

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO TIPO ROVER
-DIDAJO-

DIANA MARCELA HERNANDEZ RINCÓN
DANIEL LUQUE LONDOÑO
JORGE AUGUSTO ARDILA ORDUZ

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMAS DE MECATRÓNICA-ELECTRONICA
BOGOTÁ D.C.
2005

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO TIPO ROVER
-DIDAJO-

DIANA MARCELA HERNANDEZ RINCÓN
DANIEL LUQUE LONDOÑO
JORGE AUGUSTO ARDILA ORDUZ

Proyecto de Grado para optar al
Título de Ingeniero de Mecatrónica-Electrónica

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMAS DE MECATRÓNICA-ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2005

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma Asesor Metodológico

Bogotá, D.C, Diciembre 12 de 2005

RAE

En este trabajo se describe el diseño y construcción de un robot explorador tipo Rover (Robot con ruedas u orugas capaces de desplazarse en territorios de difícil acceso). El diseño consta de seis ruedas las cuales definen en gran parte el diseño del robot, cada una de ellas tiene un motoreductor interno capaz de suministrar la potencia necesarias para el desplazamiento del robot móvil y son controlados por medio de un microcontrolador 16F877A(SLAVE) el cual es programado para enviar las diferentes instrucciones para las distintas opciones de desplazamiento, son articuladas por medio de servomotores que le permiten posicionarse en diferentes ángulos, los cuales son controlados por medio del microcontrolador (SLAVE) que es el encargado de generar los diferentes anchos de pulsos (PWM) y así posicionar los servomotores en ángulos de 0° , 45° , 90° , 135° y 180° , posee una sistema de movilidad Rocker-Bogie el cual permite superar obstáculos hasta el orden del tamaño de sus ruedas, para que el robot evite colisionar con algún obstáculo, posee sensores de ultrasonido; esta señal de ultrasonido (40kHz), es generada por un microcontrolador 16F628 y se encuentran ubicados a cada uno de los lados del robot para así obtener una comunicación con el entorno. Esta equipado con una mini camara que tiene la posibilidad de girar 180° y de esta manera ser el medio de visualización del terreno con el usuario.

DEDICATORIA

A Dios por guiarme, fortalecerme y amarme
A mis padres y hermanos por creer en mi y apoyarme
A Daniel por dar lo mejor de ti para este proyecto
Gracias a ustedes fue posible ver un sueño hecho realidad
Los amo con todo mi corazón.

Diana

A mis padres por su confianza y su apoyo incondicional.

A mi abuelita por su amor y ternura.

A mi hermana por su comprensión.

A mi tía Aura por su colaboración

A Diana por amarme y acompañarme en
todo este proceso de mi vida.

Daniel

A mis padres y compañeros,
por su apoyo incondicional
y hacer posible el desarrollo
del proyecto.

Jorge A

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Rafael González, por su incondicional apoyo, su disposición en aclarar dudas y el estímulo para crecer intelectualmente.

Carlos Rivera, por sugerir, creer y apoyar la realización de proyectos de robótica en nuestro país.

Fredy Romano, Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia, por motivar la realización del proyecto y por su fundamental e incondicional ayuda en compartir sus conocimientos de mecánica.

Nelson Zuica, por su valiosa colaboración y buena voluntad en las actividades donde se requería hacer un trabajo mecánico bien hecho.

Amanda Moya, por el apoyo brindado y substanciales sugerencias durante la redacción del proyecto.

Patricia Rojas, Diseñadora gráfica de la Universidad Jorge Tadeo Lozano por su colaboración, dedicación y entusiasmo.

A los ingenieros César Fernández y Fernando Moreno por apoyar y valorar el esfuerzo del trabajo realizado.

Pedro Muñoz, Alejandro Melo, Nelson Castillo, Leonardo Rogriguez y Carlos González, por orientar, apoyar y disponer de su tiempo para hacer de este proyecto una realidad.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
1.1 TÍTULO	24
1.2 ANTECEDENTES	24
1.3 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	25
1.3.1 Formulación del problema	25
1.4 JUSTIFICACIÓN	26
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	28
1.5.1 Objetivo General	28
1.5.2 Objetivos Específicos	28
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	29
1.6.1 Alcances	29
1.6.2 Limitaciones	29
2. MARCO DE REFERENCIA	31
2.1 MARCO CONCEPTUAL	31
2.2 MARCO TEÓRICO	35
2.2.1 Robótica	35
2.2.1.1 Historia de la robótica	35
2.2.1.2 ¿Qué es un robot?	36
2.2.1.3 Tipos de robots	37
2.2.1.4 Funciones de un Robot Móvil	40
2.2.1.5 Aplicación de los microcontroladores en los robots móviles	42
2.2.2 Estructura y chasis	44
2.2.2.1 Factor de seguridad	44
2.2.2.2 Los materiales	45
2.2.2.3 Esfuerzos que soportan los elementos que componen las estructuras	47
2.2.3 Estructuras en equilibrio	51

2.2.3.1	Fuerzas de reacción	51
2.2.3.2	El momento de una fuerza	52
2.2.3.3	Estabilidad y determinación interna	52
2.2.4	Deflexión	55
2.2.4.1	Estructura estáticamente indeterminada	55
2.2.4.2	Deformaciones de los elementos sometidos a carga axial	55
2.2.5	Esfuerzos principales	56
2.2.6	Esfuerzo de Von Misses	57
2.2.7	Esfuerzo de fluencia	57
2.2.8	Velocidad angular	58
2.2.9	Fricción	60
2.2.9.1	Fuerza de rozamiento por deslizamiento	61
2.2.9.2	Coefficientes de rozamiento estático y cinético	62
2.2.10	Momento de inercia de un aro cilíndrico	62
2.2.11	Motores de corriente continua (DC)	63
2.2.11.1	Reductores y motoredutores	64
2.2.11.2	Los servomotores	64
2.2.11.3	Motores paso a paso (PAP)	67
2.2.12	Métodos de control para motores	69
2.2.12.1	Rectificación controlada por diodo de silicio	69
2.2.12.2	Conmutación electrónica	71
2.2.12.3	Modulación de anchura de pulsos (PWM)	72
2.2.12.4	Modulación de la frecuencia de los pulsos (PFM)	73
2.2.13	Control de motores con el circuito integrado LM293B	74
2.2.13.1	Descripción del integrado L293B	74
2.2.13.2	Configuración del L293B	75
2.2.13.3	Aplicaciones del L293B	75
2.2.14	Sensores	79
2.2.14.1	Sensor óptico de rayos infrarrojos por reflexión	79
2.2.14.2	Sensor óptico de rayos infrarrojos directo	80

2.2.14.3	Sensor de infrarrojos de barrido difuso	80
2.2.14.4	Sensor mecánico de contacto	82
2.2.14.5	Sensores de ultrasonido	82
2.2.15	Flip-Flop tipo D	84
2.2.15.1	Descripción	84
2.2.15.2	Disparo del Flip-Flop tipo D	84
2.2.16	Amplificadores operacionales	86
2.2.16.1	Descripción	87
2.2.16.2	Configuraciones básicas del amplificador operacional	87
2.2.16.3	Amplificador inversor	88
2.2.16.4	El amplificador no inversor	89
2.2.17	Controlador y microcontrolador	91
3.	METODOLOGÍA	93
3.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	93
3.2	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN USB/ SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA	94
4.	DISEÑO INGENIERIL MECÁNICO	95
4.1	DISEÑO GEOMÉTRICO	95
4.1.1	Ruedas	95
4.1.2	La estructura	96
4.1.3	Chasis	101
4.1.4	Limites de la estructura del Rocker-Bogie	104
4.2	ANÁLISIS ESTÁTICO	109
4.2.1	El factor de seguridad	109
4.2.2	Cálculo de la fuerza puntual ejercida por el chasis y la carga útil.	109
4.2.3	Calculo de las Reacciones	110
4.3	CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS	117
4.3.1	Material	117
4.3.2	Cálculo de esfuerzos en el Rocker	118
4.3.3	Cálculo de esfuerzos para el bogie	119

4.4 MOTOREDUCTOR	121
4.4.1 Cálculo del torque mínimo para el motoreductor	121
4.4.2 Cálculo de esfuerzos para el soporte del motoreductor	124
4.5 RUEDAS	127
4.6 SERVOMOTOR	128
4.6.1 Cálculo del torque mínimo para el servomotor	129
4.7 LA SUSPENSIÓN POSTERIOR	131
4.8 MODELO FINAL DEL ROBOT	133
5. DISEÑO INGENIERIL ELECTRONICO	137
5.1 ETAPA DE ALIMENTACIÓN	137
5.1.1 Baterías.	137
5.1.2 Circuito de alimentación del robot móvil.	138
5.2 CIRCUITO DE POTENCIA DE LOS MOTORREDUCTORES	139
5.2.1 Potencia de los motoreductores	144
5.3 SERVOMOTORES	145
5.3.1 Circuito de control de los servomotores	145
5.3.1.1 Conexión	145
5.3.1.2 Configuración de los pines del PIC16F877A(SLAVE)	146
5.3.1.3 Direcciones del Robot móvil.	147
5.3.2 Control de los servomotores por medio de PWM.	149
5.3.3 Potencia de los servomotores.	152
5.4 SENSORES DE ULTRASONIDO (ULT) DEL ROBOT MÓVIL.	154
5.4.1 Etapa de transmisión.	155
5.4.2 Etapa de recepción.	161
5.4.3 Ubicación de los sensores de ultrasonido en el Robot.	166
5.4.4 Etapa de control de la señal de ultrasonido	166
5.5 MINI CAMARA	171
6. CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT	
6.1 RESULTADOS DEL DISEÑO MECÁNICO	
6.2 RESULTADOS DEL DISEÑO ELECTRÓNICO	

6.2.1 Tarjeta de control de los servomotores y motoreductores

6.2.2 Tarjeta de control de transmisión y recepción de los sensores de ultrasonido

6.2.3 Etapa de alimentación

7. ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

8. CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características para la selección del factor de seguridad	45
Tabla 2. Coeficientes de fricción	62
Tabla 3. Secuencias para posicionar un motor PAP bipolar	68
Tabla 4. Distribución de los pines del integrado L293B	74
Tabla 5. Funcionamiento de los Drivers.	75
Tabla 6. Tabla de verdad para el control unidireccional con el integrado L293B	77
Tabla 7. Tabla de verdad para el control bidireccional con el integrado L293B	78
Tabla 8. Tabla de verdad para el Flip-Flop tipo D	86
Tabla 9. Esfuerzos de los eslabones del Rocker.	119
Tabla 10. Esfuerzos de los eslabones del Bogie.	120
Tabla 11. Características del motoreductor.	123
Tabla 12. Características del Servomotor Futaba S3010.	130
Tabla 13. Resultados de los esfuerzos de los ejes de la suspensión posterior	133
Tabla 14. Estimación de la masa de los elementos del robot móvil.	134
Tabla 15. Consumo del robot móvil	137
Tabla 16. Distribución de los pines del PIC16F877A (SLAVE) para cada motoreductor	142.
Tabla 17. Pines del 16F887 (Slave). Control de servomotores.	146
Tabla 18- Descripción tarjeta servomotores – motoreductores.	182
Tabla 19-Descripción de la tarjeta de sensores de ultrasonido	185
Tabla 20-Descripción de la tarjeta de Alimentación	186

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Robot explorador.	37
Figura 2. Robot androide.	38
Figura 3. Robot Zoomorfico.	38
Figura 4. Robot industrial.	39
Figura 5. Robot móvil	40
Figura 6. Tracción.	48
Figura 7. Compresión.	48
Figura 8. Cortante.	49
Figura 9. Flexión	50
Figura 10. Torsión	50
Figura 11. Fuerzas de reacción	52
Figura 12. Fuerzas de fluencia	57
Figura 13. Velocidad angular	58
Figura 14. Fricción	61
Figura 15. Momento de inercia	67
Figura 16. Imagen del motoreductor	64
Figura 17. Imagen del servomotor	65
Figura 18. Partes del servomotor	65
Figura 19. Posición de los servomotores	66
Figura 20. Tipos de motores PAP	67
Figura 21. Estructura interna y símbolo de un tiristor.	70
Figura 22. Puente Graetz con un tiristor en cada rama.	70
Figura 23. Configuración tipo H, con cuatro transistores de potencia.	71
Figura 24. Esquema simplificado del puente en H usando 5 interruptores.	72
Figura 25. Señal del PWM	73
Figura 26. Señal del PFM	73
Figura 27. Configuración del L293B	75

