÓDULOS	SUBSISTEMA	SOLUCIÓN
1	Percepción	Sensor de barrido	Sensor ultrasónico
		Cámara	Cámara IP
2	Localización	GPS	GPS Neo Ublox
		Odometría	Sensor A3144
3	Planificación	Estructura	Trail hocho RTR
		Trayectoria	Radio de giro
4	Comunicación	Comunicación inalámbrica	Xbee pro s1
5	Control de movimiento	Diseño eléctrico	Arduino
		Interfaz Usuario	Processing

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

3.1. Introducción

El capítulo detalla el proceso llevado a cabo para la construcción y armado de los elementos físicos, la instalación de los elementos eléctricos y electrónicos que forman parte de la plataforma robótica móvil. También se detalla las pruebas y sus respectivos resultados del funcionamiento del proyecto.

3.2. Diseño mecánico del sensor de barrido

El diseño e implementación del mecanismo del sensor de barrido permite dotar de movimiento a sensor ultrasónico, permitiendo realizar mediciones en un giro de 360 grados sobre su miso eje, la implementación de este mecanismo incurre en un gran ahorro económico comparado con mecanismo similares que existen mercado con un precio elevado, a continuación, se detalla el proceso de elaboración, ensamblaje y conexiones del mecanismo diseñado para el sensor de barrido.

3.3. Carcasa y mecanismo del robot

El mecanismo donde se implementa el sensor ultrasónico HC SR04 está fabricada por impresión 3D bajo el método de modelado por deposición de hilo fundido (FDM) de plástico ABS para piezas del mecanismo expuesto a movimiento por presentar alta resistencia mecánica, al impacto y plástico PLA para piezas fijas debido a sus propiedades mecánicas y relativo bajo precio, la impresión se llevó a cabo particularmente con la empresa CRM3D, gracias al uso de la impresora Rostock Max

V3. Los componentes internos son impresos con una densidad 100% por estar expuestos a esfuerzos mecánicos, como se observan en la Figura 78, los cuales son:

- Soporte de engranaje para motor paso a pasos y tarjeta electrónica Fig.77. (a).
- Engranaje de soporte para sensor de barrido Fig.77. (b).
- Engranaje del motor a pasos Fig.77 (c).
- Engranaje de transmisión de motor a pasos a engranaje para sensor de barrido Fig.77. (d).
- Soporte del sensor de barrido Fig.77. (e).

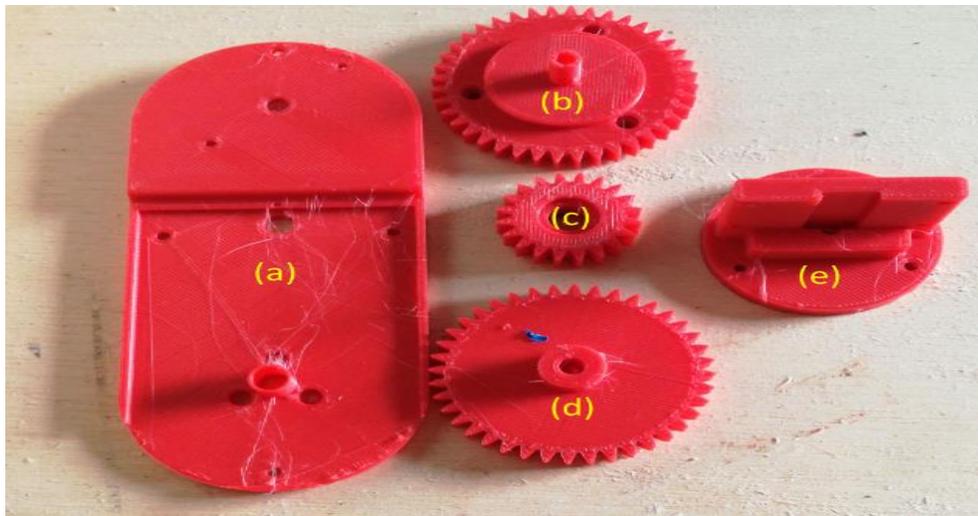


Figura 87. Componentes internos del sensor barrido

En la figura 79 se observa la carcasa totalmente ensamblada, Impresa con una densidad del 100% asegurando de esta manera mayor resistencia e impermeabilidad frente a factores ambientales.



Figura 88. Carcasa del sensor de barrido

3.3.1. Circuitos eléctricos sensor de barrido.

Las placas de circuitos electrónicos diseñadas en el capítulo 2 fueron impresas sobre pistas de cobre, la elaboración de las PCB (Printed Circuit Board) se realizó en baquelitas con ácido Percloruro de Hierro con se observa en figura 80. (a), posteriormente se procede a las conexiones de los componentes que integran el sensor de barrido mostrado en la figura 80. (b), Finalmente el armado y conexión de la placa se puede observar en la figura 80. (c).

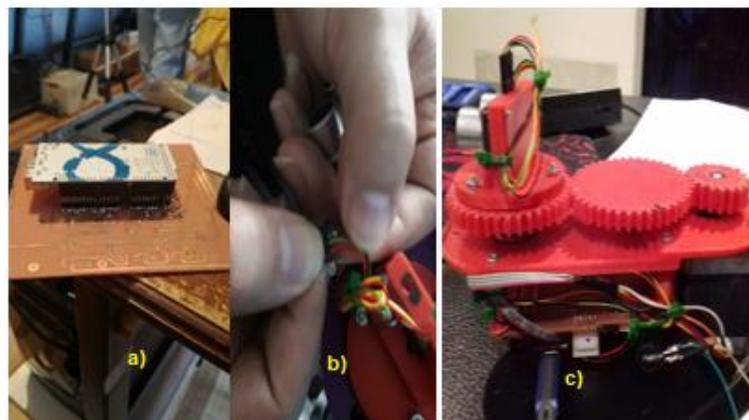


Figura 89. Sistema del sensor de barrido armado

3.3.2. Ensamble del mecanismo para el sensor de barrido.

Fueron necesarios algunos ajustes menores en las piezas impresas debido a la precisión de la impresora. La Figura 81. (a), muestra el ensamble del sistema de engranaje utilizado para generar movimiento al sensor ultrasónico HC SR04, en la figura 81. (b) se observa la posición del armado del motor paso a paso para generar movimiento en mecanismo y la posición del anillo colector (silp ring) para evitar el enredamiento de cable producido por el movimiento y por último en la figura 81. (c) muestra el sistema totalmente armado del sensor de barrido.

