



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

AUTOR: QUEZADA CEPEDA, DIEGO PAÚL

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT TODO TERRENO
UTILIZANDO EL SISTEMA ROCKER-BOGIE Y TELEOPERADO
INALÁMBRICAMENTE PARA EL LABORATORIO DE ROBÓTICA DE LA
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**

DIECTOR: ING. OLMEDO SALAZAR, JOSÉ FERNANDO

CODIRECTOR: ING. TIPÁN CONDOLO, EDGAR FERNANDO

SANGOLQUÍ, ABRIL 2014

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT TODO TERRENO UTILIZANDO EL SISTEMA ROCKER-BOGIE Y TELEOPERADO INALÁMBRICAMENTE PARA EL LABORATORIO DE ROBÓTICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE” fue realizado en su totalidad por el señor Diego Paúl Quezada Cepeda, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.

Ing. José Fernando Olmedo Salazar

DIRECTOR

Ing. Edgar Fernando Tipán Condolo

CODIRECTOR

Sangolquí, 2014-04-21

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT TODO TERRENO UTILIZANDO EL SISTEMA ROCKER-BOGIE Y TELEOPERADO INALÁMBRICAMENTE PARA EL LABORATORIO DE ROBÓTICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE”

ELABORADO POR:

Diego Paúl Quezada Cepeda

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRONICA

Ing. Francisco Terneus

Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Sangolquí, 2014-04-21

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Diego Paúl Quezada Cepeda

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT TODO TERRENO UTILIZANDO EL SISTEMA ROCKER-BOGIE Y TELEOPERADO INALÁMBRICAMENTE PARA EL LABORATORIO DE ROBÓTICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Diego Paúl Quezada Cepeda

Sangolquí, 2014-04-21

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Papá, mi mami y a mi hermano.

AGRADECIMIENTO

A Dios, nuestro padre celestial, que me llena de bendiciones día a día permitiéndome ser más para servir mejor.

A mi mami y a mi papi, por su todo su apoyo, comprensión y confianza en cada paso que doy para lograr mis metas y por ayudarme a ser quien hoy soy.

A mis abuelitos Hugo, Rosita, Alberto y Laurita por todo su apoyo, confianza y muestras de cariño.

A toda mi familia, especialmente a mi tío Marco por su desinteresada colaboración durante la ejecución de este trabajo de tesis.

A Mayita por todo su amor y apoyo incondicional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Carrera de Ingeniería en Mecatrónica y a todos los docentes, quienes colaboraron en mi formación como profesional.

A todos mis amigos y compañeros con los que compartí momentos agradables durante todo el período de estudios de mi carrera.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN A LOS ROBOTS EXPLORADORES.....	1
1.1. HISTORIA DE LOS ROBOTS EXPLORADORES.....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	9
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	11
1.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	12
1.5. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	16
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
CAPÍTULO 2.....	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1. FUNDAMENTOS BÁSICOS.....	17
2.1.1. SISTEMA MECÁNICO	17
2.1.1.1. Mecanismo.....	17
2.1.1.2. Bogie.....	18
2.1.1.3. Diferencial Mecánico.....	19
2.1.1.4. Sistema de suspensión Rocker-Bogie.....	20
2.1.1.5. Engranés.....	21
2.1.1.6. Dirección mecánica en robots.....	23
2.1.2. SISTEMA ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO.....	26

2.1.2.1.	Motores de corriente continua	26
2.1.2.2.	Control de velocidad de motores de corriente continua	37
2.1.2.3.	Control del sentido de giro de un motor corriente continua	38
2.1.2.4.	Sensores de proximidad y presencia	44
2.1.2.4.1.	Medición de velocidad angular	49
2.1.2.5.	Sistemas de visión	51
2.1.2.6.	Microcontroladores	53
2.1.2.7.	Plataformas de hardware libre	57
2.1.2.8.	Comunicación inalámbrica	60
2.1.2.9.	Baterías	64
2.1.3.	SISTEMA DE CONTROL	66
2.1.3.1.	Sistema de control en lazo cerrado	66
2.1.3.2.	Interfaz Humano Máquina	68
2.2.	ROBÓTICA	69
2.2.1.	TELEROBÓTICA	71
2.2.2.	ROBÓTICA MÓVIL	72
2.2.2.1.	Robots Todo Terreno	73
CAPÍTULO 3.....		75
DISEÑO DEL ROBOT TODO TERRENO		75
3.1.	DISEÑO MECÁNICO	75
3.1.1.	REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES	75

3.1.2.	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PRINCIPALES.....	76
3.1.2.1.	Comparación de alternativas principales	77
3.1.3.	SÍNTESIS DEL MECANISMO ROCKER-BOGIE.....	85
3.1.3.1.	Movilidad del mecanismo.....	85
3.1.3.2.	Parámetros de Diseño	86
3.1.1.1.	Trayectoria Geométrica del mecanismo	87
3.1.1.2.	Singularidad del mecanismo	88
3.1.1.3.	Adaptación del mecanismo Rocker-Bogie al chasis del robot	89
3.1.2.	ANÁLISIS ESTÁTICO DEL MECANISMO ROCKER-BOGIE	90
3.1.3.	SIMULACIONES EN COMPUTADOR.....	91
3.1.4.	CRITERIOS DE DISEÑO	94
3.1.4.1.	Hundimiento del suelo	95
3.1.4.2.	Resistencia al movimiento	95
3.1.4.3.	Estabilidad del robot	97
3.1.4.4.	Grados de libertad del robot.....	99
3.1.4.5.	Velocidad	99
3.1.5.	SELECCIÓN DE MATERIALES	99
3.1.6.	DISEÑO DE COMPONENTES DEL ROBOT.....	103
3.1.6.1.	Ruedas del robot	104
3.1.6.1.1.	Modelado CAD	106
3.1.6.1.2.	Proceso de fabricación.....	107

3.1.6.2.	Sistema de suspensión Rocker-Bogie	113
3.1.6.2.1.	Modelado CAD	115
3.1.6.2.2.	Proceso de fabricación	116
3.1.6.3.	Diferencial mecánico	120
3.1.6.3.1.	Modelado CAD	123
3.1.6.3.2.	Proceso de fabricación	124
3.1.6.4.	Sistema de dirección	126
3.1.6.4.1.	Modelado CAD del acople para ruedas	128
3.1.6.4.2.	Proceso de fabricación	129
3.1.6.5.	Cuerpo principal del robot (carrocería)	131
3.1.6.5.1.	Modelado CAD	133
3.1.6.5.2.	Proceso de fabricación	134
3.1.7.	MONTAJE DE COMPONENTES DEL ROBOT.....	138
3.2.	DISEÑO ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO.....	142
3.2.1.	REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES.....	142
3.2.2.	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PRINCIPALES.....	143
3.2.2.1.	Motores de transmisión.....	145
3.2.2.2.	Controlador para motores de corriente continua.....	146
3.2.2.3.	Motores para el sistema de dirección.....	148
3.2.2.4.	Sensores	149
3.2.2.5.	Placas de hardware libre ARDUINO	153

3.2.2.6.	Baterías	156
3.2.3.	DIAGRAMAS DE CONEXIÓN	160
3.2.3.1.	Motores de tracción	160
3.2.3.2.	Servomotores	161
3.2.3.3.	Control Remoto.....	162
3.2.3.3.1.	Construcción del Control Remoto.....	163
3.2.3.4.	Diagramas esquemáticos.....	164
3.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	165
3.3.1.	REQUERIMIENTOS.....	165
3.3.2.	SOFTWARE DEL ROBOT.....	166
3.3.2.1.	Programación interfaz en LabView	167
3.3.2.2.	Programación módulos XBee Pro serie 1	169
3.3.2.3.	Programación placas Arduino.....	173
3.3.2.3.1.	Arduino Mega 2560	175
3.3.2.3.2.	Arduino Uno	175
	CAPÍTULO 4.....	176
	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	176
4.1.	DISEÑO DEL PLAN DE PRUEBAS	176
4.1.1.	PRUEBA DE MOVILIDAD EN TERRENO TIPO BOSQUE.....	177
4.1.2.	ALTURA MÁXIMA DE LAS IRREGULARIDADES	178
4.1.2.1	Obstáculos tipo grada	180

4.1.3.	DISTANCIA MÁXIMA DE TELE OPERACIÓN	180
4.1.4.	PRUEBAS EN TERRENO INCLINADO.....	181
4.1.4.1.	Cruzando el terreno inclinado.....	182
4.1.5.	VELOCIDAD DE NAVEGACIÓN	183
4.1.6.	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO	183
	CAPÍTULO 5.....	184
	ANÁLISIS ECONÓMICO	184
5.1.	COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN.....	184
5.1.1.	COSTO DE MATERIALES	184
5.1.2.	COSTO DE ELEMENTOS	185
5.1.3.	COSTO DE MANO DE OBRA Y MAQUINADO.....	188
5.2.	GASTOS	188
5.3.	COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	189
	CAPÍTULO 6.....	190
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	190
6.1.	CONCLUSIONES.....	190
6.2.	RECOMENDACIONES	193
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	195
	ANEXOS	199
1.	Planos Mecánicos del Robot	199
2.	Planos Eléctricos del Robot.....	232

3.	Programación del Robot.....	254
4.	Manual de Usuario	272

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: Robots de la NASA.....	2
FIGURA N° 2: Primer robot explorador Lunakhod.....	2
FIGURA N° 3: Rover Sojourner de la NASA.....	3
FIGURA N° 4: Rover Inflable de la NASA.....	4
FIGURA N° 5: Rocky 7 de la NASA.....	5
FIGURA N° 6: Sample Return Rover SRR.....	5
FIGURA N° 7: Nano Rover de la NASA.....	6
FIGURA N° 8: Micro5 con suspensión llamada Pegasus.....	7
FIGURA N° 9: Shrimp Rover.....	7
FIGURA N° 10: Rovers Spirit y Opportunity.....	8
FIGURA N° 11: Rover Curiosity.....	9
FIGURA N° 12: Robot móvil de rescate.....	10
FIGURA N° 13: Sistema de suspensión Rocker-Bogie.....	13
FIGURA N° 14: Funcionamiento del Sistema Rocker-Bogie.....	13

FIGURA N° 15: Comunicación inalámbrica con Xbee.....	14
FIGURA N° 16: LabView para Robótica.....	15
FIGURA N° 17: Mecanismo Manivela-Corredera.....	17
FIGURA N° 18: Mecanismo de Chebyshev.....	18
FIGURA N° 19: Bogie.....	19
FIGURA N° 20: Diferencial Mecánico.....	19
FIGURA N° 21: Rocker-Bogie.....	20
FIGURA N° 22: Adaptación del mecanismo Rocker-Bogie.....	20
FIGURA N° 23: Engranés rectos.....	21
FIGURA N° 24: Engranés helicoidales.....	22
FIGURA N° 25: Engranés cónicos.....	22
FIGURA N° 26: Tornillo sinfín.....	23
FIGURA N° 27: Geometrías de dirección.....	25
FIGURA N° 28: Motor de corriente continua.....	27
FIGURA N° 29: Rotor y estator de un Motor de corriente continua.....	27
FIGURA N° 30: Servomotor.....	29
FIGURA N° 31: Estructura interna del Servomotor.....	29
FIGURA N° 32: Motor paso a paso.....	31
FIGURA N° 33: Identificación de cables para motores paso a paso unipolares.....	35

FIGURA N° 34: Generación de pulsos para un Servomotor.....	38
FIGURA N° 35: Giro del motor mediante una fuente simétrica e interruptores.....	38
FIGURA N° 36: Giro del motor mediante fuente simple e interruptores.....	39
FIGURA N° 37: Giro del motor mediante transistores con una fuente simétrica.....	39
FIGURA N° 38: Giro del motor mediante transistores con fuente simple.....	39
FIGURA N° 39: Circuito electrónico Puente H.....	41
FIGURA N° 40: Circuito Integrado L293.....	42
FIGURA N° 41: Lógica de funcionamiento para el driver L293.....	42
FIGURA N° 42: Driver de motores de corriente continua de 9A.....	43
FIGURA N° 43: Transistor Mosfet IR7862.....	43
FIGURA N° 44: Interruptor de posición.....	44
FIGURA N° 45: Sensor Capacitivo.....	45
FIGURA N° 46: Sensor Inductivo.....	46
FIGURA N° 47: Sensor Infrarrojo.....	47
FIGURA N° 48: Esquema eléctrico de un sensor infrarrojo.....	48
FIGURA N° 49: Sensor Ultrasónico.....	49
FIGURA N° 50: Encoder Incremental.....	50
FIGURA N° 51: Encoder Absoluto.....	51
FIGURA N° 52: kit de cámara inalámbrica.....	52

FIGURA N° 53: Diagrama de un microcontrolador.....	54
FIGURA N° 54: Arquitecturas de un microcontrolador.....	54
FIGURA N° 55: Placa Arduino Uno.	57
FIGURA N° 56: Placa Arduino Esplora.....	58
FIGURA N° 57: Placa Arduino Robot.....	58
FIGURA N° 58: Modulo de comunicación inalámbrica Xbee Pro.....	61
FIGURA N° 59: Batería recargable.....	65
FIGURA N° 60: Sistema de control con lazo cerrado.....	68
FIGURA N° 61: Interfaz Humano Máquina.....	69
FIGURA N° 62: Robot esférico o polar.....	70
FIGURA N° 63: Robot angular o antropomórfico.....	70
FIGURA N° 64: Telerobótica.....	72
FIGURA N° 65: Robot Móvil ASIMO.	73
FIGURA N° 66: Robot Packbot 510.....	74
FIGURA N° 67: Geometría del Mecanismo de Hoeken.....	78
FIGURA N° 68 Bogie con mecanismo de Hoeken.....	79
FIGURA N° 69: Trayectoria del Mecanismo de Hoeken.....	80
FIGURA N° 70: Bogie con el mecanismo de Hoeken.....	81
FIGURA N° 71: Parte de línea recta generada por el mecanismo de Hoeken.....	81

FIGURA N° 72: Bosquejo del mecanismo Rocker-Bogie.....	82
FIGURA N° 73: Altura alcanzada por la rueda izquierda del Bogie.....	82
FIGURA N° 74: Altura alcanzada por la rueda derecha del Bogie.....	83
FIGURA N° 75: Simulación y comparación del mecanismo de Hoeken y Rocker-Bogie con obstáculo parte posterior.....	83
FIGURA N° 76: Simulación y comparación entre del mecanismo de Hoeken y Rocker-Bogie con obstáculo parte delantera.....	83
FIGURA N° 77: Movilidad del Sistema de suspensión Rocker-Bogie.....	86
FIGURA N° 78: Proporción del Sistema Rocker-Bogie.....	87
FIGURA N° 79: Trayectoria de las Ruedas en el mecanismo.....	88
FIGURA N° 80: Problema de singularidad en el Bogie.....	88
FIGURA N° 81: Mecanismo diferencial entre ejes basculantes.....	89
FIGURA N° 82: Diagrama de Fuerzas.....	90
FIGURA N° 83: Modelo en computador del robot para simulación.....	91
FIGURA N° 84: Simulación de prueba de movilidad en terreno irregular.....	92
FIGURA N° 85: Fuerzas de tracción de la prueba de movilidad.....	92
FIGURA N° 86: Comportamiento del robot atravesando obstáculo tipo grada.....	93
FIGURA N° 87: Máximo margen de estabilidad longitudinal.....	97
FIGURA N° 88: Máximo margen de estabilidad lateral.....	98

FIGURA N° 89: Ejemplo de ruedas para robots	104
FIGURA N° 90: Diagrama del cuerpo libre de la rueda del robot.....	105
FIGURA N° 91: Ruedas del robot todo terreno.....	107
FIGURA N° 92: Taladrado de orificios centrales en placas de aluminio.....	109
FIGURA N° 93: Corte de placas de aluminio en torno.....	110
FIGURA N° 94: Corte del tubo de aluminio en torno.....	110
FIGURA N° 95: Pedazo tubo de aluminio con guía para tapa.....	111
FIGURA N° 96: Calentamiento de piezas con soplete.....	111
FIGURA N° 97: Proceso de soldadura de las ruedas de aluminio.....	112
FIGURA N° 98: Taladrado de orificios en la rueda con fresadora.....	112
FIGURA N° 99: Resultado final de la fabricación de las ruedas.....	113
FIGURA N° 100: Características geométricas de los tubos de Aluminio.....	114
FIGURA N° 101: Esfuerzos sobre el sistema de suspensión.....	114
FIGURA N° 102: Desplazamiento ocasionado por fuerza externa en el sistema de suspensión.....	116
FIGURA N° 103: Sistema de suspensión del robot todo terreno.....	116
FIGURA N° 104: Tubo con punto de pivotaje del sistema de suspensión.....	116
FIGURA N° 105: Brazo basculante del robot	118
FIGURA N° 106: Corte para montaje de caja servo controlada.....	118

FIGURA N° 107: Resultado final fabricación brazo basculante.....	119
FIGURA N° 108: Resultado final de la fabricación del Bogie.....	120
FIGURA N° 109: Dimensiones de los engranajes del robot.....	121
FIGURA N° 110: Dimensiones de las chumaceras del diferencial.....	122
FIGURA N° 111: Collar de sujeción para ejes.....	122
FIGURA N° 112: Diferencial Mecánico del robot.....	123
FIGURA N° 113: Engranaje con agujero para prisionero.....	125
FIGURA N° 114: Chumaceras montadas sobre la caja de acrílico.....	125
FIGURA N° 115: Resultado final fabricación diferencial mecánico.....	126
FIGURA N° 116: Caja de transmisión servo controlada	127
FIGURA N° 117: Dimensiones de la caja de transmisión servo controlada.....	128
FIGURA N° 118: Acople para ruedas del motor.....	129
FIGURA N° 119: Piezas a unirse mediante soldadura TIG.....	130
FIGURA N° 120: Resultado final fabricación Acople para ruedas.....	131
FIGURA N° 121: Carrocería del robot.....	134
FIGURA N° 122: Estructura interna de la carrocería del robot.....	136
FIGURA N° 123: Base de la caja de la carrocería del robot.....	137
FIGURA N° 124: Resultado final fabricación carrocería del robot.....	137
FIGURA N° 125: Ensamblaje del acople de las ruedas del robot.....	138

FIGURA N° 126: Ensamblaje del Sistema de suspensión Rocker-Bogie.....	139
FIGURA N° 127: Ensamblaje de ruedas y ejes del diferencial mecánico.....	140
FIGURA N° 128: Ensamblaje y montaje de la carrocería del robot.....	140
FIGURA N° 129: Resultado final del ensamblaje mecánico del robot.....	141
FIGURA N° 130: Matriz morfológica de las alternativas de diseño.....	143
FIGURA N° 131: Matriz de selección de la solución de diseño.....	144
FIGURA N° 132: Motor 12 VDC con caja reductora.....	145
FIGURA N° 133: Controlador de motores Sabertooth.....	147
FIGURA N° 134: Servomotor HS-5485HB del sistema de dirección.....	148
FIGURA N° 135: Sensor ultrasónico HCSR04.....	150
FIGURA N° 136: Ángulo efectivo de funcionamiento del Sensor HC-SR04.....	151
FIGURA N° 137: Acelerómetro MMA7361L.....	152
FIGURA N° 138: Placa ARDUINO UNO R3.....	154
FIGURA N° 139: Placa ARDUINO MEGA 2560 R3.....	155
FIGURA N° 140: Batería recargable de NiMH a 12 VDC, 4.5 Amp-h.....	157
FIGURA N° 141: Batería recargable de NiMH a 6 VDC, 10Amp-h.....	158
FIGURA N° 142: Batería recargable de NiMH a 9.6 VDC, 2.2Amp-h.....	159
FIGURA N° 143: Diagrama de conexión para motores de corriente continua.....	161
FIGURA N° 144: Diagrama de conexión para el control de servomotores.....	162

FIGURA N° 145: Diagrama de conexión para el control remoto del robot.....	163
FIGURA N° 146: Fabricación del control remoto.....	164
FIGURA N° 147: Arquitectura del programa en la estación base y el robot.....	166
FIGURA N° 148: Programación para captura de imagen de la cámara.....	167
FIGURA N° 149: Interfaz de Usuario desarrollada en LabView.....	168
FIGURA N° 150: Conexión Punto a Punto de los módulos Xbee.....	169
FIGURA N° 151: Programa X-CTU para configurar módulos XBee.....	170
FIGURA N° 152: Programa X-CTU, pestaña Modem Configuration.....	170
FIGURA N° 153: Programa X-CTU, Configuración de parámetros.....	172
FIGURA N° 154: Placa Xbee Explorer.....	173
FIGURA N° 155: Placa Arduino UNO y cable USB.....	173
FIGURA N° 156: Aplicación IDE de Arduino.....	174
FIGURA N° 157: Selección de la tarjeta Arduino.....	175
FIGURA N° 158: Botón para cargar el sketch en la tarjeta Arduino.....	175
FIGURA N° 159: Pruebas de movilidad del robot en terreno tipo bosque.....	177
FIGURA N° 160: Robot todo terreno con sus cuatro ruedas curvadas.....	178
FIGURA N° 161: Robot todo terreno atravesando obstáculos.....	179
FIGURA N° 162: Robot subiendo un terreno inclinado.....	181
FIGURA N° 163: Robot atravesando un terreno inclinado.....	182

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: Ventajas y desventajas de las conexiones de un motor de corriente continua.....	28
TABLA N° 2: Características técnicas de los servomotores.....	30
TABLA N° 3: Secuencia de control para motor bipolares.....	32
TABLA N° 4: Secuencia normal para motores unipolares.....	33
TABLA N° 5: Secuencia wave drive para motores unipolares.....	33
TABLA N° 6: Secuencia medio paso para motores unipolares.....	34
TABLA N° 7: Ventajas y desventajas de servomotores y motores paso a paso.....	36
TABLA N° 8: Comparación entre los relés y transistores.....	40
TABLA N° 9: Ventajas y desventajas de los Interruptores de contacto.....	45
TABLA N° 10: Ventajas y desventajas de sensores capacitivos e inductivos.....	47
TABLA N° 11: Ventajas y desventajas de sensores ultrasónicos.....	49
TABLA N° 12: Características de la micro cámara inalámbrica.....	53
TABLA N° 13: Características de relevantes de un Microcontrolador.....	55
TABLA N° 14: Microcontroladores más comunes en el mercado.....	56
TABLA N° 15: Características técnicas de las placas Arduino.....	59
TABLA N° 16: Tabla comparativa entre Bluetooth y Radio frecuencia.....	60
TABLA N° 17: Características principales de los módulos Xbee.....	62

TABLA N° 18: Tabla comparativa de los módulos Xbee comerciales.....	63
TABLA N° 19: Tabla comparativa de las baterías disponibles en el mercado.....	65
TABLA N° 20: Selección del Sistema de suspensión.....	76
TABLA N° 21: Selección del diferencial mecánico.....	76
TABLA N° 22: Relaciones Mecanismo Hoeken para optimizar rectitud.....	78
TABLA N° 23: Calificación de propiedades del aluminio.....	100
TABLA N° 24: Calificación de propiedades del acero.....	100
TABLA N° 25: Calificación de propiedades del duraluminio.....	101
TABLA N° 26: Calificación de propiedades del Nylon.....	102
TABLA N° 27: Diferencias entre engranes de nylon y acero.....	121
TABLA N° 28: Calificación de propiedades del Vidrio.....	132
TABLA N° 29: Calificación de propiedades del Acrílico.....	132
TABLA N° 30: Calificación de propiedades del Policarbonato.....	133
TABLA N° 31: Características de los motores de transmisión.....	146
TABLA N° 32: Características de los controladores para motor.....	147
TABLA N° 33: Características servomotores del sistema de dirección.....	149
TABLA N° 34: Características del sensor HC- SR04.....	150
TABLA N° 35: Características del acelerómetro MMA7361L.....	152
TABLA N° 36: Características de la placa ARDUINO UNO R3.....	155

TABLA N° 37: Características de la placa ARDUINO MEGA 2560 R3.....	156
TABLA N° 38: Características de la Batería a 12 VDC, 6.6 Amp- Hora.....	157
TABLA N° 39: Características de la Batería a 6 VDC, 10 Amp- Hora.....	158
TABLA N° 40: Características de la Batería a 10 VDC, 1.2 Amp- Hora.....	160
TABLA N° 41: Parámetros de direccionamiento de información.....	171
TABLA N° 42: Datos de altura de irregularidades del terreno.....	179
TABLA N° 43: Tabulación de datos de los obstáculos tipo grada.....	180
TABLA N° 44: Distancia máxima de teleoperación en línea vista.....	181
TABLA N° 45: Distancia máxima de teleoperación en interiores.....	181
TABLA N° 46: Datos de las pruebas en terreno inclinado.....	182
TABLA N° 47: Tiempo de funcionamiento del robot.....	183
TABLA N° 48: Costo de materia prima	185
TABLA N° 49: Costos de materiales del proyecto.....	185
TABLA N° 50: Costos de mano de obra y maquinado.....	188
TABLA N° 51: Gastos del proyecto.....	189
TABLA N° 52: Costo total del proyecto.....	189

RESUMEN

El presente proyecto de grado correspondiente al diseño y construcción de un robot todo terreno con el sistema de suspensión Rocker-Bogie, tiene como objetivo principal desarrollar los conocimientos relativos al diseño y tecnología necesaria para la construcción de dicho robot, comprendiendo el funcionamiento de sus dos brazos basculantes conectados mediante un mecanismo diferencial y como todo este conjunto elementos mecánicos ayudan en la navegación y movilidad del robot sobre terrenos irregulares. El diseño del robot está basado en tres sistemas principales: sistema mecánico, sistema electrónico y sistema de control, cada uno detallado con su respectivo análisis técnico o justificación. En el presente proyecto se detalla además los pasos para la construcción y montaje de las partes constitutivas del vehículo junto con un análisis de costos y gastos presentes en el durante dicho proceso. La particularidad de este vehículo explorador a parte de su sistema de suspensión es la capacidad de navegación de manera autónoma, detectando y esquivando objetos que se atravesasen en su camino, todo gracias a la programación de un microcontrolador presente en una placa Arduino, el mismo que representa el cerebro del robot. Cabe mencionar que el robot se lo manipula inalámbricamente, para lo cual adicionalmente al desarrollo técnico de este proyecto, se elabora un manual de usuario para que el operador del robot pueda manipularlo fácilmente y pueda interpretar todos los datos desplegados en la interfaz gráfica programada en el software de LabView, además de las señales luminosas localizadas tanto en el robot como las del control remoto.

Palabras clave: Robot, todo terreno, teleoperación, telepresencia, Rocker, Bogie, arduino, cámara inalámbrica, LabView.

ABSTRACT

This degree project corresponding to the design and construction of a rover robot with the system Rocker- Bogie suspension, whose main objective is to develop skills necessary for the design and construction of the robot technology, comprising the operation of its two rocker arms connected by a differential mechanism as this whole set mechanical help in navigation and robot mobility over rough terrain. The design of the robot is based on three main systems: mechanical, electronics and control system, each with its own detailed technical analysis or justification. In this project also provides steps for the construction and assembly of the component parts of the vehicle together with an analysis of costs and expenses in the present during this process. The particularity of this rover a part of your suspension system is the ability navigation autonomously detecting and avoiding objects in your way, thanks to the programming of a microcontroller present in an Arduino board, the same as represents the brain of the robot. It is noteworthy that manipulates the robot wirelessly , for which further technical development of this project, a user manual is made so that the robot operator can easily manipulate and interpret all the data displayed in the user interface programmed in the LabView plus localized light signals in both the robot and the remote.

Keywords: Robot, ATVs, teleoperation, telepresence, Rocker, Bogie, arduino, wireless camera, LabView.

CAPÍTULO 1

ROBOTS MÓVILES DE EXPLORACIÓN

Los esfuerzos de la humanidad por estudiar el espacio desde el punto de vista científico y económico se denominan exploración espacial. Estos esfuerzos involucran tanto a seres humanos viajando en naves espaciales como también a satélites y robots teleoperados enviados a otros planetas.

El planeta que más ha despertado el interés del hombre es Marte, el mismo que ha sido objeto de estudios a través de diferentes misiones con el objetivo de responder la pregunta de si hubo o hay vida en éste planeta.

En 1996, se llevó a cabo la primera misión que incluía un robot explorador llamado Sojourner, convirtiéndose en una misión exitosa que alentó a los científicos de la NASA para continuar la exploración con nuevos robots. En el 2004, la misión denominada Mars Exploration Rover que incluía el envío de dos robots idénticos fue catalogada como una de las misiones ilustres de la NASA.

Para agosto del 2012, la NASA nuevamente situó otro vehículo explorador llamado Curiosity, siendo éste más pesado y dos veces más grande que sus antecesores, y considerado como el laboratorio móvil de instrumentación avanzada más sofisticado del momento.

Los resultados científicos de estos robots han sido exitosos, lo cual muestra que las agencias aeronáuticas seguirán con el uso de robots móviles para la exploración espacial en el futuro.



Figura N° 1: Robots de la NASA.

Fuente: (MrReid, 2011)

1.1. HISTORIA DE LOS ROBOTS EXPLORADORES

- **Lunakhod:**

La primera exploración planetaria fue “Lunakhod”. Este robot (Ver Figura 2) fue enviado a la Luna por la Unión Soviética para recolectar información del terreno con el envío de fotos.

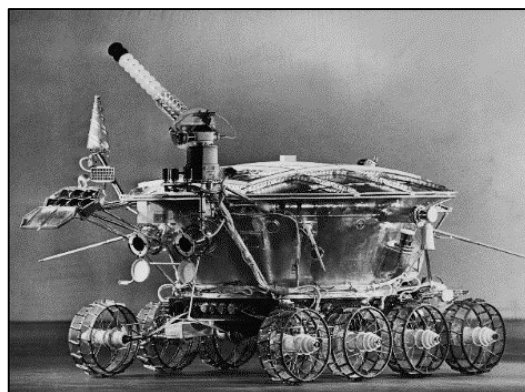


Figura N° 2: Primer robot explorador Lunakhod.

Fuente: (HuffPost Tech, 2014)

Lunarkhod fue guiado en tiempo real desde el centro espacial en Moscú, por un equipo de cinco personas durante 11 meses, alcanzando 37 kilómetros recorridos en la superficie lunar.

- **Sojourner:**

En 1996, la NASA diseñó un robot llamado Rover Sojourner (Ver Figura 3), este vehículo explorador pesaba tan solo 10 kilogramos y era del tamaño de un horno microondas. El Rover Sojourner fue lanzado a Marte con la plataforma de aterrizaje Pathfinder en diciembre de 1996.



Figura N° 3: Rover Sojourner de la NASA.

Fuente: (Amabilis, 2012)

Los operadores enviaban órdenes para examinar rocas y los componentes del suelo. La operación duro 3 meses debido a una ruptura en el sistema de suspensión de seis ruedas, el mismo que le permitía al robot superar obstáculos de hasta 1.5 veces el diámetro de la rueda.

- **Rover Inflable:**

Otra alternativa para moverse sobre una superficie irregular es tener ruedas grandes en comparación con los obstáculos. Las investigaciones de este todo terreno inflable (Ver Figura 4) mostraban que este robot era capaz de atravesar el 99% de la superficie marciana.

El robot inflable cuenta con 3 llantas de 1.5 metros de altura y cada una de ellas es impulsada por un motor. Este robot explorador era capaz de movilizarse a 30 kilómetros por hora con una potencia de 100 vatios.



Figura N° 4: Rover Inflable de la NASA.

Fuente: (Lunar, 2013)

- **Rocky 7:**

El diseño y dimensiones del Rocky 7 (Ver Figura 5) son similares a las del Sojourner. Este robot cuenta con un brazo robótico unido al cuerpo para facilitar las investigaciones y su sistema de dirección es de tipo Ackermann, disminuyendo así la complejidad en el control pero restringiendo su maniobrabilidad.



Figura N° 5: Rocky 7 de la NASA.

Fuente: (Jet propulsion Laboratory - NASA, 2013)

- **Rover SRR:**

Este robot llamado Return Rover (Ver Figura 6) fue diseñado para recoger muestras de suelo y piedras de la superficie marciana y cuenta con un sistema de suspensión activo, debido a su ángulo variable entre los vínculos. En la superficie inclinada la suspensión activa puede mantener el cuerpo principal en ángulo horizontal



Figura N° 6: Sample Return Rover SRR.

Fuente: (Massachusetts Institute of Technology, 2014)

- **Nano Rover:**

Otro ejemplo del sistema de suspensión activa es el Nano Rover (Ver Figura 7) que fue diseñado para la exploración de pequeños cuerpos celestes como los cometas y asteroides. Las pequeñas dimensiones son las ventajas de este robot. El sistema de movilidad cuenta con 4 ruedas de 6 cm de diámetro. Dado que el robot puede operar a ambos lados, el volcamiento del mismo no es problema. El ordenador a bordo puede manipular la suspensión para organizar la fuerzas de tracción.

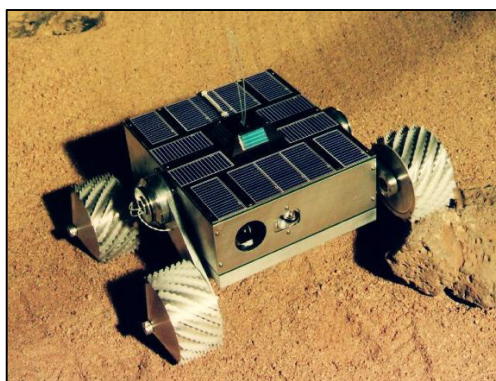


Figura N° 7: Nano Rover de la NASA.

Fuente: (Links 999, 2014)

- **Micro 5:**

Este robot japonés (Ver Figura 8) es un vehículo de 5 ruedas con un sistema de suspensión llamado Pegasus, que utiliza la quinta rueda para soportar a las ruedas restantes mientras las ruedas delanteras escalan obstáculos. Este explorador es capaz de sortear obstáculos de hasta 15 cm.



Figura N° 8: Micro5 con suspensión llamada Pegasus.

Fuente: (Meiji University, 2013)

- **Shrimp Rover:**

El Shrimp Rover (“camarón” en español) es otro vehículo de 6 ruedas diseñado por el Instituto Federal Suizo de Tecnología (Ver Figura 9). Este Rover tiene un mecanismo de 4 barras para pasar por encima de obstáculos de hasta 2 veces el tamaño de las llantas sin problemas de estabilidad.



Figura N° 9: Shrimp Rover.

Fuente: (Bluebotics, 2014)

El robot, en el medio tiene un bogie paralelogramo que equilibra las fuerzas de reacción en cada rueda y cuenta además con una rueda trasera conectada directamente al cuerpo principal que es accionada por un motor para aumentar la capacidad de escalar.

- **Mars Exploration Rover (MER):**

Es una misión llevada a cabo en el 2004 por la NASA, incluyó el envío de dos robots exploradores idénticos llamados Spirit y Opportunity (Ver Figura 10). Su principal meta científica era la búsqueda y el análisis de rocas y suelos que puedan contener pruebas de la presencia de agua en cualquier estado sobre la superficie Marciana.

Los robots median 1.6 metros de largo y un peso de 150 kilogramos y cuentan con el sistema de suspensión llamado Rocker-Bogie.



Figura N° 10: Rovers Spirit y Opportunity.

Fuente: (DLR Institute of Space Systems, 2010)

- **Mars Science Laboratory (MSL):**

Esta misión denominada como el Laboratorio Científico de Marte (MSL por sus siglas en inglés), consistió en el envío de un robot explorador llamado Curiosity (Ver Figura 11), el mismo que aterrizó exitosamente en la superficie marciana el 6 de agosto del 2012 tras aproximadamente 8 meses y medio de viaje.

Este vehículo es tres veces más pesado y dos veces más grande que sus antecesores de la misión MER y lleva consigo instrumentos científicos de última tecnología.



Figura N° 11: Rover Curiosity.

Fuente: (NASA, 2012)

1.2. ANTECEDENTES

En la actualidad a nivel internacional, los avances más importantes de la robótica móvil se los ve reflejados en las investigaciones astronáuticas para preparar las condiciones necesarias para la exploración y colonización humana. La mayoría de estos vehículos utilizan el sistema de suspensión llamado Rocker-Bogie, siendo el diseño favorito de la NASA para este tipo robots móviles exploradores.

Los robots móviles emplean diferentes sistemas de locomoción como patas, ruedas, orugas e incluso arrastrándose como los reptiles. Estos nuevos robots han sido diseñados para adaptarse a entornos no estructurados, lo cual ha ampliado de manera significativa los desafíos de la investigación de la robótica en áreas de la tele operación y modelos de navegación.

El actual estado del arte en este tipo de investigaciones, diseñando sistemas de locomoción para robots exploradores todo terreno, se basa en el conocimiento de vehículos robóticos convencionales, la intuición y la experiencia, pero difícilmente se involucra un análisis cuantitativo extenso, especialmente cuando se persigue un nuevo diseño para el robot, como en el caso del sistema de suspensión Rocker-Bogie.

La falta de métodos cuantitativos para ayudar a la robótica en el diseños de locomoción específicos, hace difícil identificar los puntos esenciales a tomar en cuenta para el diseño y en muchos casos, los rasgos en cuanto a la disposición óptima de los elementos alrededor del chasis no se los puede determinar hasta cuando el robot está totalmente desarrollado y probado.



Figura N° 12: Robot móvil de rescate.

Fuente: (Robotikka, 2012)

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Los sistemas de locomoción permiten que los vehículos se muevan, avancen a través de diferentes terrenos y alcancen sus objetivos, pero la locomoción en robótica es distinta a la locomoción tradicional ya que no solo debe cumplir con las funciones antes mencionadas, sino también debe ser controlada y fiable sin la ayuda de un operador humano.

Por otra parte, un robot dotado con cualquier sistema de locomoción debe facilitar la percepción del entorno, la operación de sensores y las comunicaciones para el control en tiempo real. Es por esto que se vuelve fundamental alcanzar un rendimiento óptimo al combinar el sistema mecánico con el sistema electrónico, y el diseño de un robot móvil, se vuelve una tarea compleja.

Hasta ahora, no existen metodologías o métricas para el diseño sistemático de las ruedas en sistemas de locomoción de los robots móviles, siendo una fase del diseño prácticamente inexplorada y a pesar de su importancia para el éxito del funcionamiento del robot, no se encuentra suficiente información por lo que, el diseño del sistema de locomoción para robots, se encuentra en un área de la robótica poco explorada que carece de métodos racionales para predecir el rendimiento de la movilidad.

Es por esto que en esta tesis, se tiene como objetivo generar conocimiento y experiencia en el área de la robótica móvil, específicamente en la locomoción de un robot explorador, dotado con un sistema de suspensión llamado Rocker-Bogie para analizar su funcionamiento y determinar los aspectos más relevantes de la locomoción en un robot todo terreno.

Una motivación adicional es que el proyecto aportará a la investigación científica y tecnológica de la Universidad, ayudando de esta manera a dar una visión dinámica

de los proyectos que se desarrollan dentro de la misma en las diferentes áreas de estudio, aportará didácticamente a la comprensión de mecanismos y de las distintas aplicaciones de los robots móviles, fomentará la innovación, la creatividad entre los alumnos y será útil para despertar y generar vocación en nuevos estudiantes.

1.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

En el presente proyecto se desarrollará un robot todo terreno teleoperado inalámbricamente, el mismo que está compuesto de una parte mecánica, una parte electrónica, otra de control y software.

Se pretende diseñar toda la estructura y elementos del sistema Rocker-Bogie, incluyendo selección de materiales y herramientas para la fabricación de partes, junto con un detallado proceso de mecanizado. Se utilizarán también sensores ultrasónicos que enviarán la señal hacia el sistema de control, donde estas serán procesadas y se ejecutará señales hacia los actuadores, que para este caso serán los motores DC y servomotores.