Figura 28. Control de motores unidireccional con el integrado L293B	76
Figura 29. Control de motores Bidireccional con el integrado L293B	77
Figura 30. Circuito de protección para el integrado L293B	78
Figura 31. Conexión del sensor óptico de rayos infrarrojos por reflexión.	79
Figura 32. Conexión del sensor óptico de rayos infrarrojos directo.	80
Figura 33. Conexión del sensor infrarrojo de barrido difuso.	81
Figura 34. Conexión del sensor mecánico de contacto.	82
Figura 35. Diagrama de bloques del sensor de ultrasonido	83
Figura 36. Nivel de disparo ascendente del flip-flop tipo D	85
Figura 37. Nivel de disparo descendente del flip-flop tipo D	85
Figura 38. Diagrama temporal para el flip-flop tipo D	86
Figura 39. Amplificador operacional	87
Figura 40. Amplificador operacional inversor	88
Figura 41. Amplificador operacional no inversor	90
Figura 42. Estructura interna de un microcontrolador.	92
Figura 43. Aro cilíndrico.	96
Figura 44. Sistema geométrico de la estructura.	96
Figura. 45. Sistema geométrico con las respectivas distancias.	98
Figura 46. Distancia entre centros para las ruedas.	99
Figura 47. Eslabones de la estructura.	99
Figura 48. Dimensiones de los eslabones de la estructura.	100
Figura 49. Configuración Rocker-Bogie.	101
Figura 50. Dimensiones principales del chasis.	102
Figura 51. Propiedades físicas del chasis	103
Figura 52. Centro de masa del chasis.	103
Figura 53. Movimiento del Bogie a 30°	104
Figura 54. Movimiento del Rocker a 22°.	105
Figura 55. Obstáculo tipo escalón.	106
Figura 56. Obstáculo tipo Cráter	107
Figura 57. Obstáculo tipo Pendiente	108

Figura 58. Estructura Rocker-Bogie	110
Figura 59. Posición A de la estructura Rocker-Bogie	111
Figura 60. Posición A con sus respectivas reacciones	111
Figura 61. Posición B de la estructura Rocker-Bogie	112
Figura 62. Posición B con sus respectivas reacciones.	112
Figura 63. Posición C de la estructura Rocker-Bogie	113
Figura 64. Posición C con sus respectivas reacciones.	113
Figura 65. Posición D de la estructura Rocker-Bogie	114
Figura 66. Posición D con sus respectivas reacciones.	114
Figura 67. Posición E de la estructura Rocker-Bogie.	115
Figura 68. Posición E con sus respactvas reacciones.	115
Figura 69. Posición F de la estructura Rocker-Bogie.	116
Figura 70. Posición F con sus respectivas reacciones.	116
Figura 71. Pieza Rocker.	118
Figura 72. Pieza Bogie.	120
Figura 73. Modelo del motoreductor.	124
Figura 74. Las principales piezas que acompañan al motoreductor.	124
Figura 75. Pieza tipo C.	125
Figura 76. La Rueda.	127
Figura 77. Ensamble de la rueda.	128
Figura 78. Sevomotor Futaba S3010	130
Figura 79. Sistema de dirección de las ruedas.	131
Figura 80. Ubicación de la posición de la suspensión posterior.	132
Figura 81. Rotula.	133
Figura 82. Robot móvil tipo Rover en 3D.	135
Figura 83. Medidas principales del robot móvil.	136
Figura 84. Circuito de alimentación.	139
Figura 85. Configuración del integrado L293B	140
Figura 86. Circuito para controlar el giro de los motoreductores	141
Figura 87. Diagrama de bloques para el control de los motorreductores.	141

Figura 88. Diagrama de flujo para el control de los motoreductores.	143
Figura 89. Circuito de la etapa de potencia del robot móvil.	144
Figura 90. El motoreductor.	144
Figura 91. Conexión del servomotor Futaba S3010	146.
Figura 92. Circuito de conexión de los servomotores al microcontrolador.	147
Figura 93. Direcciones del robot móvil.	148
Figura 94. Anchos de pulsos y ángulos principales del servomotor.	149
Figura 95. Diagrama de flujo para posicionar los servomotores en 0°.	150
Figura 96. Diagrama de flujo para posicionar los servomotores en 90°.	151
Figura 97. Diagrama de flujo para posicionar los servomotores en 180°.	152
Figura 98. Circuito de control de los motorreductores y servomotores	153
Figura 99. Sensores de ultrasonido.	154
Figura 100. Diagrama de bloques del sistema de los sensores de ultrasonido.	155
Figura 101. Diagrama de flujo para generar 80khz.	156
Figura 102. Salida de tren de pulsos a una frecuencia de 80kHz.	157
Figura 103. Circuito de conexión del PIC16F628 con el flip-flop 741S74A	158
Figura 104. Señal de salida de los 40kHz obtenida de Q Y Q'.	158
Figura 105. Puente H con los transistores BD139 y BD138	159
Figura 106. Señal entregada al sensor de ultrasonido.	160
Figura 107. Circuito de la etapa de transmisión para el sensor de ultrasonido.	160
Figura 108. Señal recibida por el receptor de ultrasonido.	161
Figura 109. Circuito de la primera etapa de amplificación del receptor	162
Figura 110. Señal obtenida de la primera etapa de amplificación del receptor	162
Figura 111. Circuito de la segunda etapa de amplificación del receptor	163
Figura 112. Señal obtenida de la segunda etapa de amplificación del receptor	164
Figura 113. Circuito para eliminar el ciclo negativo de la señal de ultrasonido	164
Figura 114. Señal obtenida después de eliminar el semiciclo negativo.	165
Figura 115. Circuito de la etapa de recepción de la señal de ultrasonido	165
Figura 116. Esquema de distribución de los sensores de ultrasonido.	166
Figura 117. Diagrama de bloques de la etapa de control de la señal ULT.	167

Figura 118. Conexión PIC16F877A(MASTER) y el PIC16F877A(SLAVE).	168
Figura 119. Diagrama de flujo del PIC16F877A(MASTER).	169
Figura 120. Diagrama de flujo del PIC16F877A(SLAVE).	170
Figura 121. Componentes de la mini cámara.	171
Figura 122. Acople entre la mini cámara y el servomotor.	172
Figura 123. Ubicación de la mini cámara en el Robot.	173
Figura 124.-Chasis tipo jaula de Faraday	174
Figura 125.-Soporte para el servomotor	175
Figura 126.-Soporte del sensor de ultrasonido	175
Figura 127.-Rocker con la adaptación para el servomotor y para los sensores	175
Figura 128.-Modelamiento del Bogie	176
Figura 129.-Bogie con la adaptación para el servomotor y el sensor	176
Figura 130.-Los seis motoreductores para el robot móvil.	177
Figura 131.-Imagen de las seis piezas C.	177
Figura 132.-Ruedas cilíndricas fabricadas en aluminio.	178
Figura 133.-Imagen de las seis ruedas.	178
Figura 134.-Últimos detalles en la fabricación del soporte del diferencial	179
Figura 135.-El diferencial ensamblado.	179
Figura 136-Imagen del robot terminado.	180
Figura 137-Imagen del robot superando un obstáculo	180
Figura 138.- Baterías	181
Figura 139.-Foto de la tarjeta de control servomotores – motoreductores	182
Figura 140.-Foto de la tarjeta de sensores de ultrasonido.	184
Figura 141.-Foto de la señal de 80kHz.	187
Figura 142.-Foto de la señal de los 40kHz.	187
Figura 143.-Foto. señal transmitida.	188
Figura 144.-Foto. Señal recibida.	188
Figura 145.-Foto. Señal primera amplificación.	189
Figura 146.-Foto. Señal segunda amplificación	189
Figura 147.-Foto. Eliminación del semiciclo negativo	190

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Factor de seguridad	44
Ecuación 2. Esfuerzo Normal	48
Ecuación 3. Esfuerzo Cortante	49
Ecuación 4. Esfuerzo de flexión	50
Ecuación 5. Momento de una fuerza	52
Ecuación 6. Deformación	56
Ecuación 7. Esfuerzos principales	56
Ecuación 8. Esfuerzo de Von Misses	57
Ecuación 9. Esfuerzo de fluencia para el esfuerzo normal	58
Ecuación 10. Esfuerzo de fluencia para el esfuerzo Cortante	58
Ecuación 11. Velocidad Angular	59
Ecuación 12. Aceleración Angular	60
Ecuación 13. Fuerza de fricción	61
Ecuación 14. Momento de inercia de un aro cilíndrico	63
Ecuación 15. Amplificador operacional inversor	89
Ecuación 16. Amplificador operacional no inversor	90
Ecuación 17. Peso	109
Ecuación 18. Torque mínimo requerido.	122

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
Anexo A.	207
Anexo B	219
Anexo C	229

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el hombre se ha sentido fascinado por máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y los movimientos de los seres vivos.

Diseñar robots exige un conocimiento multidisciplinario. El diseño y análisis de las diferentes partes constitutivas de un vehículo autónomo se facilita si se cuenta con modelos y herramientas de simulación apropiados. Si bien la electrónica y la mecánica acaparan un buen porcentaje de las materias que implican la robótica, es muy conveniente tener ideas y habilidades en sensores, comunicaciones, motores e inteligencia artificial.

Los robots móviles se caracterizan por su capacidad de desplazarse de forma autónoma en un entorno desconocido o conocido sólo parcialmente.

La introducción de los microprocesadores ha hecho posible que la tecnología de los robots haya sufrido grandes avances, los modernos ordenadores han ofrecido un "cerebro" a los músculos de los robots mecánicos. Ha sido esta fusión de electrónica y mecánica la que ha hecho posible al moderno robot, los japoneses han acuñado el término "Mecatrónica" para describir esta fusión.

Los vehículos autónomos tipo Rover, cuentan con un chasis de seis ruedas y cada una con tracción independiente, con un sistema de suspensión que conecta las ruedas de dos en dos, de manera que cuando una queda elevada en el terreno la otra baja y el robot se mantiene en contacto con la superficie constantemente, lo que permite distribuir muy bien el peso y le confiere mucha estabilidad al superar obstáculos, equipado a su vez con sistemas electrónicos apropiados que le permite acomodarse a las condiciones del terreno para la exploración.

El proyecto se enfoca en explicar de una forma clara el desarrollo ingenieril y la construcción de un robot móvil, las limitaciones y alcances que se plantean al construir y programar un vehículo autónomo tipo Rover, el resultado principal del proyecto está orientado en que el vehículo explorador esté en la capacidad de recibir la información del entorno, procesarla y distribuirla para que el vehículo evite colisionar logrando de esta manera desplazarse satisfactoriamente.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 TÍTULO

Diseño y construcción de un vehículo autónomo tipo Rover.

1.2 ANTECEDENTES

Los robots se remonta a la antigüedad cuando los griegos tenían una palabra específica para denominar a estas máquinas: automatos. De esta palabra deriva la actual autómata: máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado.

La cultura árabe heredó y difundió los conocimientos griegos, utilizándolos no sólo para realizar mecanismos destinados a la diversión, sino que les dio una aplicación práctica, introduciéndolos en la vida cotidiana de la realeza.

Unos de los más importantes avances son los vehículos exploradores como lo han sido los robots Spirit, el Opportunity y Sojourner con las expediciones a Marte.

Spirit y Opportunity son herederos muy crecidos del primer robot todoterreno que se paseó por Marte, el Sojourner de la misión Pathfinder de 1997 el cual se caracteriza por ser un vehículo con tracción en las seis ruedas y suspensión tipo Rocker-bogie.

En Colombia, las universidades han incursionado en el campo de la robótica con diferentes ejemplares, y se han realizado diferentes exposiciones inter universidades, los cuales permiten conocer el talento para el avance tecnológico entre las cuales se han destacado la universidad Nacional de Colombia por sus experiencias en robótica como los Vehículos tipo oruga, con ruedas y patas para la exploración y los robots bípedos.

1.3 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los nuevos niveles en la educación ingenieril generan la necesidad de desarrollar proyectos interdisciplinarios, como en el caso de la robótica móvil, que involucra la integración de conocimientos electrónicos y mecánicos. Para ello es necesaria la intervención de herramientas de investigación, puesto que la tecnología actual esta remplazando los sistemas manuales por los sistemas automáticos, sin ignorar que el diseño electrónico se hace dependiendo de los parámetros que implican el diseño mecánico para su óptimo funcionamiento y evolución.

Por otro lado el hombre en estudios arqueológicos, geológicos o en el caso de exploraciones mineras o militares, se ha enfrentado con terrenos de difícil acceso donde la vida corre alto peligro, por esta razón el hombre se ha visto en la necesidad de emplear otros métodos donde la fusión de la mecánica y la electrónica se hacen presente y se materializan en desarrollos tecnológicos como lo son los robots móviles los cuales deben suplir la necesidad humana de rebasar situaciones críticas y permitir al hombre la búsqueda e incremento de nuevos descubrimientos.

1.3.1 Formulación del problema

¿Cómo interactuar el diseño mecánico con el diseño electrónico para el óptimo desempeño del vehículo autónomo tipo Rover?

1.4 JUSTIFICACIÓN

La razón principal para la realización del Diseño y Construcción de un vehículo autónomo tipo **Rover**, es el interés que ha generado el interactuar el diseño mecánico con el diseño electrónico, ya que como generadores de desarrollo en el país no se puede ser ajeno a este tipo de avances.

La importancia de esta investigación, es el de brindar un concepto de robótica y una aplicación, buscando implementar capacidades de aprendizaje de tipo evolutivo, para reconocer y aprender tendencias en robótica ante las situaciones que se presentan en interacción con el mundo, aportando de esta manera en los diferentes estudios ingenieriles, con una plataforma que haga parte en un futuro del laboratorio de robótica para la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá D.C., con el fin de alcanzar una educación de mejor calidad.

Si el vehículo es sometido a la acción de fuerzas que lo hacen girar alrededor de sus ejes, este por su diseño mecánico contará con un sistema de estabilidad que lo mantenga en contacto con la tierra por mas tiempo, logrando así superar la poca estabilidad de los vehículos convencionales los cuales en una situación crítica pueden volcarse de lado o de frente.