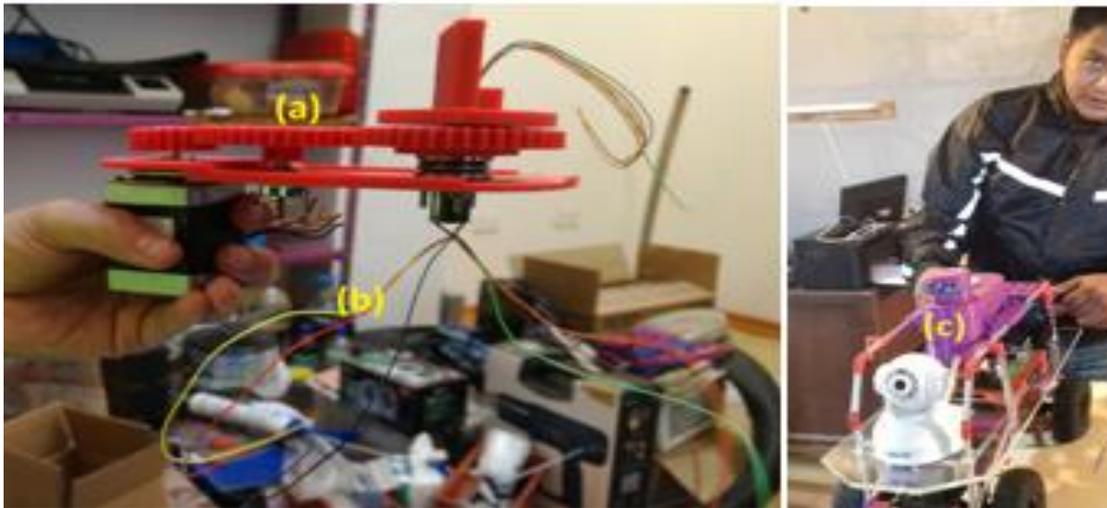


Figura 90. Ensamble del sensor de barrido; (a) ensamble de los piñones, (b) montaje de los componentes, (c) sensor de barrido totalmente armado

3.4. Estructura del robot

La estructura del robot está construida en su totalidad con piezas modulares que se realizaron en el proceso de diseño las cuales permite un desmontaje y ensamblado simple.

3.4.1. Estructura del robot móvil.

La estructura del robot móvil se basa en la teoría roll bar para crear la mayor protección a los componentes que se encuentra dentro del robot. Las piezas impresas en 3D son la base de la estructura, en la figura 82. (a) muestra un acople tipo T utilizado para distribuir el peso generado por el sensor de barrido a la base de la plataforma, la figura 82. (b) muestra un acople tipo V con un ángulo de 70 grados y la figura 82. (c) se observa un acople tipo V, pero con un ángulo de 110 grados, generando entre los dos acoples tipo V un ángulo 180 grados, para obtener una mejor distribución de esfuerzos generados por un choque o volcamiento del robot móvil y finalmente en la figura 82. (d) se muestra la estructura final formada para crear una protección a los componentes del robot móvil.

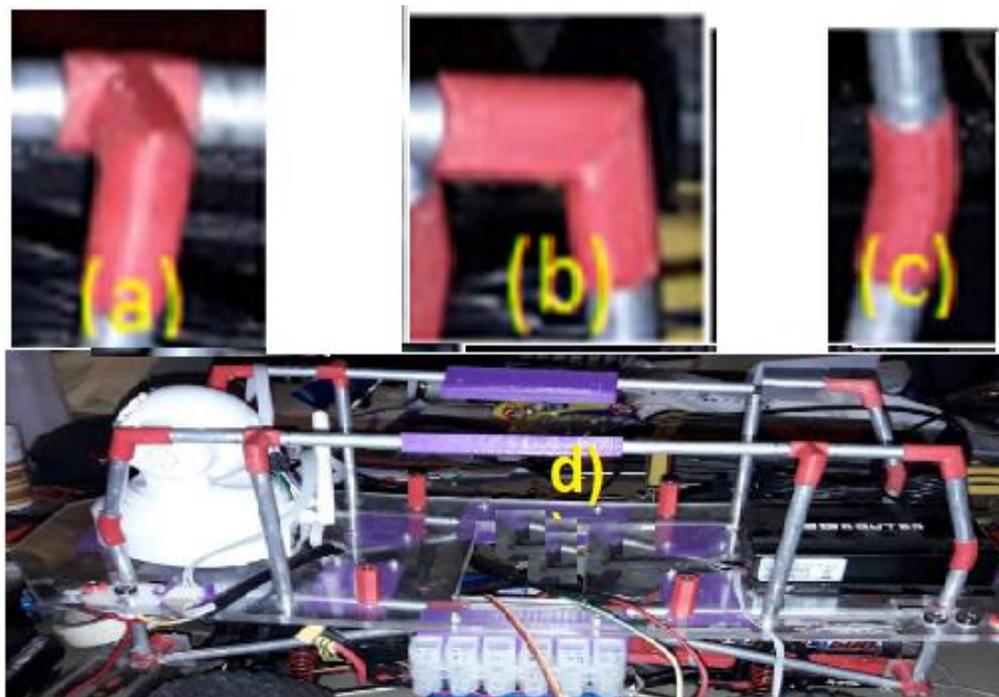


Figura 91. Acople para el armado de la estructura

3.4.2. Ensamble de la estructura.

Los acoples y tubos para el ensamblaje de la estructura son insertados de acuerdo a la teoría de roll bar especificando que para una mejor protección de los componentes dentro de la estructura se debe crear una estructura tipo c formando con la sumatoria de sus ángulos internos un ángulo de 360 grados, en donde se posicionan todos los elementos de la parte mecánica y electrónica necesarios para funcionamiento del robot móvil, en la Figura 83 se observa el ensamblaje de todos los elementos utilizados para la creación de la estructura final.

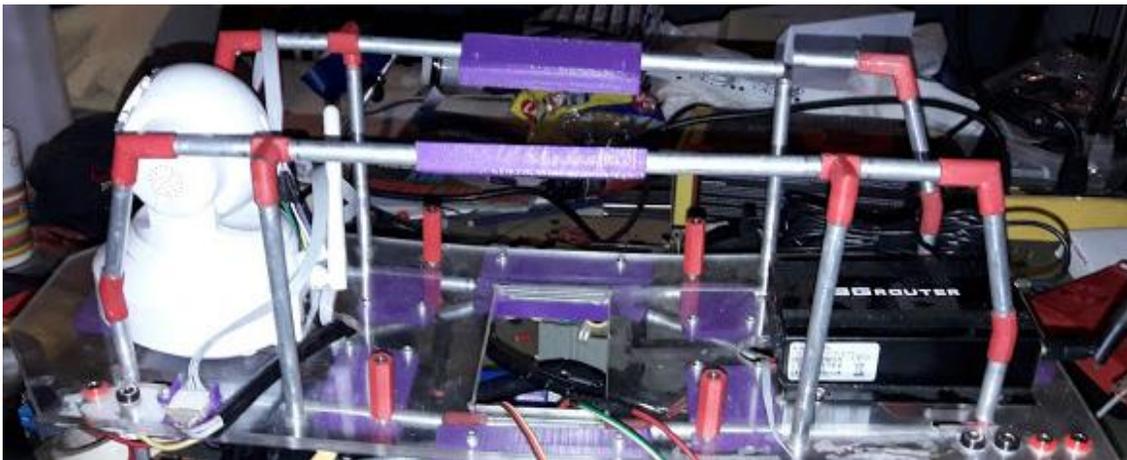


Figura 92. Incorporación de acoples para el armado de la estructura

3.4.3. Adaptación de la estructura en el chasis 4x4.

Para la adaptación de la estructura se basa en la teoría de estructuras triangulares que determina que el triángulo es el único polígono que no se deforma cuando se aplican fuerza sobre su estructura, basado en esta teoría se diseña acoples tipo V como se observa en la figura 84. (a) para unir en chasis a la estructura y a su vez crear un ángulo de 45 grados para creación de la estructura triangular mostrado en la figura 84. (e), para la unión de la estructura con la plataforma se utiliza un acople tipo cruz como se observa en la figura 84. (b) a su vez permitiendo crear un ángulo de 45 grados

para formar la estructura triangular, en la figura 84. (c) se muestra un acople tipo Y de 45 grados, de esta se crea la estructura triangular como se observa en la figura 84. (d), finalmente en la figura 84. (f) se observa la adaptación realizada para unir chasis del robot con la estructura.