Así mismo, el robot contará con un dispositivo de visión y un módulo de comunicación inalámbrica para tele operarlo desde un punto remoto. A continuación se detallan los diferentes sistemas y partes del robot.

- **Sistema mecánico:**

El sistema mecánico, es la parte más importante del robot para que éste sea capaz de atravesar y movilizarse por terrenos de difícil acceso. El mecanismo cuenta con un sistema de suspensión llamado Rocker-Bogie, el mismo que cuenta con algunas juntas basculantes o de pivotaje como se muestra en las siguientes figuras.

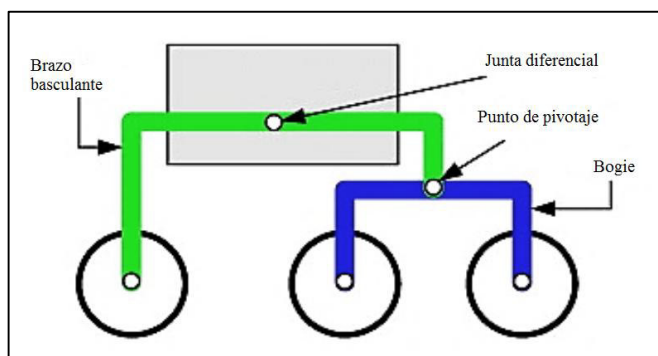


Figura N° 13: Sistema de suspensión Rocker-Bogie.

Fuente: (Sciencedirect, 2013)

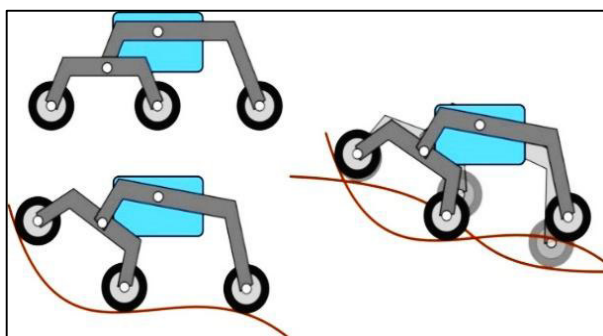


Figura N° 14: Funcionamiento del Sistema Rocker-Bogie.

Fuente: (Facepunch, 2014)

- **Sistema eléctrico / electrónico:**

Consta de 6 motores de corriente continua para el sistema de tracción y 4 servomotores para la dirección, permitiendo así que el robot puede girar en el mismo lugar sin desplazarse en ninguna dirección; la parte electrónica posee también controladores para los motores, un microcontrolador, sensores para detectar la presencia de obstáculos y la alimentación será a través de baterías.

Otros dispositivos electrónicos que se emplearán son, una cámara inalámbrica que se encargará de transmitir el video y audio desde el robot hasta una estación de control remota y un módulo de comunicación inalámbrica Xbee que utiliza un protocolo de comunicación llamado Zigbee, basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE_802.15.4.

Estos dispositivos reciben señales para luego decodificarlas en señales digitales y transmitir las a un microcontrolador para que las procese y emita señales de control. Gracias a estos dos dispositivos, un operador puede monitorear y tomar decisiones sobre el robot sin la necesidad de medios alámbricos en cualquier momento.

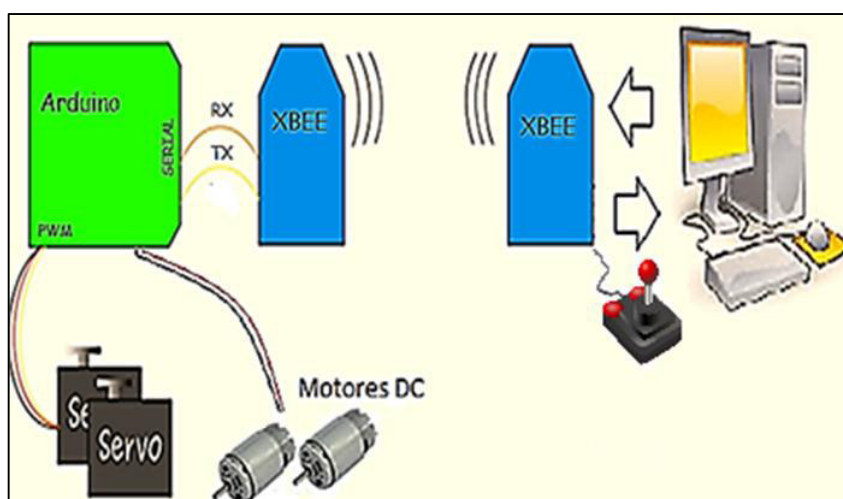


Figura N° 15: Comunicación inalámbrica con Xbee.

- **Sistema de control:**

El robot será comandado por un microcontrolador, el mismo que recibirá señales de los sensores y las procesará para luego ejecutar acciones correspondientes en los actuadores del robot respetando sus movimientos y las acciones para las cuales fue diseñado.

Los motores poseen suficiente torque y velocidad para ayudar en la movilidad del robot y estos estarán controlados por señales de PWM y sincronizados desde el sistema de control.

Con la ayuda del software LabView, se programará una estación de monitoreo conocida también como Interfaz Humano Máquina (HMI por sus siglas en inglés), donde el operador podrá visualizar la imagen transmitida por la cámara inalámbrica en tiempo real, lo cual, le permitirá al operador manipular el robot a distancia gracias a un conjunto de tecnologías que hacen posible la tele presencia. La tele presencia hace que el operador se sienta como si estuviese presente en un lugar distinto al de su verdadera ubicación.

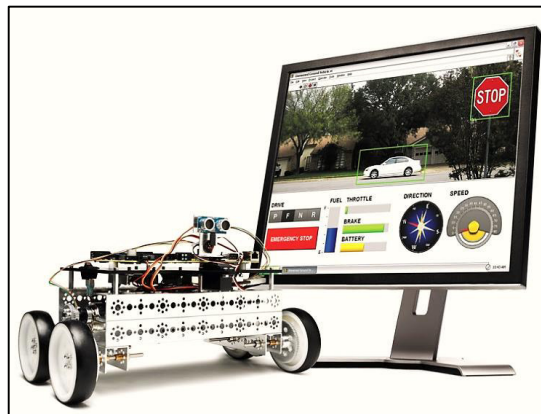


Figura N° 16: LabView para Robótica.

Fuente: (UBM Tech, 2010)

1.5. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar los conocimientos relativos al diseño y la tecnología necesaria para la construcción de un robot todo terreno con el sistema Rocker-Bogie que sea teleoperado inalámbricamente con fines investigativos enfocado a su movilidad.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar de los mecanismos adecuados y de óptimo funcionamiento para que el robot pueda movilizarse por un terreno boscoso e irregular.
- Diseñar un programa de control determinando la mayor cantidad de posibilidades que pueden suscitarse en la operación del robot para un correcto funcionamiento del mismo al momento de cumplir sus funciones.
- Manufacturar el robot según los esquemas y estudios previamente realizados, adquiriendo conocimiento y experiencia en la forma de construirlo.
- Verificar el correcto funcionamiento del robot con todos los requerimientos propuestos.
- Dotar de un robot al laboratorio de robótica para fines académicos, futuras investigaciones, adecuaciones y mejoras técnicas facilitando así un punto de inicio a futuros proyectos.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detalla de manera general los fundamentos básicos más importantes de los sistemas que forman parte del proyecto.

2.1. FUNDAMENTOS BÁSICOS

2.1.1. SISTEMA MECÁNICO

2.1.1.1. Mecanismo

Es una combinación de elementos conectados entre sí por medio de articulaciones móviles que forman circuitos cerrados con elementos o eslabones fijos cuyo propósito es transmitir el movimiento (Miranda, 2003).

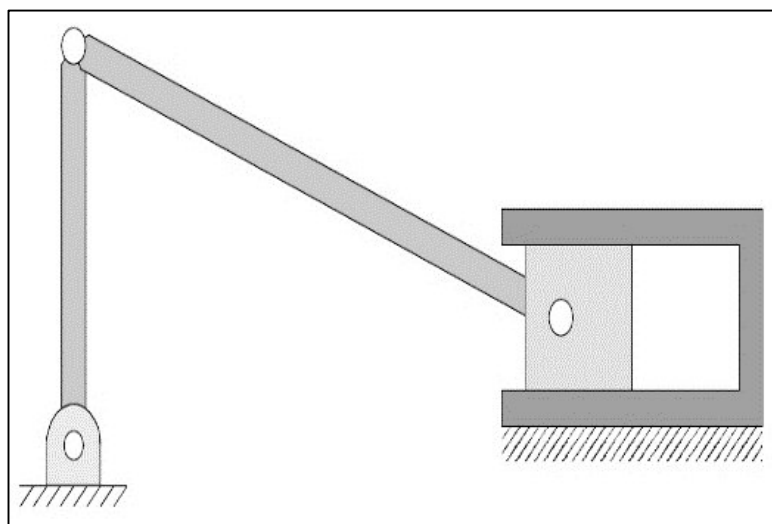


Figura N° 17: Mecanismo Manivela-Corredera.

Fuente: (Miranda, 2003)

- **Mecanismos generadores de línea recta:**

Una aplicación muy común en los mecanismos es la generación de líneas rectas aproximadas o exactas. Estos mecanismos se han utilizado desde el siglo XVII, siendo los más importantes, el mecanismo de Watt, Chebyshev, Kempe, Evans y Hoeken (Norton, 1999).

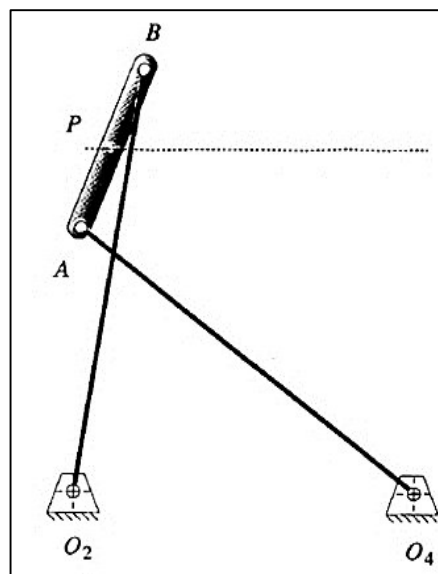


Figura N° 18: Mecanismo de Chebyshev.

Fuente: (Norton, 1999)

2.1.1.2. Bogie

Bogie es un conjunto de dos o tres pares de ruedas montadas sobre ejes paralelos que se utilizan en ambos lados de vehículos de gran longitud, además soportan el chasis principal a través de un eje vertical. Este mecanismo es característico, en vehículos que circulan por rieles.

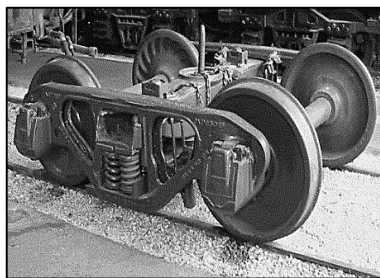


Figura N° 19: Bogie.

Fuente: (Mecasub, 2013)

2.1.1.3. Diferencial Mecánico

Un diferencial es un elemento mecánico que permite que las ruedas de la derecha e izquierda de un vehículo giren a revoluciones diferentes, según éste se encuentre tomando una curva hacia un lado o hacia el otro. El diferencial mecánico montado sobre el robot a diseñarse, tiene una función diferente, ya que este hace girar al cuerpo principal del robot un ángulo promedio generado entre los ejes basculantes. Si uno de los ejes basculantes del robot sube, el otro baja debido a la fuerza transmitida por el diferencial.

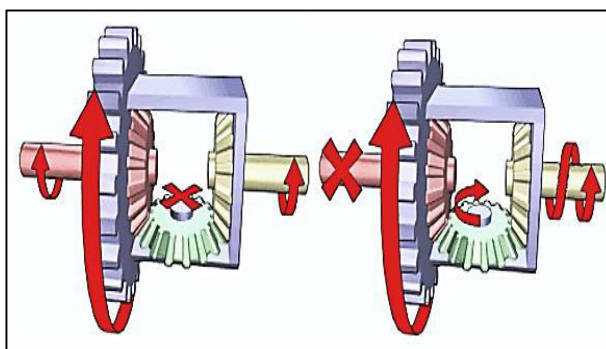


Figura N° 20: Diferencial Mecánico.

Fuente: (Turbo RC, 2008)

2.1.1.4. Sistema de suspensión Rocker-Bogie

El sistema de suspensión Rocker-Bogie cuenta con mecanismo conformado por un bogie y un eje basculante o balancín (rocker en inglés), los mismos que están conectados al chasis del vehículo por medio de un diferencial mecánico como se muestra en la Figura 22.

Un extremo del eje basculante está equipado con una rueda y el otro extremo hace pivotar un bogie.

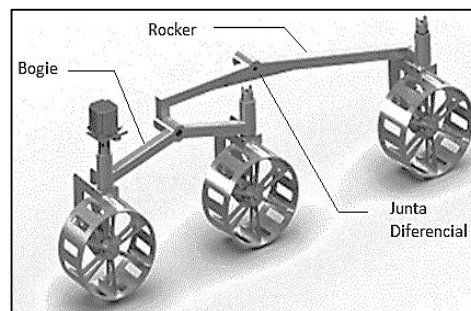


Figura N° 21: Rocker-Bogie.

Fuente: (Iowa State University, 2013)

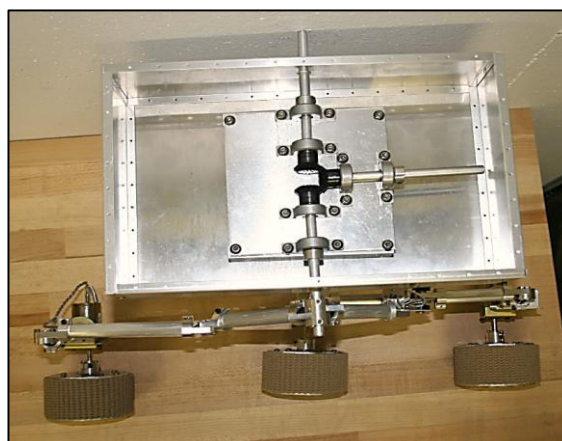


Figura N° 22: Adaptación del mecanismo Rocker-Bogie.

Fuente: (Beatty Robotics, 2011)

2.1.1.5. Engranés

Existen cuatro tipos de engranes: rectos, helicoidales, cónicos y sinfín. Los engranes sirven para transmitir movimiento y fuerza suministrando momentos torsionales a los ejes (J.Keith., 2001).

- **Tipos de engranes:**

- Engranés rectos:

Estos engranes tienen dientes paralelos al eje de rotación y se emplean para transmitir movimiento de un eje a otro eje paralelo.

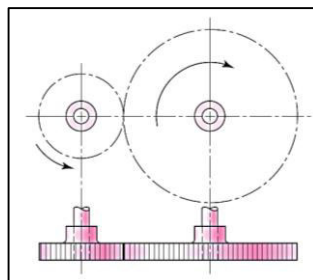


Figura N° 23: Engranés rectos.

Fuente: (Norton, 1999)

- Engranés helicoidales:

Este tipo de engranes poseen dientes inclinados con respecto al eje de rotación y se utilizan para las mismas aplicaciones que los engranes rectos, con la diferencia que no son tan ruidosos, debido al engranado más gradual de los dientes durante el acoplamiento.

Así mismo, el diente inclinado desarrolla cargas de empuje y pares de flexión que no están presentes en los engranes rectos.

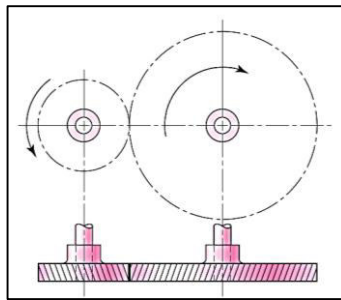


Figura N° 24: Engranes helicoidales.

Fuente: (Norton, 1999)

o Engranes Cónicos:

Estos engranes tienen los dientes formados en superficies cónicas y se emplean principalmente para transmitir movimiento entre ejes que se intersecan. Estos engranes pueden tener dientes rectos o en espiral.

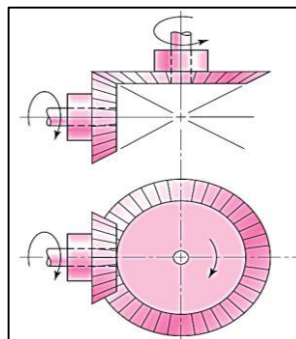


Figura N° 25: Engranes cónicos.

Fuente: (Norton, 1999)

- Tornillo sinfín o de gusano:

Este tipo de engrane tiene la forma de un tornillo como se puede apreciar en la Figura 26.

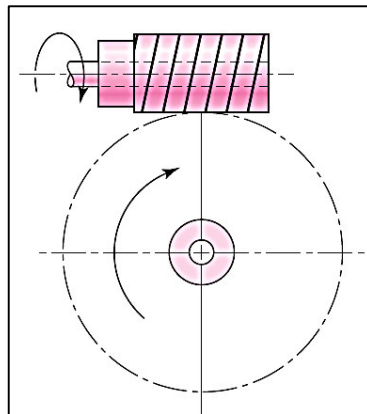


Figura N° 26: Tornillo sinfín.

Fuente: (Norton, 1999)

2.1.1.6. Dirección mecánica en robots

Es de suma importancia la capacidad de maniobra de un robot para evitar obstáculos y navegar a través de entornos de trabajo desordenados. La configuración del sistema de dirección tiene una contribución específica a la locomoción general, debido a su impacto directo en las capacidades de posicionamiento y de navegación del robot.

- **Esquemas de dirección robóticos:**

Los esquemas de dirección más comunes dentro de los robots móviles son:

- Derrape:

No hay dirección explícita de los ejes de las ruedas, la dirección mediante el derrape se lo hace mediante el control de la velocidad de cada ruedas en los lados opuestos del chasis. La diferencia de velocidades entre las dos partes, define el radio de giro y afecta el consumo de energía.

Si se tiene un chasis simétrico, y las dos ruedas están accionadas a igual velocidad pero opuestas, el robot girará en un mismo punto, ya que el centro de giro coincide con el centro geométrico. Este atributo es muy útil para robots autónomos que operan en terrenos accidentados, con espacios de giro limitados.

- Dirección articulada:

La dirección articulada consiste en una partición del chasis y las ruedas unidas a un punto de pivotaje.

La junta articulada puede ser accionada o pasiva (sin motores). En una configuración pasiva, la acción de dirección se consigue mediante el bloqueo de las ruedas del chasis de una de las partes para poder accionar las ruedas de la otra partición y conseguir que esta gire.

La maniobrabilidad de un robot con una dirección articulada aumenta significativamente, pero la complejidad del sistema de dirección también aumenta.

- Dirección coordinada:

Este tipo de dirección consta de un acoplamiento mecánico que se utiliza para sincronizar el giro de dos o más ruedas sujetas a la geometría del mecanismo. LA dirección de Ackermann es conocida por su amplio uso en el transporte comercial y es un ejemplo de la dirección coordinada

○ Dirección independiente:

La dirección independiente es aquella en la que cada rueda es dirigida de forma explícita. Este tipo de dirección permite el cambio de rumbo mediante la modulación electrónica del posicionamiento angular de los motores.

Además de las cuestiones de complejidad y precisión del control de la coordinación de los actuadores, este esquema proporciona grandes ventajas a la capacidad de maniobra de los robots móviles, especialmente cuando operan en terrenos no preparados.

Una de las principales ventajas de este sistema de dirección es cuando las cuatro ruedas giran en el mismo ángulo y en la misma dirección permitiendo al robot posicionarse en cualquier dirección (Ver Figura 27).

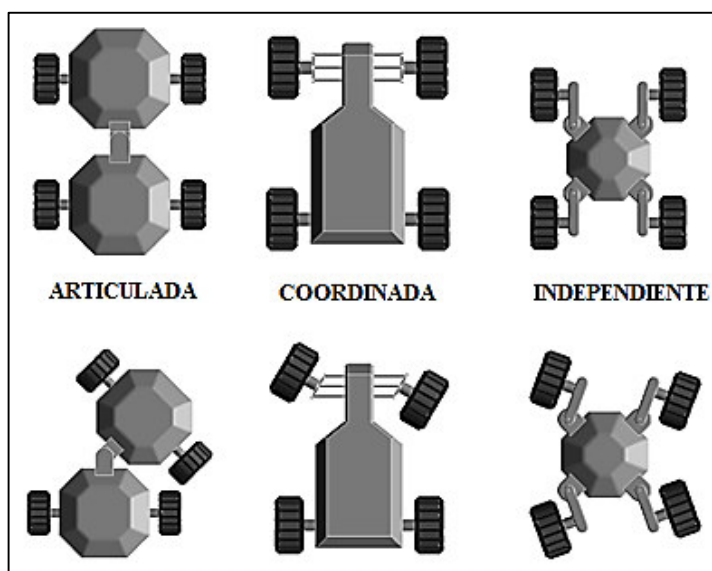


Figura N° 27: Geometrías de dirección.

Fuente: (Apostolopoulos, 2001)

2.1.2. SISTEMA ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO

2.1.2.1. Motores de corriente continua

Existen dos tipos de motores eléctricos y son: los motores de corriente continua y motores de corriente alterna. Ambos motores eléctricos, convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Un motor eléctrico combina las ventajas de la utilización de la energía eléctrica (bajo costo), facilidad de transporte, limpieza y simplicidad de comando con su construcción simple, costo reducido, gran versatilidad de adaptación a las cargas más diversas y mejores rendimientos.

Los motores de corriente continua son motores con un costo más elevado que los motores de corriente alterna ya que precisan de una fuente de corriente continua o un dispositivo que convierta la corriente alterna en continua; Debido a que el robot utilizará baterías para la alimentación del circuito electrónico y estas baterías son una fuente de corriente continua, los motores a emplear en el robot serán motores de corriente continua, y el principal motivo de haber seleccionado estos motores es debido a que se requiere controlar y sincronizar la velocidad y giro de los motores de manera adecuada y óptima. Estos motores pueden funcionar con velocidad ajustable entre amplios límites y se prestan a controles de gran flexibilidad y precisión, es por esto, el uso de los motores de corriente continua está enfocado para casos especiales donde las exigencias de presión compensan el costo alto de su instalación.

El principio de funcionamiento de los motores eléctricos de corriente continua se basa en la repulsión que ejercen los polos magnéticos de un imán permanente cuando, de acuerdo con la Ley de Lorentz, interactúan con los polos magnéticos de un electroimán que se encuentra montado en un eje.

Este electroimán se denomina “rotor” el mismo que gira libremente entre los polos magnéticos norte y sur del imán permanente llamado “estator” situado dentro de la carcasa o cuerpo del motor.

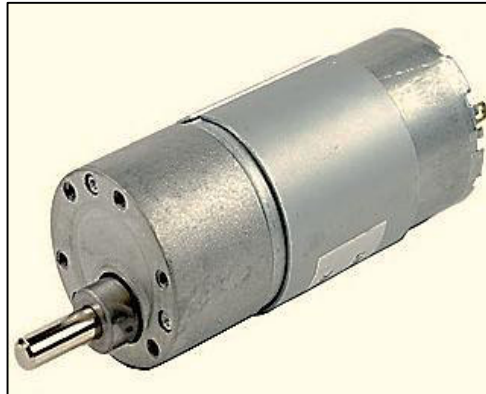


Figura N° 28: Motor de corriente continua.

Fuente: (Super Robótica, 2014)

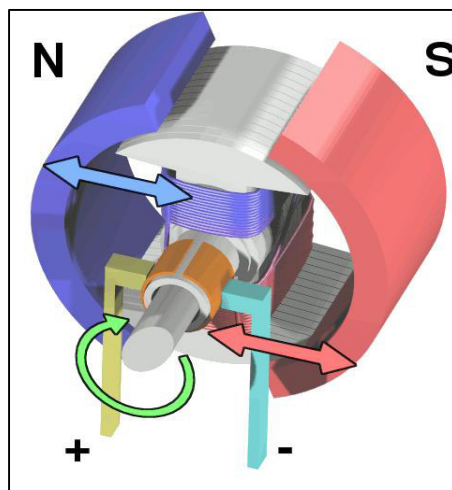


Figura N° 29: Rotor y estator de un Motor de corriente continua.

Fuente: (Universidad de Sevilla, 2012)

Los motores de corriente continua se clasifican según como estén conectados para su funcionamiento: motor serie, motor compuesto, motor shunt o derivación en paralelo y motor de excitación independiente. Las principales ventajas y desventajas de cada tipo de conexión se describen en la Tabla 1 a continuación:

Tabla N° 1:

Ventajas y desventajas de las conexiones de un motor de corriente continua.

Conexión	Ventajas	Desventajas
Serie	Elevado par de arranque	Se dispara en vacío
Derivación	Más estable que el serie	Par de arranque débil
Compuesto	Rango de velocidad amplio con par constante	
Excitación Independiente	Par constante	Dos fuentes de alimentación

Por otro lado, también existen otros tipos de motores de corriente continua empleados en la electrónica tales como: el motor paso a paso, el servomotor y el motor sin núcleo.

- **Servomotores:**

El servomotor es un motor eléctrico que puede ser controlado tanto en velocidad como en posición. El servomotor puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Son motores pequeños pero muy poderosos para su tamaño ya que cuentan internamente con un juego de engranes y piñones.

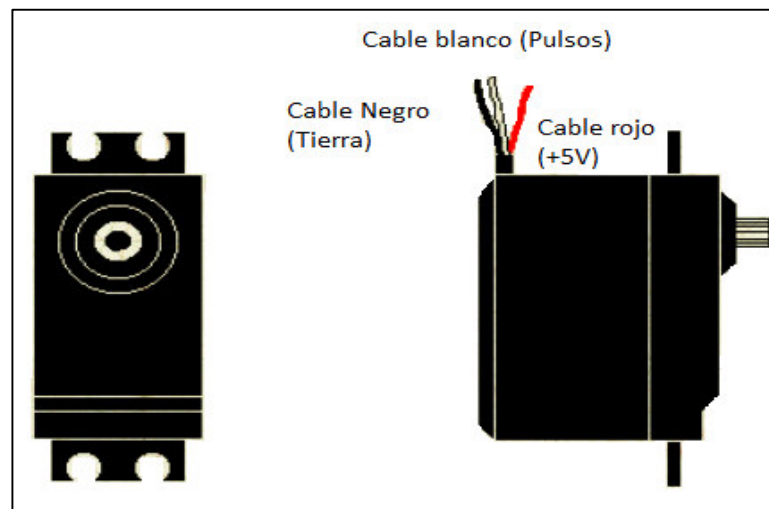


Figura N° 30: Servomotor.

Fuente: (Info-ab, 2010)

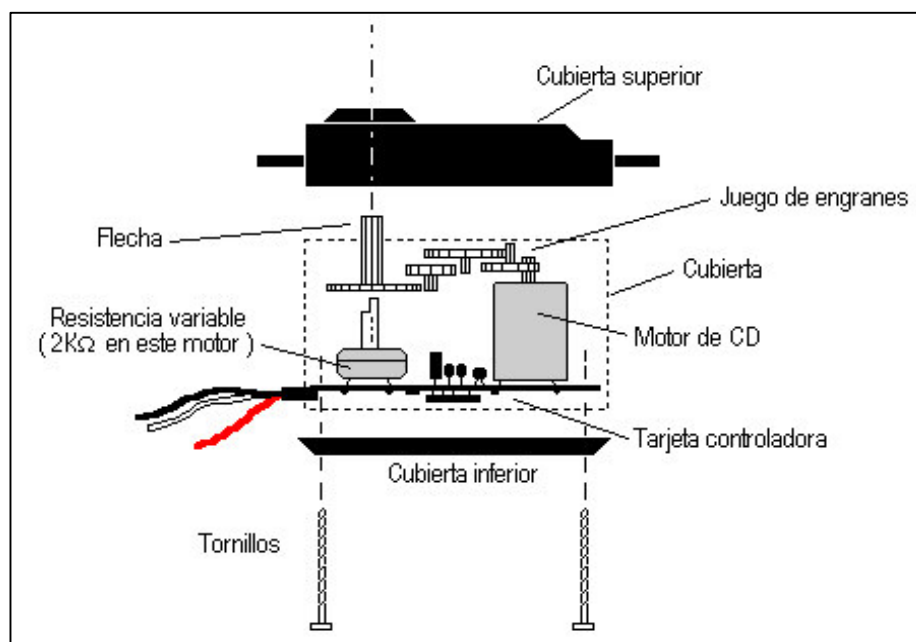


Figura N° 31: Estructura interna del Servomotor.

Fuente: (Monografías, 2010)

Los servomotores tienen un consumo de energía reducido, ya que estos aplican una potencia proporcional a la carga mecánica. En su interior cuentan con un circuito de

control o tarjeta electrónica con un potenciómetro que anteriormente solo permitía el giro del eje del motor en 180 grados, sin embargo, hoy día existen servomotores en los cuales se puede controlar la posición y velocidad en los 360 grados.

○ **Principio de funcionamiento de un servomotor:**

El servomotor tiene tres cables de conexión eléctrica: Vcc, GND y el cable de control. Para controlar un servo se debe enviar una serie de pulsos, y el ángulo en el cual este se posicionará depende del ancho de pulso de la señal enviada como se indica a continuación: 1ms = 0 grados, 2ms = Máximo grado (cerca de 120 grados) y cualquier valor entre ellos da un ángulo de salida proporcional. Dado que existen pequeñas diferencias entre algunos fabricantes, en la Tabla 2 se detallan algunas características técnicas de varias casas comerciales de estos motores.

Tabla N° 2:

Características técnicas de los servomotores.

Fabricante	Duración del Pulso (ms)			Frec. (Hz)	Color de cables		
	0°	90°	180°		(+)	(-)	Control
Futaba	0.9	1.5	2.1	50	Rojo	Negro	Blanco
Hitech	0.9	1.5	2.1	50	Rojo	Negro	Amarillo
Graupner	0.8	1.5	2.2	50	Rojo	Marrón	Naranja
Multiplex	1.05	1.6	2.15	40	Rojo	Negro	Amarillo
Robbe	0.65	1.3	1.95	50	Rojo	Negro	Blanco
Simprop	1.2	1.7	2.2	50	Rojo	Azul	Negro

- **Motores paso a paso:**

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique.

Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° . Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras localizadas en su estator.

Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente y toda la conmutación debe ser manejada por un controlador.

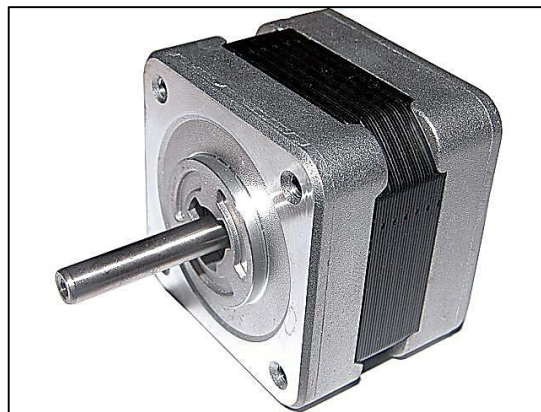


Figura N° 32: Motor paso a paso.

Fuente: (Super Robótica, 2014)

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente, bipolares y unipolares.

Los motores bipolares generalmente tienen 4 cables de salida y necesitan ciertos trucos para ser controlados debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Los motores Unipolares suelen tener 5 o 6 cables de salida, dependiendo de su conexión interna y este tipo de motores se caracteriza por ser más simple de controlar.

○ **Principio de funcionamiento de un motor paso a paso:**

Como se dijo anteriormente, estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida. A continuación se puede ver la Tabla N° 3 con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo Bipolares:

Tabla N° 3:

Secuencia de control para motores bipolares

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Para manejar motores paso a paso unipolares, existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, las cuales se detallan a continuación.

Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final. Para revertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso.

- Secuencia normal:

Tabla N° 4:

Secuencia normal para motores unipolares

PASO	BOBINA A	BOBINA B	BOBINA C	BOBINA D
1	ON	ON	OFF	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON
4	ON	OFF	OFF	ON

- Secuencia tipo Wave drive:

Tabla N° 5:

Secuencia wave drive para motores unipolares

PASO	BOBINA A	BOBINA B	BOBINA C	BOBINA D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	ON	OFF	OFF	ON

- Secuencia de medio paso:

Tabla N° 6:

Secuencia medio paso para motores unipolares

PASO	BOBINA A	BOBINA B	BOBINA C	BOBINA D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	OFF	OFF
4	OFF	ON	ON	OFF
5	OFF	OFF	ON	OFF
6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON

Cabe destacar que debido a que los motores paso a paso son dispositivos que deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. Si la frecuencia de pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar de las siguientes formas: no realizar ningún movimiento en absoluto, puede comenzar a vibrar pero sin girar, puede girar erráticamente, o puede llegar a girar en sentido opuesto.

- **Identificación de cables de los motores paso a paso:**

Para identificar las bobinas de un motor paso a paso bipolar (bobinas A, B, C, y D) se debe aplicar un voltaje (generalmente 12 Voltios) al cable común y manteniendo uno de los otros cables a tierra mientras vamos poniendo a tierra cada uno de los demás cables de forma alternada y observando resultados. Seleccionamos un cable y lo conectamos a tierra. Ese será el cable llamado cable A, manteniendo el cable A conectado a masa, probar cuál de los cables restantes provoca un paso en sentido anti horario al ser conectado también a tierra. Ese será el cable B. Manteniendo del cable A conectado a tierra, probar cuál de los cables restantes provoca un paso en sentido en horario al ser conectado a tierra. Ese será el cable D. El último cable debería ser el cable C. Para comprobarlo, basta con conectarlo a tierra y no debería provocar movimiento alguno debido a que es la bobina opuesta a la A.

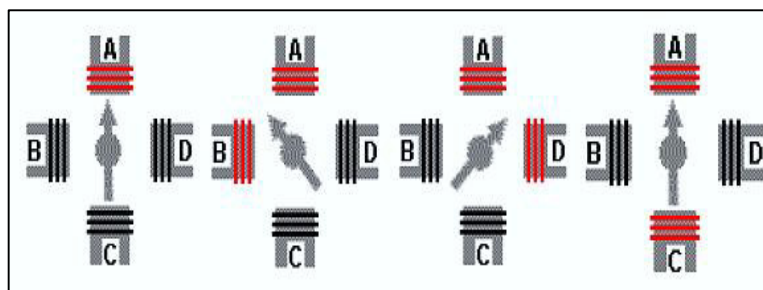


Figura N° 33: Identificación de cables para motores paso a paso unipolares.

Para el caso de motores paso a paso bipolares la identificación es más sencilla. Simplemente tomando un multímetro en modo óhmetro podemos hallar los pares de cables que corresponden a cada bobina, debido a que entre ellos deberá haber continuidad. Luego solo deberemos averiguar la polaridad de la misma, la cual se obtiene fácilmente probando. Es decir, si conectado de una manera no funciona,

simplemente damos vuelta los cables de una de las bobinas y entonces ya debería funcionar correctamente.

- **Ventajas y desventajas de un servomotor y de un motor paso a paso:**

Tabla N° 7:

Ventajas y desventajas de servomotores y motores paso a paso.

SERVOMOTOR	MOTOR PASO A PASO
VENTAJAS	
Alto rendimiento	Estable
Control en lazo cerrado	Control en lazo abierto
Alto torque	Bajo costo
Potencia proporcional a la carga	Fácil uso y manejo
Silencioso	Seguro
Operación libre de vibración	Excelente torque a baja velocidad
Alto torque a altas velocidades	Longevidad
DESVENTAJAS	
Costo relativamente alto	Baja eficiencia
Requiere calibración	Torque decae con la velocidad
Mayor complejidad de construcción	Propenso a problemas de resonancia
Sobrecarga dañan el motor	Perdida de pasos
Engranajes para alto torque	Recalentamiento

2.1.2.2. Control de velocidad de motores de corriente continua

La velocidad mecánica de un motor de corriente continua es directamente proporcional al voltaje en su terminal e inversamente proporcional al flujo magnético, el cual a su vez depende de la corriente.

Aprovechando esta situación se puede controlar la velocidad del motor modificando la tensión eléctrica, o interponiendo una resistencia eléctrica, pero ninguna de estas técnicas es la más eficiente, ya que con la primera disminuye el par motor y con una resistencia eléctrica se pierde energía en forma de calor, por lo que el método más empleado es la modulación por ancho de pulsos.

- **Modulación por ancho de pulsos:**

La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de Pulse Width Modulation), es una señal en la cual se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

Es una técnica utilizada para regular la velocidad de giro de los motores eléctricos manteniendo el par de torsión constante y consiste en un momento alto (encendido o alimentado) y un momento bajo (apagado o desconectado), controlado normalmente por relevadores (baja frecuencia) o MOSFET o tiristores (alta frecuencia). La modulación por ancho de pulsos también se usa para controlar servomotores, los cuales modifican su posición de acuerdo al ancho del pulso enviado cada un cierto período que depende de cada servo motor

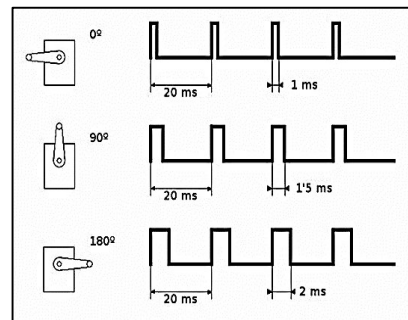


Figura N° 34: Generación de pulsos para un Servomotor.

Fuente: (Ardumanía, 2014)

2.1.2.3. Control del sentido de giro de un motor corriente continua

Existen varias formas de lograr que estos motores inviertan su sentido de giro empleando circuitos integrados y elementos discretos tales como relés y transistores.

- **Control de giro con elementos discretos:**

Para lograr que los motores de corriente continua inviertan su giro, una de las maneras más sencillas es mediante una fuente simétrica o dos fuentes de alimentación con un interruptor simple de 2 contactos y la otra forma es mediante una fuente común con un interruptor doble de 4 contactos.

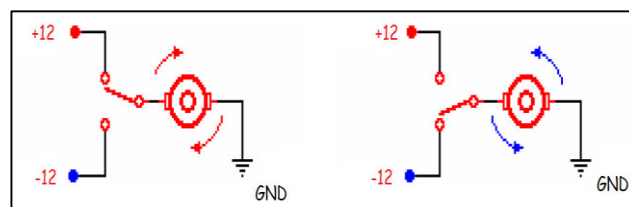


Figura N° 35: Giro del motor mediante una fuente simétrica e interruptores.

Fuente: (Luis, 2009)

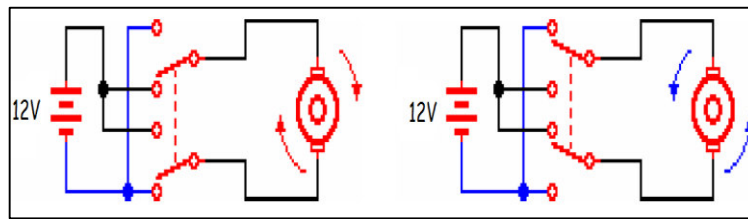


Figura N° 36: Giro del motor mediante fuente simple e interruptores.

Fuente: (Luis, 2009)

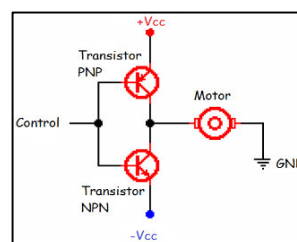


Figura N° 37: Giro del motor mediante transistores con una fuente simétrica.