La movilidad de este tipo de vehículos es amplia ya que comprende con una gran capacidad de desplazamientos y mayor tracción en cada una de sus seis ruedas logrando de esta manera solucionar problemas que los vehículos convencionales presentan al encontrar un entorno con gran número de obstáculos.

Este vehículo por su sistema de suspensión Rocker-Bogie tendrá acceso a terrenos difíciles que lo sometan a choques, permitiendo así superar obstáculos sin ocasionarle daños entre el chasis y el eje, protegiendo los sistemas electrónicos que lo controlen.

Con la facilidad que posee el vehículo de desplazarse en terrenos complicados o de difícil acceso para el hombre, será en un futuro de gran beneficio para las operaciones militares, como por ejemplo, detección de minas antipersonales y reconocimiento militar en donde la vida del hombre corre algún peligro. Puede ser utilizado por las entidades del estado como la defensa civil, los bomberos los cuales se encargan del bienestar de las personas cuando ocurre una tragedia natural (terremotos, derrumbes, incendios, etc.). También sirve de ayuda en estudios arqueológicos, geológicos, exploraciones mineras, entre otros.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

Diseñar y construir un vehículo autónomo tipo **Rover** que interactúe el diseño mecánico con el diseño electrónico de tal manera que pueda moverse en cualquier dirección, sirviendo a su vez de plataforma para realizar algoritmos de control observando su ejecución en tiempo real.

1.5.2 Objetivos específicos

- Seleccionar la configuración física del vehículo.
- Diseñar el sistema de movilidad y suspensión.
- Diseñar la plataforma que apoya los circuitos electrónicos y cargas útiles, de tal manera que forme un conjunto estético.
- Construir el vehículo con las especificaciones dadas en el diseño mecánico.
- Seleccionar e implementar los sensores adecuados para que el vehículo detecte obstáculos y evite colisionar.
- Diseñar e implementar el sistema electrónico que permite dirigir y definir la trayectoria del vehículo por medio del hardware y el software.
- Adaptar el sistema electrónico al sistema de dirección y tracción del vehículo, para que pueda proporcionar un buen funcionamiento al superar y evadir obstáculos.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.6.1 Alcances

El propósito del proyecto de grado se aplica en el diseño y construcción de un vehículo móvil explorador que este en la capacidad de recibir la información del entorno, procesarla y distribuirla para que el vehículo evite colisionar logrando de esta manera desplazarse satisfactoriamente en direcciones de 45°, 90° y 180 sin necesidad que el chasis cambie de posición y para obtener el cambio de dirección del chasis es necesario que el vehículo gire en su propio eje.

El aporte consiste en dar a conocer a los estudiantes una aplicación de las nuevas herramientas tecnológicas como los Robots móviles que son de gran utilidad para nuevas investigaciones. El vehículo explorador tipo **Rover** será de gran influencia para el desarrollo de los programas y modalidades diseñados para este, ya que buscaría sistematizar y fortalecer las experiencias de educación.

1.6.2 Limitaciones

En el desarrollo del proyecto se han encontrado una serie de inconvenientes con respecto a la construcción ya que las empresas que venden los artículos del robot móvil son muy escasas, e igualmente algunos de los materiales son importados.

La mecanización del robot móvil exige piezas bien elaboradas y la maquinaria disponible en la Universidad es restringida, por lo tanto, se prolonga el tiempo para el ensamble final y para realizar las diferentes pruebas que se requieren.

Por otra parte la información obtenida tanto de libros como de asesores acerca de los robots móviles es poca y además es información internacional lo que dificulta la investigación y ocasiona que se prolongue el tiempo de diseño del robot móvil.

Los recursos económicos para la construcción del Robot móvil son propios, y esto genera que la tecnología usada tanto en la parte mecánica como en la electrónica este al alcance de los autores.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

ALGORITMO: conjunto definido de reglas o procesos para la solución de un problema en un número finito de pasos.

ARTICULACIÓN: Unión entre dos piezas rígidas que permite el movimiento relativo entre ellas.

AUTÓMATA: aparato que encierra en sí mismo los mecanismo necesarios para ejecutar ciertos movimientos o tareas similares a las que realiza un ser animado.

AUTOMÁTICA: Ciencia que trata de sustituir en un proceso el operador humano por un determinado dispositivo, generalmente electromecánico.

CHASIS: Estructura que sostiene y aporta rigidez y forma a un vehículo u objeto portable.

CIRCUITO: es un ciclo, un camino sin interrupciones que permite por ejemplo, que la corriente salga por un lado de la batería y regrese por el otro. También es necesario un circuito para obtener electricidad del tomacorriente.

DIAGRAMA DE FLUJO: Un Diagrama de Flujo representa la esquematización gráfica de un algoritmo, el cual muestra gráficamente los pasos o procesos a seguir para alcanzar la solución de un problema.

DISPOSITIVO: mecanismo de un aparato o equipo que, una vez accionado, desarrolla de forma automática la función que tiene asignada.

EJE: Cada una de las líneas según las cuales se puede mover el robot o una parte de él (algún elemento de su estructura). Pueden ser ejes o líneas de desplazamiento longitudinal sobre sí mismo (articulación prismática) o ejes de giro (rotación).

ELECTRÓNICA: Ciencia que estudia dispositivos basados en el movimiento de los electrones libres en el vacío, gases o semiconductores, cuando dichos electrones están sometidos a la acción de los campos electromagnéticos.

ESFUERZO: Empleo enérgico de la fuerza física contra algún impulso o resistencia.

FRICCIÓN: Se define a la fricción como una fuerza resistente que actúa sobre un cuerpo, que impide o retarda el deslizamiento de este respecto a otro o en la superficie que este en contacto.

FUERZA: Se denomina fuerza a cualquier acción o influencia capaz de modificar el estado de movimiento de un objeto. El aparato que permite medirlas se denomina dinamómetro.

HERRAMIENTA: es un instrumento para prolongar o ampliar alguna capacidad humana.

INSTRUMENTO: es un elemento que permite hacer algún tipo de medición, comprobar el buen funcionamiento de un artefacto, o a veces cuando está incorporado al propio artefacto sirve para hacer un uso correcto del mismo.

JAULA DE FARADAY: Una jaula de Faraday es una pantalla eléctrica, una superficie conductora que rodea un espacio hueco impidiendo las perturbaciones producidas por campos eléctricos externos.

LEYES DE LA ROBÓTICA: el escritor Isaac Asimov propuso las "Leyes de la Robótica", que en un principio fueron sólo tres pero luego añadió una cuarta, llamada Ley Cero. Estas son:

- **Ley Cero:** Un robot no puede dañar a la humanidad, o a través de su inacción, permitir que se dañe a la humanidad.
- **Primera Ley:** Un robot no puede dañar a un ser humano, o a través de su inacción, permitir que se dañe a un ser humano.
- **Segunda Ley:** Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto cuando tales órdenes estén en contra de la Primera Ley.
- **Tercera Ley:** Un robot debe proteger su propia existencia, siempre y cuando esta protección no entre en conflicto con la Primera y la Segunda Ley.

MECÁNICA: Parte de la física que trata del equilibrio y del movimiento de los cuerpos sometidos a cualesquiera fuerzas.

MICROCONTROLADOR: Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador, se emplea para realizar una tarea determinada para la cual ha sido programado. Dispone de procesador, memoria para el programa y los datos, líneas de entrada y salida de datos y suele estar asociado a múltiples recursos auxiliares. Puede controlar cualquier cosa y suele estar incluido en el mismo dispositivo que controla.

MOTOR: Un motor es una máquina que produce un efecto, normalmente llamado trabajo, a raíz de una cierta alimentación. En los automóviles este efecto es una fuerza rotacional que produce el movimiento del vehículo.

PROGRAMA: Conjunto de instrucciones que permite a una computadora realizar determinadas operaciones.

POTENCIA: El concepto de potencia no se aplica exclusivamente a situaciones en las que se desplazan objetos mecánicamente. En un circuito eléctrico con una resistencia. Hay que realizar una determinada cantidad de trabajo para mover las cargas eléctricas a través de la

resistencia. Para moverlas más rápidamente —en otras palabras, para aumentar la corriente que fluye por la resistencia— se necesita más potencia.

ROBOT: Manipulador mecánico, reprogramable y de uso general. Se define como un sistema híbrido de cómputo que realiza actividades físicas y de computación. Los robots utilizan sensores analógicos para reconocer las condiciones del mundo real transformadas por un convertidor analógico digital en claves binarias comprensibles para el computador del robot.

ROBÓTICA: La robótica es la rama de la ciencia que se ocupa del estudio, desarrollo y aplicaciones de los robots.

SENSOR: transductor que capta magnitudes y las transforma en señales eléctricas.

SERVOMOTOR: Es un pequeño motor con un reductor de velocidad y multiplicador de fuerza, también dispone de un pequeño circuito que gobierna el sistema. El recorrido del eje de salida es de 180°.

ULTRASONIDO: Vibración de la misma naturaleza que el sonido cuya frecuencia de vibraciones es superior al límite perceptible por el oído humano.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1 Robótica

2.2.1.1 Historia de la robótica

La historia de los robots se remonta a la antigüedad. Según la mitología griega, Pigmalión, rey de Chipre, se enamoró de una estatua de marfil que él mismo había esculpido. Por eso, solicitó a la diosa Afrodita que le diera vida, para poder así desposarla. El cuento infantil Pinocho nos habla de la historia de una marioneta articulada que se convierte en un niño de verdad. Y la historia imaginaria de la criatura Frankenstein es otro ejemplo de una realidad creada por la mano del hombre.

Una de las primeras creaciones se debe al francés Jacques de Vaucanson, quien presentó, en 1730, un pato articulado en cobre capaz de beber, comer y masticar como un verdadero animal.

Pero no es hasta la segunda mitad del siglo XX cuando aparecen los primeros robots útiles.

En 1950, el inglés Grey Walter creó una máquina que tenía comportamiento autónomo. Se trataba de una especie de tortuga mecánica capaz de desplazarse. Esta tortuga se dirigía hacia cualquier fuente de luz y, en ausencia de la misma, se desplazaba de forma aleatoria. Este tipo de comportamiento es característico de un animal poco evolucionado, como puede ser un insecto.

El desarrollo del brazo artificial multiarticulado, o manipulador, llevó al moderno robot. El inventor estadounidense George Devol desarrolló en 1954 un brazo primitivo que se podía programar para realizar tareas específicas.

En 1960 se desarrolló un interesante proyecto en la Universidad John Hopkins, en los Estados Unidos. Consistía en una plataforma autónoma equipada con un sonar y un ojo, cuyo único objetivo era mantener la baterías cargadas. El mundo para este robot, se dividía en dos partes: la tomas de corriente y todo lo demás. Por primera vez, un robot parecía percibir el mundo. A partir de 1965, varias universidades comenzaron a construir robots.

2.2.1.2 ¿Qué es un robot?

El robot es una máquina controlada por ordenador y programada para moverse, manipular objetos y realizar trabajos a la vez que interacciona con su entorno. Los robots son capaces de realizar tareas repetitivas de forma más rápida, barata y precisa que los seres humanos. El término procede de la palabra checa robota, que significa 'trabajo obligatorio'; fue empleado por primera vez en la obra teatral de 1921 R.U.R. (Robots Universales de Rossum) por el novelista y dramaturgo checo Karel Čapek. Desde entonces se ha empleado la palabra robot para referirse a una máquina que realiza trabajos para ayudar a las personas o efectúa tareas difíciles o desagradables para los humanos.

Existen dos grupos de robots: los robots fijos y los robots móviles. Los robots fijos se utilizan en la industria para llevar a cabo tareas peligrosas (soldadura de chasis o pintura de las carrocerías en una fábrica de coches).

Los robots móviles se emplean en el desplazamiento en un entorno conocido o desconocido.

La mayor parte de las investigaciones se concentran en el reconocimiento del entorno inmediato del robot. Sensores (infrarrojos, ultrasonidos, láser etc.) asociados a programas

de software específicos, estos permiten mediante el reconocimiento de formas, optimizar los desplazamientos del móvil.

Figura 1.-Robot explorador.



Fuente. <http://mars.jpl.nasa.gov/mep/missions/announce2.html>

2.2.1.3 Tipos de robots

Actualmente es posible encontrar una variada gama de formas de clasificar a los robots. Entre los cuales se encuentran:

➤ **Androides**

Los androides son robots que se parecen y actúan como seres humanos. Los robots de hoy en día vienen en todas las formas y tamaños, pero a excepción de los que aparecen en las ferias y espectáculos, no se parecen a las personas y por tanto no son androides. Actualmente, los androides reales sólo existen en la imaginación y en las películas de ficción.

Figura 2.-Robot androide.



Fuente. <http://academia.gda.itesm.mx/~gsanchez/Robotica/asimo.JPG>

➤ **Zoomórficos**

Robots caracterizados principalmente por su sistema de locomoción que imita a diversos seres vivos. Los androides también podrían considerarse robots zoomórficos.

Figura 3.-Robot Zoomorfico.



Fuente. http://autric.com/Microbotica%20y%20Mecatronica/galeria_de_robot.htm

➤ **Médicos**

Los robots médicos son, fundamentalmente, prótesis para discapacitados físicos que se adaptan al cuerpo y están dotados de potentes sistemas de mando. Con ellos se logra igualar con precisión los movimientos y funciones de los órganos o extremidades que suplen.