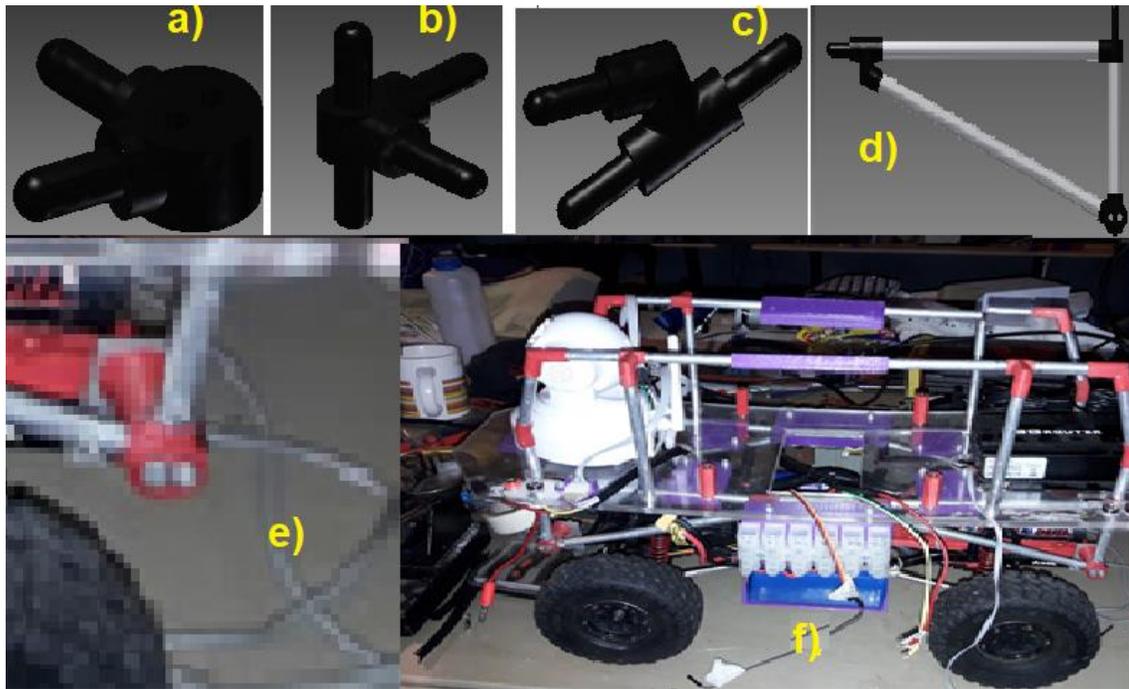


Figura 93. Adaptación de la estructura en el chasis 4x4

3.5. Ensamble de los componentes

Una vez terminada el ensamble del sensor de barrido y adecuada la estructura para la implementación de los componentes del robot, se procede con la disposición de los componentes electrónicos para la operatividad de la plataforma robótica móvil.

3.5.1. Montaje de la tarjeta de control

Teniendo en cuenta que la tarjeta principal es memoria del robot, debido que procesado todos los comandos enviados por el ordenador y los traduce en acciones que debe realizar el robot, se instala

en el centro de la plataforma móvil por ser la posición más segura que tiene la plataforma como se observa en la figura 85. (a), se utiliza acoples tipo poste para la unión del base de acrílico con la tarjeta de control como se observa en la figura 85. (b)

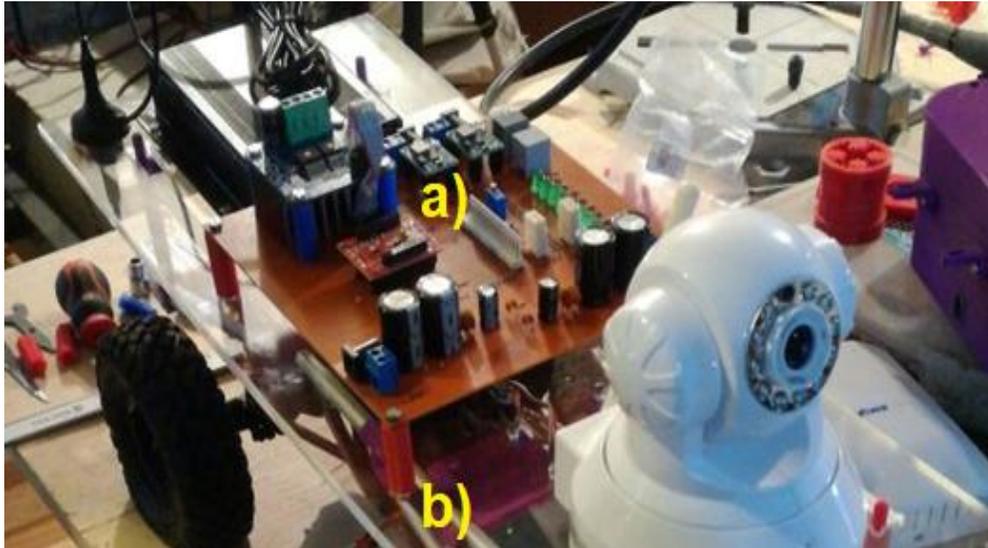


Figura 94. Montaje de la tarjeta de control

3.5.2. Montaje del sensor de barrido.

El funcionamiento del sensor de barrido es realizar la detección de objetos en giro de 360 grados sobre su mismo eje, basado en esta idea se instala el sensor en la parte superior de la estructura por es la posición que ofrece todo el visón posible alrededor del robot como se observa en la figura 86. (a), mediante diseño y la construcción del soporte que permite el montaje del sensor con la estructura como se observa en la figura 86. (b) se procede a la instalación del sensor de barrido.

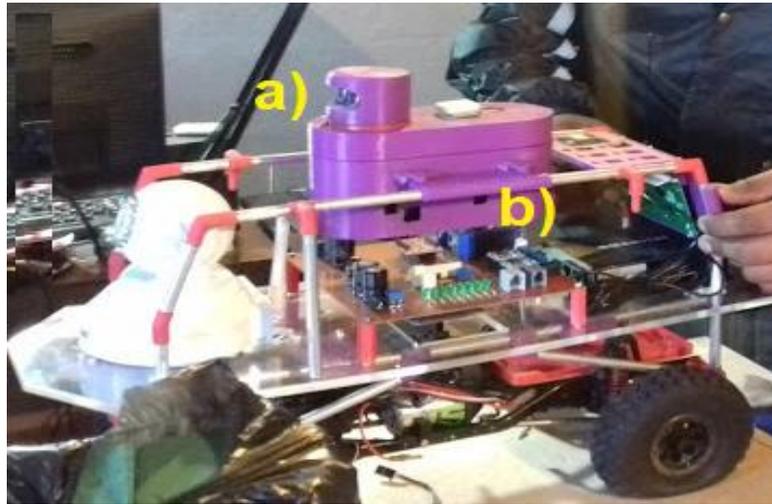


Figura 95. Montaje del sensor de barrido

3.5.3. Montaje de la cámara IP y Router.

Se procede a la ubicación e instalación del router y cámara conectados directamente entre sí por medio de un cable UTP y alimentados por fuentes de 12 (V) y 5 (v) respectivamente, utilizando reguladores step down DC/DC, La cámara permite la visualización a tiempo real del entorno que recorre el robot, basado en esta idea se decide el montaje de la cámara en la parte frontal del robot por ser la posición más adecuada para visualizar el recorrido que realiza el robot en la tele operación y trayectorias pre programadas como se observa en l figura 87(a), el router permite la comunicación entre la cámara y ordenador, basado en esta idea se decide el montaje del router en la parte trasera del vehículo como se observa en la figura 87 (b) , para la instalación de estos componentes se realizaron orificios en el acrílico con el fin de instalarlos mediante pernos.