Fuente: (Luis, 2009)

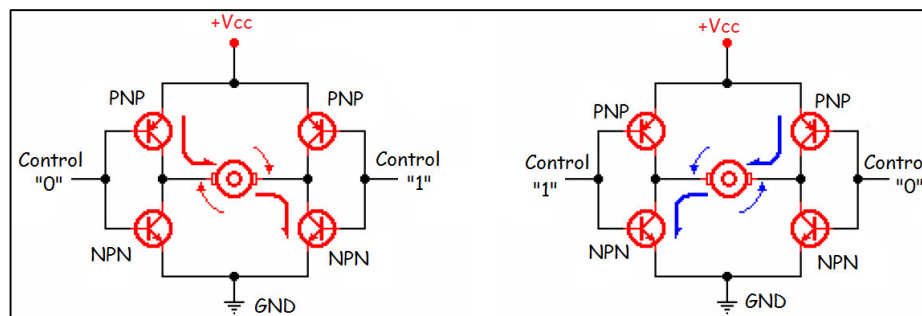


Figura N° 38: Giro del motor mediante transistores con fuente simple.

Fuente: (Luis, 2009)

A continuación se detalla una tabla comparativa entre los relés y transistores indicando ciertas ventajas y desventajas que se deben considerar al momento de implementar un circuito para el control de giro de un motor.

Tabla N° 8:

Comparación entre los relés y transistores

ELEMENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Relé	Robustos	Respuesta lenta
	Aislamiento de circuitos	Desgaste mecánico
	Económico	Voltaje de control
	Funcionamiento simple	y voltaje de potencia
	Voltajes AC- DC	
Transistor	Larga Vida	Solo corriente directa
	Respuesta rápida	Temperatura limitada
	Amplificación de señal análoga	No brindan aislamiento
		Mayor costo

El circuito implementado mediante transistores y una fuente simple, son conocidos como puente en H o H-Bridge, en realidad son más complejos, pero esta es la base del funcionamiento de los Drivers para motores.

El puente H es un circuito electrónico que permite a un motor de corriente continua girar en ambos sentidos, avance y retroceso. El término puente H, proviene de la típica representación gráfica del circuito.

Un puente H se constituye con 4 interruptores (mecánicos o electrónicos). Cuando los interruptores S1 y S4 están cerrados y S2 y S3 están abiertos se aplica una tensión positiva al motor, haciéndolo girar en un sentido.

Abriendo los interruptores S1 y S4, y cerrando S2 y S3, el voltaje se invierte permitiendo al motor girar en el otro sentido.

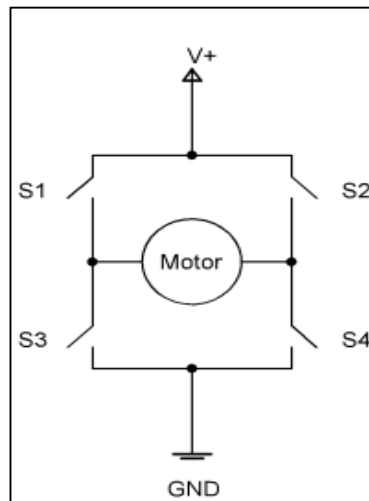


Figura N° 39: Circuito electrónico Puente H.

Fuente: (Robots Perú, 2010)

- **Control de giro mediante circuitos integrados:**

Los circuitos integrados, son otra alternativa para el control de giro de un motor de corriente continua. Estos drivers facilitan el diseño electrónico debido a que en su interior pueden alojar varios circuitos de Puente H. Los circuitos integrados más comerciales son: UCN5804, BA6286, L293B, L293D, L297, L298, ULN2808 y el ULN2003. De estos circuitos integrados, el más conocido es el L293, el mismo que dispone de cuatro canales y tiene las siguientes características: cada canal es capaz de entregar 1 A de corriente, posee una entrada independiente de alimentación para los motores, el control es compatible con señales TTL (5 voltios) y cada uno de los 4 canales puede ser activado de forma independiente con su terminal de entrada o habilitado de dos o en dos con un solo terminal (Enable).

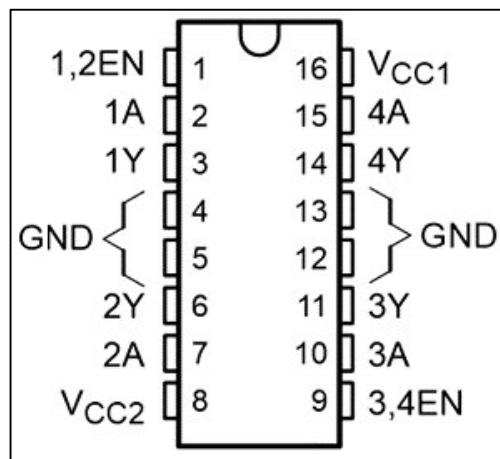


Figura N° 40: Circuito Integrado L293.

Fuente: (Texas Instruments, 2004)

En la Figura 41 se muestra el funcionamiento lógico, donde la entrada 1,2EN habilita dos de los canales de este integrado cuando se encuentra a nivel H (alto), de tal modo que la salida Y_n tomara el valor de entrada A_n .

Por otro lado el valor de la salida quedará en alta impedancia Z si el terminal 1,2EN se encuentra a nivel bajo L, deshabilitando las entradas, sin importar su valor.

INPUTS†		OUTPUT Y
A	EN	
H	H	H
L	H	L
X	L	Z

Figura N° 41: Lógica de funcionamiento para el driver L293.

Fuente: (Texas Instruments, 2004)

Los pines V_{cc1} y V_{cc2} son los pines de alimentación, donde V_{cc1} es para los 4 terminales de control y V_{cc2} puede tomar valores hasta 36 voltios para accionar los motores.

Para manejar corrientes relativamente altas desde (9 a 25 Amperios), se debe emplear circuitos electrónicos más complejos, conocidos con el nombre de “drivers” o controladores, que cuentan con transistores Mosfet como el IR7862 y circuitos integrados para implementar los circuitos electrónicos en Puente H; Debido a las corrientes altas y al calor que estas pueden generar, algunos constructores de estos controladores o drivers incluyen dispositivos disipadores del calor.

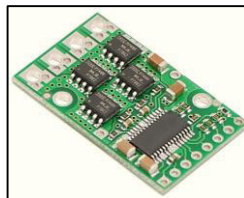


Figura N° 42: Driver de motores de corriente continua de 9A.

Fuente: (BricoGeek, 2005)

Las principales características de estos transistores Mosfet son: bajo consumo de voltaje y corriente, baja impedancia eléctrica, soportan corrientes y voltajes elevados, poco peso, cuentan con diodos de protección por lo que son muy útiles para emplearlos en robots y no contienen elementos nocivos como el plomo.

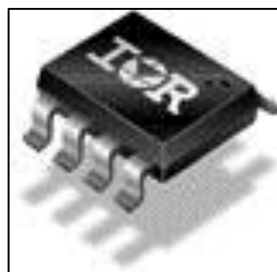


Figura N° 43: Transistor Mosfet IR7862.

Fuente: (OctoPart, 2006)

2.1.2.4. Sensores de proximidad y presencia

Un sensor de proximidad es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del elemento sensor. Existen varios tipos de sensores de proximidad según el principio físico que utilizan. Los más comunes son los interruptores de posición, los detectores capacitivos, los inductivos y los fotoeléctricos y los ultrasónicos.

- **Interruptores de posición:**

Dentro de los componentes electrónicos, se encuentra el final de carrera o sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite" o Switch), son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA o NO en inglés), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados, de ahí la gran variedad de finales de carrera que existen en mercado.



Figura N° 44: Interruptor de posición.

Fuente: (BricoGeek, 2005)

Tabla N° 9:

Ventajas y desventajas de los Interruptores de contacto

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fácil instalación	Velocidad de detección
Robustez	Posibilidad de rebotes
Soporta altas tensiones	Requieren fuerza de actuación

- **Sensores capacitivos:**

Los sensores capacitivos son un tipo de sensor eléctrico. Estos sensores reaccionan ante metales y no metales que al aproximarse a la superficie activa sobrepasan una determinada capacidad. La distancia de conexión respecto a un determinado material es tanto mayor cuanto más elevada sea su constante dieléctrica. El sensor está formado por un oscilador cuya capacidad la forman un electrodo interno y otro externo conectado a masa. El electrodo externo puede estar realizado de dos modos diferentes; en algunas aplicaciones dicho electrodo es el propio objeto a sensar, entonces la capacidad en cuestión variará en función de la distancia que hay entre el sensor y el objeto. En otras aplicaciones se coloca una masa fija y, entonces, el cuerpo a detectar utilizado como dieléctrico se introduce entre la masa y la placa activa.



Figura N° 45: Sensor Capacitivo.

Fuente: (Fpm, 2011)

- **Sensor Inductivo:**

Los sensores inductivos sirven para detectar materiales metálicos ferrosos. Son de gran utilización en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos en un determinado contexto: detección de paso, de atasco, de codificación y de conteo.

Los sensores de proximidad inductivos contienen un devanado interno. Cuando una corriente circula por el mismo, un campo magnético se genera, y cuando un objeto se acerca a este campo magnético, la inductancia del sensor cambia.

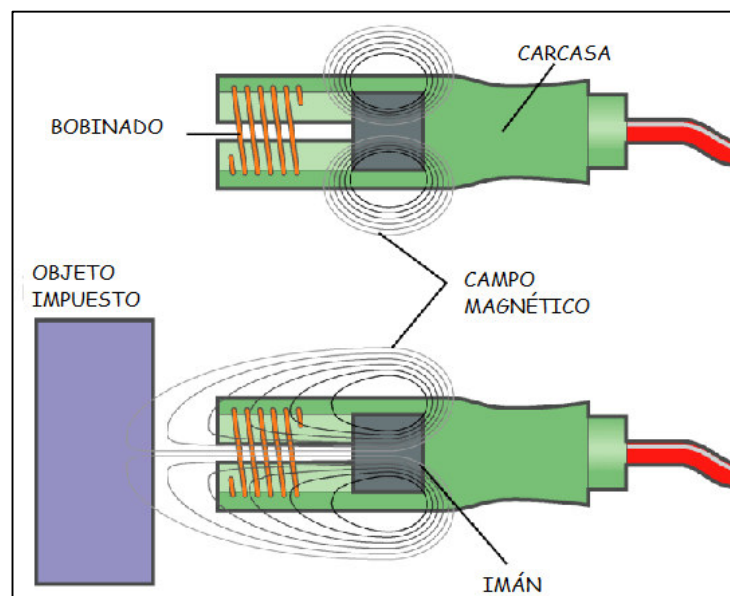


Figura N° 46: Sensor Inductivo.

Fuente: (Introducción a la Mecatrónica, 2012)

En la siguiente tabla se detallan las principales ventajas y desventajas de los sensores capacitivos e inductivos:

Tabla N° 10:

Ventajas y desventajas de sensores capacitivos e inductivos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Detección sin contacto físico	Corto alcance
Adaptación a entornos industriales	Requiere calibración
Larga vida	

- **Sensores Fotoeléctricos:**

El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo. Este es un dispositivo electrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos. Todos los cuerpos reflejan una cierta cantidad de radiación que resulta invisible para nuestros ojos pero no para estos aparatos electrónicos. Existen dos tipos de sensores infrarrojos, los pasivos y los activos. Los sensores pasivos cuentan únicamente con un fototransistor para medir las radiaciones provenientes de los objetos. Los Sensores activos se basan en la combinación de un emisor de luz infrarroja y el componente receptor, el fototransistor.



Figura N° 47: Sensor Infrarrojo.

Fuente: (Hertz Electrónica, 2014)

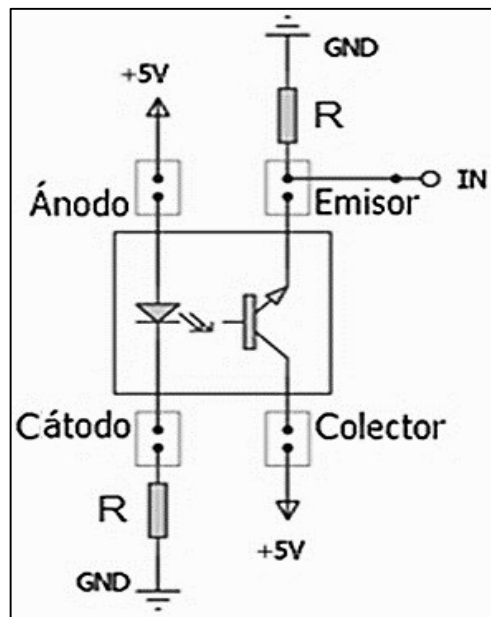


Figura N° 48: Esquema eléctrico de un sensor infrarrojo.

Fuente: (Observatorio Tecnológico, 2012)

- **Sensores Ultrasónicos:**

Los sensores de ultrasonidos son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias de hasta 8m. El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar.

Estos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Estos sensores pueden detectar objetos con diferentes formas, colores, superficies y de diferentes materiales.

Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo han de ser deflectores de sonido. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco.

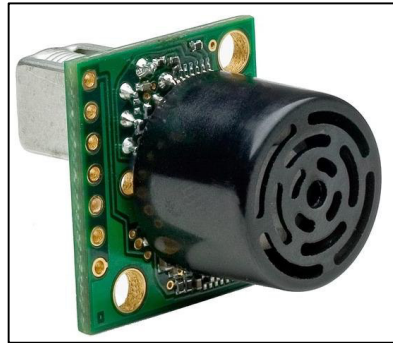


Figura N° 49: Sensor Ultrasónico.

Fuente: (Pololu, 2014)

Tabla N° 11:

Ventajas y desventajas de sensores ultrasónicos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Sensor no intrusivo	Presencia de partículas puede interferir
Medición continua	La espuma puede afectar medición
Menor mantenimiento	Medición afectada por movimientos
Para todo tipo de materiales	

2.1.2.4.1. Medición de velocidad angular

Existen varias formas para medir la velocidad angular empleando diferentes sensores tanto digitales como analógicos, entre los cuales se tiene: el tacómetro, encoder, detector inductivo, giroscopio y un transformador diferencial variable rotatorio RVDT. Debido a que los tacómetros analógicos no proporcionan información de la posición ni del sentido de dirección de la rotación, nos enfocaremos en las características principales de los encoders.

- **Codificadores angulares de posición (encoders):**

Los encoders son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento. Cuando son usados en conjunto con dispositivos mecánicos tales como engranes, ruedas de medición o en flechas de motores, estos pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y posición.

Existen dos tipos de encoders, los de tipo incremental y los absolutos. El primero se caracteriza porque determina la posición del eje, contando el número de impulsos generado cuando un rayo de luz es atravesado por las marcas opacas en la superficie del disco unido al eje (Barcojo, 2013).

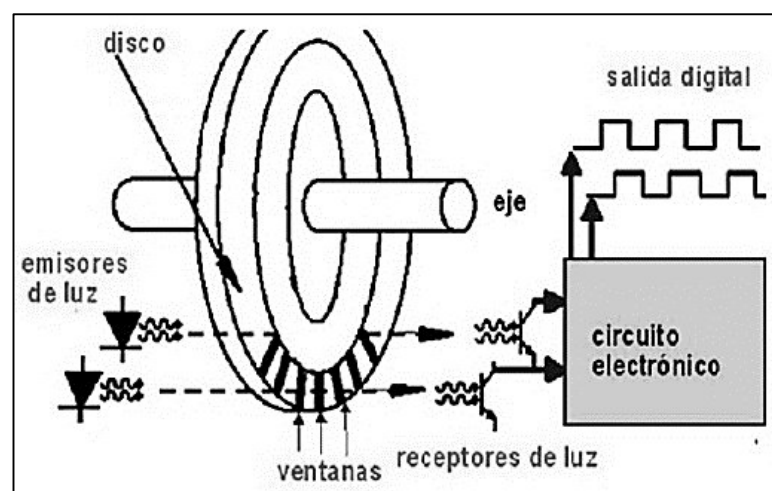


Figura N° 50: Encoder Incremental.

Fuente: (Barcojo, 2013)

Algunos encoders pueden disponer de un canal adicional que genera un pulso por vuelta y la lógica puede permitirnos conocer el número de vueltas más la fracción de vuelta.

En el encoder absoluto, el disco contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, dispuestas de tal forma que en sentido radial el rotor queda dividido en sectores con marcas opacas y transparentes codificadas en código gray. Según la disposición del disco, la luz emitida por cada sensor se enfrentará a un sector opaco o transparente y las diferentes combinaciones posibles dan origen a una señal de salida digital formada por cuatro bits que puede ser posteriormente procesada.

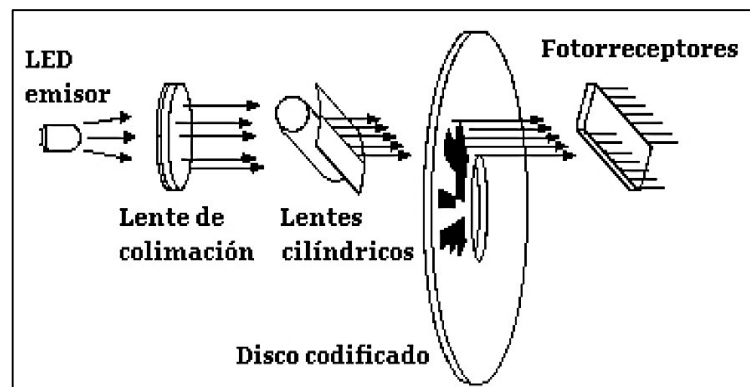


Figura N° 51: Encoder Absoluto.

Fuente: (Barcojo, 2013)

2.1.2.5. Sistemas de visión

Los sistemas de visión también conocidos con el nombre de visión por computador, sistemas de visión artificial o visión técnica, se basan en la adquisición de imágenes y reconocimientos de objetos por medio de sensores de imagen generalmente digitales que se encuentran localizados dentro de cámaras de video que emiten esta información para que sea posteriormente sea procesada y utilizada dentro de la aplicación requerida.

- **Cámaras inalámbricas:**

Dentro de las cámaras de video hay cámaras inalámbricas que pueden emitir la imagen a través de una red inalámbrica Wi-Fi, asignando una dirección IP a la cámara o por medio de radio frecuencia empleando un transmisor y receptor de audio y video.

Las cámaras inalámbricas más empleadas en la robótica son cámaras de video con radio frecuencia ya que para montar una red inalámbrica Wi-Fi sería indispensable contar con un servicio de internet pre pagado y de un router o modem.

Una de las mejores alternativas para la emisión del audio y video en tiempo real, es la micro cámara inalámbrica y su kit en el que incluye una diminuta cámara de vídeo de alta resolución con más de 380 líneas de televisión, y un micro transmisor de audio y video de 50 mW que está incorporado en la misma carcasa de la cámara. Para el procesamiento de la información transmitida se dispone de un receptor que incorpora un sintonizador de TV y una tarjeta recepción, además tiene adaptadores de corriente que permite conectar el receptor a la red de 120V y un adaptador de pila de 9 voltios para la micro cámara.



Figura N° 52: kit de cámara inalámbrica.

Fuente: (Super Inventos, 2013)

Las características del kit de micro cámara se indican a continuación:

Tabla N° 12:

Características de la micro cámara inalámbrica

CARACTERÍSTICAS	
Elemento de imagen	Sensor CMOS color de 1/3
Sistema de TV	PAL
Resolución	380 líneas de TV
Frecuencia de escaneado	50 Hz
Iluminación mínima	3 lux
Micrófono	Incorporado en la cámara
Potencia de salida	50 mW
Frecuencia de salida	900 MHz – 1200 MHz
Alimentación de la cámara	9 V, 80 mA
Alimentación del receptor	12 VDC
Duración de la pila	4 – 5 horas
Peso aproximado	850 gr.

2.1.2.6. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado, en cuyo interior posee toda la arquitectura de un computador, esto es: CPU, memoria RAM, EEPROM y circuitos de entrada y salida. Un microcontrolador de fábrica no realiza tarea alguna, este debe

ser programado para que realice desde tareas simples hasta un sofisticado control de un robots (Reyes, 2006).

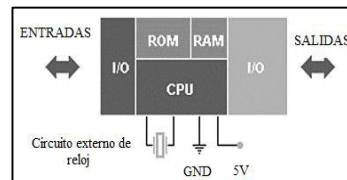


Figura N° 53: Diagrama de un microcontrolador.

La necesidad de conseguir elevados rendimientos en el procesamiento de las instrucciones ha desembocado en el empleo generalizado de procesadores de arquitectura Harvard frente a las tradicionales que seguían la arquitectura Von Neumann. Ambas se diferencian en la forma de conexión de la memoria al procesador y en los buses que cada una necesita.

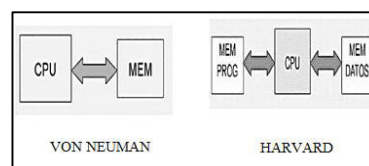


Figura N° 54: Arquitecturas de un microcontrolador.

Fuente: (Monografías, 2014)

Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes en nuestra vida diaria, como pueden ser juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, sistemas de arranque de automóviles, instrumentación electrónica, control de sistemas en una nave espacial, etc.

Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central, probablemente más potente, para compartir la información y coordinar sus acciones, como, de hecho, ocurre ya habitualmente en cualquier PC. Existe una gran diversidad de microcontroladores, quizá la clasificación más importante sea entre microcontroladores de 4, 8, 16 ó 32 bits. Aunque las prestaciones de los microcontroladores de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits, la realidad es que los microcontroladores de 8 bits dominan el mercado y los de 4 bits se resisten a desaparecer. En la Tabla 14 se muestran los microcontroladores de 8, 16 y 32 bits más comunes del mercado. Entre las características más relevantes de un microcontrolador se pueden enunciar las siguientes:

Tabla N° 13:

Características de relevantes de un Microcontrolador

CARACTERÍSTICAS
Memoria de programa FLASH EEPROM
Puertos de entrada y salida configurables por software
Controladores de propósito especial
Reloj de sistema para contabilizar el tiempo
Conversores A/D
Memoria para almacenamiento de datos
Velocidades de operación hasta 20 MHz
Comunicación serial y USB
Entradas de interrupción

Tabla N° 14:

Microcontroladores más comunes en el mercado.

Empresa	8 bits	16 bits	32 bits
Atmel	AVR (mega y tiny), 89Sxxxx	x	SAM7 (ARM7TDMI),
Freescale (antes Motorola)	68HC05, 68HC08, 68HC11,	68HC12, 68HCS12, 68HCSX12,	683xx, PowerPC, ColdFire
Holtek	HT8	x	x
Intel	MCS-48	MCS96, MXS296	x
National Semiconductor	COP8	x	x
Microchip	Familia 10f2xx 16Cxx y 16Fxx 18Cxx y 18Fxx	PIC24F, PIC24H dsPIC30FXX, dsP IC33F	PIC32
NXP	80C51	XA	Cortex-M3,
Renesas	78K, H8	H8S, 78K0R, R8C,	RX, V850, SuperH, SH-
Microelectronics	ST 62, ST 7		STM32 (ARM7)
Texas Instruments	TMS370	MSP430	C2000, Cortex-M3 (ARM),

2.1.2.7. Plataformas de hardware libre

- **Arduino:**

Dentro de las plataformas de hardware libre, Arduino es la marca mejor posicionada dentro del mercado. Esta placa se basa en un microcontrolador, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en diferentes proyectos. Arduino dispone de diversos dispositivos y placas electrónicas que pueden tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador de la placa de Arduino se programa mediante el lenguaje conocido como Processing/Writing basado en C y C++.

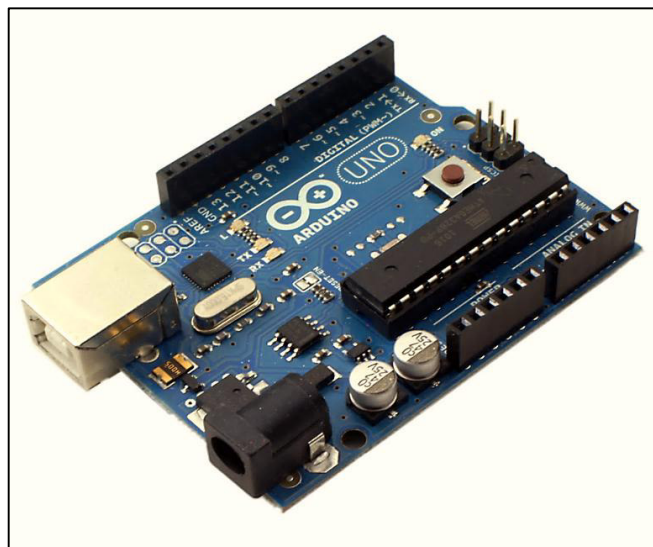


Figura N° 55: Placa Arduino Uno.

Fuente: (Arduino, 2011)

Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador y también se puede comunicar con diferentes tipos de software.

Las placas pueden ser hechas a mano o compradas de fábrica y el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, para poder adaptar las placas a distintas posibilidades. En la Tabla 15 se muestran algunas de las especificaciones técnicas de las diferentes placas comercializadas por Arduino.

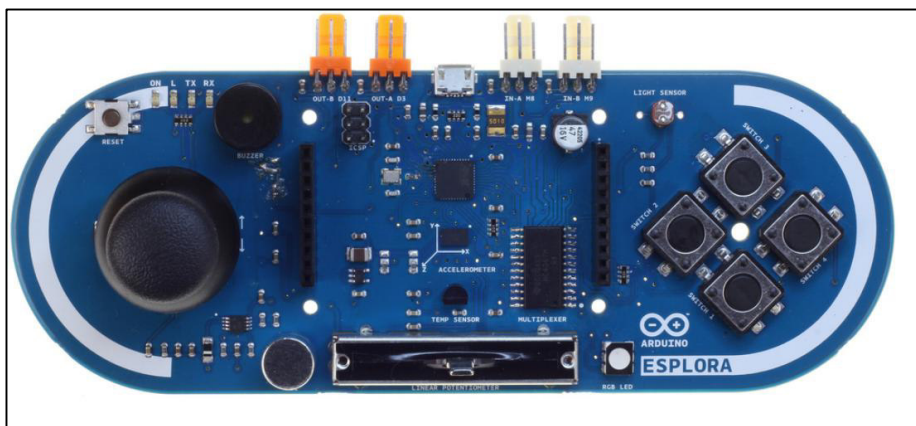


Figura N° 56: Placa Arduino Esplora.

Fuente: (Arduino, 2014)

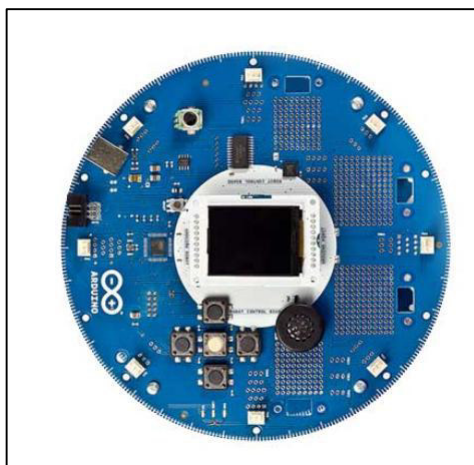


Figura N° 57: Placa Arduino Robot.

Fuente: (Arduino, 2014)

Tabla N° 15:

Características técnicas de las placas Arduino

Placa	uC	Input Voltage	System Voltage	Clock Speed	Digital I/O	Analog Inputs	PWM
Due	AT91SA M3X8E	5-12V	3.3V	84MHz	54	12	12
Leonardo	ATmega 32U4	7-12V	5V	16MHz	20	12	7
Uno	ATmega 328	7-12V	5V	16MHz	14	6	6
RedBoard	ATmega 328	7-15V	5V	16MHz	14	6	6
Uno SMD	ATmega 328	7-12V	5V	16MHz	14	6	6
Bluetooth	ATmega 328	1.2-5.5V	5V	16MHz	14	6	6
Pro	ATmega 328	3.35 - 12V	3.3V	8MHz	14	6	6
Ethernet	ATmega 328	7-12V	5V	16MHz	14	6	6
Mega 2560 R3	ATmega 2560	7-12V	5V	16MHz	54	16	14
Mini 04	ATmega 328	7-9V	5V	16MHz	14	6	8

2.1.2.8. Comunicación inalámbrica

Existe una amplia variedad de tecnologías inalámbricas y estas pueden agruparse de la siguiente manera: Red de área personal (PAN), donde los sistemas están destinados a comunicaciones en corto alcance, y los dispositivos normalmente son controlados por una sola persona. Algunas de estas tecnologías incluyen estándares como Bluetooth, Zigbee, USB inalámbrico y radio frecuencia RF (Radio Frequency, por sus siglas en inglés). Para las comunicaciones en un área más amplia, se utiliza la red de área local inalámbrica (WLAN). Las redes celulares o WAN están diseñados para áreas de cobertura entre ciudades y zonas muy amplias; a menudo esta tecnología de red se divide en segunda generación 2G , 3G y 4G.

- **Comparación entre Bluetooth y Radio frecuencia (RF):**

Tabla N° 16:

Tabla comparativa entre Bluetooth y Radio frecuencia.

	BLUETOOTH	RF
Mayor inmunidad al ruido		✓
Bajo consumo de energía	✓	
Menor costo	✓	
Mayor Seguridad		✓
Mayor alcance		✓
Mejor topología de red		✓

- **Módulos de comunicación inalámbrica Xbee:**

Para el caso particular de este proyecto, se utilizarán módulos de comunicación inalámbrica Xbee que proveen dos formas de comunicación, transmisión serial y radio frecuencia. Estos módulos de comunicación basan su funcionamiento en el protocolo Zigbee, que es un protocolo de comunicaciones inalámbricas basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE_802.15.4. Las comunicaciones Zigbee se realizan en la banda libre de 2.4GHz. A diferencia de bluetooth, este protocolo no utiliza FHSS (Frequency hopping), sino que realiza las comunicaciones a través de una única frecuencia, es decir, de un canal. Normalmente puede escogerse un canal de entre 16 posibles. El alcance depende de la potencia de transmisión del dispositivo así como también del tipo de antenas utilizadas (cerámicas, dipolos, etc). El alcance normal con antena dipolo en línea vista es de aproximadamente de 100m y en interiores de unos 30m. La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee es de hasta 256kbps



Figura N° 58: Modulo de comunicación inalámbrica Xbee Pro.

Fuente: (Sparkfun, 2011)

Una red Zigbee la pueden formar, teóricamente, hasta 65535 equipos, es decir, el protocolo está preparado para poder controlar en la misma red esta cantidad enorme de dispositivos. Los módulos de comunicación inalámbrica pueden ser configurados desde el computador utilizando el programa X-CTU o bien desde el microcontrolador y son compatibles con las placas de hardware libre Arduino. Los módulos Xbee son económicos, poderosos y fáciles de utilizar. Algunas de sus principales características son:

Tabla N° 17:

Características principales de los módulos Xbee

CARACTERÍSTICAS
Buen alcance, desde 100 metros a 24 Km
9 entradas/salidas analógicas y digitales.
Bajo consumo <50 mA en funcionamiento.
Interfaz serial.
65000 direcciones con 16 canales disponibles.
Fáciles de integrar.

Debido a que los módulos Xbee tienen una separación de pines de 2mm se recomienda utilizar una tarjeta adaptadora. Estas tarjetas permiten conectar los módulos Xbee en cualquier protoboard estándar y si se quiere comunicar un módulo Xbee con una PC es recomendable utilizar el adaptador para USB. La elección del módulo Xbee correcto pasa por escoger el tipo de antena (chip, alambre o conector

SMA) y la potencia de transmisión (2mW para 300 pies o 60mW para hasta 1 milla), por lo que a continuación se muestra una tabla comparativa de los principales módulos Xbee.

Tabla N° 18:

Tabla comparativa de los módulos Xbee comerciales

Xbee	Max data rate	Band	Transmit power	IO pins digital	ADC inputs	Range
XBee 1mW Wire Antenna	250kbps	2.4 GHz	1mW	8	(6) 10-bit	300ft (100m)
XBee 2mW Chip Antenna	250kbps	2.4 GHz	2mW	8	(6) 10-bit	400ft (120m)
XBee 2mW PCB Antenna	250kbps	2.4 GHz	2mW output	8	(6) 10-bit	400ft (120m)
XBee Pro 50mW	250kbps	2.4 GHz	50mW	8	(6) 10-bit	1 mile (1600m)
XBee Pro 50mW	250kbps	2.4 GHz	50mW	8	(4) 10-bit	1 mile (1600m)
XBee Pro 60mW	250kbps	2.4 GHz	60mW	8	(6) 10-bit	1 mile (1600m)
XBee Pro 900 RPSMA	156 Kbps	ISM 900MHz	50 mW	10	(6) 10-bit	6 miles (10 km)

2.1.2.9. Baterías

Para seleccionar las baterías adecuadas, en primer lugar se debe conocer los dispositivos que deseamos alimentar con nuestras baterías: Es decir, en primer lugar debemos saber cuál es la tensión de entrada del dispositivo, cual es el consumo de energía, cuál es el consumo de corriente máxima y cuál es el tiempo de funcionamiento esperado de la batería. El voltaje de la batería debe ser igual o un poco mayor que la necesidad de su dispositivo, pero si se requiere un voltaje exacto, se puede considerar el uso de un regulador de voltaje DC- DC. Una vez seleccionado el voltaje se debe seleccionar la capacidad de la batería en (Amp-h) ó (mAmp-h), es decir, cuánto tiempo se requiere hacer funcionar el dispositivo.

Por ejemplo, si se utiliza una batería de 12V, para activar un dispositivo de 10W, durante 10 horas, si aplicamos la siguiente fórmula, da como resultado una capacidad de 8.3 Amp-h.

$$(\text{Amp} - \text{h}) = \frac{\text{Potencia del dispositivo (W)} * \text{Tiempos de funcionamiento (horas)}}{\text{Voltaje de la batería (V)}}$$

Antes de seleccionar cualquier batería, se debe verificar la máxima descarga de corriente que ésta puede brindar, ya que las baterías no pueden entregar cualquier consumo de corriente. Otro punto a tomar en cuenta es el tamaño, peso y costo de la batería y en la siguiente tabla se puede observar una lista de ventajas y desventajas de cada tipo de baterías disponibles en el mercado.



Figura N° 59: Batería recargable.

Fuente: (Opirata, 2014)

Tabla N° 19:

Tabla comparativa de las baterías disponibles en el mercado

Elementos Químicos	Costo	Peso	Temp. (oC)	Ciclos	Vida (meses)	Voltaje por celda
Ácido de Plomo	\$\$	Muy pesado	-65 to 80	300	12	2.0
Níquel-Cadmio	\$\$	Pesado	-20 to 65	500+	6	1.2
NiMH	\$\$\$	Moderado	-10 to 65	500	12	1.2
Ion - Litio	\$\$\$\$	Ligero	-20 to 60	500	12	3.7
Li-PO	\$\$\$\$\$	Ligero	-20 to 60	500	12	3.7

2.1.3. SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control del robot desempeñará una función vital para el funcionamiento del robot, ya que sin este control automático sería imposible cumplir con los requerimientos planteados, principalmente con el objetivo de que el vehículo todo terreno tenga autonomía de navegación sobre el terreno.

- **Sistemas de control en lazo cerrado en comparación con los sistemas en lazo abierto:**

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema.

Por tanto es posible usar componentes relativamente precisos y baratos para obtener un control adecuado, en tanto que eso es imposible con un control en lazo abierto (Ogata, 1998). La estabilidad es una función principal en los sistemas de control con lazo cerrado, lo cual puede ayudar a corregir los errores que se producen dentro del sistema. Debe señalarse que en los sistemas que se conoce con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable emplear un control en lazo abierto. La cantidad de componentes usados en un sistema de control en lazo cerrado es mayor que la que se emplea para un sistema de control equivalente en lazo abierto. Por tanto, el sistema de control en lazo cerrado suele tener costos y potencias más grandes.

2.1.3.1. Sistema de control en lazo cerrado

Para controlar el robot, es necesario contar con señales de entrada provenientes de los sensores, como por ejemplo: distancia entre objetos, inclinación del vehículo,

velocidad de avance y torque y así de este modo manipular variables y modificar el proceso de operación con ciertas acciones o señales de salida principalmente sobre los actuadores del robot.

Todo este procesamiento de información requiere un sistema de control retroalimentado o en lazo cerrado ya que el controlador deberá recibir información a través de los sensores, comparar dicha información con una variable previamente establecida y emitir señales de control a un valor conveniente y permitir que el robot cumpla las funciones para las cuales fue construido.

Los sistemas de control en lazo abierto o sin retroalimentación no podrían ser implementados para el control automático del robot, ya que en todo momento hay que estar comparando la información emitida por los sensores con variables previamente establecidas, como por ejemplo cuando requerimos que el robot se detenga a una distancia de 10 cm de algún objeto u obstáculo, y si no medimos la distancia entre el robot los objetos u obstáculo presentes en su entorno, el controlador no podría emitir señales de parada a los motores haciendo que el robot no colisione.

Por este motivo, un sistema de control en lazo cerrado o realimentado será programado e implementarlo con todos sus componentes para cumplir con el objetivo de controlar automáticamente al robot durante su movilidad.

Este tipo de sistemas de control puede ser empleado para el control de velocidad de los motores DC, con sensores llamados encoders y así sincronizar todo el sistema de transmisión de las llantas a una misma velocidad y de esta manera evitar derrapes y giros poco fiables que afecten la movilidad del vehículo.

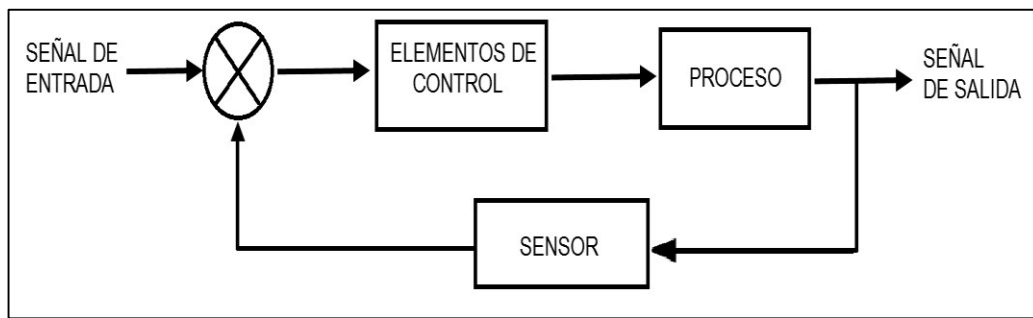


Figura N° 60: Sistema de control con lazo cerrado.

2.1.3.2. Interfaz Humano Máquina

En la función del diálogo entre el humano y la máquina, el operador desempeña una función importante. En base a los datos que dispone, el operador debe realizar acciones que condicionan el buen desempeño de la máquina, sin comprometer la seguridad ni la disponibilidad, por lo que es indispensable que la calidad y el diseño de la interfaz garantice al operador la posibilidad de actuar y manipular la máquina con seguridad en todo momento.

Una buena interfaz entre el humano y la máquina, permiten al operador tener la facilidad de percibir, comprender y reaccionar ante diferentes sucesos.

La interfaz humano-máquina también conocida como HMI por sus siglas en inglés (Human Machine Interface), cuentan con unidades de mando y señalización como: pulsadores, teclas, luces, manipuladores y paneles de control.

Hoy en día, los componentes principales de una HMI pueden estar representados o simulados en su totalidad en computadora, empleando un software de monitoreo y control, evitando así grandes costos de implementación.

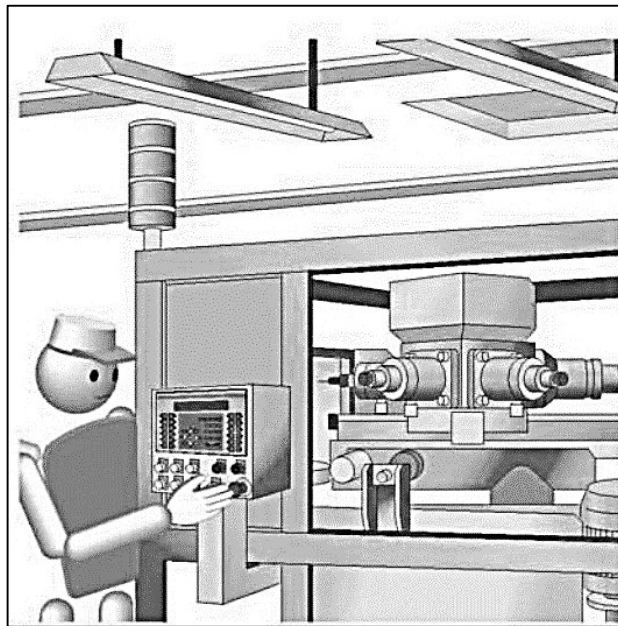


Figura Nº 61: Interfaz Humano Máquina.