➤ **Industriales**

Los robots industriales son artilugios mecánicos y electrónicos destinados a realizar de forma automática determinados procesos de fabricación o manipulación. Son en la actualidad los más frecuentes.

Japón y Estados Unidos lideran la fabricación y consumo de robots industriales siendo Japón el número uno.

Figura 4.-Robot industrial.



Fuente. www.mrg.dmu.ac.uk/Mechatronics/images/Grip1.gif

El puma era capaz de mover un objeto y colocarlo en cualquier orientación en un lugar deseado que estuviera a su alcance. El concepto básico multiarticulado del PUMA es la base de la mayoría de los robots actuales.

➤ **Móviles**

Los robots móviles están provistos de patas, ruedas u orugas que los capacitan para desplazarse de acuerdo a su programación. Elaboran la información que reciben a través de sus propios sistemas de sensores y se emplean en determinado tipo de instalaciones industriales, sobre todo para el transporte de mercancías en cadenas de producción y almacenes. También se utilizan robots de este tipo para la investigación en lugares de difícil acceso o muy distantes, como es el caso de la exploración espacial y las investigaciones o rescates.

Figura 5.-Robot móvil



Fuente. <http://www.mtsn.tn.it/robot/pics/robotica.jpg>

2.2.1.4 Funciones de un Robot Móvil

Un robot móvil posee tres funciones fundamentales: la locomoción, la percepción y la decisión.

➤ La locomoción

La locomoción se descompone en dos partes:

- La que realiza el apoyo sobre el medio en el que se espera que se desplace el robot
- La que permite su propulsión.

Esta última incluye los motores y los mecanismos que permiten el desplazamiento.

Los medios de desplazamiento son numerosos y es conveniente aplicar un tratamiento diferente dependiendo de que el móvil se vaya a desplazar por el suelo o dentro de un determinado medio (terrestre, aéreo y marítimo).

- **Los robots de ruedas u orugas**

En el caso de los robots que utilizan ruedas (u orugas) para desplazarse, el cambio de dirección se consigue variando la velocidad de los motores asociados a cada una de las ruedas laterales, o variando la orientación de las ruedas (vehículos automóviles).

- **Los robots con desplazamiento articulado**

La mitad de la superficie de la tierra es inaccesible a los mejores vehículos de ruedas (u orugas), lo que quizá explica porque la naturaleza no ha inventado la rueda.... La supervivencia de un animal está ligada a su capacidad de exploración del medio que le rodea. Las investigaciones actuales se orientan hacia el estudio de la reptación y el desplazamiento sobre dos, cuatro, seis o más patas.

El número de patas determina la complejidad del sistema que las controla. Los sistemas de una o dos patas (como el hombre) no funcionan más que en modo dinámico, mientras en los sistemas de cuatro patas o más permiten un equilibrio estático.

La reptación es el medio utilizado para avanzar en una galería. La progresión se efectúa por medio de ventosas o garras, asociadas a un efecto de alargamiento de las articulaciones. La utilización de este tipo de robots para controlar las tuberías en las centrales nucleares han impulsado la investigación en este sentido.

- **La percepción**

La percepción pasa por dos etapas sucesivas: la lectura de los sensores y el tratamiento de la información. La interpretación, que permite suministrar un mensaje claro a la función de locomoción, se desarrolla en la función de decisión del robot.

Los sensores más sencillos se utilizan para el análisis local (los sensores de contacto, los sensores de proximidad con o sin medida, los sensores de luz, los sensores de presión o movimiento), mientras que la telemetría láser o los ultrasonidos permiten el análisis de una imagen sencilla o un movimiento.

➤ **La decisión**

Los datos procedentes de los diferentes sensores deben ser interpretados como otros tantos elementos útiles para la toma de decisiones sobre la acción que hay que llevar a cabo, siendo el objetivo dar las órdenes correctas a los accionadores, brazos, pinzas, o motores de las ruedas.

2.2.1.5 Aplicación de los microcontroladores en los robots móviles

Los microcontroladores es una tecnología derivada de la Robótica que se está imponiendo en multitud de aplicaciones y que proliferará masivamente en la primera década del siglo XXI.

El robot es un dispositivo móvil que reacciona ante el entorno de acuerdo con un plan de acciones programados por el usuario. Para moverse utiliza motores, y para reconocer el entorno emplea sensores de todo tipo. Finalmente, para controlar motores, sensores y actuadores dispone de un computador en miniatura programado en función de la finalidad a la que se destina.

Existen multitud de tareas sencillas y rutinarias que nos ocupan una gran parte del día como cocinar, limpiar, controlar parámetros como la temperatura del agua y la calefacción, lavar, conducir, vigilar, transportar, y mucho más.

La gran función de los robots es resolver estas pequeñas tareas con rapidez y precisión: explorar, medir y tomar el valor de magnitudes, cuidar jardines, recolectar frutos, vigilar zonas de seguridad, acompañar a los visitantes, transportar todo tipo de objetos, guiar a evidentes, ayudar a minusválidos, trabajar en entornos peligrosos como los radioactivos o submarinos y hasta ser excelentes compañeros.

El cerebro del robot es un microcontrolador programado. Recibe la información de los sensores, la procesa y de acuerdo con su aplicación ordena las acciones precisas a los órganos motrices.

El armazón debe soportar rígidamente a todos los componentes del robot. La estructura puede ser mecánica, plástica o hecha a medida.

Los motores más usados en robótica son los de corriente continua y los PAP. Son muy populares los servomotores que incluyen un grupo reductor y una gran estabilidad en la velocidad de giro. Además se caracterizan por tener una baja inercia en los instantes de arranque y parada.

En cuanto a sensores y actuadores que maneja un robot, los modelos son muy amplios. Los más utilizados en esta tecnología son los sensores de rayos infrarrojos, los sensores de ultrasonido, los mecánicos de posición y contacto (bumpers), los de proximidad de tipo magnético y por efecto Hall, los de luminosidad, distancia, luz temperatura, etc.

2.2.2 Estructura y chasis

Es la encargada de darle forma al robot y sostener sus componentes. Las ruedas, los motores y los sensores no están protegidos por el chasis, es así como la forma general de un robot móvil depende de la composición tanto interna como externa y de la tarea que tenga que llevar a cabo.

2.2.2.1 El factor de seguridad

El método de Pugsley se usa para determinar el factor de seguridad, en 1966 lo determino sistemáticamente de la siguiente ecuación.

$$\eta_s = \eta_{sx} \eta_{sy}$$

Ecuación 1. Factor de seguridad

η_{sx} = al factor de seguridad que involucra:

A = Calidad de los materiales.

B = Control sobre la carga aplicada a la parte

C = Exactitud del análisis del esfuerzo, información experimental.

η_{sy} = al factor que involucra:

D = Peligro para el personal

E = Impacto económico.

Aunque es un procedimiento simple para obtener los factores de seguridad, el método Pugsley ilustra las preocupaciones presentes en la selección del factor de seguridad. Muchos parámetros, como la resistencia del material y las cargas aplicadas, puede que no sean bien conocidas y la confianza en el análisis de ingeniería puede ser sospechosa.

Tabla 1. Características para la selección del factor de seguridad

Características *		B =				
		mb	b	r	p	
A=mb	C=	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		B	1.2	1.45	1.7	1.95
		R	1.3	1.6	1.9	2.2
		P	1.4	1.75	2.1	2.45
A=b	C=	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		B	1.45	1.75	2.05	2.35
		R	1.6	1.95	2.3	2.65
		P	1.75	2.15	2.55	2.95
A=r	C=	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
		b	1.7	2.05	2.4	2.75
		r	1.9	2.3	2.7	3.1
		p	2.1	2.55	3.0	3.45
A=P	C=	mb	1.7	2.15	2.4	2.75
		b	1.95	2.35	2.75	3.15
		r	2.2	2.65	3.1	3.55
		p	2.45	2.95	3.45	3.95
Característica *		D =				
E =	ns	1.0	1.2	1.4		
	s	1.0	1.3	1.5		
	ms	1.2	1.4	1.6		

* mb = muy bien, b = bien, r = regular, p = pobre, ns = no serio, s = serio, ms = muy serio

2.2.2.2 Los materiales

Entre los diferentes materiales que se pueden utilizar para construir el robot esta, el aluminio y el acrílico.

El aluminio es un material sin igual por sus características.

- Liviano
- Resistente a la corrosión

- No toxico
- Conductor eléctrico y del calor
- Antimagnético
- De fácil confortabilidad
- De apariencia agradable
- Reciclable

La combinación de sus propiedades le ha permitido ganarse un lugar fundamental en la construcción de: estructuras, columnas, vigas, recipientes, tolvas, evaporadores, transmisión eléctrica, cañerías de conducción de productos corrosivos, antenas, carrocerías, techos, parasoles, y una interminable gama de productos, pero requiere herramientas específicas que solo se pueden encontrar en talleres mecánicos, además permite crear estructuras muy sólidas. Sin embargo en pequeñas cantidades puede resultar bastante caro.

El acrílico es también un material muy utilizado en robótica. Presenta también muchas ventajas, a pesar del inconveniente de su precio, puede trabajarse fácilmente con herramientas clásicas y asegura una buena solidez general. Existen diferentes grosores y colores que pueden mejorar la solidez y la estética de un robot.

Entre el resto de los materiales que también puede utilizarse para fabricar un chasis, **la madera** presenta un buen compromiso entre la facilidad para ser trabajada y la solidez. Posee un buen aislamiento eléctrico, aunque tiene el inconveniente de su peso.

El acero se utiliza también ya que es actualmente la aleación más importante, empleándose de forma intensiva en numerosas aplicaciones, aunque su utilización se ve condicionada en determinadas circunstancias por las ventajas técnicas o económicas específicas que ofrecen otros materiales. Aún así siguen empleándose extensamente ya que:

- Los procedimientos de fabricación son relativamente simples y económicos.
- Presentan una interesante combinación de propiedades mecánicas, las que pueden modificarse dentro de un amplio rango variando los componentes de la aleación o aplicando tratamientos.
- Su plasticidad permite obtener piezas de formas geométricas complejas con relativa facilidad.
- La experiencia acumulada en su utilización permite realizar predicciones de su comportamiento, reduciendo costes de diseño y plazos de puesta en el mercado.

Y **la lámina de acero galvanizado** se puede utilizar para elaborar el chasis.

Galvanizar es recubrir con zinc fundido la superficie del acero para protegerlo de la corrosión. El zinc es el recubrimiento metálico más utilizado por su capacidad de proteger el acero base.

Existen dos métodos básicos para obtener el acero galvanizado: galvanización por inmersión en caliente y electrodeposición o galvanizado electrolítico. De allí se derivan toda una gama de productos que hacen del acero galvanizado un producto de múltiples posibilidades.

2.2.2.3 Esfuerzos que soportan los elementos que componen las estructuras

Al construir una estructura se necesita tanto un diseño adecuado como unos elementos que sean capaces de soportar las fuerzas, cargas y acciones a las que va a estar sometida. Los tipos de esfuerzos que deben soportar los diferentes elementos de las estructuras son:

➤ Esfuerzo normal

Es la fuerza por unidad de área, o la cantidad de fuerzas distribuidas a través de una sección.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Ecuación 2. Esfuerzo Normal

Donde:

A: Es el área transversal del elemento

P: Es la carga axial a la que esta sometido el elemento.

- **Tracción**

Hace que se separen entre sí las distintas partículas que componen una pieza, tendiendo a alargarla.

Figura 6.-Tracción.



Fuente. <http://www.iesalquibla.com/TecnoWeb/estructuras/contenidos/esfuerzos.htm>

- **Compresión**

Hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir acortamientos o aplastamientos.

Figura 7.-Compresión.

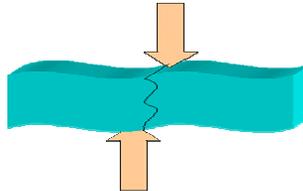


Fuente. <http://www.iesalquibla.com/TecnoWeb/estructuras/contenidos/esfuerzos.htm>

➤ **Esfuerzo cortante**

Se produce cuando se aplican fuerzas perpendiculares a una pieza, haciendo que las partículas del material tiendan a resbalar o desplazarse las unas sobre las otras.

Figura 8.-Cortante.



Fuente. <http://www.iesalquibla.com/TecnoWeb/estructuras/contenidos/esfuerzos.htm>

En una sección rectangular delgada la variación del esfuerzo cortante se puede hallar de la siguiente manera.

$$\tau = \frac{3V}{2A}$$

Ecuación 3. Esfuerzo Cortante

Donde:

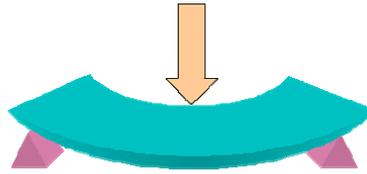
V: La fuerza cortante.

A: Es el área transversal del elemento.

➤ **Esfuerzo de flexión**

Es una combinación de compresión y de tracción. Mientras que las fibras superiores de la pieza sometida a un esfuerzo de flexión se alargan, las inferiores se acortan, o viceversa.

Figura 9.-Flexión



Fuente. <http://www.iesalquibla.com/TecnoWeb/estructuras/contenidos/esfuerzos.htm>

Se obtiene por medio del siguiente ecuación de esfuerzo flexionante:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Ecuación 4. Esfuerzo de flexión

Donde:

M: Es el momento flector.