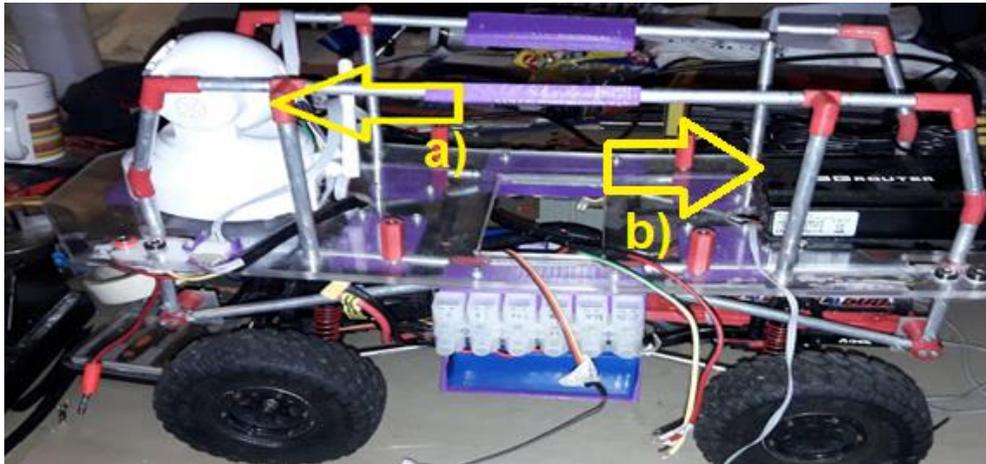


Figura 96. Montaje de la cámara IP

3.5.4. Montaje de las baterías del sistema electrónico.

Las baterías 12v a 2200 mA del sistema eléctrico alimenta tarjeta de control, modem, cámara Ip, sensor de barrido, servo con consumo total de corriente de 2510 mA, Considerando el número de componentes que alimenta la batería se decide conectarlas en paralelo para tener mayor tiempo de carga como de observa en la figura 88 se colocaron a los extremos para equilibrar pesos, mediante el diseño e implementación de una base instala en el chasis del robot.



Figura 97. Montaje de la batería del sistema electrónico

3.5.5. Cableado y protección de seguridad.

Para todo sistema eléctrico y electrónico se debe tener un ordenamiento de cables para que todos los procedimientos posteriores de revisión o cambio de algún elemento o dispositivo sean de fácil detección y/o evaluación / revisiones del sistema, terminado el montaje de los componentes del robot móvil se empieza con el ordenamiento de cables utilizando regletas para la guía del cableado.



Figura 98. Cableado del sistema

3.6. Software y control

Para el desarrollo del proyecto se realizó un programa en Processing, en el cual se realizaron dos programas que vienen detallados a continuación.

3.6.1. Programa de video.

Para el programa de video se utilizó la siguiente interfaz mostrada en la figura 97, donde se indica el HMI mostrado en la figura 97. (a) y el proceso de video mostrado en la figura 97. (b), el proceso

de uso simplemente es prender todos los equipos relacionados con el sistema de video del robot y finalmente ejecutar el programa de video el cual se enlaza automáticamente a la red que transmite video.

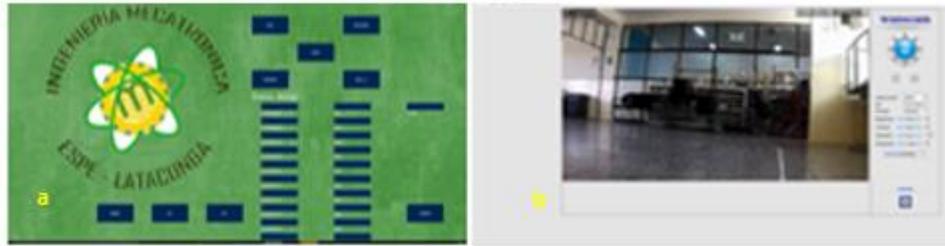


Figura 99. Programa video

3.6.2. Programa de rutas y tele operación.

En este programa se implementaron varias formas de usar los botones para iniciar rutas precargadas por casillas hasta 10 trayectos en total, estos trayectos tienen tanto avance de motor como giros para cada avance de los mismos, un botón para toma de datos con el sensor de barrido o radar, otro botón que sirve para sacar la posición GPS del vehículo en cualquier momento de la tele operación y finalmente los botones de seteo de velocidad para los diferentes tipos de suelos y controles de reinicio de datos y seteo de variables para eliminar la información de las variables guardadas en el sistema del robot y su control, en la figura 98 se detalla el HMI implementado.



Figura 100. Interfaz HMI del robot móvil

3.7. Pruebas y resultados

A medida que la plataforma fue ensamblada se necesitan realizar varias pruebas las cuales son necesarias para sacar información y evaluaciones de funcionamiento de las diferentes partes del sensor

3.7.1. Primera evaluación duración de carga.

Instalados los componentes del robot móvil como son los motores, batería, router, cámara, sensor de barrido se procede a evaluar la autonomía que tendrá el robot móvil la misma que depende del consumo de los componentes antes mencionados, para evaluación de la carga del robot móvil se realizan muestras de voltaje cada cierto intervalo.

a. Resultados de las pruebas eléctricas.

Al empezar la evaluación, la primera observación es que la velocidad generada por los motores es demasiado alta, generando problemas de estabilidad en la plataforma del robot. La solución al problema es implementar en el programa un control PWM (Modulación por ancho de banda) al control de velocidad del motor, permitiendo un control manualmente en la velocidad del robot móvil.

Solucionado problema de estabilidad de robot móvil se prosigue a realizar muestras sobre la autonomía que se muestra en la tabla 40. Teniendo como resultado una autonomía de 2 horas con 20 min debido a que el robot móvil es incapaz de funcionar con menos de 7.18 voltios de alimentación del motor DC.

Tabla 40

Voltaje de batería en funcionamiento

Tiempo	Voltaje [V] Tarjeta Control	Voltaje [V] Motor
0:0	12.65	7.45
0:20	12.61	7.42
0:40	12.59	7.39
1:00	12.59	7.31
1:20	12.52	7.29
1:40	12.49	7.26
2:00	12.46	7.20
2:20	12.40	7.18

3.7.2. Segunda evaluación transmisión de datos.

En la segunda evaluación se realizó el uso de los comandos a través de los módulos inalámbricos en este caso el X-BEE S1 PRO que son para un alcance de 1km en línea de vista, que se utiliza como

un canal de comunicación para el proceso de trayectorias y tele operaciones, como se observa en la Figura 94.



Figura 101. Módulo XBEE s1 pro, tarjeta de control

a. Resultados de la transmisión de datos.