Fuente: (Schneider Electric, 2014)

La interfaz humano máquina que se programará y se implementará para el monitoreo y control del robot, constará de dos partes, la primera para el monitoreo y supervisión por medio de la señal de video proyectada en la pantalla del computador (percibiendo y comprendiendo el entorno del robot), y la otra para reaccionar (emitiendo señales a través de pulsadores o palancas de mando) y de esta manera manipular y controlar las funciones y acciones del robot.

2.2. ROBÓTICA

Los progenitores más directos de los robots fueron los tele manipuladores, creados con el objetivo de manipular elementos radioactivos de riesgo para el operador. El primer tele manipulador consistía en un dispositivo mecánico maestro-esclavo.

La evolución de los tele operadores a lo largo de los años no ha sido tan espectacular y sus capacidades no han variado mucho con respecto a las de sus orígenes y la sustitución del operador por un programa de ordenador que controlase los movimientos del manipulador dio paso al concepto de robot (Barrientos, 1997).

La configuración de los primeros robots respondía a las denominadas configuraciones esférica y antropomórfica de uso especialmente para la manipulación.

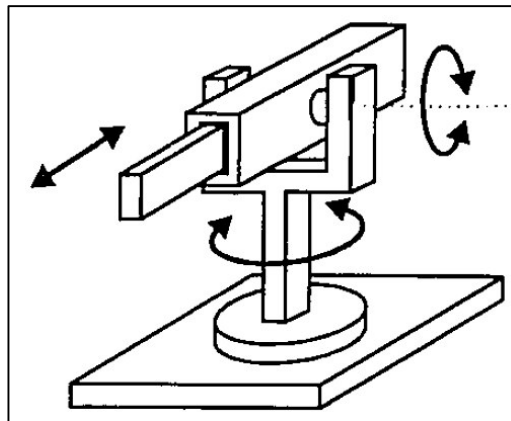


Figura N° 62: Robot esférico o polar.

Fuente: (Barrientos, 1997)

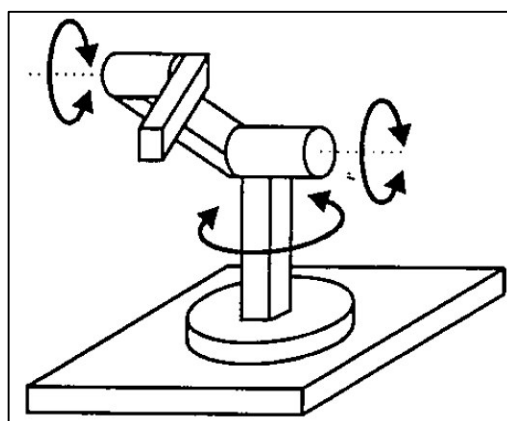


Figura N° 63: Robot angular o antropomórfico.

Fuente: (Barrientos, 1997)

La evolución de los robots industriales ha sido vertiginosa. En poco más de 30 años, las investigaciones y desarrollos sobre la robótica han permitido que los robots tomen posiciones en casi todas las áreas productivas y tipos de industrias. En pequeñas o grandes fábricas los robots pueden sustituir al hombre en tareas repetitivas y hostiles.

Los futuros desarrollos de la robótica apuntan a aumentar su movilidad, destreza y autonomía de acciones. La mayor parte de los robots actuales tiene una base estática y se utilizan en aplicaciones industriales, sin embargo, existen aplicaciones que han hecho evolucionar en gran medida su morfología, entre las cuales destacan: brazos para recuperación de satélites, vehículos de exploración, robots de construcción en el espacio, robots para aplicaciones submarinas, inspección de tuberías, etc. Parece también, como si la robótica y los tele manipuladores reemprendiesen juntos el camino que un día tomaron de manera divergente.

2.2.1. TELEROBÓTICA

La telerobótica es el área concerniente al control de robots a distancia, principalmente utilizando conexiones inalámbricas. Es además, la combinación de dos campos importantes: la teleoperación y la telepresencia.

- **Teleoperación:**

Teleoperación es cuando se realiza un trabajo o cualquier acción específica a distancia. El termino distancia puede referirse a un cambio de escala, como por ejemplo en una intervención quirúrgica donde el cirujano utiliza tecnología de micro-manipulación para llevar a cabo una cirugía a nivel microscópico o puede referirse a una distancia física donde el operador está separado del robot a una cierta distancia.

- **Telepresencia:**

La telepresencia se refiere a un conjunto de tecnologías que permiten que el teleoperador se sienta como si estuviese presente en un lugar distinto al de su verdadera ubicación.

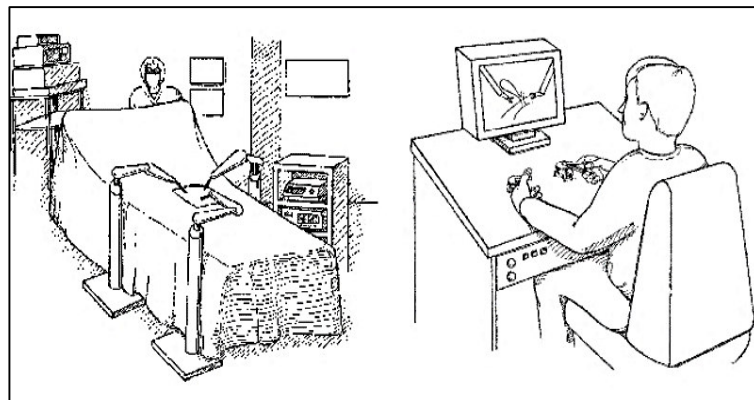


Figura N° 64: Telerobótica.

Fuente: (Convdocs, 2010)

2.2.2. ROBÓTICA MÓVIL

En estos últimos años, el estudio de la robótica móvil ha tenido un importante desarrollo, ya que ha sido el sistema preferido por los investigadores en las áreas de: inteligencia artificial, control inteligente e instrumentación.

- **Definición de robot móvil:**

Un robot móvil, es un sistema autónomo capaz de atravesar un terreno con obstáculos naturales o artificiales. Su chasis está equipado con ruedas, orugas o piernas y posiblemente cuente con un manipulador montado sobre el chasis para la manipulación de piezas de trabajo, herramientas o dispositivos especiales.

Diversas operaciones se ejecutan basadas en una estrategia de navegación pre programada, teniendo en cuenta el estado actual del medio ambiente (Barlas, 2004).

Los robots móviles se pueden clasificar por propiedades significativas como:

- Locomoción (patas, ruedas, orugas, sin extremidades. etc.).
- Suspensión (Rocker-Bogie, Independiente, Shrimp, etc.).
- Dirección (Skid, Ackermann, Independiente, articulada, etc.).
- Control (Totalmente autónomo, semiautónomo).
- Flexibilidad corporal (mono-bloque, multicuerpo).
- Zona de uso (Todo terreno, superficie uniforme).
- Orientación y navegación (Sensores, GPS, Seguidor solar, etc.).



Figura N° 65: Robot Móvil ASIMO.

Fuente: (Honda, 2013)

2.2.2.1. Robots Todo Terreno

Los robots todo terreno son robots móviles que cuentan con sistemas de locomoción con ruedas o a su vez con orugas.

El término todo terreno se aplica a vehículos potentes y resistentes que están preparados para adaptarse a todo tipo de terreno, especialmente terrenos accidentados.

La mayoría de los vehículos todo terreno tienen tracción en todas las ruedas y cuentan con sistemas de suspensión que actúan entre el chasis y las llantas, facilitando de esta manera el control del vehículo. Los robots todo terreno que utilizan llantas son llamados exploradores y su locomoción con ruedas hace que tengan varias ventajas frente a los robots caminantes o robots tipo serpiente, ya que esto les permite movilizar con mayor rapidez máquinas más pesadas. Otra ventaja de la locomoción a ruedas es la navegación, ya que la posición y orientación del robot con ruedas se puede calcular con mayor precisión que los vehículos oruga y frente a la locomoción con patas, la locomoción a ruedas necesita algoritmos de control menos complejos para el posicionamiento.

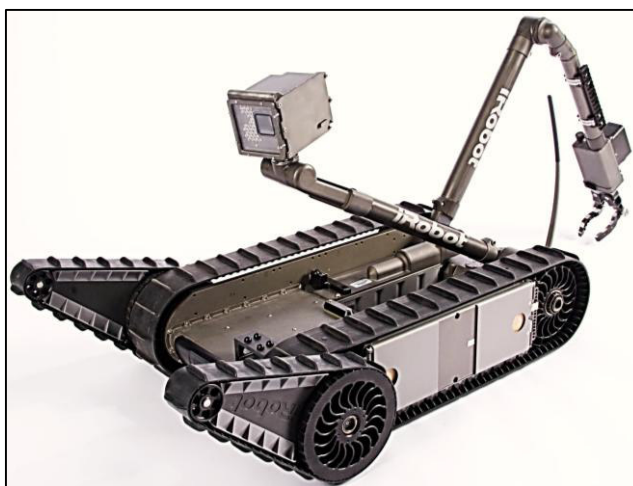


Figura N° 66: Robot Packbot 510.

Fuente: (iRobot, 2012)

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL ROBOT TODO TERRENO

3.1. DISEÑO MECÁNICO

3.1.1. REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES

- **Requerimientos:**

- Tipo de terreno: Boscoso.
- Sistema de suspensión: Rocker-Bogie.
- Robot con mecanismo diferencial.
- Robot pequeño y ligero.
- Robot con capacidad de giro en el propio lugar.
- Tracción en todas las ruedas.
- Robot con elementos visibles para fines académicos.

- **Restricciones:**

- Diámetro máximo de la rueda: 15 cm.
- Suelos no pantanosos y de fácil hundimiento.
- Velocidad máxima de desplazamiento de: $0.5 \frac{m}{s}$.
- Inclinación aproximada del terreno: 35° .
- Altura máxima del robot: 40 cm.
- Elementos disponibles en el mercado.

3.1.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PRINCIPALES

Tabla N° 20:

Selección del Sistema de suspensión.


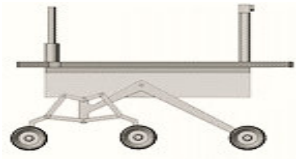

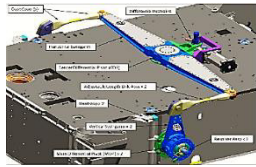
	Rocker-Bogie	Mecanismo Hoeken
Criterios de Selección		
Facilidad de Diseño	+	
Bajo Costo	+	
Mantenibilidad	+	
Menor Peso	0	0
Mayor capacidad de escalada		+
Menor Tiempo de diseño	0	0
Menor Complejidad	+	
Ensamblaje		
Mayor Rendimiento		+
Puntuación Total	4	2

Tabla N° 21:

Selección del diferencial mecánico.

	Caja de Engranajes	Barra diferencial
Criterios de Selección		
Facilidad de Diseño	+	
Bajo Costo	+	
Mantenibilidad	+	
Menor Peso	0	0
Facilidad de Mecanizado	+	
Menor Tiempo de diseño	+	
Menor Complejidad de	+	
Ensamblaje		
Factibilidad de adquisición	+	
Puntuación Total	7	0

3.1.2.1. Comparación de alternativas principales

- **Sistema de suspensión:**

Al evaluar mediante el método comparativo Pugh y haciendo uso de tablas comparativas, se concluyó a priori, que la mejor alternativa para el sistema de suspensión es la conocida con el nombre de Rocker-Bogie, ya que esta brinda mayor facilidad en el diseño, mayor mantenibilidad y mayor rendimiento.

Uno de los criterios de selección más importantes para el sistema de suspensión, es la capacidad para escalar que el mecanismo brinda al robot, por lo que se procederá con un análisis comparativo de las prestaciones de ambas alternativas para tomar una decisión final.

- **Mecanismo de Hoeken:**

Se plantea un diseño óptimo basado en la geometría del mecanismo para que la línea recta generada tenga mayor rectitud y el movimiento a través de la misma, sea con una velocidad constante (Norton, Design of Machinery, 1999).

La geometría de este mecanismo se muestra en la Figura 67, donde se observa la simetría de un mecanismo de cuatro barras y sus relaciones de enlace se muestran en la Tabla 22. Al diseñar un mecanismo tipo bogie empleando el mecanismo de Hoeken y optimizando la rectitud de la línea generada, que permita elevar las ruedas del robot una altura de 5 cm, en un ángulo de rotación $\Delta\beta = 120^\circ$ y con un ángulo de inicio θ_{start} de 120° (aproximado), las dimensiones del mecanismo son:

$$L1 = 40.53 \text{ mm}, L2 = 15.44 \text{ mm}$$

$$L3 = L4 = BP = 53.09 \text{ mm}$$

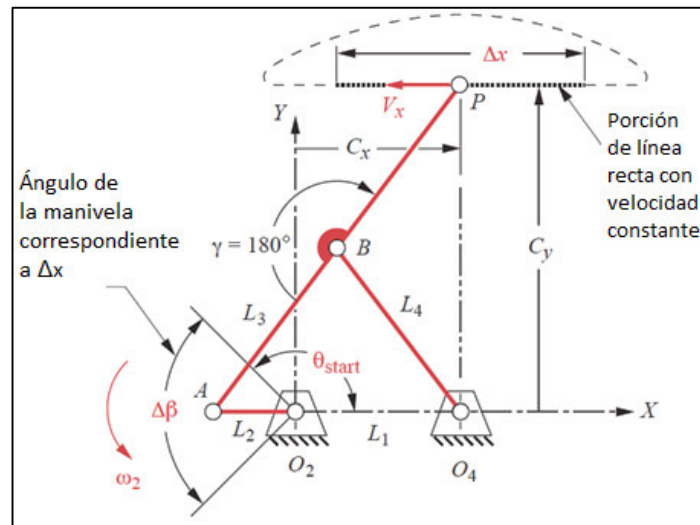


Figura N° 67: Geometría del Mecanismo de Hoeken.

Fuente: (Norton, 1999)

Tabla N° 22:

Relaciones Mecanismo Hoeken para optimizar rectitud.

Rango de movimiento			Optimización para Rectitud					
$\Delta\beta$	θ star	% de ciclo	Min ΔC_y %	ΔV %	$V_x (L_2 \omega_2)$	L_1/L_2	L_3/L_2	$\Delta x/L_2$
20	170	5,6	0,00001	0,38	1,436	2,975	3,963	0,601
40	160	11,6	0,00004	1,53	1,504	2,95	3,925	1,193
60	150	16,7	0,00027	3,48	1,565	2,9	3,85	1,763
80	140	22,2	0,001	6,27	1,611	2,825	3,738	2,299
100	130	27,8	0,004	9,9	1,646	2,725	3,588	2,79
120	120	33,3	0,01	14,68	1,679	2,625	3,438	3,238
140	110	38,9	0,023	20,48	1,702	2,5	3,25	3,623
160	100	44,4	0,047	27,15	1,717	2,35	3,025	3,933
180	90	50	0,096	35,31	1,725	2,2	2,8	4,181

Fuente: (Norton, 1999)

Luego de tratar de ensamblar y simular, el mecanismo tipo Bogie, se llegó a la conclusión, que un diseño planteado por Norton para optimizar la rectitud de la línea generada no es posible para dos mecanismos de Hoeken juntos, ya que las dimensiones de eslabones impiden el ensamblaje del mismo, como se muestra en la Figura 68, donde uno de los eslabones resulta demasiado grande para poder acoplarlo correctamente.

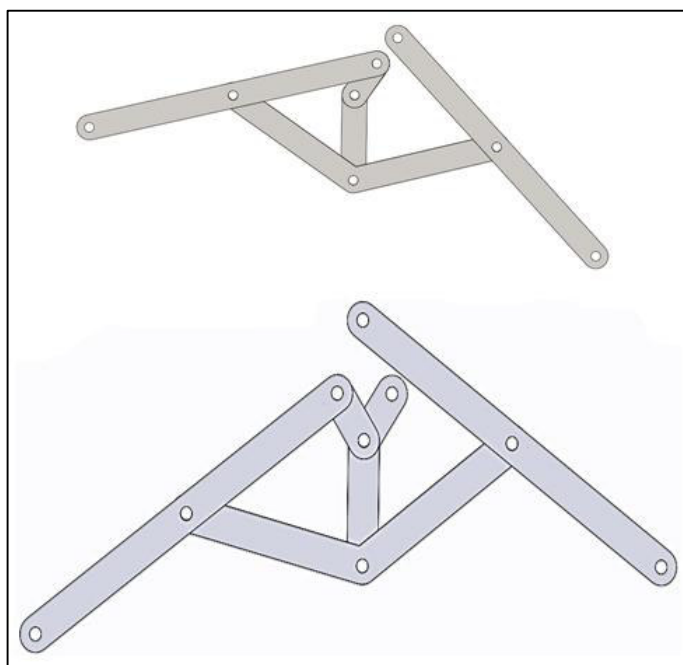


Figura N° 68: Bogie con mecanismo de Hoeken.

Otra forma de definir el mecanismo de Hoeken según (Barlas, 2004), es mediante tres parámetros: a , b y d .

Para mover el punto de acoplamiento M (Ver Figura 69), siguiendo la línea de trayectoria, basta cumplir con la relación de la ecuación 3.1.

$$3d - a = 2b \quad (3.1)$$

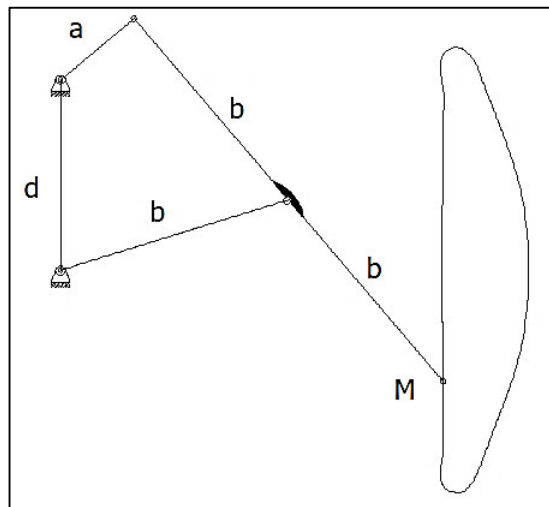


Figura N° 69: Trayectoria del Mecanismo de Hoeken.

Fuente: (Barlas, 2004)

La longitud del eslabón d , puede cambiar de acuerdo a la siguiente relación:

$$1.55 a \leq d \leq 3 a \quad (3.2)$$

Si $1.55 a = d$ y reemplazamos este valor en la ecuación 3.1, se tiene:

$$3(1.55 a) - a = 2b$$

$$b = 1.825 a$$

Si $b = 86 \text{ mm}$ (valor asumido según el tamaño del robot), nos da:

$$a = 47.12 \text{ mm}$$

$$b = 86 \text{ mm}$$

$$d = 73.04 \text{ mm}$$

Luego de ensamblar y simular el mecanismo tipo bogie con el mecanismo de Hoeken, podemos observar los resultados en la Figura 70.

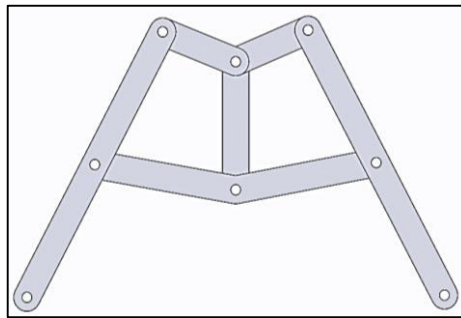


Figura N° 70: Bogie con el mecanismo de Hoeken.

La línea recta del mecanismo se genera en un ángulo de rotación aproximado de 225° (desde 55° hasta 280°), pero el rango de movimiento de este mecanismo es de 115° , desde 55° hasta 170° , es decir, el 51% del total de la línea recta generada como se muestra en la Figura 71.

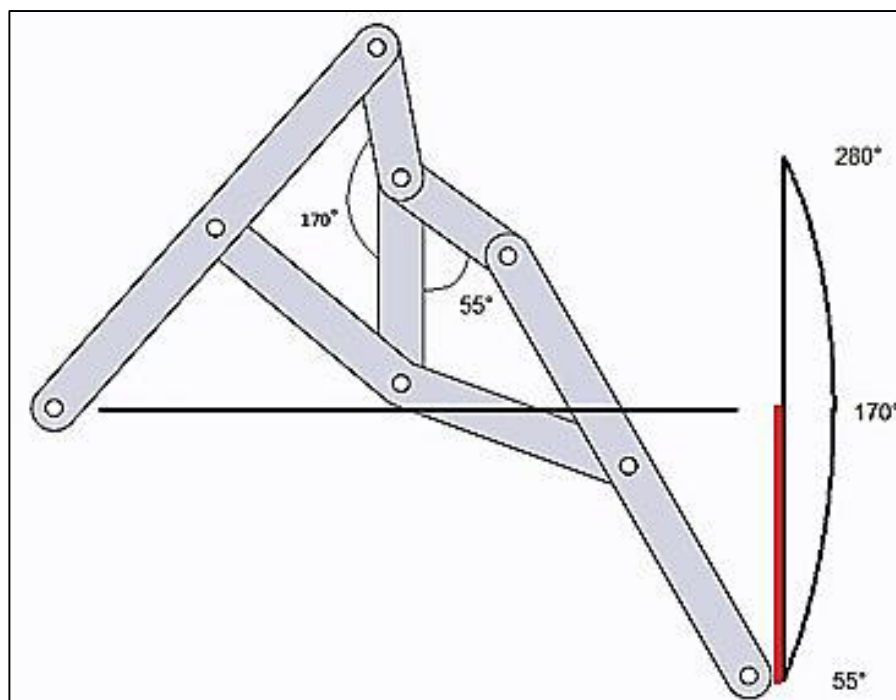


Figura N° 71: Parte de línea recta generada por el mecanismo de Hoeken.

El mecanismo de Hoeken está diseñado y simulado para generar una línea recta de 9 cm, pero el Bogie con dos mecanismos de Hoeken genera tan solo el 51% del total, es decir, que si se emplea este mecanismo en la suspensión del robot, las ruedas se elevaran 4.6 cm.

○ **Rocker-Bogie:**

Otra alternativa para el sistema de suspensión en el robot es el mecanismo llamado Rocker-Bogie, que al simularlo y ensamblarlo a partir de un bosquejo simple, se tiene:

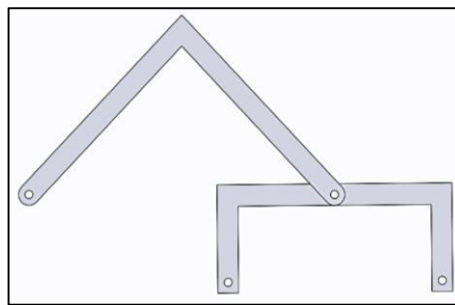


Figura N° 72: Bosquejo del mecanismo Rocker-Bogie.

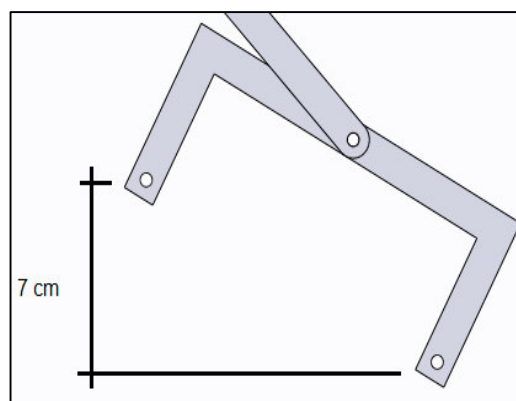


Figura N° 73: Altura alcanzada por la rueda izquierda del Bogie.

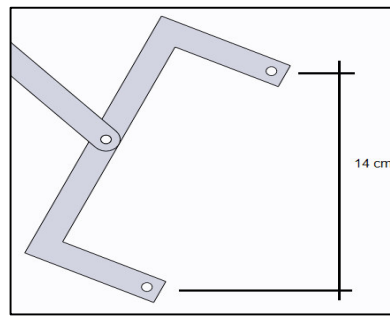


Figura N° 74: Altura alcanzada por la rueda derecha del Bogie.

- **Simulación y comparación en Working Model 2D:**

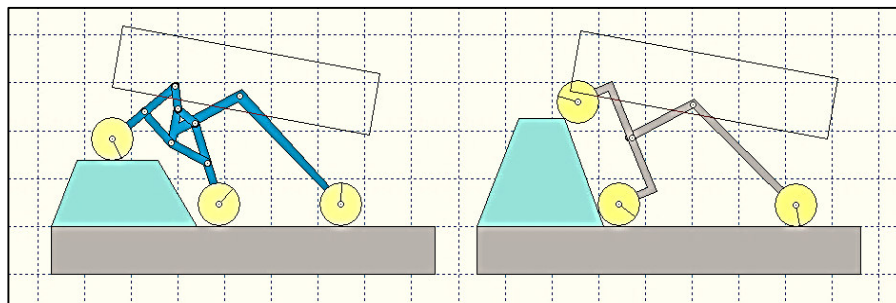


Figura N° 75: Simulación y comparación del mecanismo de Hoeken y Rocker-Bogie con obstáculo parte posterior.

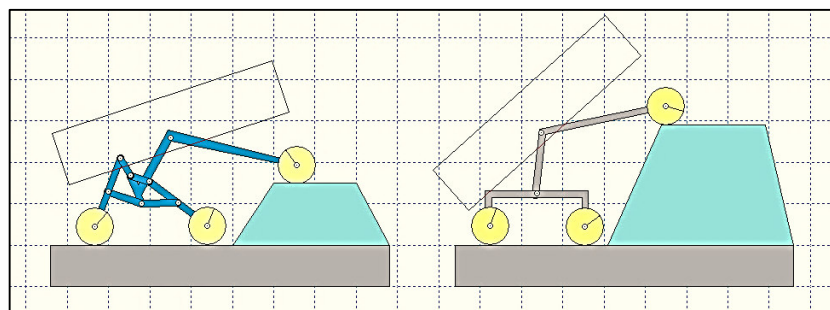


Figura N° 76: Simulación y comparación entre del mecanismo de Hoeken y Rocker-Bogie con obstáculo parte delantera

Luego de comparar los resultados obtenidos en este análisis, hemos comprobado que la mejor alternativa para el sistema de suspensión es el mecanismo Rocker-Bogie, ya que permite una mayor elevación en las ruedas y por ende le permitirá al robot atravesar obstáculos de mayor altura. El requerimiento principal del robot es que este pueda desplazarse a través de un terreno boscoso donde difícilmente existirán obstáculos tipo grada y que una trayectoria recta ascendente de las ruedas para superarlos sea lo idóneo, sin embargo la trayectoria curva de las ruedas en el mecanismo Rocker-Bogie no es un aspecto que pueda influir significativamente en el rendimiento del robot. Por otro lado se ha analizado que a medida que aumenta el número de enlaces en un mecanismo, el rendimiento teórico, en la práctica es reducido, siendo esto otro aspecto negativo para el bogie con el mecanismo de Hoeken, además de su tamaño, ya que si se requiere mayor capacidad de escalada, el diseño sería con un mecanismo mucho más grande, lo que traería como consecuencia un robot más pesado.

- Conclusión:

Por estas razones, para el diseño del robot todo terreno se empleará el sistema de suspensión Rocker-Bogie ya que este brinda las mejores prestaciones como se puede apreciar en las Figuras 75 y 76. En la selección de alternativas a través del método Pugh, a priori se pensaba que la capacidad de escalada era mayor en el Bogie con el mecanismo de Hoeken, pero con este análisis se demostró lo contrario.

- **Diferencial mecánico:**

Para el diferencial mecánico, se hará uso de tres engranajes, principalmente por su facilidad de adquisición en el mercado y de ser necesario por su facilidad de mecanizado y fabricación.

3.1.3. SÍNTESIS DEL MECANISMO ROCKER-BOGIE

El diseño de cualquier sistema comienza con la síntesis estructural de los mecanismos, para tener una visión amplia de su movilidad y capacidad.

3.1.3.1. Movilidad del mecanismo

El primer paso para el análisis o diseño de un mecanismo es encontrar el número de grados de libertad o movilidad de un mecanismo. La movilidad de un mecanismo es el número de parámetros de entrada que se deben controlar independientemente con el fin de llevar el mecanismo a una posición particular (Miranda, 2003).

Para el cálculo de los grados de libertad de un mecanismo se puede aplicar el criterio de Kutzbach:

$$m = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2 \quad (3.3)$$

Donde:

m : Grados de libertad del mecanismo.

n : Número de elementos del mecanismo.

j_1 : Número de uniones de un grado de libertad.

j_2 : Número de uniones de dos grados de libertad.

Si calculamos los grados de libertad del mecanismo Bogie, se tiene: $n = 7$, $j_1 = 8$, $j_2 = 0$, y reemplazando estos valores en la fórmula 3.3, se tiene:

$$m = 3(7 - 1) - 2 * 8$$

$$m = 2$$

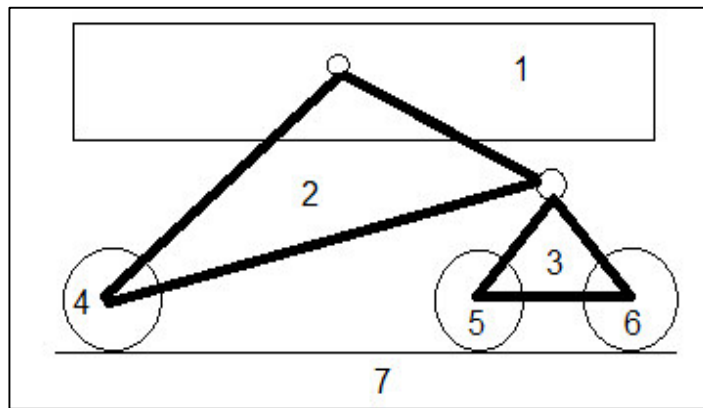


Figura N° 77: Movilidad del Sistema de suspensión Rocker-Bogie.

Físicamente, esta fórmula demuestra que se requieren dos movimientos independientes para mover todo el mecanismo de suspensión, es decir, el Bogie tiene un movimiento independiente con respecto al balancín y viceversa, permitiendo que las ruedas del robot estén en contacto con el suelo en cualquier instante y lo más importante de este aspecto, es que permite al robot atravesar obstáculos mucho más grandes porque si se tuviese una movilidad con un grado de libertad ($m=1$) y además un rango limitado de acción como el mecanismo de Hoeken, podría provocarse una singularidad bloqueando todo el movimiento del robot e impedir sortear obstáculos con facilidad.

3.1.3.2. Parámetros de Diseño

Seis ruedas son generalmente la mejor alternativa para la movilidad en vehículos con ruedas ya que estas ejercen mayor presión sobre el suelo beneficiando la estabilidad del vehículo, brindan una mayor tracción al vehículo, permiten al robot moverse en cualquier dirección y hacen que la capacidad para sortear obstáculos incremente, todo esto sin mucha complejidad.

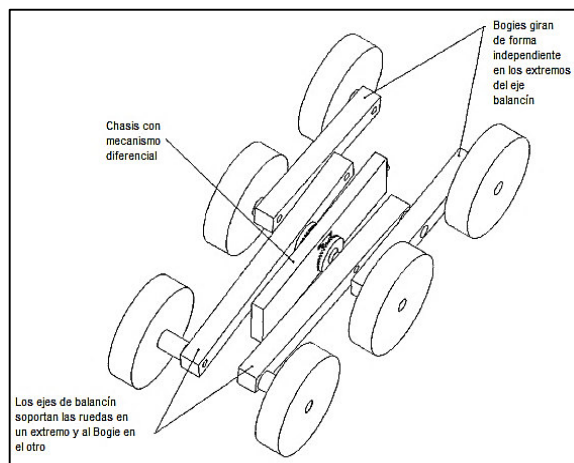


Figura N° 78: Proporción del Sistema Rocker-Bogie.

Fuente: (Sandin, 2003)

Si la longitud del bogie es un medio que la del balancín (Rocker en inglés) y el brazo basculante o balancín se monta en el chasis a un tercio de su longitud desde el extremo del bogie, la carga sobre las ruedas es idéntica (Sandin, 2003).

Con el sistema de suspensión Rocker-Bogie el cambio de dirección, provoca fuerzas laterales en las ruedas que producen momentos con los que se debe diseñar los brazos basculantes. El sistema de suspensión Rocker-Bogie, utiliza 10 motores para lograr su alta movilidad. En este diseño, el gran número de actuadores reduce el número de partes móviles y sobre todo la complejidad. La geometría de la dirección, permite girar al robot en su lugar sin derrapar en lo absoluto.

3.1.1.1. Trayectoria Geométrica del mecanismo

La trayectoria del mecanismo Bogie es circular con aproximadamente 100° de giro ya que este pivotea en un solo punto de acople con el balancín.

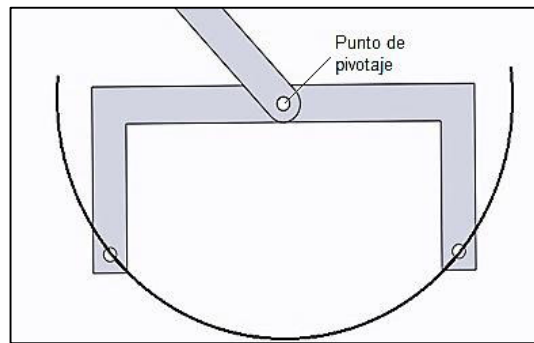


Figura N° 79: Trayectoria de las Ruedas en el mecanismo.

3.1.1.2. Singularidad del mecanismo

Si un mecanismo entra en una posición donde el desplazamiento del enlace de salida no está definido o la fuerza de enlace es imposible, esta condición es conocida como posición de punto muerto o singularidad. La singularidad en el sistema de suspensión del robot puede producirse a causa de un torque producido en el punto de pivotaje a causa de una fuerza en dirección opuesta al movimiento, como se muestra en la Figura 80.

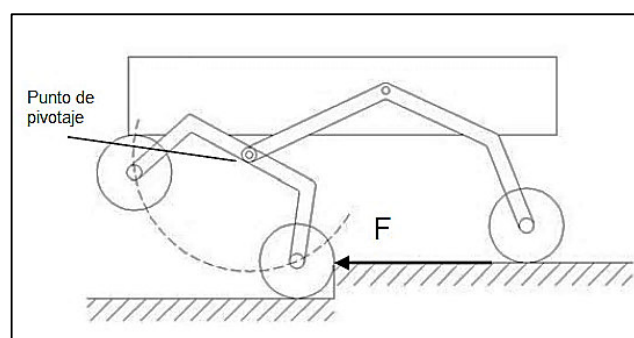


Figura N° 80: Problema de singularidad en el Bogie.

Fuente: (Sandin, 2003)

Para evitar que se produzca un volcamiento en el robot a causa de este problema de singularidad, se puede utilizar unos topes restringiendo el giro del bogie en el punto de pivotaje.

3.1.1.3. Adaptación del mecanismo Rocker-Bogie al chasis del robot

Dos mecanismos Rocker-Bogie están conectados entre sí a través de un mecanismo diferencial. Al subir un lado sobre un obstáculo, este mecanismo hace girar al cuerpo principal del robot un ángulo medio alrededor de las articulaciones basculantes.

En el mecanismo diferencial, todas las relaciones de transmisión son las mismas, esto significa que si el lado del engrane A gira 10 grados y el lado del engrane B gira 20 grados, el cuerpo principal o el chasis del robot girará 15 grados.

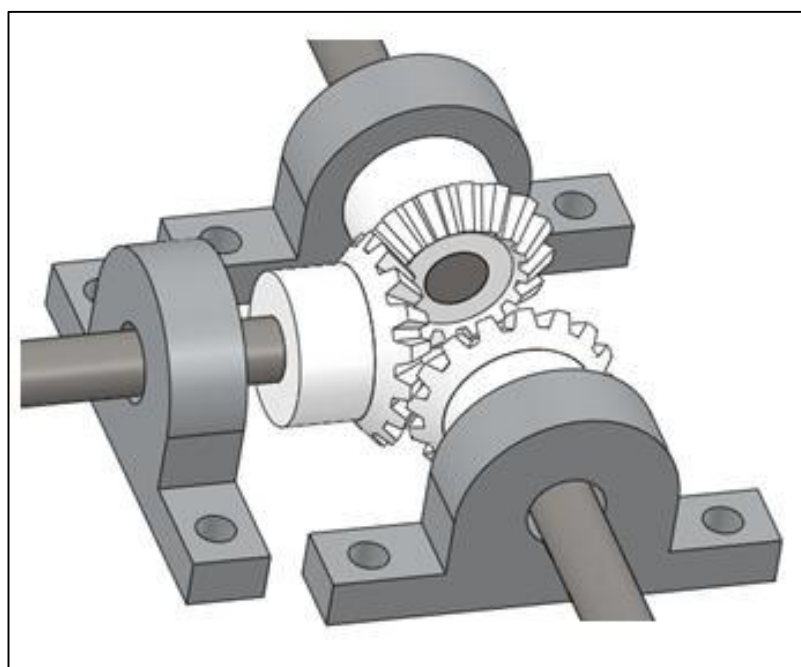


Figura Nº 81: Mecanismo diferencial entre ejes basculantes.

3.1.2. ANÁLISIS ESTÁTICO DEL MECANISMO ROCKER-BOGIE

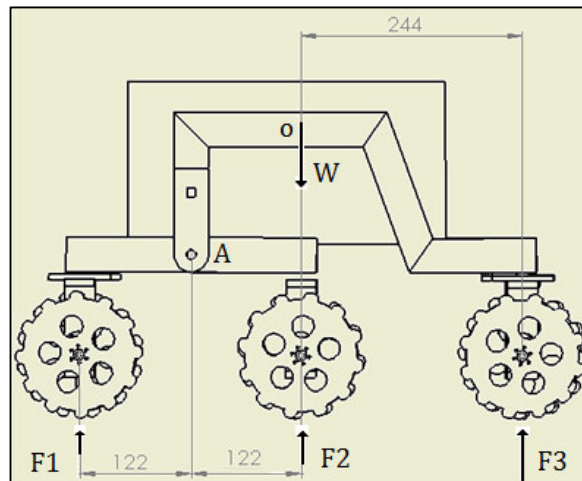


Figura N° 82: Diagrama de Fuerzas.

Si el mecanismo de suspensión Rocker-Bogie es simétrico, es decir, las distancias entre las ruedas son iguales, entonces las fuerzas de reacción en las ruedas serán las mismas.

$$\sum M_A = 0$$

$$F1 * 122 = F2 * 122$$

$$F1 = F2$$

$$\sum M_o = 0$$

$$F1 * 244 = F3 * 244$$

$$F1 = F3$$

$$\therefore F1 = F2 = F3$$

3.1.3. SIMULACIONES EN COMPUTADOR

- **Prueba de movilidad del robot todo terreno:**

El diseño y simulación por computadora es una herramienta de gran alcance para un diseñador. A pesar que el sistema de suspensión es calculado matemáticamente y geoméricamente, una prueba visual con programas informáticos modernos, es otra fase importante de la investigación para obtener mediciones aproximadas del comportamiento del robot durante su desplazamiento y hacer conclusiones de los criterios principales del funcionamiento.

Para lograr lo anteriormente expuesto, un modelo preliminar del robot todo terreno ha sido construido y montado.