I: El momento de inercia.

C: Centroide.

➤ **Esfuerzo de torsión**

Las fuerzas de torsión son las que hacen que una pieza tienda a retorcerse sobre su eje central. Están sometidos a esfuerzos de torsión los ejes, las manivelas y los cigüeñales.

Figura 10.-Torsión



Fuente. <http://www.iesalquibla.com/TecnoWeb/estructuras/contenidos/esfuerzos.htm>

2.2.3 Estructuras en equilibrio

La forma que tiene una estructura depende de las fuerzas y las acciones exteriores que actúan sobre ella. En general, todas las estructuras tienden a poseer una forma estable, para lo cual reaccionan contra las fuerzas que intentan deformarlas. Estas reacciones de las estructuras se producen básicamente a través de su diseño y de los materiales de los que están hechas.

Una estructura está en equilibrio cuando no se desplaza ni gira:

- Una estructura no se desplazará cuando el conjunto de todas las cargas y acciones que incidan sobre ella está compensado, es decir, cuando las fuerzas que actúan en un sentido están contrarrestadas con otras que actúan en sentido contrario. En definitiva, cuando la suma de todas las fuerzas es cero.
- Una estructura no girará cuando los efectos de todos los giros de las diferentes fuerzas que soporta se anulen los unos con los otros. Es decir, la estructura no girará si la suma de todos los momentos es cero.

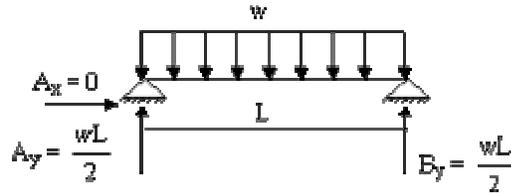
Las ecuaciones que describen el equilibrio estático son planteadas en la primera ley de Newton y controlan los movimientos del cuerpo en traslación y rotación.

$$\sum F = 0 \text{ y } \sum M = 0$$

2.2.3.1 Fuerzas de reacción

Se debe partir por encontrar las fuerzas de extremo del elemento y se recalca que el elemento, así pertenezca a un sistema estructural compuesto, debe estar en equilibrio estático, cumplir con las ecuaciones de equilibrio, considerando tanto las fuerzas de extremo o unión al sistema como las fuerzas externas actuando sobre él.

Figura 11.-Fuerzas de reacción



Fuente. <http://estructuras.eia.edu.co/estructurasII/indestII.html>

2.2.3.2 El momento de una fuerza

Para conseguir que un cuerpo gire alrededor de un eje es necesario aplicar una fuerza sobre el. La magnitud física que produce el giro se denomina momento de la fuerza y se calcula multiplicando el valor de dicha fuerza por la distancia que hay entre el punto donde se aplica y el punto donde se produce el giro:

$$M = F d$$

Ecuación 5. Momento de una fuerza

La estabilidad se logra si el número de reacciones es igual al número de ecuaciones de equilibrio independientes que se puedan plantear.

2.2.3.3 Estabilidad y determinación interna

Una estructura es determinada internamente si después de conocer las reacciones se pueden determinar sus fuerzas internas por medio de las ecuaciones de equilibrio.

Una estructura es estable internamente, si una vez analizada la estabilidad externa, ella mantiene su forma ante la aplicación de cargas.

La estabilidad y determinación interna están condicionadas al cumplimiento de las ecuaciones de equilibrio de cada una de las partes de la estructura.

Para analizar las fuerzas internas se usan dos métodos:

➤ **El método de los nudos**

La armadura puede ser considerada como un cuerpo de pernos y elementos sometidos a la acción de dos fuerzas.

se utiliza para determinar las fuerzas de los elementos de una armadura simple, esto es, en una armadura que puede ser construida a partir de una armadura triangular básica a la que se agregan dos nuevos elementos conectados en un nuevo nudo.

La solución constará de los siguientes pasos:

- Dibujar un diagrama de cuerpo libre de toda la armadura y utilizar dicho diagrama para determinar las reacciones en los apoyos.
- Localizar un nudo que conecte únicamente a dos elementos y dibujar un diagrama de cuerpo libre de su perno. Este diagrama de cuerpo libre sirve para determinar fuerzas desconocidas en cada uno de los dos elementos. Si solo están involucradas tres fuerzas, se deben escribir y resolver las ecuaciones de equilibrio para el perno, suponiendo que los elementos están en tensión. Una respuesta positiva significa que esta en tensión y una respuesta negativa significa que el elemento esta en compresión.
- Después, se debe localizar un nudo en el cual solo las fuerzas en dos de los elementos que se conectan a este aun son desconocidas. Se debe dibujar el diagrama de cuerpo libre del perno y utilizarlo como se indico en el punto anterior para determinar las dos fuerzas desconocidas.
- Se debe repetir este proceso hasta que las fuerzas en todos los elementos de la armadura hayan sido determinadas.
- Se debe señalar que la elección del primer nudo no es única.

Se debe recordar que el análisis de una armadura simple siempre se puede llevar a cabo por el método de los nudos. También se debe recordar que es útil bosquejar la solución antes de comenzar algún cálculo.

El método de los nudos es el mejor método a usar cuando se desea determinar las fuerzas en todos los elementos de una armadura simple. Sin embargo, el método de secciones es muy eficiente cuando se desea encontrar la fuerza en un solo elemento o las fuerzas en muy pocos elementos de una armadura simple. Además.

- **El método de secciones** también debe emplearse cuando la armadura no es una armadura simple.

Para determinar la fuerza en un elemento dado de la armadura por el método de secciones se deben seguir los siguientes pasos:

- Dibujar un diagrama de cuerpo libre de toda la armadura y utilizar dicho diagrama para determinar las reacciones en los apoyos.
- Pasar una sección a través de tres elementos de la armadura, de los cuales uno debe ser el elemento de interés. Después de que se han removido estos elementos se obtendrán dos porciones separadas de la armadura.
- Seleccionar una de las dos porciones de la armadura que se han obtenido al dibujar su diagrama de cuerpo libre. Dicho diagrama debe incluir tanto a las fuerzas externas aplicadas sobre la porción seleccionada, como a las fuerzas ejercidas sobre esta última por los elementos intersectados antes que dichos elementos fueran removidos.
- Ahora se pueden escribir tres ecuaciones de equilibrio las cuales pueden resolverse para encontrar las fuerzas en los tres elementos intersectados.
- Una opción alternativa consiste en escribir una sola ecuación, la cual puede resolverse para la fuerza en el elemento de interés. Para esto, primero se debe observar si las fuerzas ejercidas sobre el cuerpo libre por los otros dos elementos son paralelas o si sus líneas de acción se intersectan.

2.2.4 Deflexión

La primera razón por la cual es importante determinar las deflexiones que se producen sobre un elemento ante una condición de carga determinada tiene que ver con su diseño donde se hace necesario que estas deflexiones no afecten el grado de servicio del elemento, por ejemplo en el caso de maquinaria, deflexiones excesivas producen desalineamientos que hacen que la máquina se vuelve inoperante. La segunda razón es que el cálculo de deflexiones constituye la base de uno de los métodos que permiten convertir una estructura estáticamente indeterminada en determinada.

2.2.4.1 Estructura estáticamente indeterminada

Es común utilizar métodos en donde simplemente es necesario el diagrama de cuerpo libre y ecuaciones de equilibrio para hallar las fuerzas internas, sin embargo existen casos en donde no es posible determinar las fuerzas internas usando únicamente la estática, estas deben complementarse con relaciones obtenidas a partir de la geometría a través de las deformaciones. La estructura del robot móvil ilustra este caso donde resultan 2 ecuaciones y 3 incógnitas y se hace necesario involucrar una ecuación de deformación para obtener las reacciones.

2.2.4.2 Deformaciones de elementos sometidos a carga axial

Considérese una barra homogénea de longitud L y sección transversal uniforme A , bajo la acción de una carga axial P .

Si el esfuerzo axial $\sigma = \frac{P}{A}$ no excede el límite de proporcionalidad del material, puede aplicarse la ley de Hooke y escribir:

$$\sigma = E\varepsilon$$

De la cual se halla que

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{AE}$$

Recordando que la deformación ε se definió como

$$\varepsilon = \delta/L$$

$$\delta = \varepsilon L$$

Y sustituyendo ε

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

Ecuación 6. Deformación

2.2.5 Esfuerzos principales

Los planos que contienen las caras del elemento obtenidos se llaman planos principales de esfuerzos en el punto Q y los valores correspondientes σ_{\max} y σ_{\min} del esfuerzo normal ejercido sobre estos planos son los esfuerzos principales en Q.

$$\sigma_{\max}, \sigma_{\min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ecuación 7. Esfuerzos principales

Estos resultados garantizan que no aparezcan grietas en los eslabones.

2.2.6 Esfuerzo de Von Misses

Se basa en el calculo de la energía de distorsión en un material dado, es decir de la energía asociada con cambios en la forma del material. De acuerdo con este criterio un componente estructural dado, es seguro siempre que el valor máximo de la energía de distorsión por unidad de volumen en ese material permanezca más pequeño que la energía de distorsión por unidad de volumen requerida para hacer fluir una probeta del mismo material sometida a tensión.

Es decir

$$\sigma' < S_y \text{ ó}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + \sigma_{\min}^2 - \sigma_{\max} \times \sigma_{\min}}$$

Ecuación 8. Esfuerzo de Von Misses

2.2.7 Esfuerzo de fluencia

Los elementos estructurales y los componentes de maquinas hechas e un material dúctil se diseñan de manera que el material no fluya bajo las condiciones esperadas de carga. Cuando el elemento o componente esta bajo esfuerzo uniaxia, el valor del esfuerzo normal.

Figura 12.-Fuerzas de fluencia



σ_x que hará fluir el material puede obtenerse fácilmente de una prueba de tensión llevada a cabo en una probeta del mismo material, ya que la probeta y el elemento estructural o componente de maquina esta en el mismo estado de esfuerzo. En consecuencia sin importar el mecanismo que hace fluir el material, puede afirmarse que el elemento o componente esta seguro siempre que el $\sigma_x < S_y$, en donde S_y es la resistencia a la fluencia de la probeta.

El esfuerzo de fluencia S_y para el esfuerzo normal σ .

$S_y = \text{factor de seguridad} \times \text{Esfuerzo Normal}$

$$S_y = \eta \sigma$$

Ecuación 9. Esfuerzo de fluencia para el esfuerzo normal

El esfuerzo de fluencia S_y para el esfuerzo cortante τ .

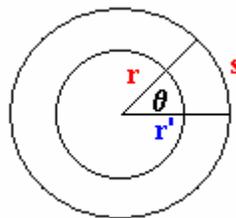
$$S_y = \frac{\text{Factor de seguridad} \times \text{Esfuerzo Cortante}}{0.5}$$

$$S_y = \frac{\eta \times \tau}{0.5}$$

Ecuación 10. Esfuerzo de fluencia para el esfuerzo Cortante

2.2.8 Velocidad angular

Figura 13.-Velocidad angular



De la definición de radián (unidad natural de medida de ángulos) obtenemos la relación entre el arco y el radio. Como vemos en la figura 13, el ángulo se obtiene dividiendo la longitud del arco entre su radio

$$\theta = \frac{s}{r} = \frac{s'}{r'}$$

Derivando $s=r\theta$ respecto del tiempo, obtenemos la relación entre la velocidad y la velocidad angular.

Cuando un objeto recorre un ángulo, describe una curva, es decir, recorre también una longitud. La longitud será tanto mayor cuanto mayor sea el radio de la circunferencia. Para el valor de la velocidad, la circunferencia mide $2\pi r$ de longitud, donde r es el radio de la circunferencia, para un ángulo de 2π radianes, mediante una regla de tres, para un ángulo de θ radianes la longitud será de θr .

Puesto que la velocidad es el espacio recorrido partido por el tiempo invertido en recorrerlo.

$$v = \frac{s}{t}$$

Y el espacio es el arco de circunferencia recorrido, quedando

$$v = \frac{\theta r}{t}$$

Esta fracción puedo descomponerla como producto

$$v = \frac{\theta}{t} r$$

Pero la fracción ahora es la velocidad angular

$$v = \omega r$$

$$\omega = \frac{v}{r}$$

Ecuación 11. Velocidad Angular

Es decir, la velocidad angular es la división de la velocidad por el radio de la circunferencia.

a aceleración angular esta dada por la ecuación.

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

Donde $\omega_0 = 0$.

Es así como

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

Ecuación 12. Aceleración Angular

2.2.9 Fricción

Las propiedades principales de la fuerza de rozamiento son las siguientes:

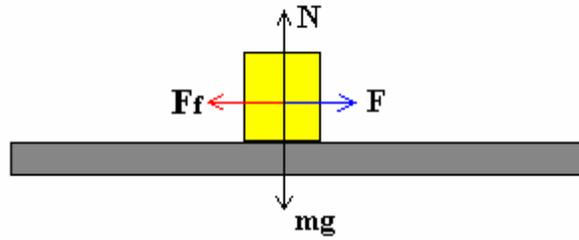
- La fuerza de rozamiento se opone al movimiento de un bloque que desliza sobre un plano.
- La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza normal que ejerce el plano sobre el bloque.
- La fuerza de rozamiento no depende del área aparente de contacto.
- Una vez empezado el movimiento, la fuerza de rozamiento es independiente de la velocidad.