A continuación, se detalla los comandos utilizados y con sus correspondientes explicaciones de funcionamiento para los test que se realizaron:

- "ps1?" pide valor del GPS de la longitud
- "ps11?" pide valor del GPS de la dirección de la longitud
- "ps2?" pide valor del GPS de la latitud
- "ps22?" pide valor del GPS de la dirección de la latitud
- "e" comando para resetear el robot y que todo arranque desde cero
- "h" comando que sirve para encender los pulsos del sensor hall
- "h?" comando que sirve para consultar el valor actual del sensor hall
- "g" comando para girar el mecanismo sensor de barrido

- “d” comando para encender motores y enviar datos del sensor hall
- “x” comando para encender motores para solo control manual
- “b” comando para encender motores e ir hacia atrás en máxima velocidad
- “s” comando para detener motores
- “r” comando para pedir datos de longitud al sensor
- “m1:” comando para cambiar la velocidad de avance del robot
- “m2:” comando para cambiar la velocidad de retroceso del robot

Todos los comandos fueron reseteados y validados finalmente ya que en ciertos casos de la recepción de información por el robot generaba datos mal recibidos y generaba movimientos erráticos los cuales se limitaron al poner rangos de funcionamiento como por ejemplo el rango de giro de la dirección si el valor ingresado fuera mayor o menor del rango entre 60 a 120 los valide al valor más próximo.

3.7.3. Tercera evaluación trayectorias diferente PWM.

La tercera evaluación se determina el comportamiento del sistema Ackerman en diferentes porcentajes de PWM, el análisis se realizará en una trayectoria pre programa con los datos observados en la tabla 41, buscando obtener una trayectoria como en la figura 93.

Tabla 41

Datos ingresados para ruta

N. RUTA	DISTANCIA [cm]	GIRO[grados]
1	500	92
2	561	120

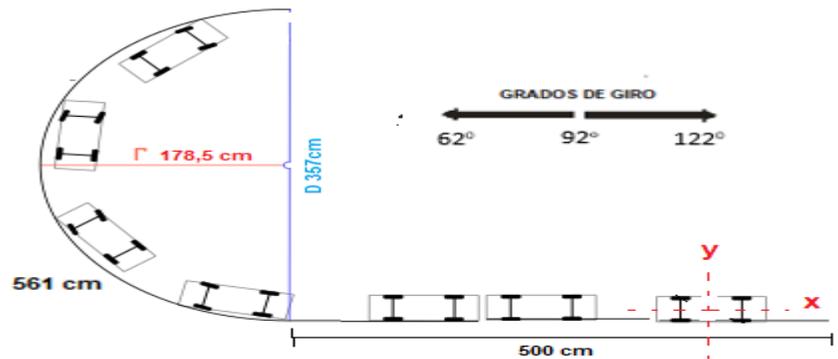


Figura 102. Trayectoria pre programada

a. Resultado de las trayectorias pre programadas.

El primer análisis empieza con un porcentaje de PWM de 43% al empezar el análisis realizando varias pruebas con el mismo porcentaje de PWM, la primera observación es el desvío generado en el eje y , como se observa en la figura 94. El desvío generado en el eje y , se debe a la ubicación en el punto inicial. La solución a este problema es marcar en punto inicial las llantas delanteras y posteriores para evitar desvíos en la ruta.

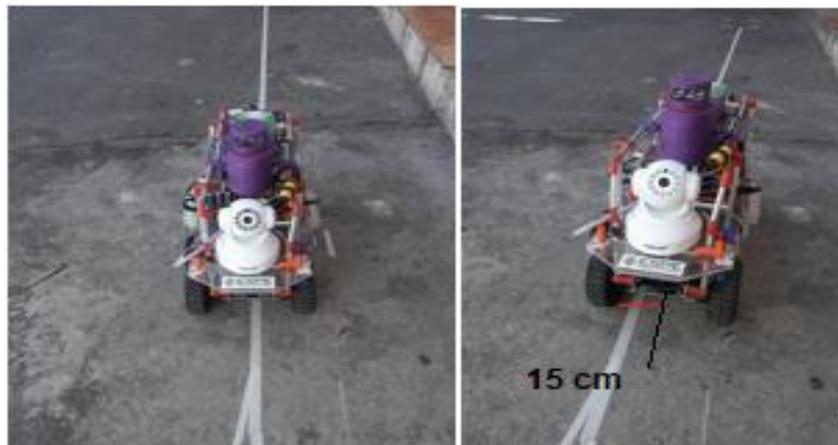


Figura 103. Desvío generado por punto inicial

Solucionado el problema del desvío en el eje y, se procede a realizar varias pruebas con diferentes porcentajes de PWM, la segunda observación es el desvío generado en el eje(x) para trayectorias rectas como se observa en la figura 95. (a), y el desvío generado en el eje(x) y eje(y) para trayectorias circulares como se muestra en la figura 95. (b).



Figura 104. Análisis en trayectorias rectas y circulares.

Para encontrar una solución este problema se empezará analizando los valores obtenidos en la tabla 42, El problema generado por la trayectoria es el tiempo de frenado que se genera por la inercia de las llantas del robot, al generar una desviación en la trayectoria lineal afecta de manera directa a la trayectoria circular este criterio se puede observar de mejor manera en la figura 96, La solución este problema es implementar un sistema de frenado independiente en las ruedas del robot móvil.

Tabla 42

Análisis de la trayectoria a diferentes porcentajes de PWM

RUTA	TIPO TRAYECTORIA	% PWM		DESVIO [cm]	
		MENOR	MAYOR	EJE [X]	DESVO[cm] EJE[Y]
1	Lineal	43	47	32	0
	Circular			-29	13
2	Lineal	47	51	12	0
	Circular			-13	17
3	Lineal	51	55	16	0
	Circular			-15	18
4	Lineal	55	59	18	0
	Circular			-19	17

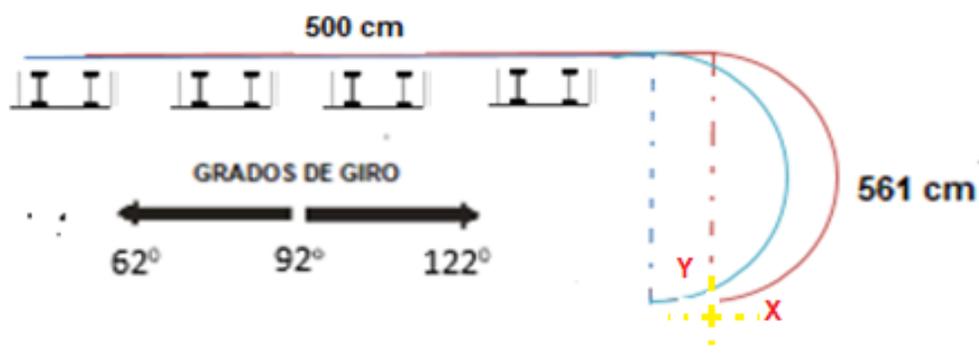


Figura 105. Análisis del desplazamiento generado por PWM

3.7.4. Cuarta evaluación trayectorias pre programadas.

La cuarta evaluación mide el desempeño del sistema Ackerman, implementado en la plataforma para generar trayectorias pre programadas, utilizando el radio de giro 178.5 cm obtenido en el anterior capítulo se procede a generar datos para realización de la trayectoria.