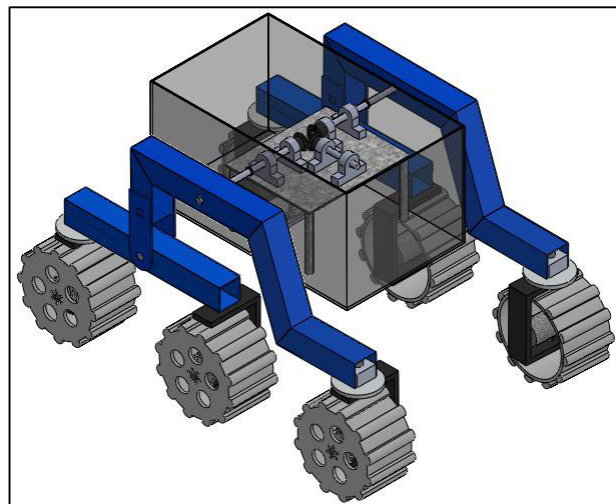


Figura N° 83: Modelo en computador del robot para simulación.

La primera prueba de movilidad realizada fue a través de un terreno irregular como se puede apreciar en la siguiente figura; el peso del robot se asume como 8 kg, y los actuadores están girando a 5 RPM.

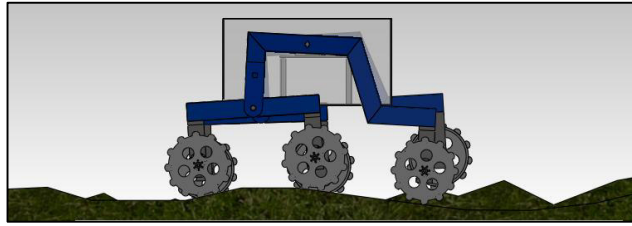


Figura N° 84: Simulación de prueba de movilidad en terreno irregular.

Las fuerzas de tracción durante la prueba de movilidad en terreno irregular sobre las ruedas traseras (rojo), medias (azul) y delanteras (verde) fueron las siguientes:

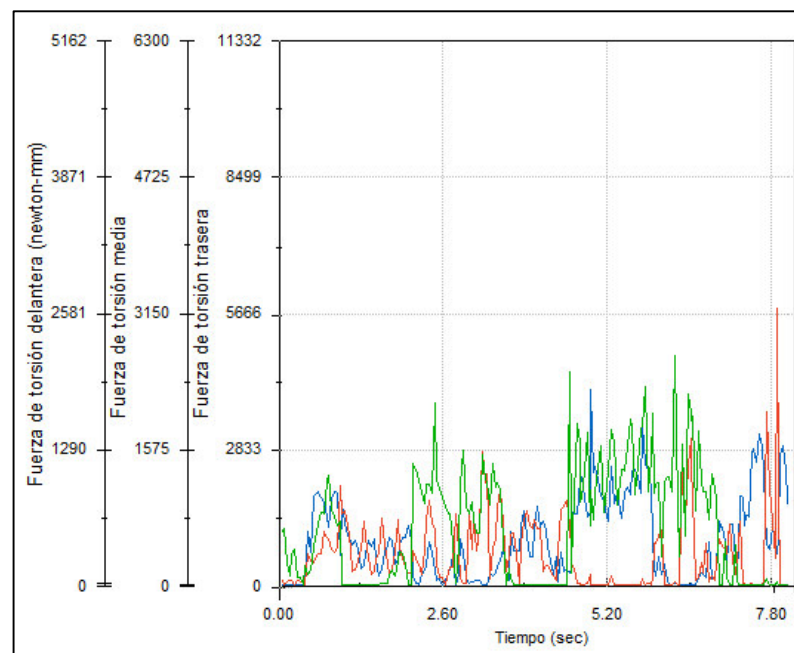


Figura N° 85: Fuerzas de tracción de la prueba de movilidad.

En la Figura 85 se puede observar que las fuerzas de torsión sobre las ruedas tienen valores próximos entre sí, y las pequeñas variaciones son el resultado del terreno irregular, donde durante la simulación las ruedas rebotan suavemente al pasar por

encima de los obstáculos, Además se puede observar en la grafica que las ruedas delanteras ejercen menos torisión cuando el robot sube por un obstáculo con cierta inclinación. El promedio de las fuerzas de torsión en las ruedas fue de de 2.5 Nm.

- **Obstáculo tipo grada:**

Otro tipo de obstáculo difícil para el robot, son los tipo grada, por lo que era indispensable analizar el comportamiento y los movimientos del sistema de suspensión al momento de sortear este tipo de obstáculo.

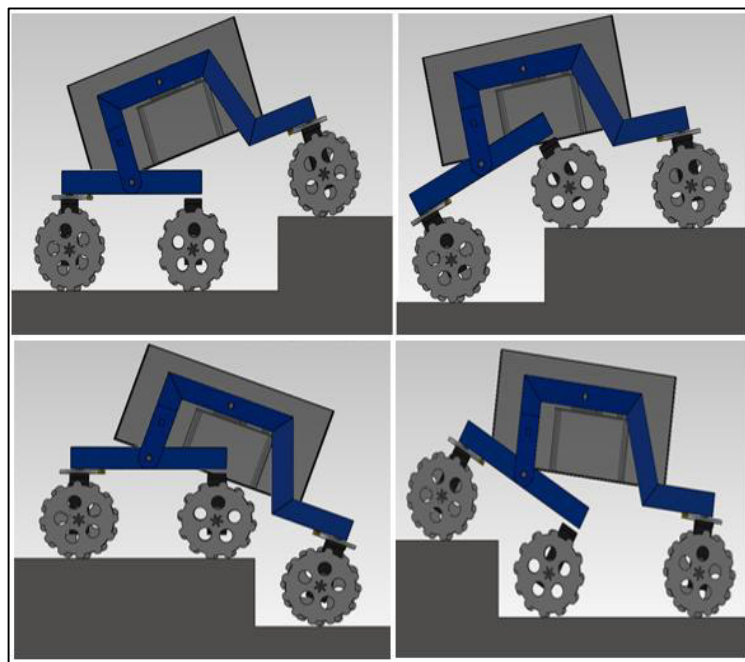


Figura N° 86: Comportamiento del robot atravesando obstáculo tipo grada.

Simular en computador, un obtáculo tipo grada, fue valioso para determinar el rango de movilidad del bogie, y así evitar que este golpee con el brazo basculante durante su movimiento oscilatorio en el punto de pivotaje.

- **Evaluación de los resultados:**

Después de diferentes simulaciones de campo y con obstáculos se obtuvo diversas conclusiones importantes en cuanto a la movilidad del robot, y una de las más importantes fue que se debe procurar que los motores de tracción localizados en las ruedas, estén siempre sincronizados a la misma velocidad para evitar que el robot curve en una dirección u otra; así mismo, se debe asegurar que los servomotres soporten elevadas fuerzas torsionales para evitar que las ruedas delanteras y traseras cambien de dirección debido a fuerzas de acción y reacción entre los obstáculos y las llantas del vehículo.

Otro punto importante de la simulación, permitió observar que si el robot se desplaza a baja velocidad constante, este no sufrirá los efectos dinámicos, tales como rebotes bruscos y altas vibraciones sobre la estructura.

También se pudo comprobar que mientras el robot sube a través de un terreno inclinado, los motores traseros son los que provocan mayor fuerza de torsión en las ruedas, todo esto debido a que las componentes cartesianas de la fuerza del peso varían con relación al ángulo de inclinación del terreno.

3.1.4. CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño del robot está enfocado en la selección de las diferentes alternativas y configuraciones que maximicen el empuje del suelo y reducir al mínimo la resistencia al movimiento, por lo que las configuraciones de locomoción deben ser seleccionadas de manera que se mejore el control de tracción para minimizar el deslizamiento de las ruedas.

3.1.4.1. Hundimiento del suelo

Un robot con ruedas está sujeto a un hundimiento. La cantidad de hundimiento depende de las propiedades geofísicas del suelo, de las dimensiones, la forma, la rigidez y de la carga de la rueda. Las ruedas pueden ser clasificadas como rígidas y flexibles basado en la deformación bajo cargas estáticas. Las ruedas rígidas conservan un diámetro de rodadura constante y su forma de la sección transversal bajo cualquier carga.

Es evidente que los diámetros y las anchuras de las ruedas más grandes dan como resultado un menor hundimiento, por lo que el robot todo terreno contará con ruedas rígidas, procurando que su diámetro y anchura sean lo más grandes, sin dejar de lado aspectos como: masa, volumen y funcionalidad.

3.1.4.2. Resistencia al movimiento

Cuando un robot se mueve por superficies, consume energía para superar la resistencia a la rodadura entre los neumáticos y el suelo, así como también la gravedad y las fuerzas de inercia. A velocidades superiores a los $100 \frac{km}{h}$, las fuerzas aerodinámicas se convierten en el principal motivo de las pérdidas de energía.

La resistencia a la rodadura varía según el tipo y el material de la banda de rodadura del neumático, la velocidad del vehículo y la temperatura y humedad del ambiente.

Para la locomoción en todo terreno los factores más importantes para la pérdida de energía durante la movilidad en el robot, son: La compactación de las ruedas, resistencia debido a fuerzas gravitacionales en terrenos inclinados, obstáculos, fricción

entre los elementos del tren motriz y conexiones mecánicas. En resumen tales fuerzas de resistencia, se las puede clasificar en dos grupos: Resistencia al movimiento interno y resistencia al movimiento externo al robot. Por lo que un diseño mediante la estimación de varios parámetros debe estar enfocado a reducir al mínimo la cantidad de energía disipada. Uno de los parámetros a intentar minimizar, es la fuerza de fricción producida durante la movilidad del robot a través de diferentes terrenos.

$$fr = \mu * N$$

Debido a que es difícil conocer el valor del coeficiente de rozamiento μ precisamente porque depende del tipo de interacción entre las ruedas y el suelo, una forma de evitar el deslizamiento en las ruedas es intentar minimizar la relación F/N (Fuerza de tracción / Reacción normal) y debido a que la fuerza de tracción debe ser mayor que la fuerza de fricción para que el robot empiece su movimiento, se tiene:

$$F \geq \mu * N$$

$$\frac{F}{N} = \frac{\mu * N}{N} = \mu$$

Si minimizamos esta relación, entonces minimizamos el coeficiente de rozamiento μ , es decir, si disminuimos el peso del robot requeriremos menos fuerza de tracción en las ruedas para empezar el movimiento, optimizando así nuestras posibilidades sin conocer el coeficiente de rozamiento real (Pierre Lamon, 2010).

La conclusión más importante de esta sección, es que para el diseño del robot se debe considerar componentes livianos, ya que esto ayudará mucho a la movilidad del mismo y a la disminución de pérdidas de energías por rozamiento.

3.1.4.3. Estabilidad del robot

Durante la operación en terrenos difíciles otro problema que debe superar el robot móvil es la estabilidad. La estabilidad de un robot con ruedas que es estacionaria, o que se mueve a velocidad constante, puede ser expresada en términos del margen de estabilidad gravitacional, que es la distancia mínima desde el centro de gravedad proyectada sobre el plano de tierra hasta el borde definido por el punto de contacto de las ruedas (Apostolopoulos, 2001). Si el robot está impulsado paralelamente a una pendiente cuesta debajo, el margen de estabilidad gravitacional es el margen de la estabilidad longitudinal y si el robot es conducido por un terreno inclinado de manera lateral, el margen de estabilidad gravitacional será la estabilidad lateral. Si se supone que el suelo es compacto, podemos estimar la máxima capacidad de ascenso en pendientes del robot a partir de las coordenadas del centro de gravedad con respecto al suelo y del punto de contacto con las ruedas, es decir:

- **Pendiente superable en ascenso y descenso:**

$$\theta_{\max} = \min \left\{ \text{atan} \left(\frac{Y_{CGf}}{Z_{CG}} \right), \text{atan} \left(\frac{Y_{CGb}}{Z_{CG}} \right) \right\}$$

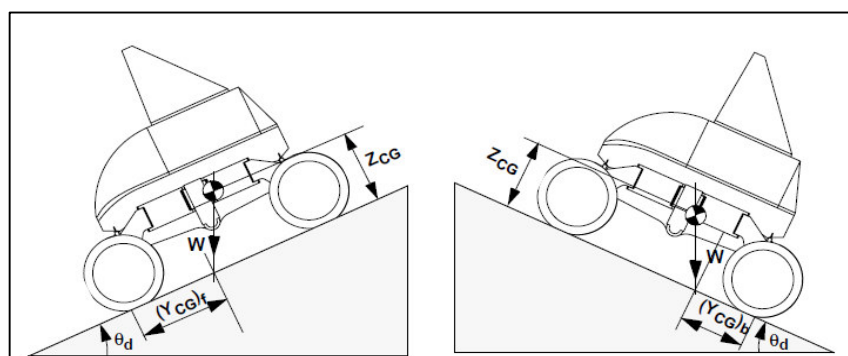


Figura N° 87: Máximo margen de estabilidad longitudinal.

Fuente: (Apostolopoulos, 2001)

- **Pendiente superable al cruzar un terreno inclinado:**

$$\theta_{\max} = \min \left\{ \operatorname{atan} \left(\frac{X_{CGl}}{Z_{CG}} \right), \operatorname{atan} \left(\frac{X_{CGr}}{Z_{CG}} \right) \right\}$$

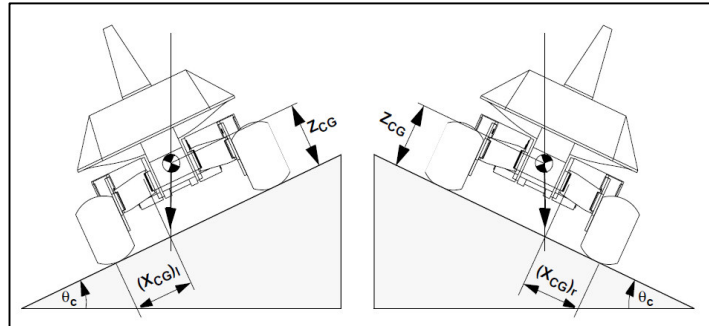


Figura N° 88: Máximo margen de estabilidad lateral.

Fuente: (Apostolopoulos, 2001)

Los valores aproximados que tendrían el robot todo terreno para la estabilidad en terrenos inclinados son:

$$Y_{CG} = 110 \text{ mm}$$

$$Z_{CG} = 270 \text{ mm}$$

$$X_{CG} = 130 \text{ mm}$$

Sin tomar en cuenta un factor de seguridad el ángulo aproximado para el ascenso y descenso de pendientes aproximadamente es de 22.16° grados y el ángulo aproximado para cruzar terrenos inclinados es de 25.7° grados.

3.1.4.4. Grados de libertad del robot

Los grados de libertad de un robot son los parámetros que determinan la posición y la orientación de las articulaciones que posee el robot, estos parámetros se refieren a los posibles movimientos independientes como pueden ser movimientos giratorios y de desplazamiento. El número de grados de libertad con que cuenta un robot (GLD) determina la accesibilidad de éste y su capacidad de orientación. Es relativamente frecuente que el número de GDL de los robots comerciales coincida con el número de articulaciones, es decir, que cada articulación representa un GLD. El robot todo terreno, contará con 4 GLD, para una mejor navegación maniobrabilidad sobre un terreno no preparado, como es el caso de un terreno boscoso, donde podemos encontrar varias irregularidades y obstáculos.

3.1.4.5. Velocidad

La velocidad de un robot depende de la aplicación para la cual el robot fue diseñado, en este caso, para un robot explorador todo terreno que va a navegar y a moverse principalmente en terrenos tipo bosque o boscosos, la velocidad máxima para garantizar un movimiento seguro y minimizar los impactos dinámicos como vibraciones e impactos será de $2 \frac{cm}{s}$.

3.1.5. SELECCIÓN DE MATERIALES

Para empezar, se hizo una toma de decisión ponderando algunos materiales disponibles en el mercado y con similares características para satisfacer los criterios de diseño del robot y así compararlos y decidir con cuál de estos trabajar y fabricar la mayor parte de los elementos constitutivos del sistema mecánico.

Tabla N° 23:

Calificación de propiedades del aluminio.

Material		Aluminio		
Ítem	Parámetros	Calificación (1-10)	Prioridad (1-10)	Total
1	Resistencia Mecánica	8	10	80
2	Ligero	8	10	80
3	Duro	7	4	28
4	Económico	9	9	81
5	Fácil mecanizado	8	10	80
6	Disponibilidad	7	10	70
7	Aspecto Estético	9	5	45
			Total	464
Promedio factor PRI			8.28	
Puntuación máxima			580	
Puntaje porcentual			80,00	

Tabla N° 24:

Calificación de propiedades del acero. (continua).

Material		Acero		
Ítem	Parámetros	Calificación (1-10)	Prioridad (1-10)	Total
1	Resistencia Mecánica	10	10	100
2	Ligero	3	10	30
3	Duro	10	4	40
4	Económico	10	9	90
5	Fácil mecanizado	7	10	70

6	Disponibilidad	9	10	90
7	Aspecto Estético	8	5	40
			Total	460
	Promedio factor PRI		8.28	
	Puntuación máxima		580	
	Puntaje porcentual		79,31	

Tabla N° 25:

Calificación de propiedades del duraluminio.

Material		Duraluminio		
Ítem	Parámetros	Calificación (1-10)	Prioridad (1-10)	Total
1	Resistencia Mecánica	8	10	80
2	Ligero	8	10	80
3	Duro	8	4	32
4	Económico	5	9	40
5	Fácil mecanizado	7	10	28
6	Disponibilidad	7	10	70
7	Aspecto Estético	9	5	45
			Total	375
	Promedio factor PRI		8,28	
	Puntuación máxima		580	
	Puntaje porcentual		64.65	

Tabla N° 26:

Calificación de propiedades del Nylon.

Material		NYLON		
Ítem	Parámetros	Calificación (1-10)	Prioridad (1-10)	Total
1	Resistencia Mecánica	4	10	40
2	Ligero	10	10	100
3	Duro	7	4	28
4	Económico	8	8	64
5	Facilidad de montaje	4	4	16
6	Disponibilidad	6	10	60
7	Aspecto Estético	7	5	35
			Total	343
	Promedio factor PRI		8,2	
	Puntuación máxima		580	
	Puntaje porcentual		59.13	

Como podemos ver en las tablas comparativas de estos materiales, el mejor material ponderado es el Aluminio, por ser un material ligero, de fácil mecanizado, disponible en el mercado y con un buen aspecto estético.

El mayor inconveniente que presenta el acero es su peso, por lo que no es un material que ayude a satisfacer varios criterios de diseño, sin embargo su bajo costo y fácil mecanizado hacen que sea la segunda alternativa para la fabricación de componentes. El Duraluminio es un material con buenas prestaciones mecánicas pero es un material muy costoso y de difícil disponibilidad en el mercado. El Nylon es un material de fácil mecanizado, ligero, pero con una resistencia mecánica muy por debajo en comparación con los otros materiales.

3.1.6. DISEÑO DE COMPONENTES DEL ROBOT

Una vez establecido el material principal para los elementos y componentes del robot y tomando en cuenta los criterios de diseño primordiales para un vehículo todo terreno, se procederá con el diseño de cada uno de los componentes mecánicos con la ayuda de herramientas computacionales que hacen posible el diseño asistido por computador (CAD por sus siglas en inglés). Esta es una herramienta indispensable en cualquier diseño de ingeniería, ya que con la ayuda de un software computacional podremos simular su geometría y los esfuerzos a los que puede estar sometido cada parte de la estructura del robot y de esta manera lograr que el robot cumpla con el objetivo para el cual fue diseñado. Con la ayuda del software SolidWorks, se realizará todo el diseño de la parte mecánica y sus respectivas simulaciones y además brinda todas las herramientas necesarias para un diseño tridimensional. En este diseño asistido por computador, se tomará en cuenta factores como velocidad, peso, material, fuerzas, torques, deslizamiento, relaciones de posición y todos los factores que permitan simular y modelar los componentes lo más cercanos a la realidad y así determinar las situaciones más críticas que pudieran suscitarse. Una de las principales inquietudes para el diseño mecánico del robot fueron las dimensiones que este debería tener en su ancho, largo y altura, así como también el diámetro adecuado de las ruedas para cumplir con las funciones preestablecidas, por lo que se decidió comenzar a partir de un bosquejo con medidas similares a los de robots ya construidos y puestos en funcionamiento con los mismo objetivos del de este proyecto. Las medidas aproximadas del robot explorador serán: 65 cm de largo, 48 cm de ancho y 30 cm de altura, el diámetro de sus ruedas de 13 cm y su peso aproximado de 10 kg. Partiendo de estas medidas preliminares, se diseñarán todos sus componentes teniendo en cuenta,

el peso, dimensiones de los mecanismos, elementos disponibles en el mercado y todos los componentes electrónicos que el robot alojará en su interior.

3.1.6.1. Ruedas del robot

Las ruedas del robot desempeñan un papel primordial para el buen funcionamiento del robot, por lo que luego de diversas simulaciones y bosquejos donde se tomó en cuenta principalmente aspectos de proporcionalidad, se decidió que el diámetro apropiado para éstas es de 14cm, y su ancho de 8 cm similares a las ruedas que se pueden apreciar en la Figura 89:



Figura N° 89: Ejemplo de ruedas para robots.

Fuente: (Jet Propulsion Laboratory - NASA, 2007)

- **Tracción en las ruedas del robot:**

La tracción se desarrolla debido al contacto entre una rueda accionada con el suelo, por lo que, las ruedas sin motor (arrastradas) no pueden generar tracción si no cuentan con un par de entrada generado por un motor y así accionar la fuerza de tracción necesaria para girar la rueda y propulsar el vehículo. Un cálculo aproximado de las

fuerzas en las ruedas, sin tomar en cuenta el hundimiento y asumiendo que la llantas del vehículo son totalmente rígidas, nos permitirá conocer la fuerza de tracción y la capacidad de torque necesario en los motores.

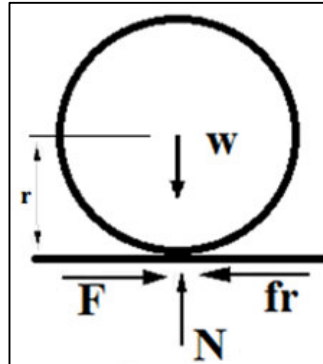


Figura N° 90: Diagrama del cuerpo libre de la rueda del robot.

La fuerza de tracción en la rueda del robot está representada con la letra F , fr es la fuerza de fricción, N es la fuerza de reacción normal y W es la fracción de peso que soporta la rueda. Si se tiene una aceleración de $0.02 \frac{m}{s^2}$, el peso aproximado que soporta la rueda es de 2 kg , el coeficiente de rozamiento estático $\mu = 0.6$, la masa de la rueda es de aproximadamente 1 kg , y el radio de la rueda $r = 0.07 \text{ m}$, se tiene:

$$\sum x = m * a$$

$$fr - F = m * a$$

$$\mu * N - F = m * a$$

$$\therefore F = 11.75 [N]$$

El torque M , que ejerce el motor debido a la fuerza de tracción F en terreno plano, se calcula mediante la siguiente expresión.

$$M = F * r$$

$$M = 0.82 [Nm]$$

Para un terreno inclinado, las fuerzas presentes en la rueda del vehículo varían dependiendo del ángulo de inclinación del terreno, si asumimos un ángulo de 30° grados de inclinación del terreno, la ecuación de la sumatoria de fuerzas es la siguiente:

$$\sum x = m * a$$

$$fr + mg\text{Sen } \theta - F = m * a$$

$$\mu * mg\text{Cos } \theta + mg\text{Sen } \theta - F = m * a$$

$$\therefore F = 19.985 [N]$$

Y el torque que el motor ejerce sobre las ruedas en un terreno inclinado es de aproximadamente, $M = 1.39 [Nm]$

3.1.6.1.1. Modelado CAD

En la siguiente figura se puede apreciar las ruedas del robot fabricadas a partir de un tubo de aluminio, dichas ruedas son de 12.5 [cm] de diámetro. Una alternativa para mejorar la adherencia y tracción de las mismas es colocar pedazos de caucho como se muestra en la siguiente figura. Cada rueda tiene un ancho de 7.5 [cm] y el espesor final del tubo es de 4.5 [mm].

En el anexo 1.1 de los Planos del robot, se detallan todas las medidas y especificaciones de las ruedas.

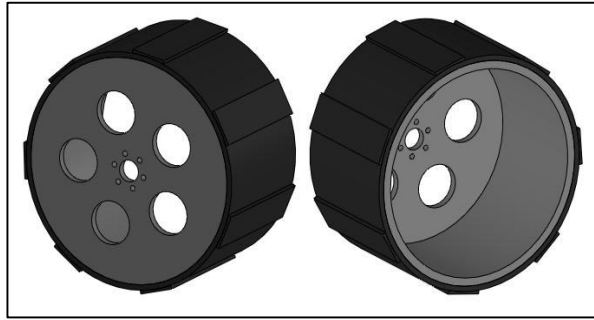


Figura N° 91: Ruedas del robot todo terreno.

Cabe recalcar que pueden existir diferentes métodos de fabricación para realizar estas ruedas, pero a continuación se detallan los pasos que se diseñaron y se planificaron seguir en este proyecto.

3.1.6.1.2. Proceso de fabricación

Las ruedas son rígidas, duras, livianas y fueron fabricadas con Aluminio a partir de un tubo de 5 pulgadas de diámetro. El espesor del tubo deberá ser cilindrado interna y exteriormente hasta alcanzar un espesor de 4.5 mm y ambas caras rectificadas para lograr un ancho de 7.5 cm. Además este pedazo de tubo será tapado en uno de sus extremos con un pedazo de la plancha de aluminio mediante soldadura TIG. Una vez que los tubos estén unidos a las tapas, se realizarán cinco perforaciones equidistantes de 1 pulgada de diámetro para disminuir su peso y darle una al tubo una apariencia de un aro de llanta y una perforación central facilitará el montaje de los motores de transmisión mediante casquillos para ejes de motor que contiene pernos UNC 4-40 serie gruesa, según la Norma ANSI B1.1-1974. Para mejorar el agarre en las ruedas, estas fueron dotadas con tacos de caucho, con las siguientes dimensiones (80x15x8)

mm y para unir el caucho a las ruedas de Aluminio, se empleó un pegamento en base a neopreno.

Para el proceso de fabricación es necesario contar con las siguientes máquinas, herramientas, instrumentos de medición y materiales.

- **Máquinas y Equipos:**

- Torno.
- Fresadora.
- Máquina de soldadura TIG.
- Sierras manual para acero.

- **Herramientas:**

- Brocas.
- Rayador.
- Útiles para tornear.
- Disco de corte.
- Pegamento.
- Cepillo de acero.
- Útiles para soldadura TIG.
- Taladro.
- Soplete.

- **Instrumentos de medición:**

- Calibrador pie de rey.
- Flexómetro.
- Escuadra.
- Nivel de burbuja.

- **Materiales:**

- 1 Tubo de Aluminio de Ø5 pulg. 70 cm de longitud.
- Plancha de Aluminio de 3 mm de espesor. Dimensiones (40x40) cm.
- Plancha caucho acanalada con dureza 60. Dimensiones (100x40x0.05) cm.

A continuación se detallan los pasos para la construcción de las ruedas del vehículo:

1. En primer lugar, se debe trazar las referencias de corte en la plancha de aluminio y de esta manera cortar seis cuadrados de 13x13 [cm]. También se debe trazar las referencias de corte en el tubo de aluminio cada 85 [mm].
2. Marcar el centro de cada cuadrado que se obtuvo de la plancha de aluminio para preceder a taladrar un orificio central empleando una broca de ¼ de pulgada como se muestra en la siguiente figura. Luego juntar los seis cuadrados con un solo perno a través de dicho orificio central.



Figura Nº 92: Taladrado de oficios centrales en placas de aluminio.

3. Una vez hecho esto, procedemos con la puesta a punto del torno y cortamos las seis placas cuadradas de aluminio en pedazos circulares de 12 [cm] de diámetro como se muestra a continuación en la siguiente figura.



Figura N° 93: Corte de placas de aluminio en torno.

4. Continuamos con el corte del tubo de aluminio colocándolo en el torno como se muestra en la siguiente figura y así obtener un pedazo pequeño de 85 [mm] de longitud.



Figura N° 94: Corte del tubo de aluminio en torno.

5. Refrentar una de las caras del tubo para posteriormente realizar una guía donde encajará la tapa de aluminio. Velocidad del torno 200 RPM.



Figura N° 95: Pedazo tubo de aluminio con guía para tapa.

6. Procedemos con la puesta a punto de la máquina de soldadura TIG y preparamos toda la utilería necesaria para soldar el pedazo de tubo recortado con la tapa circular previamente fabricada.
7. Debemos limpiar y limar las zonas de contacto entre la tapa y el pedazo de tubo para un mejor proceso de unión y es recomendable previamente calentar las piezas que van a ser soldadas con un soplete como se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura N° 96: Calentamiento de piezas con soplete.

8. Se procede con la soldadura para luego y dejar que las piezas soldadas se enfríen a temperatura ambiente. Parámetros de la máquina de soldadura. (Voltaje: 14 [V] y Amperaje: 60 [A].
9. Regresamos al torno para un cilindrado interno y externo y rectificado final de la rueda, y de esta manera lograr las dimensiones finales establecidas para las ruedas. Espesor final del tubo 4.5 [mm].



Figura N° 97: Proceso de soldadura de las ruedas de aluminio.

10. Ponemos a punto la fresadora junto con un cabezal divisor para taladrar los orificios de las tapas de la rueda.



Figura N° 98: Taladrado de orificios en la rueda con fresadora.

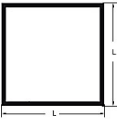
11. Finalmente debemos recortar la plancha de caucho para obtener tiras de 8x44 [cm] y con un pegamento en base a neopreno procedemos con la fijación del caucho alrededor del tubo de aluminio y dejamos secar el pegamento durante 24 horas. En la siguiente figura se muestra el resultado final de la fabricación de las ruedas.



Figura N° 99: Resultado final de la fabricación de las ruedas.

3.1.6.2. Sistema de suspensión Rocker-Bogie

El sistema de suspensión Rocker-Bogie, se construirá a partir de tubos cuadrados de aluminio de 1.5 pulgadas por lado, estos servirán de soporte y protección para los elementos del sistema de dirección como los servomotores, y a su vez, servirá de apoyo para al cuerpo del robot y mantendrá las ruedas en la posición adecuada durante la movilidad. Una de los motivos de haber elegido tubos es que por su interior se pueden canalizar los cables de conexión y alimentación de los motores desde el sistema de control hasta las ruedas. Las características geométricas de estos tubos se encuentran detalladas en el catálogo de su fabricante como se puede apreciar en la Figura 100:



Referencia	Lado		Espesor mm	Peso kg/m
	Milímetros	Pulgadas		
1386	38.10	1 1/2	1.80	0.708
1583	38.10	1 1/2	1.20	0.480

Figura. N° 100: Características geométricas de los tubos de Aluminio.

Fuente: (Seteco , 2008)

Luego de simular esfuerzos en un prototipo del sistema de suspensión y someterlo a posibles fuerzas de acción/reacción de hasta 100 N provocadas principalmente por obstaculos del terreno, se llegó a la conclusión que el tubo con espesor de 1.2 mm, satisface correctamente la función de proteger a los elementos del sistema de dirección servo controlado, ya que no se visualizan zonas ó puntos con esfuerzos, desplazamientos y deformaciones elevadas que pudiesen afectar el funcionamiento de dicho mecanismo.

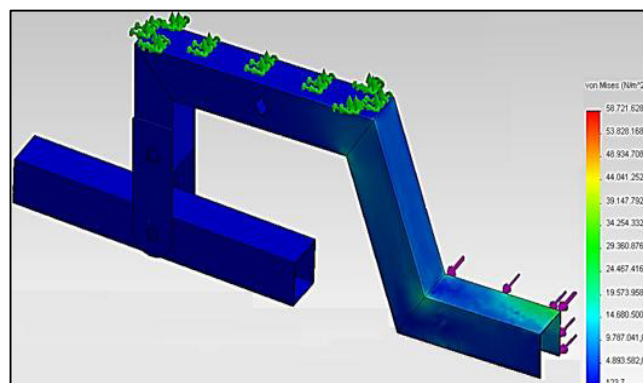


Figura. N° 101: Esfuerzos sobre el sistema de suspensión.

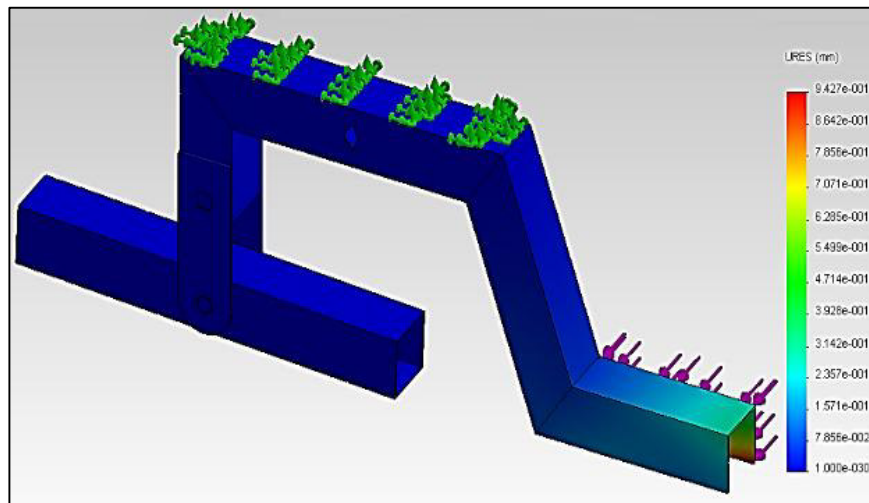


Figura. N° 102: Desplazamiento ocasionado por fuerza externa en el sistema de suspensión.

En el estudio estático realizado al brazo basculante, se observa un desplazamiento máximo de 0.941 mm en unas de las caras del tubo, lo cual no es un aspecto preocupante ya que al incluir todos los componentes que se alojan en la parte interna, esta cara no podrá desplazarse.

3.1.6.2.1. Modelado CAD

En la siguiente figura se puede apreciar el sistema de suspensión del robot fabricado a partir de tubos cuadrados de aluminio con 1.5 pulgadas por lado y un espesor de 1.2 [mm], unidos mediante pernos y remaches según la geometría principal de los planos.

En el anexo 1.2 de los Planos del robot, se detallan todas las medidas y especificaciones del sistema de suspensión.

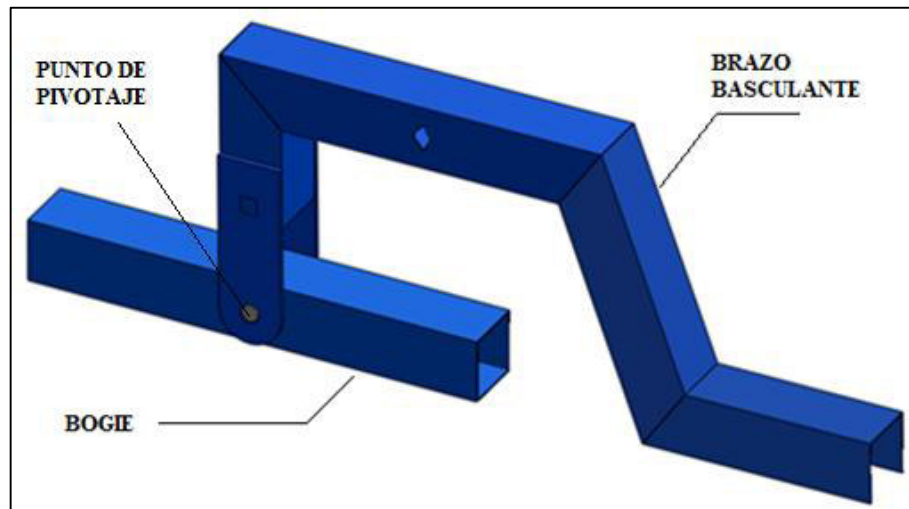


Figura. N° 103: Sistema de suspensión del robot todo terreno.

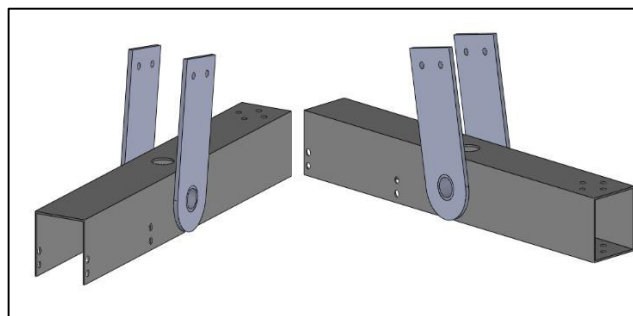


Figura. N° 104: Tubo con punto de pivoteo del sistema de suspensión.

3.1.6.2.2. Proceso de fabricación

Para el proceso de fabricación es necesario contar con las siguientes máquinas, herramientas, instrumentos de medición y materiales.

- **Máquinas y Equipos:**

- Sierras eléctrica de tubo.
- Máquina de soldadura TIG.
- Taladro.

- **Herramientas:**

- Brocas.
- Tijeras.
- Remachadora.
- Rayador.
- Playo.
- Remaches de ½”.
- Útiles para soldar.

- **Instrumentos de medición:**

- Flexómetro.
- Escuadra.
- Calibrador pie de rey

- **Materia Prima:**

- 1 Tubo cuadrado de Aluminio anodizados de 1.5 [pulgadas] por lado y 2.5 [m] de longitud.
- Platina de aluminio con espesor de 3 [mm] y 40x3.8 [cm] de longitud y ancho respectivamente.
- Tubo redondo de aluminio, diámetro Ø: 15 [mm] y 10 [cm] de longitud.

A continuación se detallan los pasos para la construcción del brazo basculante del sistema de suspensión del vehículo:

1. En primer lugar se debe recortar el tubo de aluminio anodizado según la geometría detallada en los planos. En estos tubos se debe realizar cortes con ángulos específicos.

2. Una vez hecho los cortes, se procede a la unión de los tubos mediante remaches obteniendo así el brazo basculante de sistema de suspensión como se muestra en la Figura 105.



Figura. N° 105: Brazo basculante del robot.

3. Precedemos a realizar un corte que permitirá el montaje de la caja servo controlada del sistema de dirección. Este corte tiene una medida de 95 [mm] desde el extremo del brazo basculante como se muestra en la Figura 106.

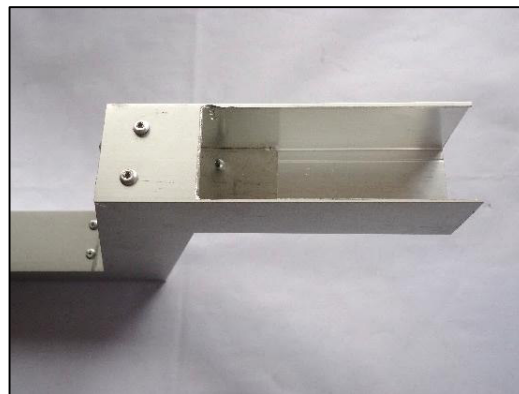


Figura. N° 106: Corte para montaje de caja servo controlada.

4. Con un taladro realizamos todas las perforaciones que servirán para: la fijación de tubos, sujeción de ejes, montaje de caja servo controlada y canalización de cables como se indica en el anexo 1.2 de los planos del robot.

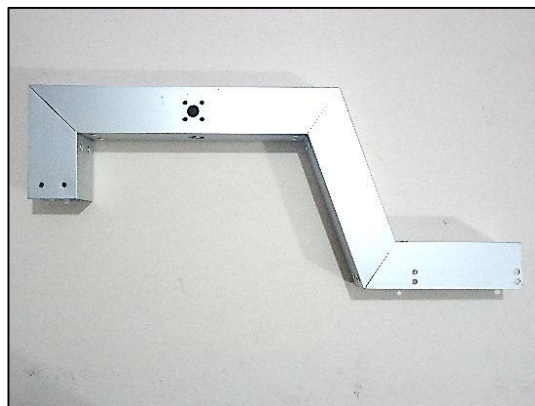


Figura. N° 107: Resultado final fabricación brazo basculante.