La mayoría de las superficies, aún las que se consideran pulidas son extremadamente rugosas a escala microscópica. Los picos de las dos superficies que se ponen en contacto determinan el área real de contacto que es una pequeña proporción del área aparente de contacto (el área de la base del bloque). El área real de contacto aumenta cuando aumenta la presión (la fuerza normal) ya que los picos se deforman.

2.2.9.1 Fuerza de rozamiento por deslizamiento

En la figura, se muestra un bloque arrastrado por una fuerza F horizontal. Sobre el bloque actúan el peso mg , la fuerza normal N que es igual al peso, y la fuerza de rozamiento F_k entre el bloque y el plano sobre el cual desliza. Si el bloque desliza con velocidad constante la fuerza aplicada F será igual a la fuerza de rozamiento por deslizamiento F_k .

Figura 14.-Fricción



Fuente. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento.htm>

Podemos investigar la dependencia de F_f con la fuerza normal N . Veremos que si duplicamos la masa m del bloque que desliza colocando encima de éste otro igual, la fuerza normal N se duplica, la fuerza F con la que tiramos del bloque se duplica y por tanto, F_f se duplica.

La fuerza de rozamiento por deslizamiento F_f es proporcional a la fuerza normal N .

$$F_f = \mu_k N$$

Ecuación 13. Fuerza de fricción

La constante de proporcionalidad μ_k es un número sin dimensiones que se denomina coeficiente de rozamiento cinético.

El valor de μ_k es casi independiente del valor de la velocidad para velocidades relativas pequeñas entre las superficies, y decrece lentamente cuando el valor de la velocidad aumenta.

2.2.9.2 Coeficientes de rozamiento estático y cinético

Tabla 2.-Coeficientes de fricción

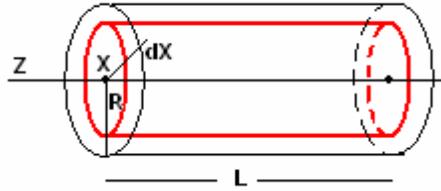
Superficies en contacto	μ_s	μ_k
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Caucho sobre concreto	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25-0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en humanos	0.01	0.003

Fuente. Serway R. A. *Física*. Editorial McGraw-Hill. (1992)

2.2.10 Momento de inercia de un aro cilindro

El momento de inercia de un cilindro de masa M , radio R , en torno de un eje perpendicular al plano del aro.

Figura 15.-Momento de inercia



Fuente. http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/inercia/inercia.htm

El momento de inercia de un aro cilíndrico uniforme es

$$I_z = \int r^2 dm = R^2 \int dm$$

$$I = MR^2$$

Ecuación 14. Momento de inercia de un aro cilíndrico

2.2.11 Motores de corriente continua (DC)

La movilidad que caracteriza a los robots proviene del giro de sus ruedas, producido por los correspondientes motores.

Suelen controlar el giro de las ruedas del robot e incluyen un grupo reductor que proporciona un buen par de fuerza y una gran estabilidad en la velocidad de giro. A estas ventajas se une la baja inercia en los instantes de arranque y parada, que consiguen una respuesta inmediata a las señales de control. Normalmente admiten un amplio rango de la tensión de alimentación y tienen un peso y un tamaño reducido.

2.2.11.1 Reductores y motoreductores

Los Reductores y los Motoreductores son elementos mecánicos muy adecuados para el accionamiento de todo tipo de máquinas y aparatos de uso industrial, que se necesiten reducir su velocidad de una forma eficiente, constante y segura.

Las ventajas de usar Reductores y/o Motoreductores son:

- Alta eficiencia de la transmisión de potencia del motor.
- Alta regularidad en cuanto a potencia y par transmitidos.
- Poco espacio para el mecanismo.
- Poco tiempo de instalación y mantenimiento.

Elemento seguro en todos los aspectos, muy protegido.

Figura 16.- Imagen del motoreductor



2.2.11.2 Los servomotores

Es un motor eléctrico AC o DC que puede hacer posicionamientos muy precisos y repetibles, ya que tiene retroalimentación permanente de posición. Es un sistema de lazo de control cerrado muy utilizado para generar posicionamientos específicos y controlados.

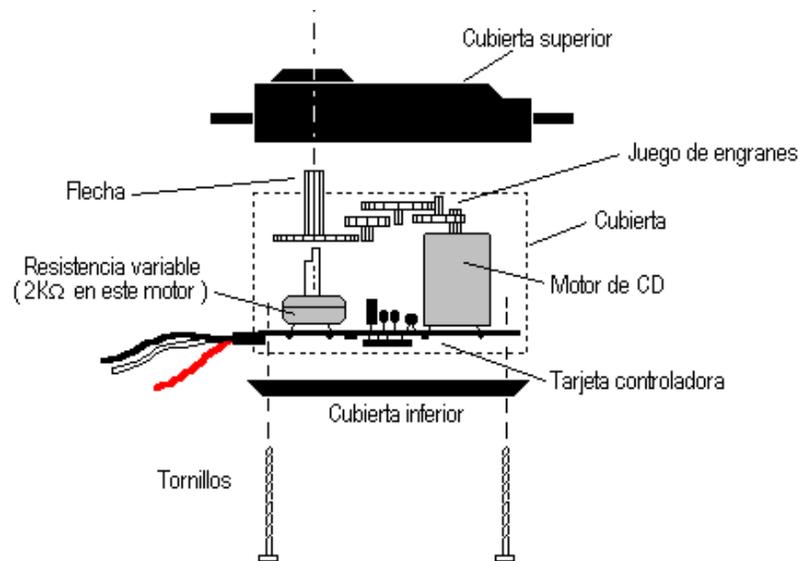
Los servomotores son un pequeños pero potentes dispositivos que disponen en su interior de un pequeño motor con un reductor de velocidad y multiplicador de fuerza, también dispone de un pequeño circuito que gobierna el sistema. El recorrido del eje de salida es de 180° en la mayoría de ellos, pero puede ser fácilmente modificado para tener un recorrido libre de 360° y actuar así como un motor.

Figura 17.- Imagen del servomotor



➤ **Partes que componen un servomotor**

Figura 18.- Partes del servomotor



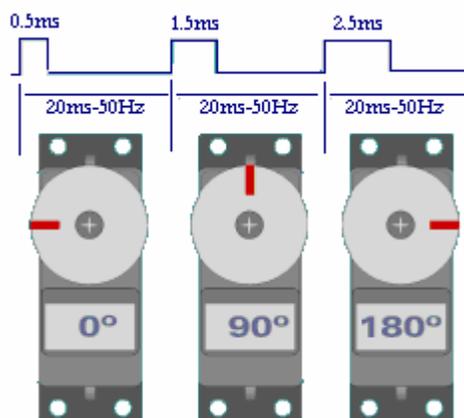
Fuente. <http://www.creaturoides.com/anterior/srvesp.htm>

➤ Funcionamiento de los servomotores

El control de posición lo efectúa el servo internamente mediante un potenciómetro que va conectado mecánicamente al eje de salida y controla un PWM (modulador de anchura de pulsos) interno para así compararlo con la entrada PWM externa del servo, mediante un sistema diferencial, y así modificar la posición del eje de salida hasta que los valores se igualen y el servo pare en la posición indicada, en esta posición el motor del servo deja de consumir corriente y tan solo circula una pequeña corriente hasta el circuito interno, si forzamos el servo (moviendo el eje de salida con la mano) en este momento el control diferencial interno lo detecta y envía la corriente necesaria al motor para corregir la posición.

Para controlar un servo tendremos que aplicar un pulso de duración y frecuencia específicas. Todos los servos disponen de tres cables dos para alimentación Vcc (cable rojo) y Gnd (cable negro) y otro cable (blanco a veces amarillo) para aplicar el tren de pulsos de control que harán que el circuito de control diferencial interno ponga el servo en la posición indicada por la anchura del pulso.

Figura 19.- Posición de los servomotores



Fuente. <http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>.

2.2.11.3 Motores paso a paso (PAP)

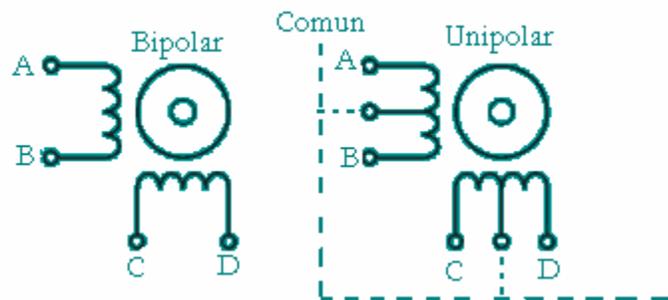
➤ Descripción:

Un motor Paso a Paso (PAP en adelante) se diferencia de un motor convencional en que en este se puede posicionar su eje en posiciones fijas o pasos, pudiendo mantener la posición. Esta peculiaridad es debida a la construcción del motor en si, teniendo por un lado el rotor constituido por un imán permanente y por el otro el estator construido por bobinas, al alimentar estas bobinas se atraerá el polo del rotor con respecto al polo generado por la bobina y este permanecerá en esta posición atraído por el campo magnético de la bobina hasta que esta deje de generar el campo magnético y se active otra bobina haciendo avanzar o retroceder el rotor variando los campos magnéticos en torno al eje del motor y haciendo que este gire.

➤ Funcionamiento

Los motores PAP pueden ser de dos tipos, según se muestra en la Figura 20.

Figura 20.-Tipos de motores PAP



Fuente. <http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>.

- **Bipolar:** Este tipo de motor lleva dos bobinados independientes el uno del otro, para controlar este motor se necesita invertir la polaridad de cada una de las bobinas

en la secuencia adecuada, para esto necesitaremos usar un puente en "H" o driver tipo L293B para cada bobina y de este modo tendremos una tabla de secuencias como la siguiente:

Tabla 3.-Secuencias para posicionar un motor PAP bipolar

PASO	A	B	C	D
1	+Vcc	Gnd	+Vcc	Gnd
2	+Vcc	Gnd	Gnd	+Vcc
3	Gnd	+Vcc	Gnd	+Vcc
4	Gnd	+Vcc	+Vcc	Gnd

Fuente. <http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>.

Cada inversión en la polaridad provoca el movimiento del eje, avanzando este un paso, la dirección de giro se corresponde con la dirección de la secuencia de pasos, por ejemplo para avanzar el sentido horario la secuencia sería 1-2-3-4,1-2-3-4.... y para sentido anti-horario sería; 4-3-2-1,-4-3-2-1...

- **Unipolar:** El motor unipolar normalmente dispone de 5 o 6 cables dependiendo si el común está unido internamente o no, para controlar este tipo de motores existen tres métodos con sus correspondientes secuencias de encendido de bobinas, el común irá conectado a +Vcc o masa según el circuito de control usado y luego tan solo tendremos que alimentar la bobina correcta para que avance o retroceda el motor según avancemos o retrocedamos en la secuencia.

2.2.12 Métodos de control para motores

Se pueden clasificar los métodos de controlar la potencia de los motores de corriente continua en cuatro grupos:

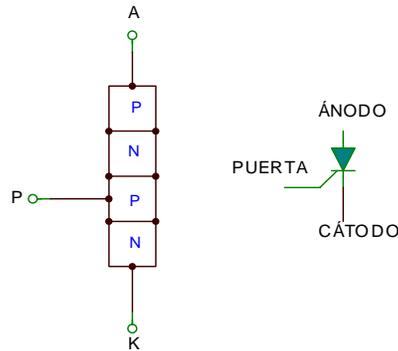
- Rectificación controlada por diodo de silicio
- Conmutación electrónica
- Modulación por ancho de pulso
- Modulación de la frecuencia de pulsos

2.2.12.1 Rectificación controlada por un diodo silicio

Para controlar la potencia de la corriente continua rectificada que se aplica al motor, se regula el tiempo de cada semiciclo rectificado que deja pasar corriente al circuito. Si al rectificar la corriente alterna sólo se deja pasar en un puente Graetz la mitad de cada semiciclo, la potencia de cc será el 50% del total.

Para manejar grandes potencias rectificadas el elemento de control más empleado es el tiristor, que es un diodo de silicio que dispone de un electrodo que controla el punto en el que se hace conductor. Se le denomina SCR (Silicon Controller Rectifier) y está formado por 4 capas alternadas de semiconductores N y P. Tiene tres terminales, dos de los cuales son el ánodo y el cátodo, como un diodo normal, mientras que el tercero es la "puerta", como se muestra en la figura 21.

Figura 21.-Estructura interna y símbolo de un tiristor.

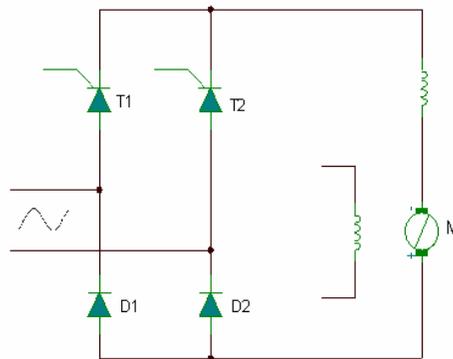


Cuando se polariza directamente al tiristor, positivo al ánodo y negativo al cátodo, el diodo se hace conductor cuando la puerta recibe un impulso positivo de tensión. De aquí se llama “diodo controlado”.