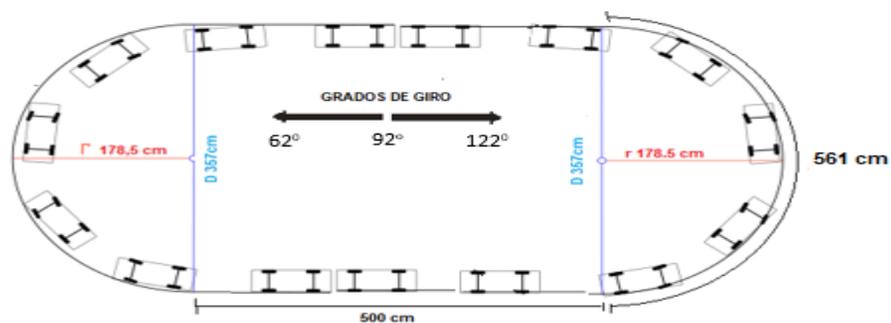


Figura 106. Análisis de ruta pre programada

En la figura 97 se analiza los datos a utilizar en la trayectoria pre programa mediante el método de odometría para determinar la posición de la plataforma móvil por medio del análisis de giro de

las ruedas y la distancia recorrida. En tabla 43 se describe los datos ingresados en el HMI para creación de trayectorias.

Tabla 43

Datos para creación de rutas

N. RUTA	DISTANCIA [cm]	GIRO[grados]
1	500	92
2	561	120
3	500	92
4	561	120
5	500	92
6	561	120
7	500	92
8	561	120

a. Resultado de las trayectorias pre programadas.

Al iniciar la ruta con el mínimo PWM necesario para generar movimiento al robot móvil se observa que el robot móvil tiene un tiempo de frenado anteriormente mencionado para solucionar este problema se realizan pruebas en trayectorias rectas como se observa en la tabla 44, implementó en la fórmula de la distancia una constante de menos 20 cm en trayectorias lineales para reducir el error del tiempo frenado. Una vez reducido el problema del tiempo de frenado se empieza a realizar las pruebas en una trayectoria de triángulo ovalado como se observa en la figura 97. Al realizar el análisis se puede observar que el error va aumentando por cada ruta debido que el error que se genera por odometría es acumulativo como se observa en la figura 98. En la tabla 45 se puede observar cómo van aumentando el error por cada trayectoria recorrida.



Figura 107. Análisis de la trayectoria en triángulos ovalados

Tabla 44

Análisis trayectoria Lineales

N. RUTA	DISTANCIA [cm]	GIRO [grados]	DISTANCIA REAL [cm]	Desviación[cm]
1	500	92	520	20
2	500	92	522	21
3	500	92	521	20
4	500	92	519	21
5	500	92	520	20
6	500	92	520	20
7	500	92	520	22
8	500	92	521	21

Tabla 45

Análisis trayectoria del triángulo ovalado

N. RUTA	DISTANCIA PROGRAMADA[cm]	GIRO [grados]	DISTANCIA REAL [cm]	Desviación[cm]
1	500	92	508	8
2	561	120	574	13
3	500	92	507	7
4	561	120	563	2
5	500	92	507	7
6	561	120	573	15
7	500	92	576	4
8	561	120	563	3

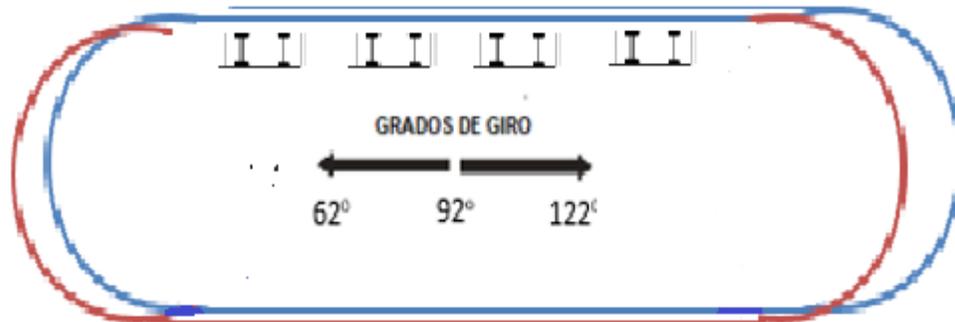


Figura 108. Análisis del desplazamiento generado por la ruta

La solución para poder corregir este problema es implementar un sistema de frenado directamente en la rueda, a pesar de haber disminuido error de frenado por programación no es suficiente para tener un control preciso en la trayectoria.

3.7.5. Quinta evaluación desempeño en terrenos irregulares.

Para determinar el desempeño de la plataforma en terrenos irregulares se analizará el porcentaje de PWM necesario para generar movimiento, al igual que la capacidad para atravesar obstáculos.

a. Resultado del desempeño en terrenos irregulares.

Para el análisis generado en la tabla 44 se utilizó trayectorias rectas con un recorrido de 500 cm de distancia en diferentes terrenos, para determinar el torque necesario que requiere el robot móvil de utiliza la siguiente formula:

$$T = \frac{\text{Potencia} \times \text{radio de la llanta}}{\text{velocidad}}$$

Donde

Radio de la llanta es :0.06 m

Potencia motora es: 628 watts

Calculo del torque máximo:

$$T = \frac{628 \times 0.06 \text{ m}}{2.08}$$

$$T = 18.11$$

Calculo del torque mínimo:

$$T = \frac{628 \times 0.06 \text{ m}}{3.31}$$

$$T = 11.38$$

Tabla 46

Análisis de PWM en terrenos irregulares

Terreno	%PWM	Torque [Nm]	Velocidad [m/s]	Desviación [cm]
Concreto	43	16.45	2,29	25
Césped	74	18.11	2.08	39
Adoquín	43	16.45	2,29	23
Tierra	62	11.38	3.31	32
Baldosa	39	18.11	2.08	20

La plataforma móvil es capaz de movilizarse en diversos terrenos teniendo en cuenta el porcentaje de PWM, el terreno más adecuado para el análisis de trayectorias es en baldosa obteniendo menor error de desviación al generar movimiento a menor velocidad.

Para realizar el desempeño de la plataforma en atravesar obstáculos se incrementó el porcentaje de PWM necesario para un obstáculo de 2cm como se observa en la tabla 47

Tabla 47

Pruebas de obstáculos

Terreno	%PWM	Desviación [cm]
Concreto	56	32
Césped	85	44
Adoquín	56	31
Tierra	76	39
Baldosa	52	26

3.7.6. Sexta evaluación funcionamiento del sensor de barrido.

El objetivo de esta evaluación es determinar la capacidad de detección del sensor de barrido, para este análisis se genera una trayectoria pre programada y se realiza pruebas en un ambiente cerrado y abiertos.

a. Resultado del funcionamiento del sensor de barrido.

En la tabla 46 muestra la medición realizada en un ambiente cerrado, en donde se observa que la capacidad de detección del sensor es afectada en su totalidad por la velocidad del robot.

Tabla 48

Evaluación del sensor en un ambiente cerrado

Distancia detección [cm]	%PWM	Velocidad	Distancia Paro [cm]
120	39	2.08	100
118	50	2.6	98
112	85	4.53	90

En la siguiente tabla 47 muestra la medición realizada en un ambiente externo, en donde se observar que la capacidad de detección del sensor es afectada por los rayos solares.

Tabla 49

Evaluación del sensor en un ambiente abierto

Distancia detección [cm]	%PWM	Distancia Paro [cm]
98	39	0
0	50	0
0	85	0

Para solucionar este problema se implementó un sensor infrarrojo E18 D80NK que ayuda en la detección tanto en ambientes cerrados e internos instalado directamente a la tarjeta principal para evitar el problema de procesamiento.