5. Hecho el brazo basculante del sistema de suspensión, continuamos con la fabricación del tubo denominado “Bogie” para lo cual, a partir del tubo cuadrado de aluminio de 1.5 pulgadas, recortamos un pedazo de 25 [cm] de longitud y le realizamos las perforaciones que se indican en el anexo 1.2 de los planos del robot.
6. Luego, recortamos la platina en pedazos de 10 [cm] de longitud.
7. Hecho esto, procedemos con las perforaciones para el montaje mediante tornillos y el corte circular en uno de los extremos de cada platina.
8. Del tubo redondo, cortamos dos pedazos pequeños de 45 [mm] de longitud, los mismo que atraviesan por la perforación central que tiene el tubo anodizado de aluminio.

9. Ya que se tienen todas las piezas listas para su ensamble, ponemos a punto la máquina de soldadura TIG y unimos el tubo circular con los dos pedazos de platina ubicados en sus extremos como se muestra en la siguiente figura.



Figura. N° 108: Resultado final de la fabricación del Bogie.

3.1.6.3. Diferencial mecánico

Emplearemos un mecanismo diferencial, que transmitirá el movimiento y potencia desde un brazo basculante hacia el otro en una relación de 1:1 a través de tres engranajes cónicos. Para engranar adecuadamente los tres engranes, estos deben tener el mismo ángulo de presión, el mismo paso y el mismo número de dientes. Estos engranes pueden ser de nylon o moldeados en acero y sus principales diferencias se muestran en la tabla N° 27. Estos engranes irán acoplados a ejes de acero inoxidable con un diámetro de 3/8 de pulgada y éstos a su vez irán montados sobre mini chumaceras que soportan hasta 400 libras de carga radial y las chumaceras a su vez irán montadas sobre una caja de acrílico, la misma que cumplirá con dos funciones principales, servir de apoyo a las chumaceras y alojar en su interior a las baterías del robot.

Tabla N° 27:

Diferencias entre engranes de nylon y acero.

ITEM	ACERO	NYLON
Menor peso		✓
Silencioso		✓
Resistente a la corrosión		✓
Mayor velocidad	✓	
Mayor carga	✓	
Económico		✓

Como se puede apreciar en la Tabla N° 27, los engranes de nylon son una buena alternativa para cumplir con las necesidades y funciones del diferencial que deberá implementarse en el robot, debido a que no existirán grandes velocidades y la carga es relativamente baja. Las dimensiones de éstos se muestran a continuación:

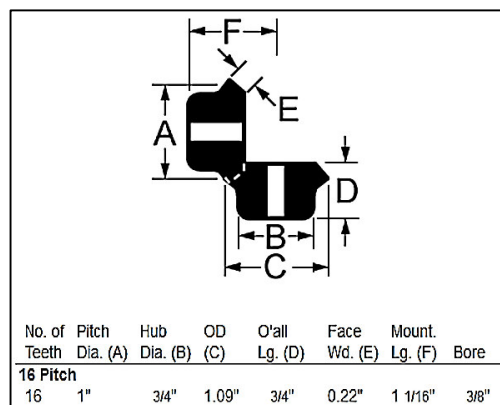


Figura. N° 109: Dimensiones de los engranajes del robot.

Fuente: (McMaster Carr, 2014)

Las dimensiones principales de las chumaceras empleadas para el diferencial mecánico se muestran a continuación en la Figura 110:

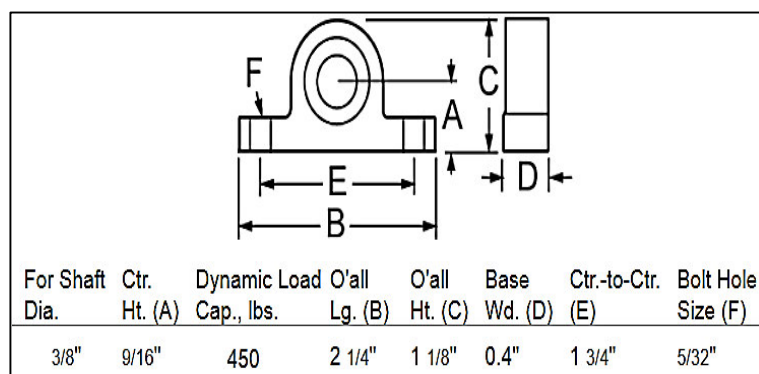


Figura. N° 110: Dimensiones de las chumaceras del diferencial.

Fuente: (McMaster Carr, 2014)

Para posicionar a los ejes en su lugar e impedir que estos se muevan, se empleará collarines o collares para ejes, los mismos que cuentan con tornillos de sujeción y apriete conocidos como prisioneros, los mismos que se pueden apreciar en la siguiente figura.



Figura. N° 111: Collar de sujeción para ejes.

Fuente: (ServoCity, 2014)

3.1.6.3.1. Modelado CAD

En la siguiente figura se puede apreciar el mecanismo diferencial empleado para transmitir movimiento de un brazo basculante a otro. Éste diferencial consta de engranajes de Nylon, mini chumaceras, ejes de acero inoxidable de 3/8 de diámetro y una caja de soporte fabricada a partir de acrílico.

Todos estos elementos constitutivos se encuentran montados sobre una placa de acrílico de 3mm de espesor y esta a su vez va fija a la estructura de la carrocería mediante tornillos. En el anexo 1.3 de los planos del robot, se detallan todas las medidas y especificaciones de cada parte constitutiva del diferencial mecánico, como lo son los ejes, chumaceras y principalmente las medidas de la caja de soporte fabricada en acrílico con su respectiva base.

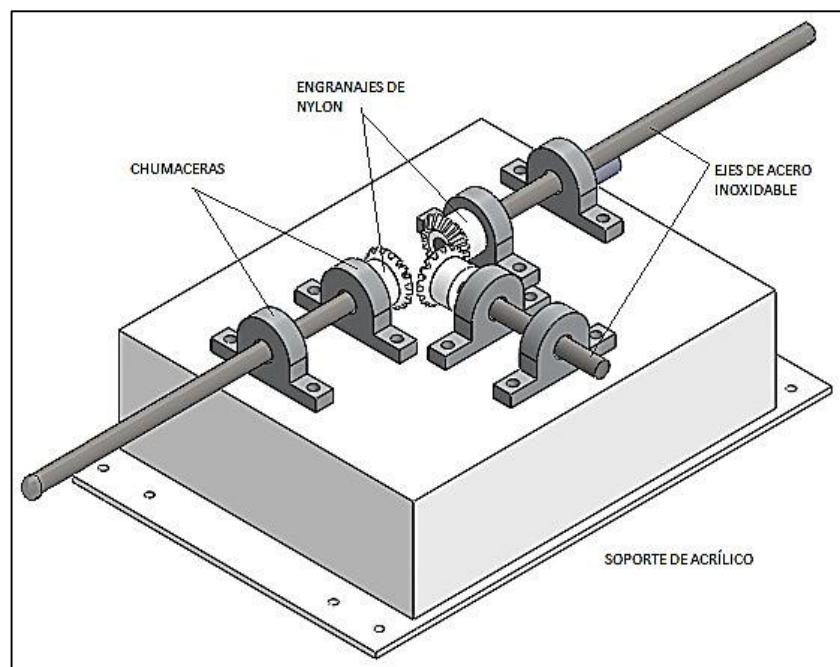


Figura. N° 112: Diferencial Mecánico del robot.

3.1.6.3.2. Proceso de fabricación

Para el proceso de fabricación es necesario contar con las siguientes máquinas, herramientas, instrumentos de medición y materiales.

- **Máquinas y Equipos:**

- Sierras.
- Taladro.

- **Herramientas:**

- Brocas.
- Machuelos.
- Juego de desarmadores.
- Pernos
- Tuercas.
- Pegamento.

- **Instrumentos de medición:**

- Flexómetro.
- Escuadra.
- Calibrador pie de rey

- **Materiales y elementos:**

- Plancha de acrílico de 3 [mm] de espesor, 45x35 [cm], color blanco.
- 3 Ejes de acero inoxidable Ø 3/8".
- 6 Mini Chumaceras con orificios para ejes de Ø 3/8".
- 3 Engranajes cónicos de nylon con agujero para eje de Ø 3/8".
- 3 Prisioneros de Ø 6 [mm].
- 12 Pernos de 3/4" x 5 mm.

A continuación se detallan los pasos para la construcción y ensamblaje del diferencial mecánico del robot:

1. Debemos construir la caja de acrílico según las especificaciones del anexo 1.3 de los planos del robot. Los cortes y agujeros se los realizó con láser.
2. Los engranes de nylon no cuentan tornillos para su fijación, por lo que debemos realizar agujeros de 6 [mm] de diámetro en el cuerpo de los engranajes para luego pasar machuelos en dichos agujeros y colocar los pernos prisioneros que generan retención del engrane sobre el eje.

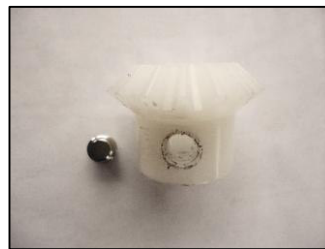


Figura. Nº 113: Engranaje con agujero para prisionero.

3. Una vez hecho esto, procedemos a montar las mini chumaceras en la caja de soporte de acrílico como se muestra en la siguiente figura.



Figura. Nº 114: Chumaceras montadas sobre la caja de acrílico.

4. Para finalizar, debemos montar los ejes de acero inoxidable a través de las chumaceras junto con los collares de fijación y los engranajes situados en los extremos de cada eje como se muestra en la siguiente figura.

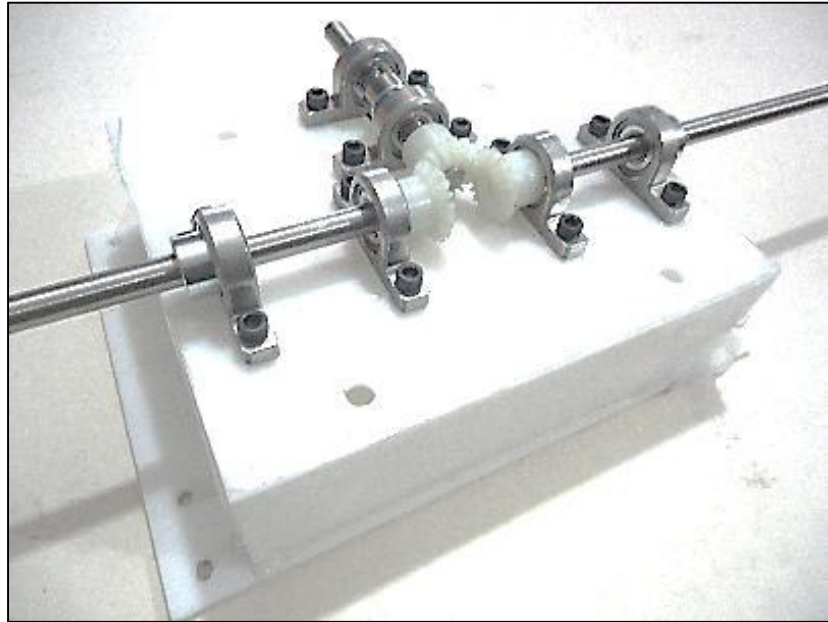


Figura. N° 115: Resultado final fabricación diferencial mecánico.

3.1.6.4. Sistema de dirección

Para el sistema de dirección del robot, se empleará una pequeña caja de transmisión (piñón - engranaje) servo controlada, ya que la principal función de este mecanismo es posicionar las ruedas en un ángulo adecuado y preciso para una movilidad y desplazamiento óptimos.

El torque que se requiere para girar la rueda del robot, si esta pesa 1 *kg*, y se mueve en un brazo de 0.055 *m*, es de 0.54 [*Nm*], es decir, aproximadamente 80 [*oz – in*].

La caja de transmisión que se utilizará puede desarrollar un torque de hasta 623 [oz – in] (dependiendo de la alimentación del servomotor), con una relación de 7:1 y un servomotor HS-5485HB de hasta 89 [oz – in]. El piñón del servomotor tiene 12 dientes, y el engranaje empleado para mover la rueda tiene 84 dientes. Además, el piñón del servomotor es de cobre, mientras que el engranaje de transmisión es de aluminio 6061 - T6. La ventaja principal de este mecanismo es su servomotor, el mismo que brinda un posicionamiento preciso a la rueda gracias a su control en lazo cerrado, razón por la cual se optó por un sistema servo controlado.



Figura. N° 116: Caja de transmisión servo controlada.

Fuente: (ServoCity, 2014)

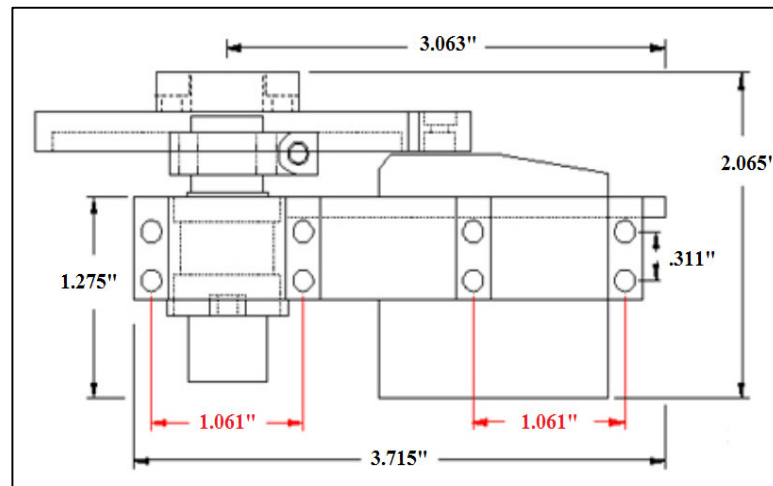


Figura. N° 117: Dimensiones de la caja de transmisión servo controlada.

Fuente: (ServoCity, 2014)

Para mover la rueda se requiere de un acople que irá fijo al engranaje de la caja de transmisión servo controlada y servirá de soporte para el motor de corriente continua empleado para la transmisión de la rueda. Esta pieza mecánica fabricada de aluminio sirve de conexión entre la rueda y la caja de transmisión servo controlada.

3.1.6.4.1. Modelado CAD del acople para ruedas

En la siguiente figura se puede apreciar el elemento empleado para acoplar las ruedas del robot con el sistema de dirección. Este elemento permite que las ruedas giren y mantiene los motores de transmisión en una posición idónea para el avance del vehículo. Ésta pieza mecánica es fabricada a partir de una plancha de aluminio de 3 [mm] de espesor, y cada parte es unida mediante soldadura TIG para darle una forma de perfil en C. En el anexo 1.4 de los Planos del robot, se detallan todas las medidas y especificaciones del acople para las ruedas del sistema de dirección.

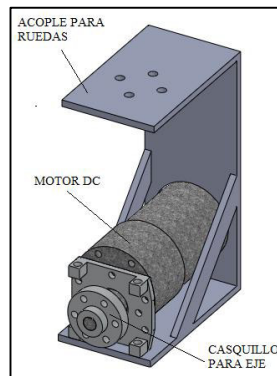


Figura. N° 118: Acople para ruedas del motor.

3.1.6.4.2. Proceso de fabricación

Para el proceso de fabricación es necesario contar con las siguientes máquinas, herramientas, instrumentos de medición y materiales.

- **Máquinas y Equipos:**

- Sierras.
- Taladro.
- Máquina de Soldadura TIG.

- **Herramientas:**

- Entenalla.
- Útiles para soldar.
- Caladora manual.
- Brocas.

- **Instrumentos de medición:**

- Flexómetro.
- Escuadra.
- Calibrador pie de rey

- **Materia Prima y elementos:**

- Plancha de Aluminio de 3 mm de espesor, 30x30 [cm].

A continuación se detallan los pasos para la construcción y ensamblaje del acople de las ruedas del robot:

1. Para comenzar con la construcción de ésta pieza mecánica, debemos trazar las referencias de corte sobre la plancha de aluminio y cortar 6 platinas de 4.5x25 [cm] con la sierra de acero manual
2. Una vez hecho esto, procedemos con el corte de las pletinas obtenidas en el paso 1 seccionándolas en 3 partes que formarán el acople en C. Para esto se debe tomar en cuenta las dimensiones detalladas en el anexo 1.4 de los planos de robot.
3. Continuamos con el proceso de taladrado y corte de los orificios de montaje. El orificio de soporte para los motores de corriente continua debe realizárselo con la caladora manual.
4. Seguido de esto, se debe limpiar y limar las piezas de aluminio. Posicionarlas perpendiculares unas con otras y proceder con la soldadura TIG como se muestra en la siguiente figura.



Figura. N° 119: Piezas a unirse mediante soldadura TIG.

5. Luego de soldar las piezas de aluminio para dar forma al acople de las ruedas, dejamos enfriar a temperatura ambiente.
6. Procedemos con el corte de dos tiras pequeñas de aluminio para fabricar los soportes angulares. Dichos soportes irán unidos mediante soldadura TIG al acople de las ruedas para evitar deformaciones.

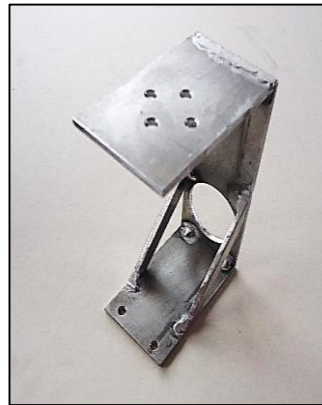


Figura. Nº 120: Resultado final fabricación Acople para ruedas.

3.1.6.5. Cuerpo principal del robot (carrocería)

El cuerpo principal del vehículo debe ser fabricado con un material liviano, con una tapa o paredes transparentes y resistente a impactos, ya que uno de los objetivos de este proyecto es dotar al laboratorio de robótica con un robot para fines académicos y es importante que los estudiantes y docentes puedan apreciar y observar los componentes del sistema electrónico y del mecanismo diferencial localizados en el interior. A continuación se presentan unas tablas comparativas empleadas para seleccionar el material con el cual se construirá dicha carrocería.

Tabla N° 28:

Calificación de propiedades del Acero.

Material		LAMINA DE ACERO		
Ítem	Parámetros	Calificación (1-10)	Prioridad (1-10)	Total
1	Resistencia Mecánica	10	10	100
2	Ligero	2	9	18
3	Transparente	2	10	20
4	Económico	9	8	72
5	Aspecto Estético	8	5	45
			Total	230
Promedio factor PRI			8,4	
Puntuación máxima			420	
Puntaje porcentual			54,76	

Tabla N° 29:

Calificación de propiedades del Acrílico.

Material		ACRÍLICO		
	Parámetros	Calificación (1-10)	Prioridad (1-10)	Total
1	Resistencia Mecánica	8	10	80
2	Ligero	9	9	81
3	Transparente	9	10	90
4	Económico	8	8	64
5	Aspecto Estético	8	5	40
			Total	355
Promedio factor PRI			8,4	
Puntuación máxima			420	
Puntaje porcentual			84,52	

Tabla N° 30:

Calificación de propiedades del Policarbonato.

Material		POLICARBONATO		
	Parámetros	Calificación (1-10)	Prioridad (1-10)	Total
1	Resistencia Mecánica	10	10	100
2	Ligero	9	9	81
3	Transparente	7	10	70
4	Económico	6	8	48
5	Aspecto Estético	7	5	35
			Total	334
	Promedio factor PRI		8,4	
	Puntuación máxima		420	
	Puntaje porcentual		79,52	

Dado que el acrílico es el material mejor ponderado, éste será el material empleado para la construcción de la tapa y de las caras laterales de la carrocería.

3.1.6.5.1. Modelado CAD

En la siguiente figura se puede apreciar la carrocería del robot empleada para alojar y proteger en su interior a los elementos del sistema electrónico como tarjetas electrónicas y baterías.

Ésta caja es fabricada a partir de una plancha de acrílico de 3 [mm] de espesor y para alcanzar una mayor robustez y resistencia a impactos, dicha caja cuenta en sus aristas con una estructura de tubos de aluminio anodizados de 1".

En el anexo 1.5 de los Planos del robot, se detallan todas las medidas y especificaciones de para fabricar la carrocería del robot.

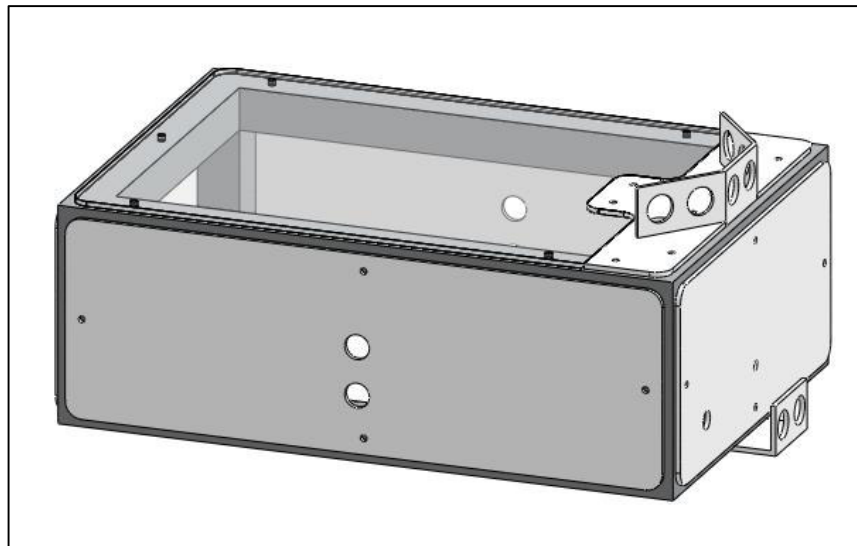


Figura. N° 121: Carrocería del robot.

3.1.6.5.2. Proceso de fabricación

Para el proceso de fabricación es necesario contar con las siguientes máquinas, herramientas, instrumentos de medición y materiales.

- **Máquinas y Equipos:**

- Sierra eléctrica para tubos.
- Taladro.
- Tijeras de tol
- Soldadora eléctrica de arco.

- **Herramientas:**

- Brocas.

- Playo.
- Rayador.
- **Instrumentos de medición:**
 - Flexómetro.
 - Escuadra.
 - Calibrador pie de rey
- **Materia Prima y elementos:**
 - Plancha de tol galvanizado de 0.7 mm de espesor, 37x25 [cm].
 - Plancha de acrílico color blanco, espesor 3 [mm], 80x40 [cm].
 - Plancha de acrílico transparente, espesor 3 [mm], 37x25 [cm].
 - 3 [m] de tubo de aluminio anodizado de 1" por lado.
 - 8 uniones para tubo a 90° grados.
 - 35 pernos auto perforantes de ½".

A continuación se detallan los pasos para la construcción y ensamblaje del diferencial mecánico del robot:

1. En primer lugar, debemos trazar las referencias de corte sobre el tubo de aluminio anodizado y cortar con la sierra eléctrica los pedazos que servirán de aristas para la caja.
2. Una vez que se tienen todos los tubos recortados, procedemos a unirlos unos con otros hasta formar la estructura interna de la caja como se puede apreciar en la siguiente figura.

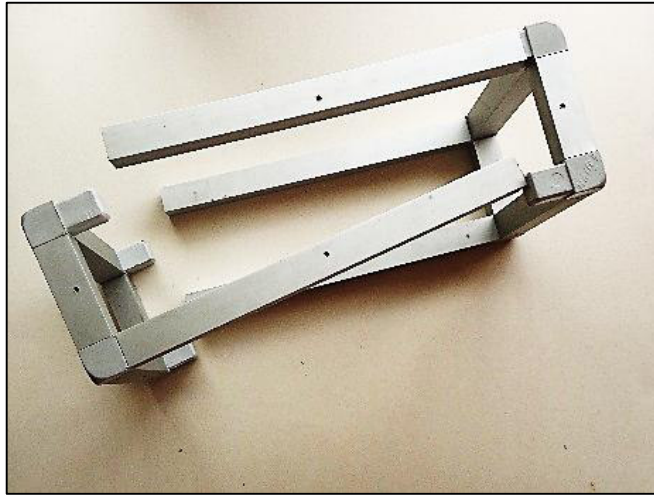


Figura. N° 122: Estructura interna de la carrocería del robot.

3. Las caras laterales y la tapa superior de la caja son fabricadas a partir de la plancha de acrílico. Los cortes y orificios respectivos son realizados con láser. Todas las medidas y especificaciones de las mismas se las puede observar en el anexo 1.5 de los planos del robot.
4. Se debe fabricar una base para la caja con tol galvanizado. Sus respectivos cortes y perforaciones están detallados en el anexo 1.5 de los planos del robot.
5. Una vez que se cuenta con la base de tol, se procede con la soldadura de ocho tuercas que servirán para el montaje del diferencial mecánico y para la fijación de la misma en la estructura de la carrocería como se puede apreciar en la siguiente figura.

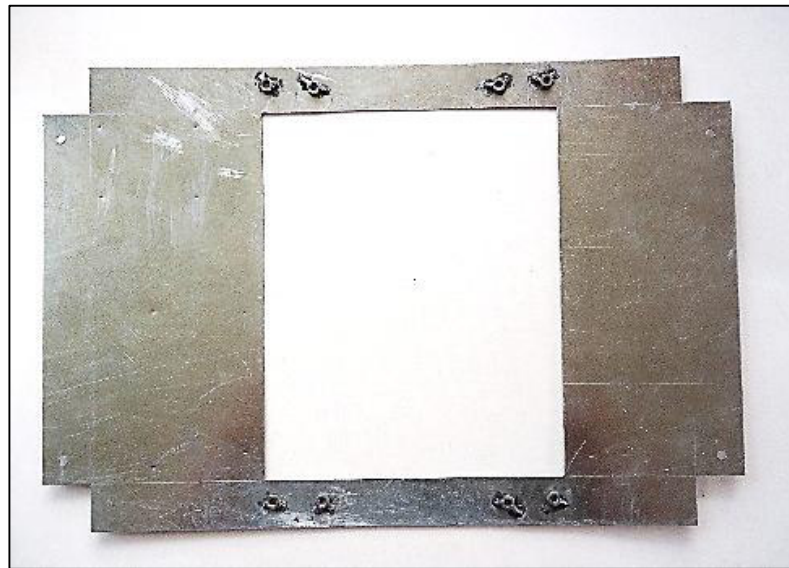


Figura. Nº 123: Base de la caja de la carrocería del robot.

6. Finalmente, todas las piezas y partes constitutivas de la carrocería del robot, son montadas a la estructura de aluminio mediante pernos y tuercas. Las piezas de acrílico se las fija haciendo uso de un taladro manual y pernos auto perforantes.



Figura. Nº 124: Resultado final fabricación carrocería del robot.

3.1.7. MONTAJE DE COMPONENTES DEL ROBOT

Para el montaje de los componentes del robot, se considera la construcción previa del sistema de suspensión, el diferencial mecánico, el sistema de dirección para las ruedas, la carrocería y las ruedas del robot teniendo en cuenta la especificaciones establecidas en cada uno de los planos de construcción.

Para el ensamblaje mecánico del robot todo terreno se comenzará por las ruedas, se continuará con el sistema de suspensión y finalmente se montará la carrocería siguiendo el procedimiento aquí detallado:

- Colocar la pieza de montaje para motores, con la ayuda de un desarmador.
- Fijar los casquillos a los ejes de cada motor empleando una llave hexagonal pequeña.
- Luego colocar los motores de transmisión en los acoples para las ruedas, mediante el uso de dos pernos tipo Allen.



Figura. N° 125: Ensamblaje del acople de las ruedas del robot.

- Una vez ensamblado el acople de las ruedas, procedemos con el ensamblaje del sistema de suspensión Rocker-Bogie, para lo cual, haciendo uso de dos pernos de 2 pulgadas de longitud, unimos el brazo basculante con el tubo denominado Bogie.
- Por el interior de los tubos que forman parte del sistema Rocker-Bogie, se debe canalizar los cables de conexión eléctrica de los motores de corriente continua y de los servomotores.
- Seguido de eso, procedemos con el montaje de las cuatro cajas de transmisión servo controladas empleando pernos tipo Allen para su montaje.

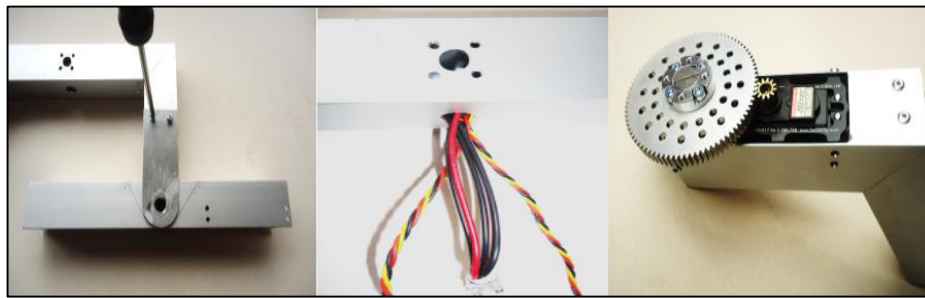


Figura. N° 126: Ensamblaje del Sistema de suspensión Rocker-Bogie.

- Los acoples de las ruedas deben montarse mediante pernos tipo Allen a los engranajes de las cajas de transmisión servo controladas.
- Una vez que se tienen los acoples en su lugar, se procede a colocar las ruedas. Las ruedas deben ser atornilladas en el casquillo para eje del motor mediante seis pernos 4-40 rosca gruesa.
- Hecho esto, se procede a colocar los ejes del diferencial mecánico a través del brazo basculante, empleando casquillos para ejes de 3/8" de diámetro, los mismos que cuentan con pernos prisioneros para mantener los ejes en posición.

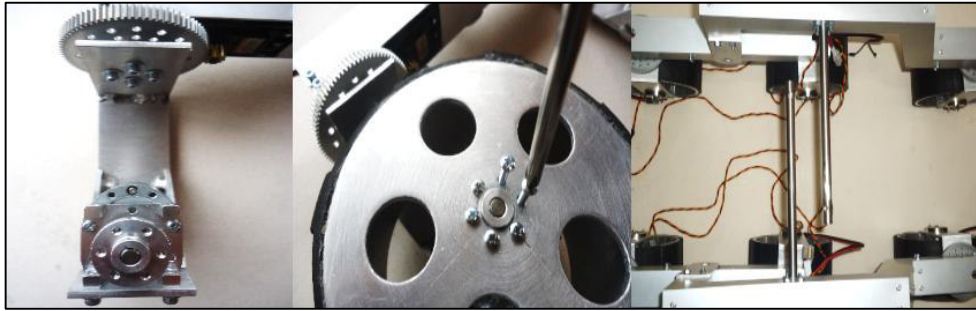


Figura. N° 127: Ensamblaje de ruedas y ejes del diferencial mecánico.

- Montar la base de tol galvanizado en la estructura de aluminio.
- Colocar y sujetar con pernos la caja de acrílico que contiene a las mini chumaceras del diferencial mecánico.
- Empleando desarmador y pernos auto perforantes, se coloca las tapas laterales de acrílico en la estructura de aluminio.
- Fijar los engranajes de Nylon junto con los casquillos a los ejes de acero inoxidable que previamente deben ser posicionados a través de las chumaceras.

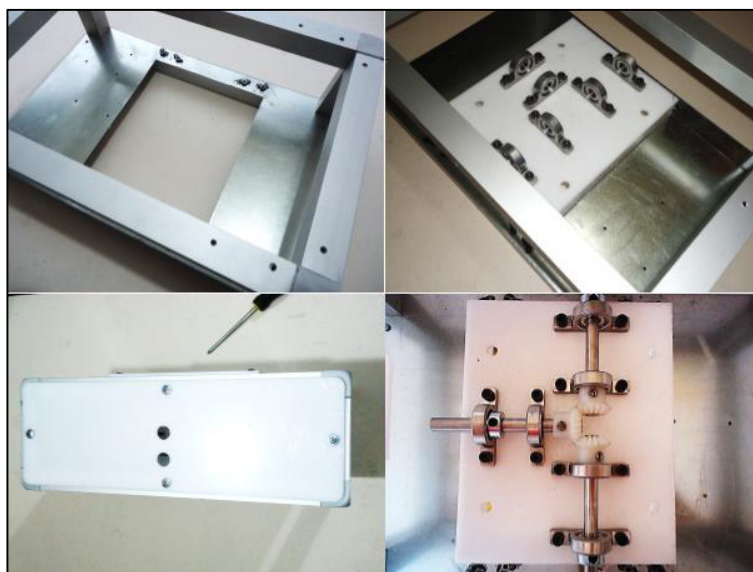


Figura. N° 128: Ensamblaje y montaje de la carrocería del robot.

Una vez que se ha ensamblado todas partes constitutivas del sistema mecánico y parte del sistema eléctrico, el resultado final de éste ensamblaje se lo puede apreciar en la Figura 129.

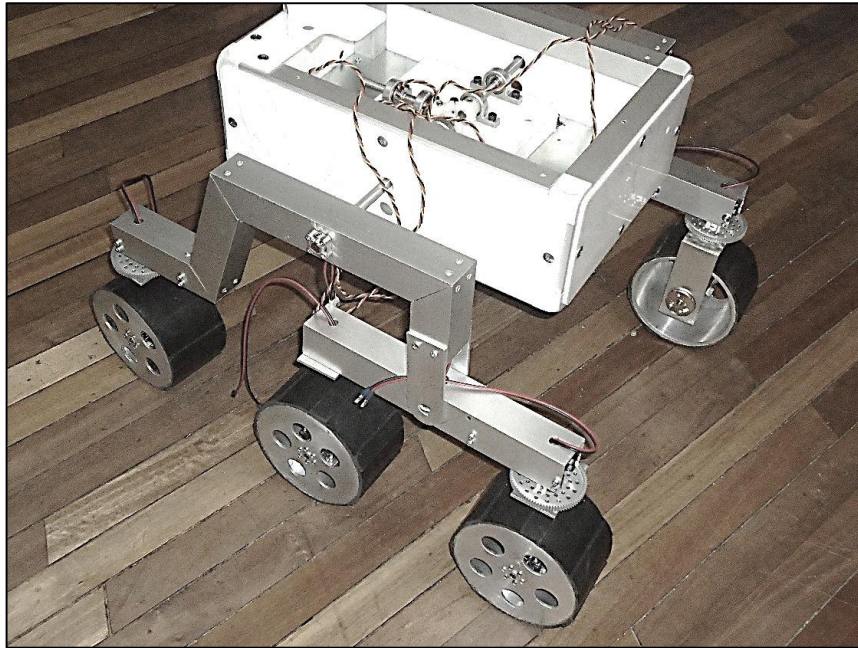


Figura. N° 129: Resultado final del ensamblaje mecánico del robot.

3.2. DISEÑO ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO

3.2.1. REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES

Se debe diseñar y seleccionar los elementos del sistema eléctrico / electrónico para cumplir con los siguientes requerimientos:

- **Requerimientos:**

- Fuentes de alimentación con voltajes de 3.3, 5, 10 y 12 VDC.
- Fuentes de alimentación independientes para los motores.
- El control principal del robot se lo realizará mediante un microcontrolador.
- Diseñar y construir una estación de control y monitoreo empleando: palancas de control, pulsadores, botones, switch y luces de aviso.
- La comunicación entre la estación de control y monitoreo y el robot deberá ser inalámbrica con un alcance aproximado de 100 m.
- Incorporar una Cámara inalámbrica en el robot.
- Emplear sensores para la medición de distancias e inclinación en el robot.
- Tiempo mínimo de funcionamiento de las baterías: 30 minutos.

- **Restricciones:**

- Espacio físico en el interior de la carrocería del robot.
- Costo referido a la compra como a la fabricación de las partes del sistema.
- Disponibilidad comercial.

3.2.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PRINCIPALES

En la siguiente figura se muestran los elementos que podrían emplearse para cumplir con cada función del robot, para lo cual se planteó dos alternativas principales: alternativa uno (color verde) y la alternativa dos (color rojo).



















FUNCIONES	A	B	C
ENERGÍA	 Paneles solares	 Baterías	
MOTORES DE TRANSMISIÓN	 Motores DC	 Servos	 PAP
MOTORES DE DIRECCIÓN	 Motores DC	 Servos	 PAP
CONTROL	 Arduino	 PCB	
SENSOR PROXIMIDAD	 Infrarrojo	 Ultrasónico	 Interruptor
SENSOR INCLINACIÓN	 Acelerómetro	 Giroscopio	
COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	 Bluetooth	 Xbee	 WI-FI

Figura. N° 130: Matriz morfológica de las alternativas de diseño.

De acuerdo a las características, ventajas y desventajas de las diferentes alternativas de diseño descritas en el capítulo 2 (Marco Teórico), se han seleccionado los principales elementos del sistema eléctrico / electrónico, sin embargo existen elementos que podían cumplir y satisfacer los requerimientos y necesidades planteadas por igual, como es el caso de las baterías en comparación con los paneles solares, sensores infrarrojos o sensores ultrasónicos y los acelerómetros o giroscopios, por lo que se recurrió a una matriz de selección para elegir la alternativa más adecuada.

S O L U C I O N E S	CLASIFICACIÓN							CRITERIO	
	Compatible con la tarea global	Satisface requerimientos	Costo permisible	Funcionamiento confiable	Fácil de conseguir	Genera simplicidad en el diseño	Fácil de operar	(+)	Aceptar
								(-)	Eliminar
								(?)	Colectar información
								NOTA PONDERADA	
ARDUINO	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	
PCB	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)		
INFRARROJO	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)		
ULTRASÓNICO	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	
ACELERÓMETRO	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	
GIROSCOPIO	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)		
PANEL SOLAR	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)		
BATERIAS	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	

Figura. N° 131: Matriz de selección de la solución de diseño.

Como se muestra en la figura anterior, se tomó la decisión de incorporar al sistema electrónico placas electrónicas de hardware libre con microcontrolador incorporado,

en lugar de construir una placa de circuito impreso PCB con un diseño propio, para agilizar el tiempo de implementación y facilitar el montaje.

3.2.2.1. Motores de transmisión

Como se mencionó anteriormente, dado que el robot empleará baterías de corriente continua, los motores empleados serán también de corriente continua con diferentes voltajes.

Los motores de transmisión serán motores a 12 VDC, con un torque máximo de 750 [oz- in] ó 5.3 [N-m] y dado que no se requiere un control preciso de posicionamiento, este motor satisface las necesidades de movilidad y tracción en las ruedas del robot satisfactoriamente.



Figura. N° 132: Motor 12 VDC con caja reductora.

Fuente: (ServoCity, 2014)

Tabla N° 31:

Características de los motores de transmisión.

GEAR MOTOR VDC
Rango de Operación: 6-12 VDC
Torque máximo: 750 oz-in.@ 12VDC
Corriente máxima: 1.0 Amp @ 12VDC
Corriente sin carga: 80mA
Velocidad sin carga: 10 RPM
Relación de transmisión: 300:1
Tamaño del motor: 1.355" Dia. x 1.70"L
Tamaño de la caja reductora: 1.45" Dia. x 1.30"L
Tamaño del eje: 6mm (0.236") Dia. x 0.715"L
Peso: 0.504 lbs. (8.05 oz.)

3.2.2.2. Controlador para motores de corriente continua

Para controlar los motores de corriente continua se requiere de un Driver de motor para manejar las altas corrientes que éstos generar, y así con la ayuda de este dispositivo podemos conectar las fuentes separando los voltajes de control con los voltajes de fuerza o potencia.

Dado que el controlador dispone de dos canales, debemos conectar en paralelo 3 motores por canal, y debido a que el consumo máximo de corriente de los motores es de 1 amperio, se tendrá en cada canal una corriente máxima de 3 amperios.