3.7.7. Séptima evaluación funcionamiento del módulo GPS.

El objetivo de esta evaluación de determinar la distancia requerida para obtener cambios de latitud y longitud generados por el GPS y realizar el control del robot utilizando tecnología GPS.

a. Resultado del rango de precisión del módulo GPS

Para el análisis de la distancia requerida para cambio de datos del módulo GPS se realizó con distancias de separación entre 3 metros como se observa en la tabla 48.

Tabla 50

Distancia cambio de datos del GPS

Distancia	Longitud	latitud
3	-0.3799026	-78.5001093
6	-0.3799026	-78.5001093
9	-0.3804003	-78.5056339
12	-0.3804003	-78.5056339

En base a la tabla 48 se determina que la distancia requerida es de 9 metros, por este motivo no es factible implementar el control de la plataforma móvil mediante GPS por motivos de seguridad, al ser una plataforma portátil es vulnerable al robo.

3.8. Especificaciones técnicas de la plataforma.

Tabla 51

Especificaciones del robot

Número	Especificaciones	Datos
1	Dimensiones externas (l x w x h)	52 x 20 x 41
2	Peso	7.21 Kg
3	Rango detección	10 cm – 1.5 m
4	Trasmisión / accionamiento	4X4
5	Rango de señal	15 m
6	Sistema de locomoción	Ackerman
7	Forma de control	Centro de mando tele operado



Figura 109. Plataforma móvil con trayectorias pre programadas

3.9. Resumen

- En todo el proceso de construcción del sistema o robot, se empieza por el diseño y construcción del sensor de barrido para luego ir por etapas de diseño de la estructura en base a las dimensiones requerida por los componentes, que será posterior mente instalados y al final se realiza el cableado y control del robot móvil
- En las evaluaciones del funcionamiento del robot se divide en seis etapas. La primera etapa empieza por analizar el hardware del robot como es revisión de cableado. La segunda etapa es la transmisión adecuada de los datos para el envío y recepción de datos entre el arduino y el PC. La tercera etapa el análisis de trayectorias que puede realizar la plataforma móvil con el sistema Ackerman. La cuarta etapa la implementación del robot en terrenos irregulares. La quinta etapa el funcionamiento del sensor de barrido para la detección de obstáculos y por último la sexta etapa el análisis del sistema GPS para el control del robot móvil.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se diseñó e implementó una plataforma móvil basada en la línea de investigación de seguridad y defensa mediante rutas pre programadas con dimensiones 52 x 20 x 41, con un peso 7.21 Kg permitiendo ser un robot portátil, este proyecto se basa principalmente en el análisis de trayectorias mediante la odometría permitiendo controlar al robot en base a distancia y giro pre programados, adicionalmente la plataforma está acondicionada por un sensor de barrido y un sensor infrarrojo para evitar colisión con los obstáculos que se podrían encontrar en la ruta, además de una cámara para la transmisión de imágenes a tiempo real, todo el sistema controlado por una tarjeta arduino mega
- Mediante el análisis de diferentes mecanismos implementados en radares, se logró diseñar e implementar un sensor de barrido capaz de detectar en un giro de 360 posibles obstáculos a una distancia de 4 metros realizando muestras cada 45 grados. El mecanismo de fabricación en material de plástico ABS, utilizando una impresora 3D, diseñado para ser un mecanismo modular permitiendo intercambiar el tipo de sensor.
- Partiendo del análisis de localización relativa mediante puntos de referencia se utiliza el método de odometría para creación de trayectorias pre programadas mediante un sensor de efecto hall, incorporado para analizar el giro del árbol de transmisión del

robot en relación al giro de las ruedas y determinar la distancia recorrida por cada giro da la rueda.

- Para el diseño de la trayectoria se empieza analizando las restricciones del sistema de locomoción Ackerman, determinado que este sistema solo permite generar trayectorias rectas y circulares, basados en este concepto se diseñan las trayectorias que debe ser capaz de seguir el robot móvil
- El sistema de control de la plataforma móvil se realiza mediante una tarjeta arduino mega 2560, encargada de administrar los comandos enviados por HMI para control de la plataforma. Los componentes integrados a la tarjeta son sensor de barrido encargado de evitar la colisión del robot con otros objetos, sensor E18 D60NK infrarrojo como apoyo del sensor de barrido para la detención de objetos, sensor efecto hall A3144 encargado de determinar el espacio recorrido por la plataforma móvil, el módulo xbee pro s1 encargado de comunicación entre el ordenador y robot móvil, el modulo GPS neo 6m v2 encargado determinar la posición del robot dentro del planeta tierra, El módulo IBT_2 encargado de controlar la velocidad y sentido del robot móvil, y por ultimo no menos importante servo encargado del control de la dirección.
- El sistema de posicionamiento global GPS instalado en la plataforma móvil brinda seguridad en caso de pérdida, permitiendo detectar su localización por medio de google map con los datos de latitud y longitud enviados por el modulo GPS, el modulo GPS envía los datos en coordenadas grado minuto segundos GSM, para obtener la ubicación del robo mediante google map se debe pasar a coordenadas grados decimal GD.

- La interfaz usuaria del robot móvil fue desarrollada en el software processing, involucrando el desarrollo de cinco procesos principales. El primer proceso se encarga del control de motores para el desplazamiento del robot, El segundo proceso se encarga de la dirección del robot, El tercer proceso es localización del robot por medio del módulo GPS, El cuarto proceso se encarga de manipular los datos enviados por el sensor de barrido para poder determinar una acción en base los datos recibidos, El quinto proceso se encarga de determinar la posición del robot en base a un punto de referencia.

4.2. Recomendaciones

- El diseño de la plataforma móvil es modular permitiendo desarrollar nuevas aplicaciones que se conecta fácilmente al sistema de control principal buscando con esto mejorar su funcionamiento. Por ejemplo, la implementación de un sensor de humo en el mecanismo del sensor de barrido permitiendo al robot incluirse en nuevos campos de investigación.
- El diseño del sensor de barrido es un excelente punto de partida al momento de crear sensores que permitan la detección y la ubicación de obstáculos en un rango de detección de 360 grados, basado en el mecanismo de un radar, con la ventaja que el mecanismo es adaptable a cualquier tipo de sensor.
- El sistema de locomoción Ackerman presenta dificultades, en la generación de trayectorias debido al tiempo de freno que produce, para futuras investigaciones se recomienda utilizar un sistema de frenado independiente en las ruedas y un motor con mayor torque.
- Uno de los mayores problemas que se encuentra en la transmisión de datos es el montaje de datos debido que se utiliza un solo canal de transmisión para control de todo robot, aunque lo ideal sería tener por lo menos dos canales de comunicación la cual ayudaría al mejor funcionamiento en la transmisión de datos.
- El sistema de locomoción ackerman permite la creación de trayectorias rectas y trayectorias circulares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aitor, R. (2011). *Automatica Industrial*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2016, Obtenido de <https://automaticaindustrial.wordpress.com/>

AliExpress. (s.f.). Recuperado el 04 de Diciembre de 2016, Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/WANSCAM-720P-HD-1-0-Megapixel-Indoor-Pan-Tilt-Wired-Wireless-Wifi-CCTV-Security-IP-Network/32531440464.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.SEkcWb>

Aviles, J. (2016). *Detencion de objetos con sensor ultrasonico*. Recuperado el 05 de Enero de 2017, Obtenido de <https://cbtis140clubdeciencias.blogspot.com/2016/11/deteccion-de-objetos-con-sensor.html>

Axial . (s.f.). Obtenido de <http://www.axialracing.com/t/vehicles>

Barrientos, & Torres. (2013). *Planificacion de trayectorias*. Recuperado el 08 de Febrero de 2017, Obtenido de <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/trayectorias.pdf>

Bellester, J. (2015). *Vehiculos Ip Livianos Multiproposito*. Recuperado el 16 de Marzo de 2017, Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/40567/8/jballestergoTFC0115memoria.pdf>

Bravo, C. (2012). *Mapeo y localizacion simultaneo de un robot movil en el mbiente*. Recuperado el 28 de Mayo de 2017, Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/8843/1/MAPEO%20Y%20LOCALIZACI%C3%93N%20SIMULTANE%A%20DE%20UN%20ROBOT%20M%C3%93VIL%20EN%20AMBIENT.pdf>

Brico Geek. (s.f.). Recuperado el 06 de Junio de 2017, Obtenido de <http://tienda.bricogeek.com/descatalogado/153-gps-micro-mini.html>

Bulnes, M. (2012). *Modelacion Virtual*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2017, Obtenido de <http://www.udesantiagoovirtual.cl/moodle2/mod/book/view.php?id=24919&chapterid=299>

Castilla. (2009). *Control de movimiento*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2017, Obtenido de https://www.fing.edu.uy/inco/cursos/robotica/teorico/IAR10_Cartilla_ControlMovimiento.pdf

Chabier. (2012). *RobotyPic*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, Obtenido de <http://robotypic.blogspot.com/2010/09/proyecto-de-robot-que-evita-obstaculos.html>

COSTELLA , V. (2016). *Revistas Academicas*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2017, Obtenido de <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/1261/html>

Electronica LAB. (s.f.). Recuperado el 21 de Noviembre de 2017, Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/driver-motor-paso-a-paso-1a-a4988-pololu/>

electrotekMega. (s.f.). Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, Obtenido de <http://electrotekmega.com/producto/sensor-infrarrojo-e18-d80nk/>

Florez , D., & Castro, F. (2015). *Planeacion y Ejecucion de trayectorias*. México: illustrated.

Formula Racing Enthusiasts. (s.f.). Recuperado el 03 de Diciembre de 2017, Obtenido de <http://fsaetutor.org/ackermann-steering-mechanism/>

GeekFactory. (s.f.). Recuperado el 08 de Diciembre de 2017, Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/diagrama-de-pines-arduino/>

Grauwald Creative. (s.f.). Recuperado el 12 de Diciembre de 2017, Obtenido de <http://grauwald.com/tech/processing-arduino-tandem/>

INSPECTORBOTS. (2013). *ROBOT SPIDER MITE*. Obtenido de ROBOT SPIDER MITE: http://www.inspectorbots.com/Spider_Mite_Videos.html

Juran, J. (1990). *Quality function deployment*. España: Diaz de Santo.

Kerlinger, F. (2002). *Investigacion de comportamiento*. México,D.F.: Mc Graw-Hill.

Kohanbash, D. (s.f.).

Lubrication conditions. (s.f.). Recuperado el 15 de Diciembre de 2017, Obtenido de <http://www.skf.com/es/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/selection-of-bearing-size/selecting-bearing-size-using-the-life-equations/lubrication-conditions-the-viscosity-ratio-k/index.html>

Martin, F. (2006). *Movimiento Odometria*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2016, Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Modelo-de-movimiento-basado-en-la-odometria_fig5_233792295

Matus, P., & Novoa, E. (2006). *Enciclopedia Regional*. Chile: Pehuèn.

MIAC Apoyo tecnologico. (s.f.). Recuperado el 1 de 12 de 2017, de <http://www.dacarsa.net/basic/divulgacion/Multimetro.php>

Moviltronic. (s.f.). Recuperado el 20 de Diciembre de 2016, Obtenido de <https://moviltronics.com.co/accesorios/105-motor-paso-a-paso-nema17.html>

Newman, & Kempf. (1985). *Programacion oportunista para maquina robótica*. Miami: Pintman Publishing.

OBER, I. (22 de ABRIL de 2012). *OBEROBOT*. Recuperado el 25 de Diciembre de 2017, Obtenido de OBEROBOT: <https://oberobot.wordpress.com/2012/04/23/robots-moviles/>

Oficios tecnicos. (s.f.). Recuperado el 05 de Enero de 2018, Obtenido de http://www.sapiensman.com/tecnoficio/optica/sensores_opticos.php

Ollero Baturone, A. (2001). *ROBOTICA MANIPULADORES Y ROBOTS MOVILES*. España: Boixareu.

Olmo, M., & Nave, R. (s.f.). *Satelites de posicionamiento Global*. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/gps.html>

Ortis, A. (2017). Recuperado el 08 de Enero de 2018, Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Localizaci%C3%B3n_absoluta

ORTIZ RODRIGUEZ, A. (2005). *Universitat de les Illes Balears*. Recuperado el 15 de Enero de 2018, Obtenido de https://alberto-ortiz.github.io/publications/index_year.html

Pérez García, M. A. (2014). Sensor Efecto Hall. En *Instrumentación Electrónica*. Madrid: Graficas Summa.

Pratt, T., & Zelkowitz, M. (2000). *Lenguaje de programacion*. España: Pearson prentice.

Robotnik. (2002). *Robot móvil SUMMIT XL*. Recuperado el 17 de Enero de 2018, Obtenido de Robot móvil SUMMIT XL: <http://www.robotnik.es/servicios-de-robotica-proyectos/aplicaciones-moviles/>

roll bar. (s.f.). Recuperado el 23 de Enero de 2018, Obtenido de <http://forums.pelicanparts.com/6313759-post1.html>

SAT, u. G. (s.f.). Recuperado el 05 de Febrero de 2018, Obtenido de <http://usglobalsat.com/p-62-bu-353-w.aspx#images/product/large/62.jpg>

Sensor arbol levas. (s.f.). Recuperado el 08 de Febrero de 2018, Obtenido de <http://www.teseomotor.com/sensor-del-arbol-de-levas-conceptos-basicos/>

Serna Ruiz, A. G. (2010). *Guia practica de sensores*. España: Copyright.

Siegwart, & Nourbaksb. (2016). *Sensor for mobil Robots*. Recuperado el 16 de Febrero de 2018 Obtenido de <http://slideplayer.com/slide/10319788/>

Turmero, P. (2015). *Plataforma Móvil*. Obtenido de Plataforma Móvil.

VELASCO SÀNCHEZ. (2007). PERCEPCION. En *Educatrónica Innovación en el aprendizaje de las ciencias y la tecnología*. España: Diaz de Santos.

Yanes, D. (2012). *Practicas de robotica*. Recuperado el 20 de Febrero de 2018, Obtenido de <http://nbio.umh.es/files/2012/04/practica5.pdf>

Zamora, E. (08 de 11 de 2015). *Robótica Autónoma y Aprendizaje Automático*. Recuperado el 25 de Febrero de 2018, Obtenido de Robótica Autónoma y Aprendizaje Automático: <https://ezamorag.wordpress.com/2015/11/08/robots-autonomos-navegacion/>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor **MIGUEL ANGEL ANALUISA GUALPA**.

En la ciudad de Latacunga, a los 14 días del mes de Marzo del 2018.

Aprobado por:

Ing. Darío Mendoza
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Vicente Hallo
DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO