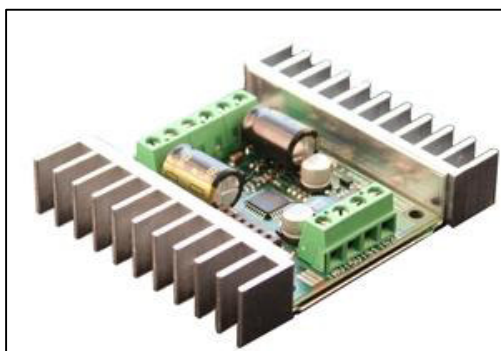


Figura. N° 133: Controlador de motores Sabertooth.

Fuente: (Dimension Engineering, 2014)

A continuación se detallan las características principales del controlador de motores de corriente continua marca Sabertooth, modelo 2x12:

Tabla N° 32:

Características de los controladores para motor.

DRIVER PARA MOTORES

12A continuos, 25A pico por canal.

Soporta hasta 24V de entrada.

Controlador regenerativo síncrono

Switch ultrasónico de frecuencia

Protección térmica y de sobre corriente

Modo de protección de Litio

Modos de entrada: Análoga, R/C, Serial

Tamaño: 2.3" x 3" x .7", 59 x 75 x 17 mm

3.2.2.3. Motores para el sistema de dirección

Para el sistema de dirección en las ruedas, es necesario emplear un control de lazo cerrado para el posicionamiento de las ruedas en el ángulo correcto, es por esta razón se empleará 4 servomotores a 6 VDC en las cajas de transmisión para controlar el giro de las ruedas del vehículo.



Figura. N° 134: Servomotor HS-5485HB del sistema de dirección.

Fuente: (ServoCity, 2014)

Este servomotor digital es lo último en tecnología en servomotores, el hecho de ser digital le permite al motor recibir la señal de posicionamiento a 300 veces por segundo. Las características principales de este servo digital se las puede apreciar en la Tabla 33:

Tabla N° 33:

Características de servomotores del sistema de dirección.

SERVOMOTOR DIGITAL HITEC HS-5485HB
Sistema de control: Ancho de pulsos 1500usec Neutral
Pulso requerido: 3-5 V Pico a pico de onda cuadrada
Voltaje de operación: 4.8-6.0 Volts
Rango de operación de temperatura: -20 to +60 grados C
Velocidad sin carga (4.8V): 0.20sec/60°
Velocidad sin carga (6.0V): 0.17sec/60°
Torque máximo (4.8V): 72oz/in. (5.2kg.cm)
Torque máximo (6.0V): 89 oz/in. (6.4kg.cm)
Ángulo de operación: 45 grados.
Dirección: CW pulsos 1500 a 1900usec
Corriente (4.8V): 8.8mA/inactivo y 400mA sin carga
Corriente (6.0V): 9.1mA/inactivo y 500mA sin carga
Dimensiones: 1.57" x 0.78"x 1.49" (39.8 x 19.8 x 38mm)
Peso: 1.59oz. (45g)

3.2.2.4. Sensores

- **Sensor Ultrasónico para medición de distancia:**

Para medir distancias, emplearemos sensores ultrasónicos por todas las ventajas presentadas en la parte teórica de este proyecto.

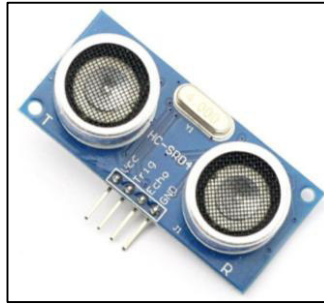


Figura. N° 135: Sensor ultrasónico HCSR04.

Fuente: (Amazon, 2014)

Los sensores a emplear son del tipo HCSR04, y sus principales características se detallan en la siguiente tabla:

Tabla N° 34:

Características del sensor HC- SR04.

SENSOR HC- SR04
Voltaje de trabajo DC 5 V
Corriente de trabajo 15mA
Frecuencia de trabajo 40Hz
Alcance máximo 4m
Rango mínimo 2cm
Ángulo de medición 15 grados
Señal de entrada 10uS TTL pulso
Dimensiones 45*20*15mm

En la siguiente figura se muestra el diagrama del ángulo efectivo de funcionamiento del sensor ultrasónico HC - SR04.

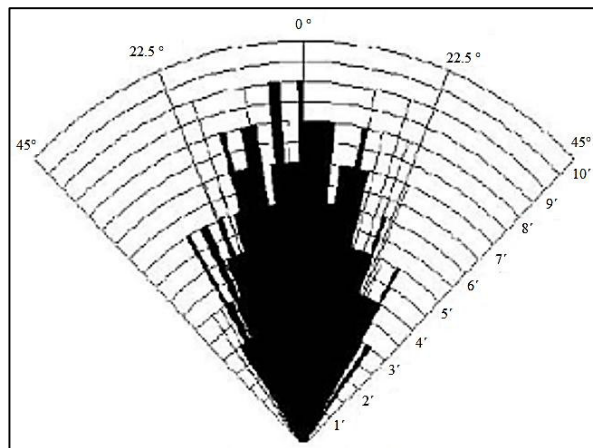


Figura. Nº 136: Ángulo efectivo de funcionamiento del Sensor HC-SR04.

Fuente: (TechMake, 2014)

- **Sensor para medir la inclinación:**

Para medir la inclinación, se empleará el acelerómetro MMA7361L, el mismo que entrega señales analógicas con las cuales se puede determinar la inclinación del terreno por donde transita el robot. El acelerómetro mide la aceleración en los tres ejes cartesianos, Z, X, Y. y mediante relaciones trigonométricas se puede determinar el ángulo entre los diferentes planos XY, YZ. El sensor puede ser activado mediante un pin denominado sleep y también se puede seleccionar la sensibilidad de trabajo del sensor. Si no se emite ninguna señal de aceleración, en ninguno de los ejes, éste envía una señal de caída libre.

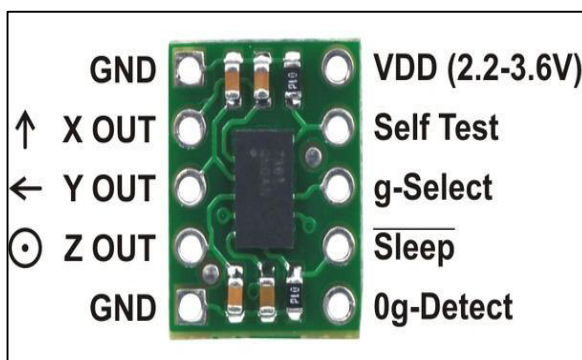


Figura. N° 137: Acelerómetro MMA7361L.

Fuente: (Pololu, 2014)

A continuación se detallan las características principales del acelerómetro MMA7361L:

Tabla N° 35:

Características del acelerómetro MMA7361L.

ACELERÓMETRO MMA7361L
Dimensiones del chip: 3mm x 5mm x 1.0mm
Bajo consumo de corriente: 400 μ A
Modo Inactivo: 3 μ A
Bajo voltaje de operación: 2.2 V – 3.6 V
Alta sensibilidad (800 mV/g @ 1.5g)
0g-Detección de caída libre

3.2.2.5. Placas de hardware libre ARDUINO

Se requiere controlar al robot por medio de un microcontrolador, manejar ciertas señales analógicas y digitales y para la comunicación inalámbrica empleando módulos de comunicación Xbee se requiere comunicación serial, por lo que, las placas de hardware libre ARDUINO son una alternativa que facilita el montaje del sistema electrónico, son fáciles de utilizar y de esta manera se disminuyen los tiempos y costos de fabricación en comparación con una PCB que cumpla los mismos requisitos. Para seleccionar la placa ARDUINO más conveniente que se ajuste a nuestras necesidades, es necesario tener en cuenta: el tipo y cantidad de señales y el voltaje de operación de cada elemento en el robot como también en el control remoto para el mando a distancia.

➤ Sistema electrónico del Robot:

- **Señales analógicas:**
 - Señales de entrada desde el acelerómetro: 2
 - Señal para el controlador de motores: 2
- **Señales digitales:**
 - Señales de salida para el acelerómetro: 2
 - Señal de control para motores de corriente continua PWM: 2
 - Señales de salida para los sensores ultrasónicos: 6 – 8
 - Señales de salida para los servomotores PWM: 6
- **Comunicación serial**
 - Pines: RX, TX
- **Voltajes de operación:**
 - Voltaje para módulos de comunicación Xbee: 3.3 V

- Voltaje para sensores y microcontrolador: 3.3 – 5 V

➤ **Sistema electrónico del Control Remoto:**

- **Señales analógicas:**

- Señales de entrada palanca de mando: 4

- **Señales digitales:**

- Señales de entrada pulsadores: 3
- Señal de salida para luces de aviso: 4

- **Comunicación serial**

- Pines: RX, TX

- **Voltajes de operación:**

- Voltaje para módulos de comunicación Xbee: 3.3 V
- Voltaje para palancas de mando y microcontrolador: 5 V

Teniendo en cuenta todos los aspectos antes mencionados y para facilitar futuras adecuaciones y mejoras al sistema, se elegirá la placa ARDUINO MEGA 2560 R3 para el sistema eléctrico del robot y acciones de control dentro del mismo y una placa ARDUINO UNO R3 para el control remoto a distancia.

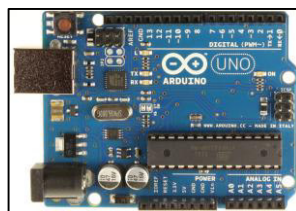


Figura. N° 138: Placa ARDUINO UNO R3.

Fuente: (Arduino, 2014)

Tabla N° 36:

Características de la placa ARDUINO UNO R3.

ARDUINO UNO R3	
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada	7-12V
voltaje de entrada (límites)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (6 PWM)
Analog Input Pins	6
DC Current por I/O Pin	40 mA
DC Current para 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

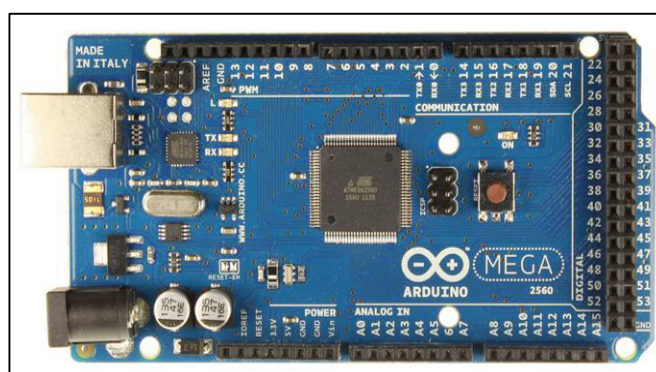


Figura. N° 139: Placa ARDUINO MEGA 2560 R3.

Fuente: (Arduino, 2014)

Tabla N° 37:

Características de la placa ARDUINO MEGA 2560 R3.

ARDUINO MEGA 2560 R3	
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada	7-12V
voltaje de entrada (límites)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (15 PWM)
Analog Input Pins	16
DC Current por I/O Pin	40 mA
DC Current para 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

3.2.2.6. Baterías

Las baterías deben ser seleccionadas teniendo en cuenta el voltaje de operación y el consumo de corriente de los elementos del sistema eléctrico / electrónico. Todas las baterías serán livianas y recargables para poder utilizar el vehículo varias veces y evitar su compra frecuentemente. Dado que el consumo de corriente de los motores es alto, es preferible que cada tipo de motores cuente con una batería independiente tanto a 12 V para los motores de tracción y 6 V para los servomotores, ya que esto permite evitar el uso de reguladores de voltaje que pueden fallar por la alta descarga de corriente y

provocar comportamientos no deseados en la movilidad del robot. El consumo máximo de corriente de los motores de tracción es de 1 Amp. con una potencia de 12 W. Al ser 6 motores en total, el consumo máximo esperado será de 6 Amp ó 72 W y si se requiere un funcionamiento mínimo de 30 minutos, la batería para estos motores deberá ser de 12 VCD, y de al menos 3 Amp-Hora. La batería seleccionada para alimentar los 12 voltios de los motores de tracción se muestra a continuación en la Figura 140:



Figura. N° 140: Batería recargable de NIMH a 12 VDC, 4.5 Amp-h.

Fuente: (BatterySpace, 2014)

Tabla N° 38:

Características de la Batería a 12 VDC, 6.6 Amp- Hora.

BATERÍA A 12 VDC, 4.5 Amp-h	
Voltaje	12 V
Amperios-hora	4.5 Amp-Hora
Máxima corriente de descarga	7 Amp
Dimensiones	95x38x72 mm
Peso	600 gramos

El consumo máximo de corriente de los servomotores es de 1.5 Amp. Con una potencia de 9 W. Al ser 6 motores en total, el consumo máximo esperado será de 9 Amp ó 54 W y si se requiere un funcionamiento mínimo de 30 minutos, la batería para estos motores deberá ser de 6 VCD, y de al menos 5 Amp-Hora. La batería seleccionada para alimentar los 6 voltios de los servomotores es una batería de Hidruro metálico de Níquel y se muestra a continuación:

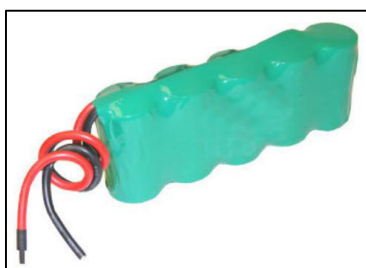


Figura. N° 141: Batería recargable de NiMH a 6 VDC, 10Amp-h.

Fuente: (BatterySpace, 2014)

Tabla N° 39:

Características de la Batería a 6 VDC, 10 Amp- Hora.

BATERÍA 6 VDC	
Voltaje	6 V
Amperios-hora	10 Amp-Hora
Máxima corriente de descarga	40 Amp
Dimensiones	165x33x65 mm
Peso	810 gramos

El consumo máximo de corriente de una Placa arduino si se emplean la mayor parte de sus pines de conexión puede llegar a 1.5 Amp. La tarjeta puede funcionar con un suministro externo de voltaje de 6 a 20 voltios. Si se proporcionan menos de 7V, no obstante, el pin de 5V puede suministrar menos de cinco voltios y la junta puede ser inestable. Si se utiliza más de 12V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa.

El rango recomendado es de 7 a 12 voltios por lo que la batería seleccionada para alimentar a la placa Arduino teniendo en cuenta estas consideraciones se muestra a continuación:

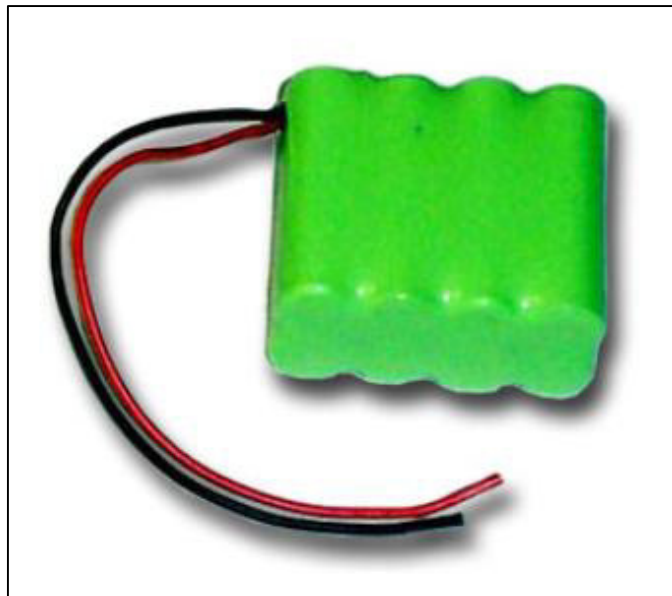


Figura. N° 142: Batería recargable de NiMH a 9.6 VDC, 2.2Amp-h.

Fuente: (BatterySpace, 2014)

Tabla N° 40:

Características de la Batería a 9.6 VDC, 2.2 Amp- Hora.

BATERÍA 9.6 VDC	
Voltaje	9,6 V
Amperios-hora	2,2 Amp-Hora
Máxima corriente de descarga	3.5 Amp
Dimensiones	55x48x25 mm
Peso	250 gramos

Para el control remoto de la estación base se empleará una placa arduino. El consumo máximo de corriente de una Placa arduino ya lo conocemos, pero en este caso será menor en comparación con la placa de control localizada en el robot. A pesar de esta consideración y debido al voltaje de operación óptimo de estas placas, se optó por utilizar la misma batería tanto para la placa Arduino Uno como para la Arduino MEGA 2560.

3.2.3. DIAGRAMAS DE CONEXIÓN

3.2.3.1. Motores de tracción

Para el control de los motores de transmisión a 12 VDC, se empleará un controlador o Driver Sabertooth 2x12 de dos canales (C1 y C2). Cada canal puede soportar hasta 12 Amperios continuos y hasta 25 Amperios pico por instantes cortos de tiempo.

La velocidad de los motores se controlará mediante PWM, por medio de dos pines de la placa ARDUINO destinados para esta función. Cabe recalcar que el controlador

para motores permite controlar la velocidad de los mismos mediante señales analógicas o por medio de comunicación serial, por lo que la única diferencia radica en el tipo de pines designados para el control. Además los motores y la placa ARDUINO tienen fuentes de poder independientes con sus respectivos voltajes.

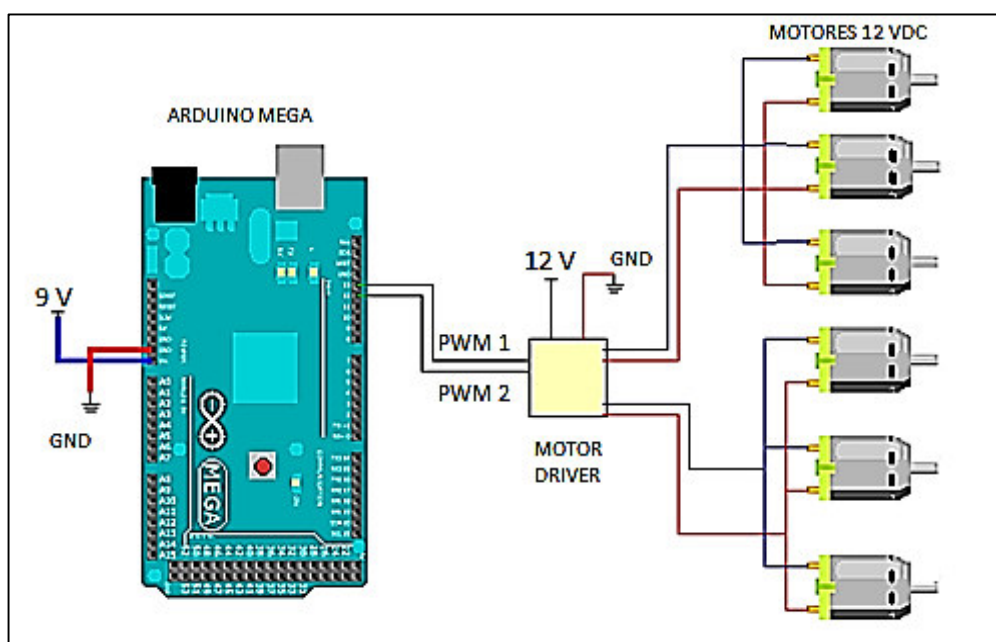


Figura. N° 143: Diagrama de conexión para motores de corriente continua.

3.2.3.2. Servomotores

Para controlar la posición de los servomotores, y por ende la posición de las ruedas del robot, se tienen señales de PWM, provenientes de la placa ARDUINO como se muestra en la siguiente figura para 2 servomotores.

El control para los servomotores es más sencillo comparado con el control para los motores de transmisión a 12 VDC, ya que éstos no precisan de un controlador, pero

como se requiere que funcionen a 6 V, cuentan con una batería independiente de la batería de alimentación de la tarjeta ARDUINO.

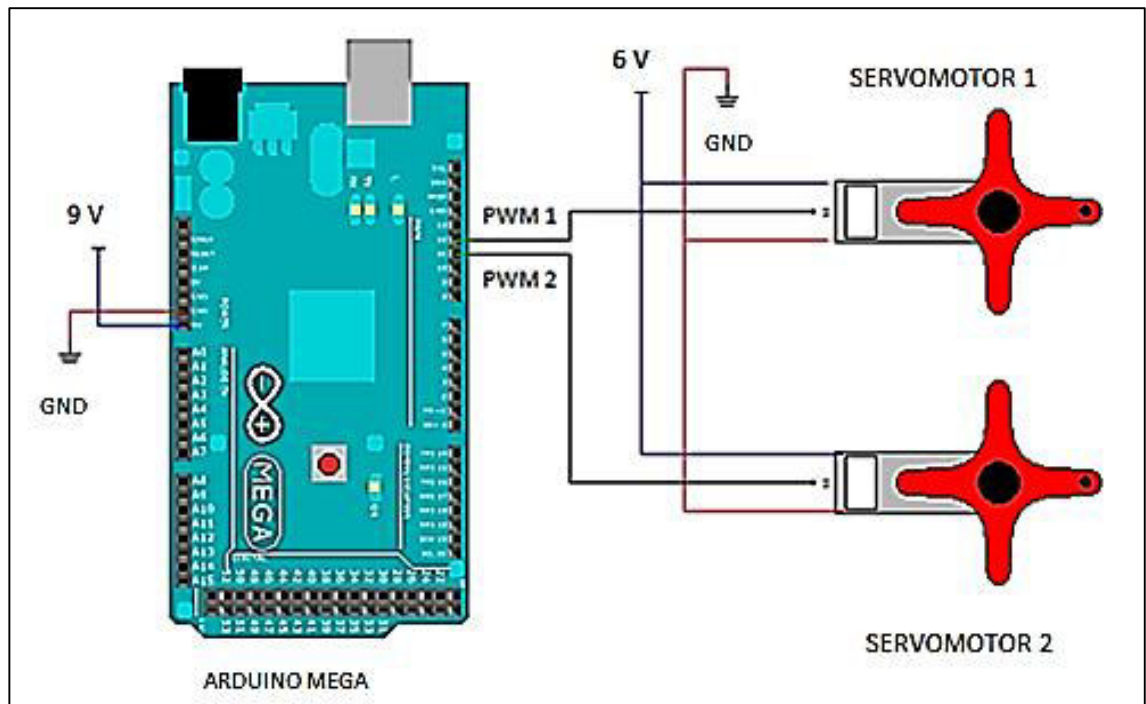


Figura. N° 144: Diagrama de conexión para el control de servomotores.

Los pines sobrante de la placa de hardware libre arduino mega, será destinados para la conexión de sensores y para la comunicación serial.

3.2.3.3. Control Remoto

El control remoto del de la estación base para la Teleoperación a distancia, cuenta principalmente con una tarjeta arduino uno, dos palancas analógicas de mando y pulsadores o varios switch como se muestra en la siguiente figura:

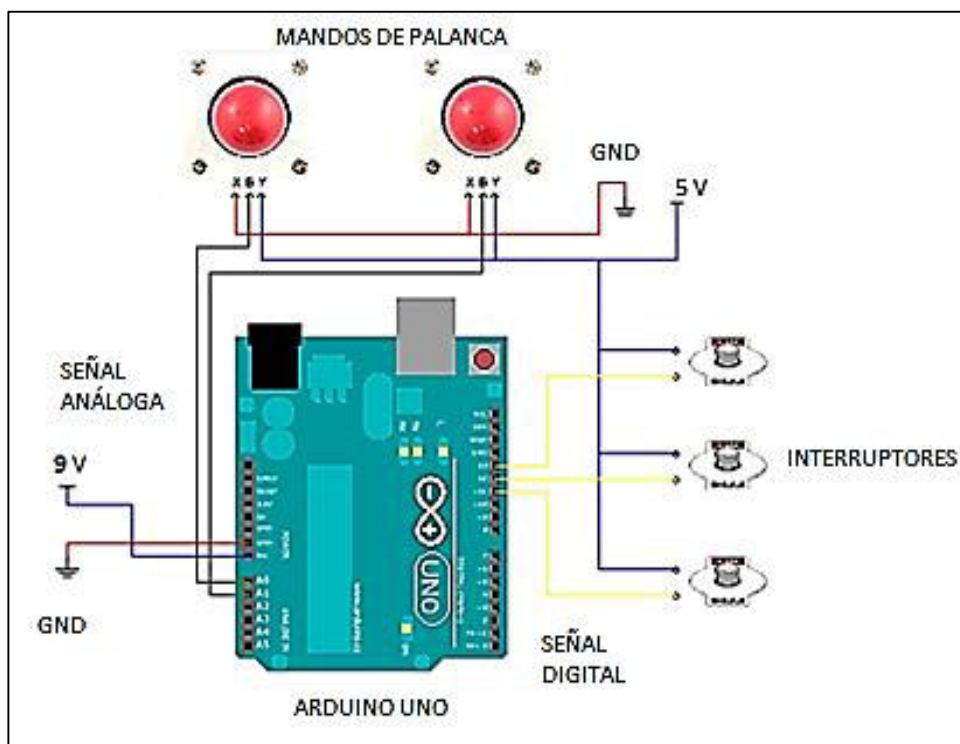


Figura. Nº 145: Diagrama de conexión para el control remoto del robot.

Así como en la tarjeta Arduino Mega 2560 R3 ubicada en el interior del vehículo, la tarjeta Arduino Uno R3 del control remoto, tiene pines sobrantes que serán empleados para la comunicación serial y otras entradas analógicas, dado que cada una de las palancas de mando a utilizarse cuentan con dos potenciómetros.

3.2.3.3.1. Construcción del Control Remoto

La caja principal del control remoto donde se alojan los componentes electrónicos como la tarjeta electrónica arduino y el circuito impreso que contiene las conexiones necesarias para los focos led, switch y las palancas de mando o joysticks, fue fabricada a partir de una de distribución eléctrica, donde se realizaron las respectivas

perforaciones sobre su tapa para el montaje de todos los componentes que forman el control remoto como se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura. N° 146: Fabricación del control remoto.

3.2.3.4. Diagramas esquemáticos

Los diagramas esquemáticos de las placas de hardware libre se pueden visualizar en el anexo 2 de los planos eléctricos del robot junto con los diagramas esquemáticos y ruteo de pistas de todas las placas de circuito impreso desarrolladas en este proyecto.

3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

3.3.1. REQUERIMIENTOS

Se debe diseñar y seleccionar los elementos del sistema de control para cumplir con los siguientes requerimientos:

- Modo de operación manual y automático del robot.
- Mando de control a distancia.
- Interfaz Humano Máquina para visualización de imagen proveniente de la cámara inalámbrica.
- Autonomía de navegación del robot.

El diseño del sistema de control consiste principalmente en desarrollar el software de control para el robot móvil, coordinando movimientos y acciones en modo automático y manual.

Se deben desarrollar programas tanto para los microcontroladores de las placas arduino y un programa para la interfaz gráfica entre el humano y la máquina que permite la recepción de datos desde el robot inalámbricamente.

Los programas a emplearse en este proyecto para el desarrollo de software y configuración de los elementos son:

- Software Arduino IDE.
- LabView 2011.
- Software X-CTU.

El cerebro principal del robot es el microcontrolador ATMEGA 2560, este microcontrolador es el encargado de procesar las señales recibidas a través de los módulos Xbee. Dependiendo de las señales recibidas, el microcontrolador emitirá señales de control a los actuadores del robot. Así mismo este microcontrolador procesará las señales de los sensores para una posterior toma de decisiones durante funcionamiento automático del robot. El microcontrolador localizado en el interior del control remoto del robot estará programado de forma tal que pueda recibir todas las señales provenientes de los controles manuales y pueda enviarlos al microcontrolador del robot para que este ejecute las acciones pertinentes en cada caso.

3.3.2. SOFTWARE DEL ROBOT

La arquitectura del software se presenta a continuación en la siguiente figura, donde se indica el funcionamiento y la interacción entre las partes del software.

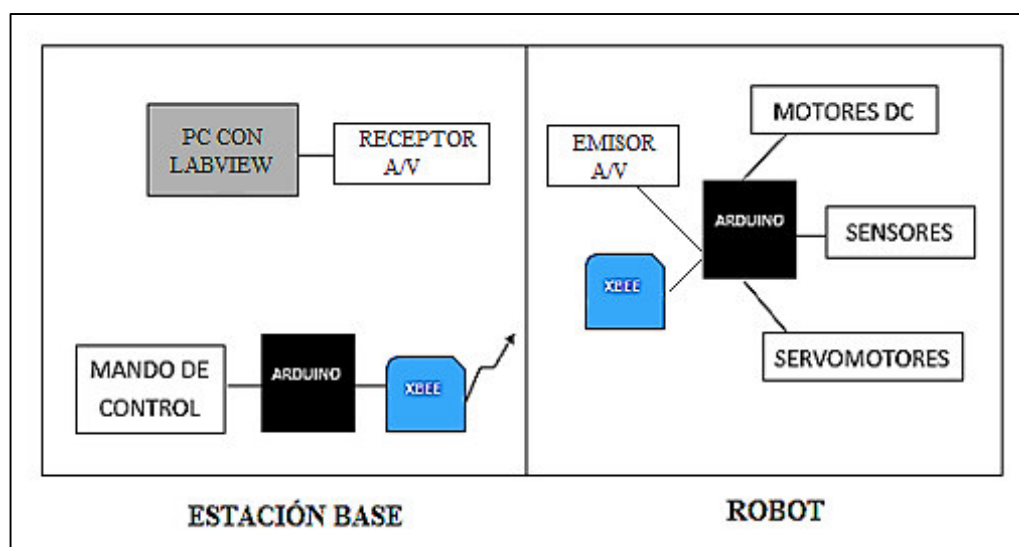


Figura. N° 147: Arquitectura del programa en la estación base y el robot.

3.3.2.1. Programación interfaz en LabView

La interfaz de usuario fue desarrollada en el software LabView 2011, la misma que le permite visualizar la imagen emitida desde el robot hacia el computador de la estación base, permitiendo así, una interacción entre el humano y el robot que hace más fácil el control de la navegación y exploración del vehículo explorador.

El toolkits o herramienta de programación utilizada para la programación grafica en LabView es:

- NI Vision development Module.

Además se empleó el software Measurement & Automation Explorer de National Instruments, para administrar y detectar los dispositivos conectados mediante el puerto serial o USB, al computador de la estación base.

A continuación se muestra la programación grafica desarrollada para la captura de la imagen proveniente de la cámara inalámbrica instalada en el robot:

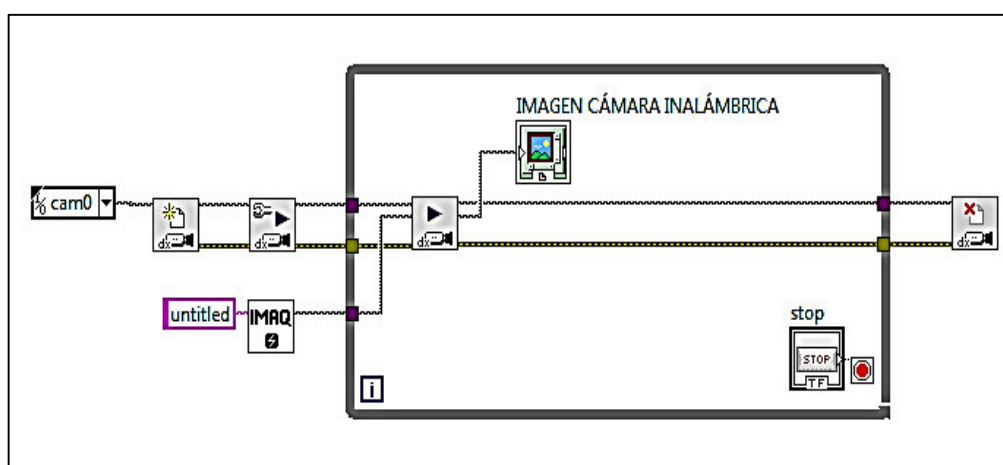


Figura. N° 148: Programación para captura de imagen de la cámara.

Los bloques de programación empleados para captura la imagen proveniente de la cámara inalámbrica se detallan a continuación:

- Open camera: Abre la comunicación con la cámara y carga el archivo de

configuración, creando una referencia única.



- Configure Grab: Configura e inicia una grabación.



- Grab: Adquiere la imagen actual.



- Close camera: Cierra la comunicación con la cámara y para la

configuración en proceso.



La interfaz de usuario diseñada en el Front Panel de LabView, se muestra a continuación:

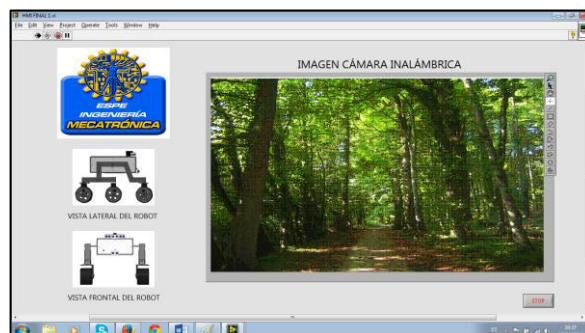


Figura. N° 149: Interfaz de Usuario desarrollada en LabView.

El microcontrolador Arduino debe estar conectado a la PC con LabView a través de un enlace USB, serial, Bluetooth o XBee. Por lo que para este proyecto se empleó módulos XBee Pro Series 1.

3.3.2.2. Programación módulos XBee Pro serie 1

La topología de red de los módulos Xbee es mediante una conexión Punto a Punto, como se puede apreciar en la Figura 150:

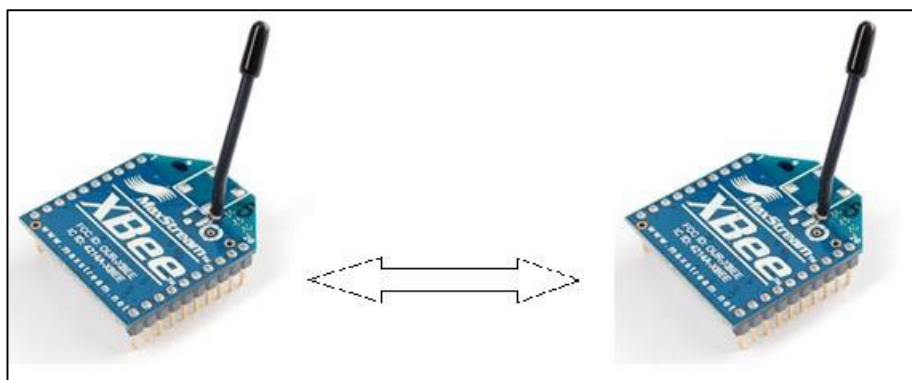


Figura. Nº 150: Conexión Punto a Punto de los módulos XBee.

Los módulos Xbee están listos para utilizarse y empezar a transmitir señales unos con otros, pero es necesario modificar ciertos parámetros para lograr una comunicación segura y controlada, agregando parámetros de direccionamiento para evitar que todos los módulos se comuniquen entre sí y solo reciba la información el módulo con la dirección previamente establecida. Para configurar los módulos Xbee existe un programa llamado X-CTU, el cual permite comunicarse con el módulo de manera más natural, fácil y rápida. Al correr el programa se ve lo siguiente:

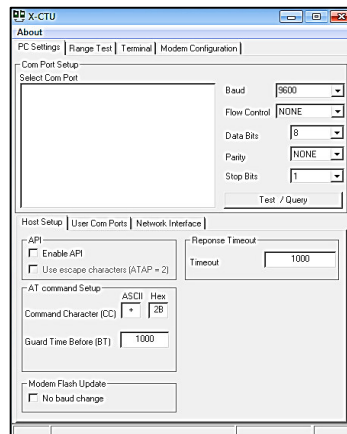


Figura. N^o 151: Programa X-CTU para configurar módulos XBee.

La pestaña de MODEM Configuration, permite leer, guardar o cargar cierta configuración predeterminada. Permite ver cómo está configurado cada XBee, cambiar alguna característica, guardarla o cargar alguna configuración previamente guardada.

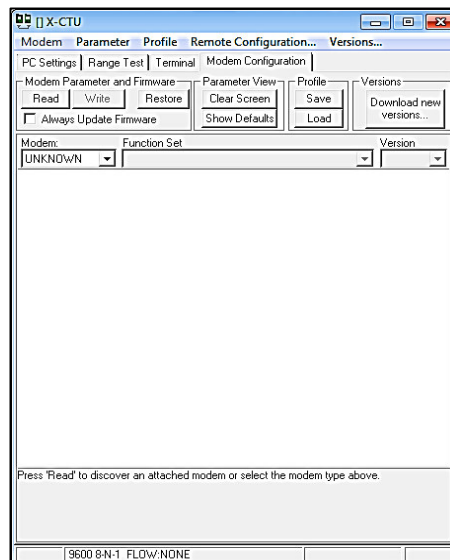


Figura. N^o 152: Programa X-CTU, pestaña Modem Configuration.

Basta configurar cuatro parámetros para cumplir con la arquitectura de software previamente establecida:

- **PAN ID:** Todos los módulos que tengan el mismo PAN ID pertenecerán en la misma red y podrán comunicarse entre sí.
- **DH:** Define los bits más significativos de la dirección de destino.
- **DL:** Define un número como dirección de destino dentro de la red.
- **MY:** Define un número como dirección del módulo dentro de la red.

Para comunicar dos módulos entre sí, es necesario que el parámetro DL de un módulo coincida con el parámetro MY del módulo con el cual se desea establecer una comunicación. La Tabla 41 nos ayuda a comprender como se establece la comunicación entre los dos módulos del robot. El módulo 1 se comunica con el módulo 2 y éste podría comunicarse con un tercer módulo, como se muestra a continuación:

Tabla N° 41:

Parámetros de direccionamiento de información.

Parámetro	Xbee 1	Xbee 2	Xbee 3
PAN ID	9032	9032	9032
DH	0	0	0
DL	2	3	2
MY	1	2	3

Presionando el botón Read, se puede acceder a todos los parámetros de configuración de cada módulo, donde se procede a configurar los parámetros: PAN ID, DH, DL, MY y la velocidad de transmisión a 9600 baudio; Posterior a este paso, se presiona el botón Write y el módulo queda programado con los parámetros establecidos durante la configuración.

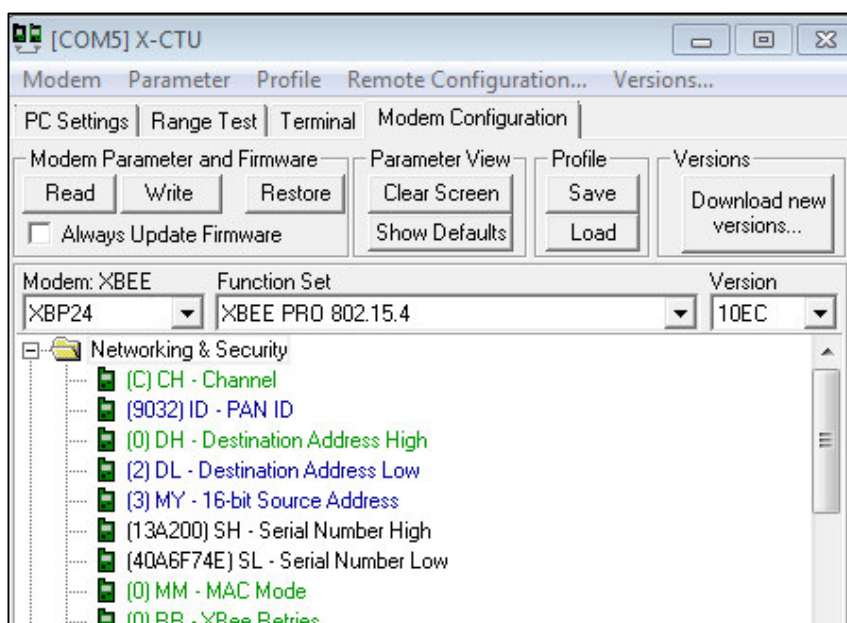


Figura. Nº 153: Programa X-CTU, Configuración de parámetros.

Cabe indicar que es necesario contar con una placa llamada Xbee Explorer para conectar por medio del puerto USB el módulo Xbee y proceder con la lectura y escritura de sus parámetros.

Esta tarjeta cuenta con un conector Mini USB, por medio del cual se logra la alimentación necesaria de voltaje para el módulo.

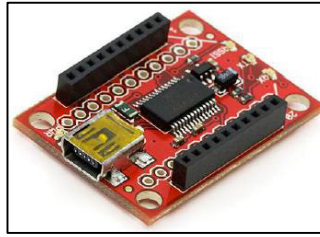


Figura. N° 154: Placa Xbee Explorer.

Fuente: (NKC Electronics, 2014)

3.3.2.3. Programación placas Arduino

Para la programación de las placas Arduino, se utilizó el programa llamado Arduino IDE, siglas del término inglés Integrated Development Environment que se traduce como Sistema de Desarrollo Integrado. En programación un IDE es un programa usado para desarrollar otros programas. La versión de este software es la número 1.0.5, la misma que se encuentra disponible en la página web de Arduino.

Para comenzar a usar Arduino en Windows, basta seguir los siguientes nueve pasos:

- Conseguir un Arduino y un cable USB.

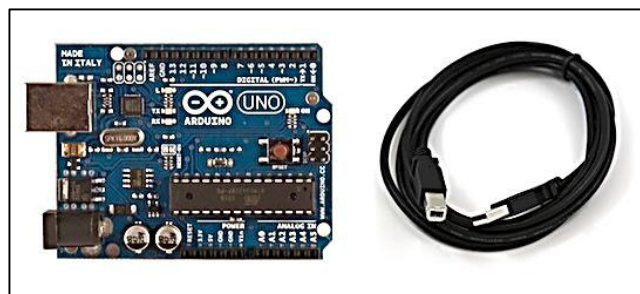


Figura. N° 155: Placa Arduino UNO y cable USB.

Fuente: (Arduino, 2014)

- Descargar el IDE de Arduino e instalarlo.
- Conectar la placa.
- Instalar los drivers.
- Ejecutar la aplicación IDE de Arduino.

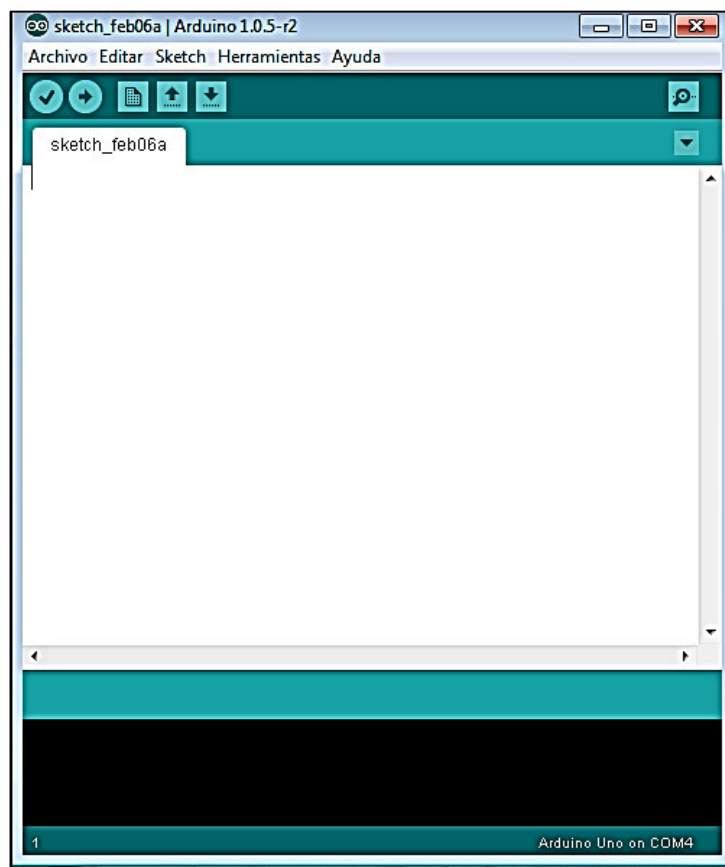


Figura. N° 156: Aplicación IDE de Arduino.

- Programar algo sencillo como un Blink (prender, apagar LED).
- Seleccionar la placa. Herramientas/Tarjeta.

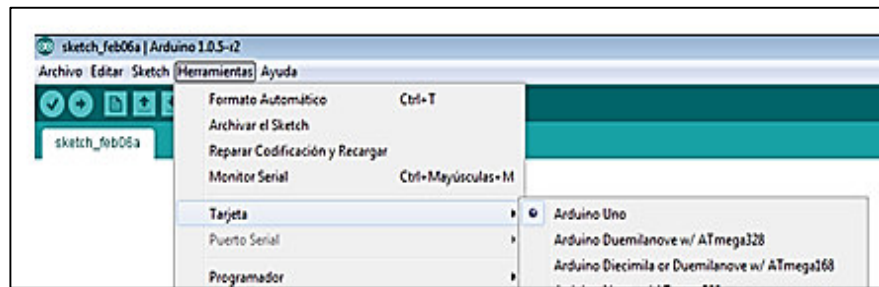


Figura. N° 157: Selección de la tarjeta Arduino.

- Seleccionar el puerto serie.
- Subir el sketch o programa a la placa.

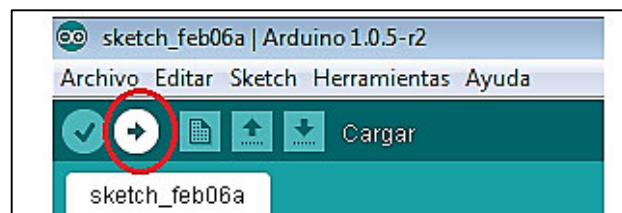


Figura. N° 158: Botón para cargar el sketch en la tarjeta Arduino.

3.3.2.3.1. Arduino Mega 2560

La programación de la placa Arduino Mega 2560 Revisión 3, se la puede visualizar en el anexo 3.1 de la Programación del robot.

3.3.2.3.2. Arduino Uno

La programación de la placa Arduino UNO Revisión 3, se la puede visualizar en el anexo 3.2 de la Programación del robot.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1. DISEÑO DEL PLAN DE PRUEBAS

Para evaluar si el robot cumple con los objetivos planteados del proyecto se ha determinado un plan de pruebas con un procedimiento a seguir.

En primer lugar, el robot será probado en un terreno boscoso irregular, para evaluar su capacidad de navegación en dicho entorno. Luego se realizarán pruebas para determinar aspectos importantes como: la altura máxima de las irregularidades del terreno que el robot puede negociar, la distancia máxima de tele operación y transmisión de datos, la pendiente máxima del terreno que el robot puede escalar, descender y atravesar.

Además se determinará la distancia a la cual el robot debe esquivar los obstáculos para no colisionar con estos, teniendo en cuenta el radio de curvatura de las ruedas y el espacio que ocupa el vehículo.

Estas pruebas también servirán para calibrar y ajustar la velocidad de navegación idónea del robot, donde los efectos dinámicos debido a impactos y vibraciones, puedan ser considerados como cuasi estáticos.

Finalmente se medirá el tiempo de funcionamiento de las baterías, para determinar con qué frecuencia deben ser recargadas.

4.1.1. PRUEBA DE MOVILIDAD EN TERRENO TIPO BOSQUE

La dinámica del robot a través de un terreno tipo bosque es aceptable, teniendo en cuenta aspectos como: la fluidez del movimiento, la estabilidad del vehículo y deslizamiento de sus ruedas.

Ya que las ruedas fueron recubiertas con caucho, esto brinda una mejor adherencia de las ruedas a la superficie del terreno y aumenta la capacidad de navegación del vehículo sobre superficies irregulares boscosas, donde la hierba puede provocar que las ruedas pierdan tracción.



Figura. Nº 159: Pruebas de movilidad del robot en terreno tipo bosque.

El robot también fue probado sobre superficies lisas, en donde se comprobó que su desempeño es bastante bueno.

Por otro lado, en las pruebas sobre el terreno irregular se pudo apreciar que la carrocería del robot presenta un balanceo mínimo, esto es debido a que, entre los dientes de los engranajes que conforman el diferencial mecánico existe una ligera holgura, lo cual hace que la carrocería se mueva levemente.

Dado que el robot se encuentra balanceado, con su centro de masa localizado en el centro de la figura rectangular que las ruedas forman en el suelo, el robot presenta un buen balance durante su transitabilidad en todas las direcciones de su movimiento, tanto adelante como hacia atrás.

El sistema de dirección servo controlado de las ruedas funciona adecuadamente al momento de curvar o cambiar de dirección, colocando las ruedas a 20° y así mismo cuando el robot posiciona todas sus ruedas a 45° grados.



Figura. N° 160: Robot todo terreno con sus cuatro ruedas curvadas.

4.1.2. ALTURA MÁXIMA DE LAS IRREGULARIDADES

Durante las pruebas realizadas, la altura máxima de las irregularidades por las cuales el robot atravesó exitosamente fue de 15 cm dado el buen torque de los motores utilizados para la tracción en cada rueda. Es conveniente mencionar que el robot pudiese mejorar su desplazamiento a través de irregularidades de mayor tamaño si se mejorara la adherencia de las ruedas con la superficie, es decir, dotándoles con un caucho labrado acanalado de mayor profundidad.

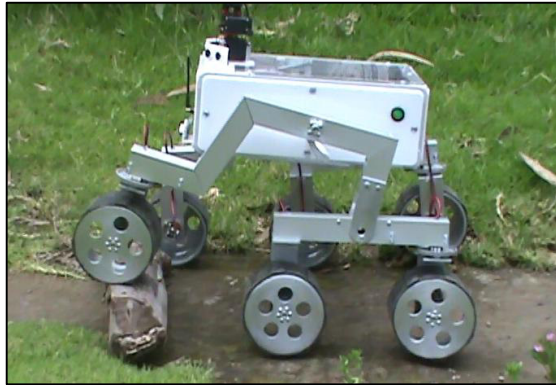


Figura. N° 161: Robot todo terreno atravesando obstáculos.

La tabulación de datos realizada en esta prueba mientras el robot atravesaba los obstáculos, se muestran a continuación en la Tabla N° 42:

Tabla N° 42:

.Datos de altura de irregularidades del terreno.

Altura de obstáculos	Funcionamiento
2	ok
4	ok
6	ok
8	ok
10	ok
12	ok
14	ok
16	Ruedas patinan
18	Robot presenta dificultad
20	Robot no pasa

Es importante mencionar que estos obstáculos fueron atravesados solo con las tres ruedas de un solo lado.

4.1.2.1 Obstáculos tipo grada

Los obstáculos tipo grada que el robot atraviesa sin inconvenientes, deben tener una altura máxima de 8 cm. Los datos tabulados en esta prueba se detallan a continuación en la tabla 4.2:

Tabla N° 43:

Tabulación de datos de los obstáculos tipo grada.

Altura de obstáculos tipo grada	Funcionamiento
2	ok
4	ok
6	ok
8	ok
10	Presenta dificultad
12	Robot no pasa

4.1.3. DISTANCIA MÁXIMA DE TELE OPERACIÓN

La distancia máxima a la cual el robot fue tele operado sin presentar ningún inconveniente en cuanto a envío y recepción de los datos fue de 100 metros, a pesar que el alcance máximo de los módulos de comunicación inalámbrica Xbee en su hoja de datos técnicos indica que estos equipos pueden alcanzar una distancia de comunicación de hasta 1500 metros en línea vista.

Los resultados obtenidos en esta prueba se detallan a continuación en las tablas N° 44 y N° 45; cabe mencionar esta prueba fue realizada con intercomunicadores para verificar el momento en el cual se pierde la señal emitida por el control remoto a través de los módulos de radio frecuencia hacia el robot.

Tabla N° 44:

Distancia máxima de teleoperación en línea vista.

Distancia	Señal de control
10	ok
50	ok
100	ok
150	Ok
>150	Pérdida de comunicación

Tabla N° 45:

Distancia máxima de teleoperación en interiores.

Distancia	Señal de control
10	ok
50	ok
75	ok
>75	Pérdida de comunicación

4.1.4. PRUEBAS EN TERRENO INCLINADO

El desempeño del robot sobre superficies inclinadas es aceptable. La máxima pendiente que éste puede subir o bajar sin que se vea afectada su estabilidad es de 30° grados.



Figura. N° 162: Robot subiendo un terreno inclinado.

Los resultados que arrojó esta prueba se detallan a continuación en la tabla N° 46:

Tabla N° 46:

Datos de las pruebas en terreno inclinado.

Inclinación en grados del terreno	Funcionamiento
10°	ok
20°	ok
30°	ok
40°	Presenta dificultades
50°	Robot pierde estabilidad

4.1.4.1. Cruzando el terreno inclinado

El robot todo terreno fue probado en una superficie irregular de 30° grados de inclinación, por donde cruzó sin presentar mayor inconveniente pero por motivos de seguridad, es preferible no exceder dicha inclinación.

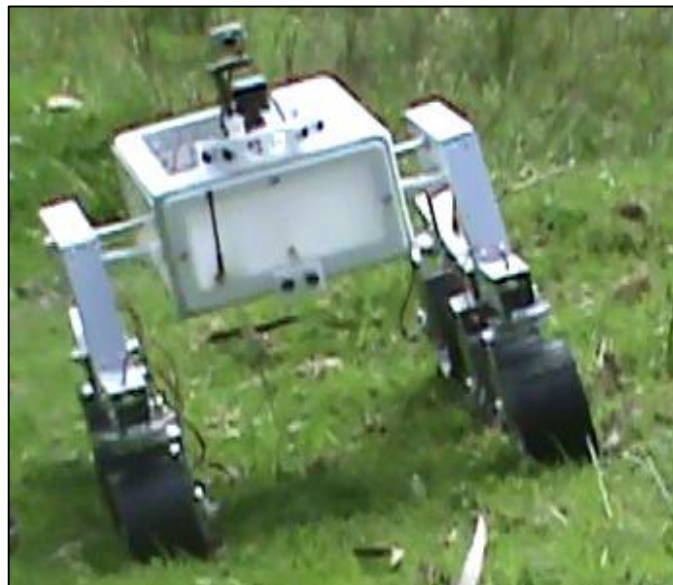


Figura. N° 163: Robot atravesando un terreno inclinado.

4.1.5. VELOCIDAD DE NAVEGACIÓN

La velocidad de 2 cm/s a la cual fue probado el robot, ayudó al mismo a reducir los impactos bruscos y disminuir las vibraciones causadas por las irregularidades del terreno. Por lo que se determinó que dicha velocidad es la apropiada para que el vehículo realice sus tareas de navegación en terrenos irregulares.

Cabe mencionar que la velocidad máxima de giro de los motores de tracción es de 10 RPM.

4.1.6. TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO

El tiempo de funcionamiento de las baterías del robot está calculado para una hora, pero se corroboró que si la carga de las baterías disminuye, el vehículo empieza a perder tracción y fuerza en sus ruedas, por lo que no es recomendable hacer funcionar el robot hasta que sus baterías se descarguen casi por completo.

Tabla N° 47:

Tiempo de funcionamiento del robot.

Tiempo de funcionamiento	Prueba
70 minutos	Movimiento continuo sin obstáculos
50 minutos	Movimiento continuo con obstáculos tipo rampa

Es importante indicar que mientras las baterías del robot van descargándose, el torque y la fuerza en los motores disminuyen, por lo que no se recomienda el uso del robot con las baterías descargadas casi por completo.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico de este capítulo tiene como objetivo principal dar a conocer el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto. El análisis económico se lo realiza tomando en cuenta costos directos de fabricación y algunos gastos como: movilización, asesoría e insumos de oficina e imprevistos.

5.1. COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN

En los costos directos de fabricación se considera costos parciales de:

- Materiales.
- Elementos y equipos.
- Costos de mano de obra y maquinado.

5.1.1. COSTO DE MATERIALES

Para el costos de materiales se tomaron en cuenta aquellos productos que fueron sometidos a un proceso de maquinado.

Es importante mencionar que si bien algunos materiales no se encuentran incluidos o no forman parte de la estructura del robot, sirvieron para realizar diferentes pruebas de maquinado, ver aspectos estéticos, comprobar aspectos físicos como el peso o resistencia mecánica.

Tabla N° 48:

Costo de materia prima.

COSTO DE MATERIA PRIMA					
Ítem	Materiales	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Plancha de Aluminio 500x600x3 mm	U.	1	9	9
2	Plancha de Aluminio 750x400x8 mm	U.	1	16,5	16,5
3	Tubo de Aluminio Ø 5 pulg, espesor 4 mm	U.	1	11	11
4	Tubo cuadrado de Aluminio 1 1/2", 1 mts.	U.	2	5	10
5	Caucho con dureza 60	U.	100	0.48	42.84
6	Plancha de caucho con dureza 60.	U.	1	17	17
Costo total de materia prima					106.34

5.1.2. COSTO DE ELEMENTOS

Para determinar este costo, se tomó en cuenta todos los elementos que no fueron sometidos a un proceso de maquinado, pero que son parte esencial de la fabricación del robot como: herramientas, componentes mecánicos y electrónicos.

Tabla N° 49:

Costos de materiales del proyecto. (Continua)

COSTO DE ELEMENTOS					
Ítem	Materiales	Unidad	Cant	Valor	Total
1	Engranajes de Nylon, 3/8"	U.	3	5,31	15,93
2	Pegamento Montagekit 125 gr.	U.	1	4,31	4,31
3	Pegamento Loctite	U.	1	3,21	3,21
4	Soporte universal para ejes de 6 mm	U.	3	11,2	33,6
5	Cemento de contacto 166 cc	U.	1	1	1
6	Ejes de acero inoxidable, 3/8"	U.	3	5,22	15,66

7	Mini chumaceras de Aluminio 3/8"	U.	6	23,5	141
8	Tornillos 4-40x5/8 pulg.	U.	48	0,06	2,88
9	Tuercas para tornillo 4-40	U.	48	0,03	1,44
10	Arandelas #6	U.	48	0,05	2,4
11	Tornillo de cabeza hexagonal 6-32x0, 5 pulg.	Paq.	2	2,19	4,38
12	Tornillo de cabeza hexagonal 6-32x0, 4375 pulg.	Paq.	1	2,09	2,09
13	Tornillo de cabeza hexagonal 6-32x0, 375 pulg.	Paq.	1	1,89	1,89
14	Arandelas #8	U.	108	0,05	5,4
15	Tornillo de cabeza hexagonal 6-32x0, 25 pulg.	Paq.	3	1,69	5,07
16	Cable de extensión para servomotor	U.	6	3,48	20,88
17	Joystick de 2 funciones	U.	2	19,99	39,98
18	Tornillos 6-32x2 pulg.	U.	12	0,12	1,44
19	Colares para eje 3/8"	U.	3	1,48	4,44
20	Soporte universal para ejes de 3/8"	U.	2	4,99	9,98
21	Tuercas para tornillo 6-32	U.	8	0,05	0,4
22	Motor con reductora 10 RPM	U.	6	34,99	209,94
23	Acople de Aluminio para motor	U.	6	4,99	29,94
24	Cobre motor	U.	6	0,99	5,94
25	Terminales para cable 14-1 AWG	Paq.	2	1,79	3,58
26	Tornillos 4-40x1/2 pulg.	Paq.	1	0,99	0,99
27	Tuercas para tornillo 4-40	Paq.	1	0,99	0,99
28	Sensor MMA7341L 3 ejes	U.	1	21,95	21,95
29	Conector hembra Tamiya 10 cm	U.	4	1,49	5,96
30	Conector macho Tamiya 10 cm	U.	4	1,49	5,96
31	Antena para módulos Xbee	U.	2	4,017	8,034
32	Tarjeta acopladora Xbee	U.	2	6	12
33	Arduino Uno	U.	1	37,09	37,09
34	Arduino Mega 2560	U.	1	65,21	65,21
35	Xbee pro 60 mW	U.	3	61,19	183,57
36	Xbee Explorer USB	U.	1	36,59	36,59
37	Cable USB	U.	1	7,63	7,63
38	Cable mini USB	U.	1	10	10
39	Transmisor inalámbrico de A/V	U.	1	115,95	115,95
40	Mini cámara inalámbrica	U.	1	34,98	34,98
41	Cable UBS-A/V 1 canal	U.	1	24,98	24,98
42	Cable RG para antena	U.	2	5,35	10,7
43	Sensor ultrasonido HC-SR04 4 metros	U.	3	9,43	28,29
44	Batería alcalina 9 V	U.	1	2,88	2,88
45	Pilas recargable AAA	Paq.	1	10,48	10,48

46	Llave hexagonal 7/64"	U.	1	0,89	0,89
47	Caja de engranajes servocontrolada	U.	4	114,98	459,92
48	Llave hexagonal 1/8"	U.	1	0,89	0,89
49	Llave hexagonal 3/32"	U.	1	0,89	0,89
50	Batería NiMH 9,6V 2200 mAH	U.	2	27,45	54,9
51	Cargador inteligente Universal para (9,6 - 18) V	U.	1	32,45	32,45
52	Servo Hitec HS311	U.	2	7,99	15,98
53	Plato de inclinación y accionamiento directo	U.	1	19,99	19,99
54	Soporte vertical para servos	U.	1	6,99	6,99
55	Standoffs 2-56x,375	U.	8	0,82	6,56
56	Standoffs 4-40x,375	U.	4	0,37	1,48
57	Tornillos 2-56x3/4	U.	12	0,21	2,52
58	Tornillos 4-40x7/8	U.	16	0,12	1,92
59	Batería 6V, 10 Ah	U.	1	59,53	59,53
60	Conector adaptador Tamiya (macho-hembra)	Paq.	1	18,38	18,38
61	Batería 12V 4,5 Ah	U.	1	79,53	79,53
62	Conector barrel male plug	U.	2	8,12	16,24
63	Perno Prisionero ac. Inox 6mm	U.	3	0,09	0,27
64	Llave hexagonal 3mm	U.	1	1,3	1,3
65	Driver para motor Sabertooth	U.	1	83	83
66	juego de llaves	U.	1	2,9	2,9
67	Thinner	L.	0,5	2	1
68	Lijas #500 y #1500	U.	2	0,4	0,8
69	Broca MM 4	U.	1	1	1
70	Broca 3/8	U.	1	1,75	1,75
71	Broca MM 3	U.	1	0,25	0,25
72	Perno Hexagonal MMRG negro 4x0,7x40	U.	30	0,05	1,5
73	Pegamento Súper Bonder	U.	2	2,9	5,8
74	Tuerca MMGR 8,8 4x0,7	U.	16	0,1	1,6
75	Broca MM 6	U.	1	1	1
76	Tubo de estaño	U.	1	1,95	1,95
77	Focos LED	U.	6	0,5	3
78	Separadores metálicos	U.	8	4,58	36,64
79	Cargador inteligente para baterías NiMH 6V	U.	1	42	42
80	Borneras para cables	U.	1	0,85	0,85
81	Trabador de pernos LOCTITE	U.	2	3,28	6,56
82	Protoboard	U.	2	5,25	10,5
83	Resistencias eléctricas varias	U.	10	0,05	0,5
84	Cable de protoboard	M.	10	0,25	2,5
85	Interruptor luminoso	U.	2	0,98	1,96
86	Tornillos LH 8050	Paq.	1	3	3
87	Barras de silicón	Paq.	1	4	4

88	Cable R/N AWG 18	M.	10	0,39	3,9
89	cables con terminales para protoboard	U.	60	0,18	10,8
90	Baquelita para circuito	U.	2	8	16
91	Baquelita para circuito impreso	U.	2	10	20
Costo total de elementos					2232,16

5.1.3. COSTO DE MANO DE OBRA Y MAQUINADO

Este costo está relacionado con el valor de la mano de obra empleada en las máquinas-herramientas y el costo del equipamiento eléctrico.

Tabla N° 50:

Costos de mano de obra y maquinado.

COSTO DE MANO DE OBRA Y MAQUINADO				
Ítem	Detalle	Tiempo	Costo/	Costo
		h	hora	Total
1	Corte acero	1	5,31	5,31
2	Soldadura de aluminio	15	13	195
3	Doblado y cizalla	3	10	30
4	Torneado	8	8	64
5	Fresado	6	8	48
6	Trabajos en acrílico	8	8.75	70
7	Otros	20	4	80
Costo total de mano de obra y maquinado				492,31

5.2. GASTOS

Los gastos del proyecto se detallan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla N° 51:

Gastos del proyecto.

GASTOS				
Ítem	Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Insumos oficina		180	180
2	Asesoría		35	35
3	Movilización		110	120
4	Fletes y envíos		165	165
Costo total de gastos				500

5.3. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

El costo total del proyecto resulta de la suma de los costos directos de fabricación y los gastos.

Tabla N° 52:

Costo total del proyecto.

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
DETALLE	VALOR [USD]
Costos directos de fabricación	2830.81
Gastos	500
Costo total del proyecto	3330.81

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- En este proyecto se alcanzaron satisfactoriamente los objetivos planteados, tanto en la movilidad del robot como la tele operación del vehículo; Sin embargo el robot, presenta ciertas restricciones en cuanto a su movilidad a través de terrenos irregulares especialmente superando obstáculos tipo grada ya que no es un robot diseñado con propósitos de escalar.
- El robot cuenta con diez motores para su movilidad, seis para el sistema de tracción en cada rueda y 4 para el sistema de dirección independiente localizados en las ruedas delanteras y posteriores, lo cual facilita el trabajo de programación y hace posible que la navegación del robot sea aún más eficiente pero incrementa notablemente el costo de fabricación del vehículo todo terreno.
- La carrocería del robot se mantiene fija y equilibrada gracias a su mecanismo diferencial, esto debido a que cada brazo basculante se encuentra conectado a través de un eje de acero que cuenta con un engrane en su extremo que se conecta al diferencial mecánico montado sobre la carrocería principal del robot y el engranaje central no puede moverse si ninguno de los brazos basculantes gira.

- Se comprobó que el peso del robot puede ayudarle a que las ruedas generen mayor tracción sobre el terreno, lo que no ocurriría si el robot fuese muy liviano ya que la fuerza de rozamiento disminuiría.
- El tubo que sostiene a la rueda de la mitad y a la rueda trasera, pivotea en su punto central, pero se debe considerar la singularidad del mecanismo para restringir este movimiento, ya que esto provocaría que la rueda que se mantiene sobre el suelo mientras el robot atraviesa obstáculos, llegue a soportar mucho peso, lo cual podría provocar daños en la estructura de la rueda principalmente en los soportes fabricados para los motores de tracción.
- La holgura entre los dientes de los engranajes que conforman el diferencial mecánico hace que la carrocería se mueva ligeramente, principalmente cuando el robot se moviliza a través del terreno irregular; esto debido a que el punto de contacto entre los engranajes no se produce en toda la cara de los mismos.
- Se quiso comunicar las tarjetas arduino de hardware libre con el software de LabView, para lo cual era necesario cargar ciertas librerías, en la programación de las tarjetas de arduino, lo cual generaba conflictos de comunicación, por lo que se optó por realizar una programación en la interfaz de LabView sin emplear comandos de arduino.
- La comunicación serial entre la placa Arduino Uno del control remoto, la placa Arduino Mega localizada en el robot y el módulo de comunicación por radio frecuencia de la estación base, dificultaba el funcionamiento del robot; ya que al emplear módulos de comunicación Xbee de la serie 1 donde estos

dispositivos solo permiten una comunicación tipo Half-Duplex, por lo que se optó por suspender el envío de datos desde el robot hacia la computadora de la estación base y así dar prioridad a los datos de información enviados desde el control remoto hacia el robot.

- Para controlar los seis motores de tracción con el manejador o driver de motores Sabertooth, se debe conectar la tierra de alimentación de 12 voltios de la batería que emplean estos motores con la tierra del sistema de control y de la misma manera, asegurarse de conectar la tierra del Arduino con el negativo de la fuente de alimentación externa de los servomotores.
- Si se desea lograr una tele operación más satisfactoria y eficiente, en la selección de los equipos, se debe considerar no solamente la distancia y obstáculos, si no también condiciones ambientales como polvo, viento o incluso interferencias de otros equipos y ruido electromagnético del ambiente.
- Dotar a las ruedas con cauchos que poseen un labrado profundo o tacos de caucho grandes, hace que las ruedas no tengan un movimiento suave, si no que provocan pequeños saltos y vibraciones como traqueteo; pero estas ruedas ayudarían más al robot durante su navegación en terrenos húmedos con lodo.

6.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable el uso de pegamentos o retenedores de ejes y rodamientos principalmente en los casquillos que van montados en el eje de los motores de transmisión y de esta manera evitar que los ejes tiendan a moverse de su posición idónea debido a impactos o vibraciones.
- De la misma manera se recomienda el uso de fijadores para tuercas y pernos en cada una de las uniones empernadas, ya que las tuercas pueden con el tiempo aflojarse y causar que la estructura se debilite debido a fuertes vibraciones por elementos flojos.
- Para la fabricación de la carrocería del robot, se recomienda utilizar materiales livianos pero resistentes ya que emplear materiales como la plancha de acero o tol galvanizado, hace que el peso del robot aumente significativamente.
- Se recomienda utilizar baterías independientes tanto para la parte de potencia como para la parte de control, ya que el consumo alto de corriente que pueden generar los motores, puede causar que las señales de control cambien o varíen si la corriente de alimentación cambia bruscamente en los componentes electrónicos.
- Es de mucha ayuda adquirir engranajes con chavetas y pernos prisioneros para que el diferencial mecánico brinde mayor estabilidad al robot e impedir cualquier movimiento de sus elementos.

- Para el cableado del sistema eléctrico, se recomienda utilizar tubo flexible de protección para cable ya que así se evitan cortes y roturas de los mismos y por ende se evitan corto circuitos que pueden dañar los componentes electrónicos.
- Se recomienda tener precaución con la distribución de cables del sistema eléctrico y electrónico, ya que si se tienen muy cerca cables por donde circula una corriente elevada, como por ejemplo los cables de alimentación para los motores, junto con un cable de control de un servo motor; puede causar que el ruido electromagnético generado en estos, provoque o cause que el servomotor funcione erróneamente o empiece a vibrar descontroladamente.
- Para mejorar el sistema mecánico del robot, es necesario emplear la menor cantidad de juntas empernadas y en las juntas soldadas es recomendable diseñar nervios de soporte en uniones perpendiculares para evitar deformaciones y pandeos excesivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amabilis. (2012). XelaG. Obtenido de www.amabilis.com/galleryvehicles.htm
- Amazon. (2014). SainSmart HC-SR04. Obtenido de www.amazon.com/dp/B004U8TOE6/ref=dra_a
- Apostolopoulos, D. S. (2001). *Analytical Configuration*. Pittsburgh, Pennsylvania: The Robotics Institute Carnegie Mellon University.
- Arduino. (2011). Arduino Uno. Obtenido de arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno
- Arduino. (2014). Productos. Obtenido de arduino.cc/en/Main/Products
- Ardumanía. (2014). Señales de control RC. Obtenido de www.ardumania.es/apendice-del-ejercicio-3-senales-de-control-rc/
- Barcojo, A. R. (2013). Encoders. *Unidad Didáctica: Control y robótica.*, 1-2.
- Barlas, F. (2004). *Design of a Mars Rover Suspension Mechanism*. Izmir, Turquía.
- Barrientos, A. (1997). *Fundamentos de la Robótica* (Primera ed.). Madrid, España: McGraw-Hill.
- BatterySpace. (2014). Nimh Bateries. Obtenido de www.batteryspace.com/
- Beatty Robotics. (2011). Spirit II Mars Rover. Obtenido de beatty-robotics.com/spirit-ii-mars-rover/
- Bluebotics. (2014). Shrimp – On Rough Terrain. *Mobile Robots*. Obtenido de www.bluebotics.com/mobile-robotics/shrimp-3/
- BricoGeek. (2005). Driver de motores DC - 9A. Obtenido de www.bricogeek.com/shop/motores/256-driver-d.html
- Convdocs. (2010). Medicina. *La Robótica Como Herramienta Del Hombre*. Obtenido de esdocs.org/docs/index-73610.html
- Díaz, M. H. (2009). Control Y Robótica en tecnología. *ALBACETE*, 3.
- Dimension Engineering. (2014). Sabertooth dual 12A motor driver. Obtenido de www.dimensionengineering.com/products/sabertooth2x12
- DLR Institute of Space Systems. (2010). Mars researchers battling to save NASA's rover Spirit. Obtenido de www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx/tabid-4826/8010_read-17550/
- Facepunch. (2014). Rocker bogie suspension. Obtenido de facepunch.com/showthread.php?t=1160473&page=6
- Fpm. (2011). Sensor Capacitivo. Obtenido de sensoresdeproximidad.blogspot.com/p/capacitivo.html

- Hertz Electrónica. (2014). Sensor infrarrojo. Obtenido de 5hertz.com/index.php?main_page=product_info&products_id=360
- Honda. (2013). Asimo. Obtenido de world.honda.com/ASIMO/
- HuffPost Tech. (2014). Scientists Bounce Laser Off Long-Lost Soviet Lunar Robot. Obtenido de www.huffingtonpost.co.uk/2013/04/30/scientists-bounce-laser-o_n_3183781.html
- Info-ab. (2010). El Servomotor. Obtenido de www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm
- Introducción a la Mecatrónica. (2012). Obtenido de 1311793.blogspot.com/2012/11/unidad-2-los-sistemas-2.html
- Iowa State University. (2013). Design. *Mavric*. Obtenido de sites.google.com/site/isumavric/design
- iRobot. (2012). Packbot 510. Obtenido de www.irobot.com/us/learn/defense/packbot.aspx
- J.Keith., R. G. (2001). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. (Octava ed.). México.: Mc Graw Hill.
- Jet Propulsion Laboratory - NASA. (2007). Rover Wheel Sizes. *Photojournal*. Obtenido de photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA10017
- Jet propulsion Laboratory - NASA. (2013). Systems. *Robotics*. Obtenido de www-robotics.jpl.nasa.gov/systems/index.cfm
- Links 999. (2014). Robots in space. *Robotics*. Obtenido de www.links999.net/robotics/robots/robots_in_space.html
- Luis, R. (2009). Control de motores. *EroPic*. Obtenido de perso.wanadoo.es/luis_ju/ebasica2/mcc_01.html
- Lunar. (2013). Monster Trucks on Mars. Obtenido de www.lunar.org/docs/nasa/trucks.shtml
- Massachusetts Institute of Technology. (2014). Physics-Based Design, Planning, and Control of Robotic Systems in Space. *Fiel and Space Robotics Laboratory*. Obtenido de robots.mit.edu/projects/old_projects/nasa/
- McMaster Carr. (2014). Ball and Roller Mounted Bearings. Obtenido de www.mcmaster.com/#standard-mounted-bearings/=robbpq
- McMaster Carr. (2014). Gears. Obtenido de www.mcmaster.com/#standard-gears/=pq2mxk.
- Mecasub. (2013). Bogies. *Tren 5 pulgadas*. Obtenido de <http://www.tren5pulgadas.mecasub.com/>

- Meiji University. (2013). Mobility System for Planetary Rovers. *Autonomous Mobile Systems Laboratory*. Obtenido de www.mit.edu/~ykuroda/research/
- Miranda, J. C. (2003). *Mecanismos*. Toluca, México.
- Monografías. (2010). Servomotores. Obtenido de www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml
- Monografías. (2014). Diferencias entre microcontroladores y microprocesadores. Obtenido de www.monografias.com/trabajos27/microcontroladores/microcontroladores.shtml
- MrReid. (2011). Curiosity's nuclear battery. *WordPress*. Obtenido de wordpress.mrreid.org/2011/12/14/curiosity-rover-nuclear-batter/
- NASA. (2012). Despega Curiosity, el vehículo explorador de Marte. *Ciencia*. Obtenido de ciencia.nasa.gov/ciencias-especiales/26nov_msllaunch/
- NKC Electronics. (2014). XBee Explorer USB. Obtenido de www.nkcelectronics.com/xbee-explorer-usb.html
- Norton, R. L. (1999). *Design of Machinery* (Segunda ed.). Massachusetts, United States: McGraw-Hill.
- Observatorio Tecnológico. (2012). Conexionado de sensores. *Arduinoblocks*. Obtenido de recursostic.educacion.es/observatorio/web/ca/equipamiento-tecnologico/didactica-de-la-tecnologia/944-monografico-arduinoblocks?showall=1
- OctoPart. (2006). International Rectifier IRF8736PBF. *DataSheet*. Obtenido de octopart.com/irf8736pbf-international+rectifier-8142531
- Ogata, K. (1998). *Ingeniería de Control Moderna* (Tercera ed.). México: Pearson Educación.
- Opirata. (2014). Batería Recargable. Obtenido de www.opirata.com/bateria-recargable-68ah-dc12680-p-7322.html
- Pierre Lamon. (2010). Wheel torque control for a rough terrain rover. *Swiss Federal Institute of Technology*, 2.
- Pololu. (2014). Sensores. Obtenido de www.pololu.com/product/1664
- Pololu. (2014). Sensors. Obtenido de www.pololu.com/product/1246
- Reyes, C. (2006). *Microcontroladores PIC* (Segunda ed.). Quito, Ecuador: Rispergraf.
- Robotikka. (2012). Robot al rescate. Obtenido de www.robotikka.com/657/robot-al-rescate/
- Robots Perú. (2010). Tutorial de puentes H. Obtenido de www.robotsperu.org/foros/1-vt248.html?start=0

- Sandin, P. E. (2003). *Robots Mechanisms and Mechanical Devices illustrated*. United States: McGraw-Hill.
- Schneider Electric. (2014). Interfaz Hombre Máquina.
- Sciencedirect. (2013). Optimal design and kinetic analysis of a stair-climbing mobile robot with rocker-bogie mechanism. Obtenido de www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094114X1100231X
- ServoCity. (2014). 10 RPM Precision Gear Motor. Obtenido de www.servocity.com/html/10_rpm_precision_gear_motor.html#.U1kIbFd8qGQ
- ServoCity. (2014). HS-5485HB Servo. Obtenido de www.servocity.com/html/hs-5485hb_servo.html#.U1kJd1d8qGQ
- ServoCity. (2014). Servo Gearbox. Obtenido de www.servocity.com/html/spg5485a-cm_servo_gearbox.html
- ServoCity. (2014). Steel Set Screw Collars. Obtenido de www.servocity.com/html/steel_set_screw_collars.html#.U1kD_Vd8qGQ
- Seteco . (2008). Catalogo de perfiles. *Cedal Aluminio*, 50.
- Sparkfun. (2011). Xbee Pro. Obtenido de www.sparkfun.com/products/8742
- Super Inventos. (2013). Cámaras y Mini cámaras. Obtenido de www.superinventos.com/s130347.htm
- Super Robótica. (2014). Motor Paso a Paso Unipolar. Obtenido de www.superrobotica.com/S330300.htm
- Super Robótica. (2014). Motores y Servos. Obtenido de www.superrobotica.com/motores.htm
- TechMake. (2014). Sensor de Distancia Ultrasónico. Obtenido de www.techmake.com/sen-00029.html
- Texas Instruments. (2004). Quadruple half Drivers. Obtenido de www.ti.com/lit/ds/symlink/1293d.pdf
- Turbo RC. (2008). Diferenciales y siliconas. Obtenido de www.turborc.es/diferenciales-siliconas-n-12.html
- UBM Tech. (2010). NI pursues robot revolution. *EDN Netw*. Obtenido de www.edn.com/electronics-news/4312637/NI-pursues-robot-revolution
- Universidad de Sevilla. (2012). Ley de Faraday. *Departamento de Física*. Obtenido de laplace.us.es/wiki/index.php/Ley_de_Faraday_%28GIE%29