Si en la rectificación de media onda un SCR se consigue que la potencia de CC rectificada varía en función del desfase con el que se aplica el impulso en la puerta del tiristor. Figura 22.

Para controlar la potencia aplicada a la carga en los dos semiciclos de la CA se usa un puente Graetz con un tiristor en cada rama.

Figura 22.-Puente Graetz con un tiristor en cada rama.



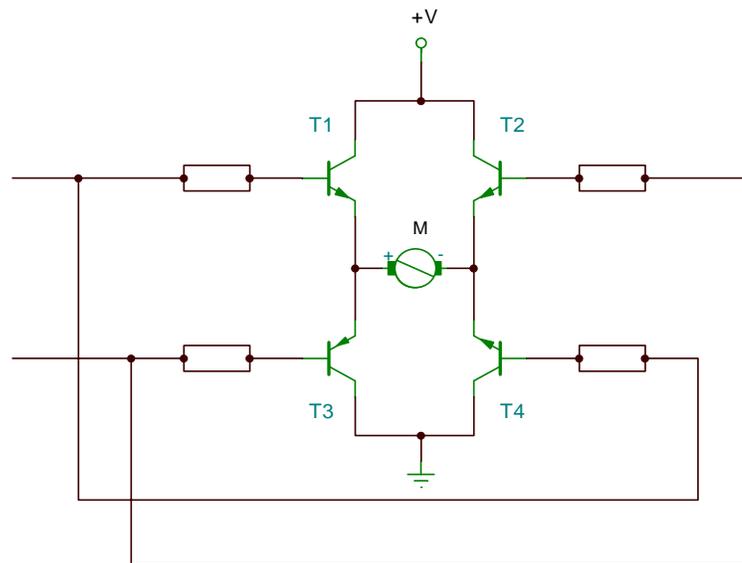
2.2.12.2 Conmutación electrónica

Cuando es pequeña la potencia a controlar se regula el tiempo y el sentido que circula la intensidad de las bobinas del motor mediante transistores de potencia y circuitos integrados específicos. Existen dos configuraciones básicas: puente en H y puente en T

La configuración tipo H usa 4 transistores de potencia y una sola fuente de alimentación.

En la configuración tipo H el funcionamiento de los transistores es tal que siempre están conduciendo o bloqueados por parejas. Así T1 y T4 conducen, T2 y T3 están bloqueados y viceversa. Regulando el tiempo en que conducen o están bloqueados se varía la velocidad y regulando la pareja que conduce se regula el sentido.

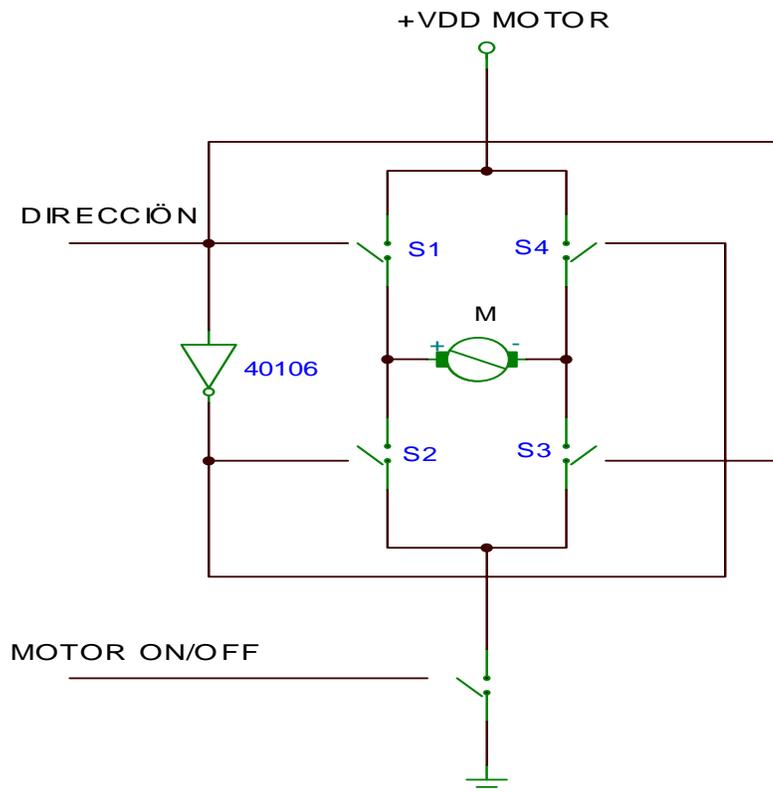
Figura 23.-Configuración tipo H, con cuatro transistores de potencia.



En la figura se muestra otro esquema con la configuración tipo H. los 5 interruptores emulan a sendos transistores de conmutación o driver. Uno de ellos (ON/OFF) activa o desactiva al conjunto. Si se activan los interruptores S1 y S3 el motor recibe la polaridad (-)

a la derecha y la Vdd a la izquierda. Si se activan S2 y S4 cambia la polaridad. Nunca deben estar ambas parejas de interruptores cerrados para evitar cortocircuitar la alimentación.

Figura 24.-Esquema simplificado del puente en H usando 5 interruptores.



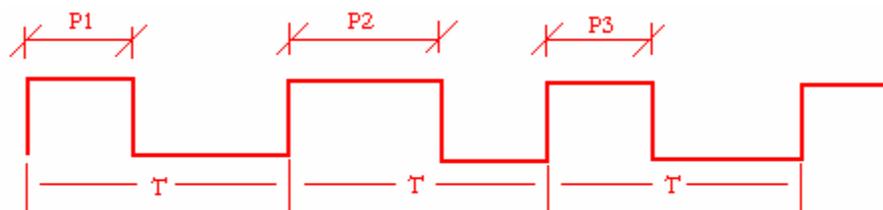
2.2.12.3 Modulación de anchura de pulsos (PWM)

Este método se basa en aplicar la potencia al motor mediante impulsos de amplitud variable. Cuanto mayor duración tengan los pulsos en los que se aplica la alimentación, mayor potencia recibirá el motor. El amplificador de la conmutación al motor se diseña

para una determinada frecuencia. Variando la anchura de los pulsos se consigue alcanzar la tensión promedio apropiada a la carga y a la velocidad.

El generador de los impulsos que controla los conmutadores que alimentan al motor produce impulsos a la misma frecuencia pero con una anchura variable de la parte positiva para acomodarse a la carga y a la velocidad requerida.

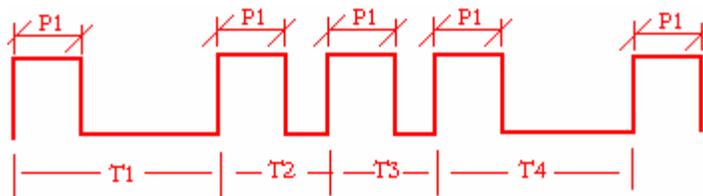
Figura 25.-Señal del PWM



2.2.12.4 Modulación de la frecuencia de los pulsos (PFM)

En lugar de variar la anchura de los pulsos manteniendo la frecuencia, en este método se mantiene la anchura de los pulsos pero se varía la frecuencia de los mismos, con lo que se obtiene resultados semejantes.

Figura 26.-Señal del PFM



2.2.13 Control de motores con el circuito integrado L293B

2.2.13.1 Descripción

El L293B es un driver de 4 canales capaz de proporcionar una corriente de salida de hasta 1A por canal. Cada canal es controlado por señales de entrada compatibles TTL y cada pareja de canales dispone de una señal de habilitación que desconecta las salidas de los mismos. Dispone de una patilla para la alimentación de las cargas que se están controlando, de forma que dicha alimentación es independiente de la lógica de control.

Tabla 4.- Distribución de los pines

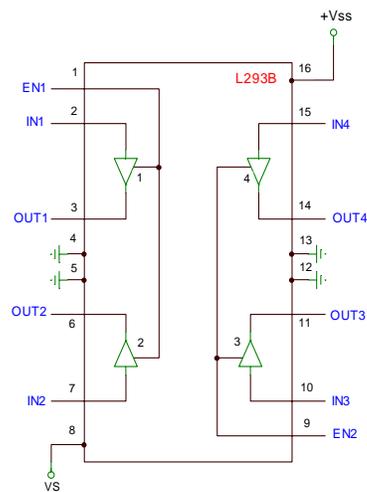
Pin	Nombre	Descripción
1	Chip Enable 1	Habilitación de los canales 1 y 2
2	Input 1	Entrada canal 1
3	Output 1	Salida canal 1
4	GND	Tierra
5	GND	Tierra
6	Output 2	Salida canal 2
7	Input 2	Entrada canal 1
8	Vs	Alimentación
9	Chip Enable 2	Habilitación de los canales 3 y 4
10	Input 3	Entrada canal 3
11	Output 3	Entrada canal 3
12	GND	Tierra
13	GND	Tierra
14	Output 4	Salida canal 4
15	Input 4	Entrada canal 4

Fuente. http://autric.com/Microbotica%20y%20Mecatronica/n_reaccion_con_up.htm.

2.2.13.2 Configuración del L293B

En la Figura 27, se muestra el diagrama de bloques del L293B. La señal de control **EN1** activa la pareja de canales formada por los drivers 1 y 2. La señal **EN2** activa la pareja de drivers 3 y 4. Las salidas **OUTn** se asocian con las correspondientes **OUTn**. Las señales de salida son amplificadas respecto a las de entrada tanto en tensión (hasta +Vss) como en corriente (máx. 1 A).

Figura 27.-Configuración del L293B



La tabla de funcionamiento para cada uno de los driver es la siguiente:

Tabla 5.- Funcionamiento de los Drivers.

VINn	VOUTn	VENn
H	H	H
L	L	H
H	Z	L
L	Z	L

Fuente. http://autric.com/Microbotica%20y%20Mecatronica/n_reaccion_con_up.htm.

Donde:

H = Nivel alto "1"

L = Nivel bajo "0"

Z = Alta Impedancia

2.2.13.3 Aplicaciones

➤ Control Unidireccional

En la siguiente figura se observa las dos formas de conectar un motor para control unidireccional, M1 se activa al poner la entrada del driver conectado a este, a nivel bajo "0", mientras que M2 se activa al poner la entrada del driver a nivel alto "1" y se para al ponerla a nivel bajo "0".

Figura 28.- Control unidireccional con el integrado L293B

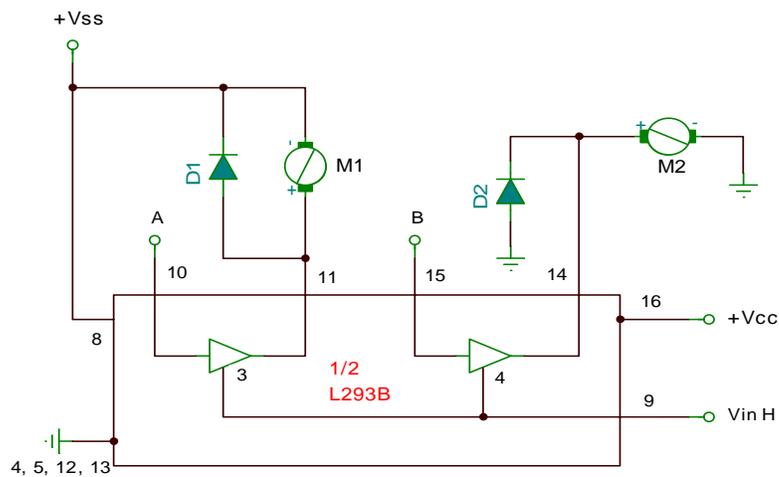


Tabla 6.-Tabla de verdad para el control unidireccional con el integrado L293B

V _{inh}	A	M1	B	M2
H	H	Parada rápida del motor	H	Giro
H	L	Giro	L	Parada rápida del motor
L	X	Motor desconectado, giro libre	X	Motor desconectado, giro libre

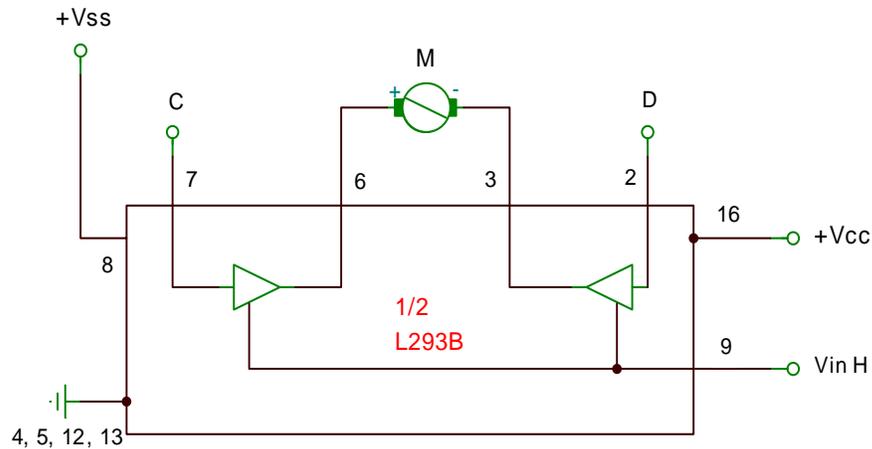
Fuente. http://autric.com/Microbotica%20y%20Mecatronica/n_reaccion_con_up.htm

Los diodos D1 y D2, están conectados para proteger el circuito cuando se generan los picos de arranque de los motores. Si no se trabaja a máxima potencia de trabajo pueden eliminarse del circuito.

➤ **Control Bidireccional**

En el siguiente circuito vemos el modo de conectar un motor para permitir controlarlo tanto hacia delante como hacia atrás.

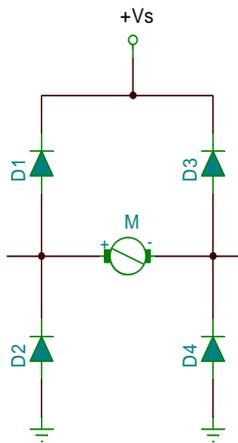
Figura 29.- Control Bidireccional con el integrado L293B



El circuito de la figura 29 permite controlar el doble sentido de giro del motor. Cuando la entrada **C** está a nivel bajo y la **D** a nivel alto, el motor gira hacia la izquierda. Cambiando la entrada **C** a nivel alto y la **D** a nivel Bajo, se cambia el sentido de giro del motor hacia la derecha.

Si se quiere proteger el circuito contra posibles picos de corriente inversa cuando se arranca el motor, se recomienda conectar unos diodos tal y como se muestra en la **figura 30**.

Figura 30.-Circuito de protección para el integrado L293



En este caso la tabla de funcionamiento es la siguiente:

Tabla 7. Tabla de verdad para el control bidireccional con el integrado L293B.

V _{in}	C	D	M
H	L	L	Parada rápida del motor
H	H	H	Parada rápida del motor
H	L	H	Giro a la Izquierda
H	H	L	Giro a la Derecha
L	X	X	Motor desconectado, giro libre

Fuente: http://autric.com/Microbotica%20y%20Mecatronica/n_reaccion_con_up.htm

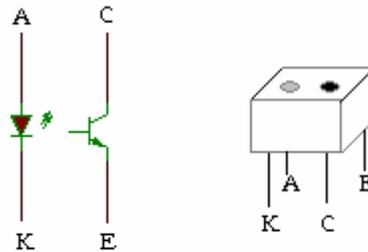
2.2.14 Sensores

La tarea que debe desempeñar un robot se desarrolla en un entorno en el que algunas de sus características físicas van a determinar el comportamiento de el mismo. Para detectar y medir dichas características se precisan los sensores adecuados, que transmitirán su información al microcontrolador, el cual lo procesara y determinara las acciones a realizar. Dichas acciones consisten en el control de una serie de dispositivos actuadores que determinan el trabajo del robot.

Existen multitud de sensores y de actuadotes, y el diseñador deberá elegir en cada caso aquellos que mejor satisfagan el objetivo final.

2.2.14.1 Sensor óptico de rayos infrarrojos por reflexión

Figura 31.- Conexión del sensor óptico de rayos infrarrojos por reflexión.



➤ Descripción técnica

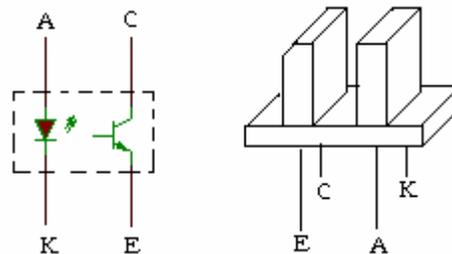
Sensor que contiene un emisor (diodo LED) y un receptor de rayos infrarrojos (fototransistor) en la misma capsula. Es un dispositivo de reflexión ideal para detectar cambios de tono sobre una superficie a la que debe situarse a pocos milímetros de distancia. La luz que emite por el diodo LED es reflejada por la superficie y detectada por el

fototransistor. Funciona en frecuencias elevadas y aísla el circuito eléctrico del sensor y del microcontrolador de control.

Una de sus aplicaciones es el seguimiento de una línea negra sobre fondo blanco.

2.2.14.2 Sensor óptico de rayos infrarrojos directo

Figura 32.-Conexión del sensor óptico de rayos infrarrojos directo.



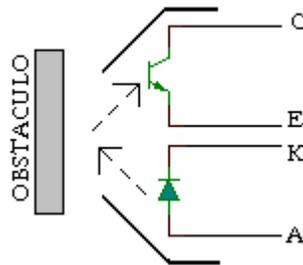
➤ Descripción técnica

Dispositivo que contiene un emisor de rayos infrarrojos (diodo LED) y un receptor de los mismos (fototransistor). Ambos elementos están situados a la misma altura y a una distancia de 3 milímetros enfrentados. Su finalidad es detectar objetos que se interponen entre el emisor y el receptor que cortan el haz de luz.

Usado como encoder para medir la velocidad de giro del eje de un motor.

2.2.14.3 Sensor de infrarrojos de barrido difuso

Figura 33.-Conexión del sensor infrarrojo de barrido difuso.



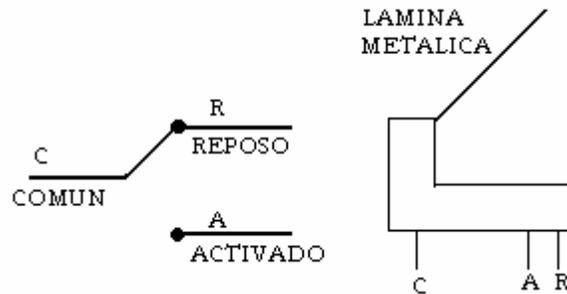
➤ Descripción técnica

Este dispositivo contiene en su interior un LED emisor de rayos infrarrojos y un fototransistor que conduce cuando recibe la radiación del LED. La forma de la carcasa obliga a que el objeto reflectante se encuentre a una distancia $d = 4.6m.m$ concreta, frente al campo de visión. La corriente máxima del diodo es de $40mA$ a $1,8V$, mientras que el fototransistor admite una V_{CEO} max de $15V$ y una $P_{max} = 50mW$.

La carcasa dispone de una cubierta protectora y un filtro de infrarrojos para evitar la entrada de polvo y las interferencias de la luz ambiental. Se usa como cuentarrevoluciones de ejes y contadores de líneas en cintas de papel.

2.2.14.4 Sensor mecánico de contacto

Figura 34.-Conexión del sensor mecánico de contacto



➤ Descripción técnica

Son dispositivos que mediante un determinado mecanismo son capaces de abrir o cerrar un circuito eléctrico generando así una señal para su posterior tratamiento. Consisten en una o varias laminas que mediante un movimiento mecánico abren o cierran un circuito y generan un nivel lógico.

2.2.14.5 Sensores de ultrasonido

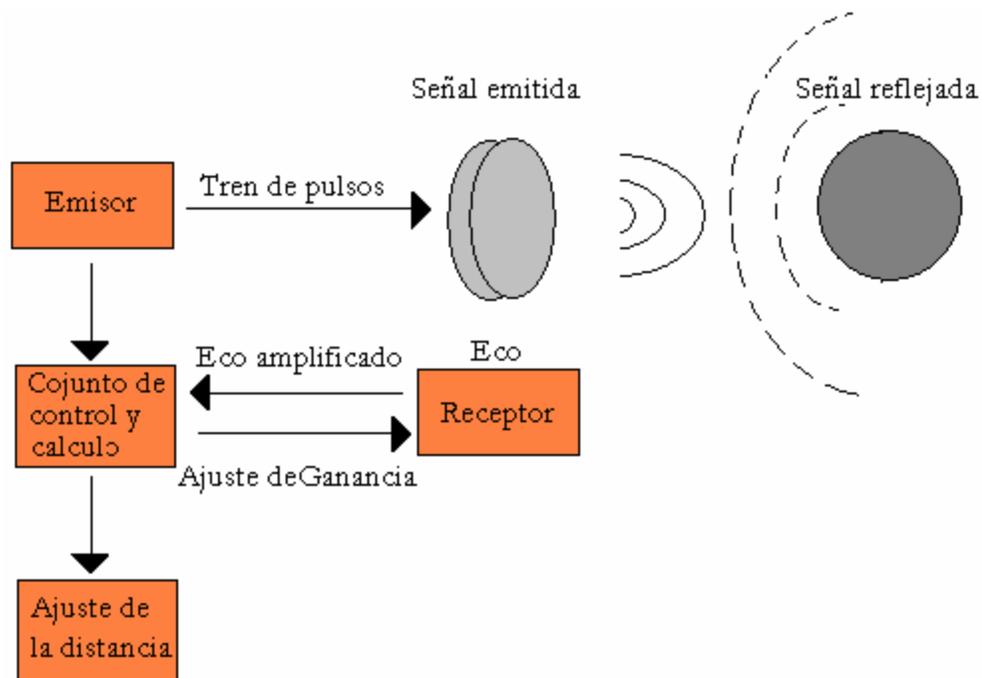
➤ Principio de funcionamiento

El término ultrasonido designa en principio a los sonidos de alta frecuencia, aunque en realidad corresponde a los sonidos que se encuentran justo por encima de la banda que es capaz de captar el oído humano. El intervalo de frecuencia que corresponde a los ultrasonidos va desde 20kHz hasta los 500kHz; por encima de esta frecuencia se encuentra la banda asignada a las emisoras de radio AM. Los sonidos a estas frecuencias son más direccionales que los sonidos de frecuencias bajas. Cuanto más alta es la frecuencia del

sonido, mayor es su direccionalidad. La velocidad de propagación del sonido en el nivel del mar es de 346m/s, pero esta velocidad puede variar dependiendo de diferentes factores: la altitud, la humedad, la temperatura y la presión atmosférica.

Un sistema de medida por ultrasonidos calcula la distancia entre dos puntos por medio de dos acciones (figura 35). La primera acción consiste en emitir un tren de pulsos cortos de alta frecuencia y la segunda acción en esperar el retorno del eco. Cuando se recibe un eco, se puede calcular la distancia dividiendo por dos el tiempo medido entre la emisión y la recepción. Esta división es necesaria para tener en cuenta el hecho de que el tiempo obtenido corresponde al tiempo que tarda el sonido en ir desde el emisor hasta el obstáculo y volver de nuevo hasta receptor.

Figura 35.-Diagrama de bloques del sensor de ultrasonido



Todo esto es pura teoría. En la práctica no es tan simple. El problema más importante es el ajuste de la ganancia del receptor para la escala de distancias deseada, sin introducir una

interacción por activación directa entre el emisor y el receptor. La mayor parte de los sistemas comerciales resuelven este problema utilizando un amplificador de ganancia de la etapa en función del tiempo. El resultado que se obtiene es que el circuito arranca con una ganancia baja, que después se incrementa con el tiempo a medida que el eco vuelve de mas lejos con una amplitud pequeña. Esta técnica permite obtener medidas precisas en un rango desde 20cm hasta aproximadamente 10mts.

2.2.15 Flip-Flop tipo D

2.2.15.1 Descripción

Es un elemento de memoria que puede almacenar información en forma de un "1" o "0" lógicos. Este F.F. tiene una entrada D y dos salidas Q y Q. También tiene una entrada de reloj.

Adicionalmente tiene dos entradas asincrónicas que permiten poner a la salida del flip-flop (Q) una salida deseada sin importar la entrada D y el estado del reloj. Estas entradas son: PRESET (poner) y CLEAR (Borrar).

Es importante notar que en este caso son entradas activas en nivel bajo. Ser activo en nivel bajo significa que, por ejemplo:

- Para poner un "1" en la salida Q se debe poner un "0" en la entrada PRESET del flip-flop.
- Si se desea poner un "0" en la salida Q se debe poner un "0" en la entrada CLEAR del flip-flop.

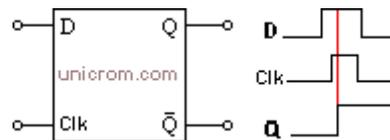
2.2.15.2 Disparo del Flip-Flop

Es el tipo de entrada de reloj que producirá un cambio en la salida.

En este caso habrá un cambio en el estado del flip-flop (ver la salida Q) cuando en la entrada de reloj se detecte un nivel positivo.

Cuando en nivel del reloj es alto se lee la entrada del flip-flop (D) y se pone en la salida Q el mismo dato.

Figura 36.- Nivel de disparo ascendente del flip-flop tipo D

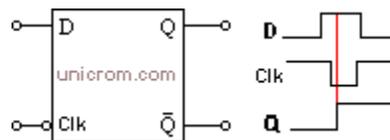


Fuente. http://www.unicrom.com/dig_FF_D.asp

En este caso habrá un cambio en el estado del flip-flop cuando en la entrada de reloj se detecte un nivel negativo.

Cuando en nivel del reloj es alto se lee la entrada del flip-flop (D) y se pone en la salida Q el mismo dato.

Figura 37.- Nivel de disparo descendente del flip-flop tipo D



Fuente. http://www.unicrom.com/dig_FF_D.asp

En este caso habrá un cambio en el estado del flip-flop cuando en la entrada de reloj se detecte el momento en que el nivel pase de bajo a alto (flanco ascendente o anterior).

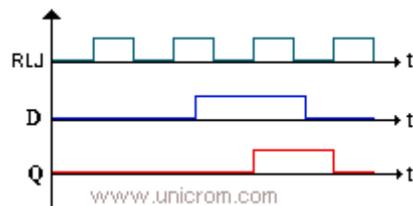
Cuando en nivel del reloj cambia de bajo a alto se lee la entrada del flip-flop (D) y se pone en la salida Q el mismo dato.

Tabla 8.-Tabla de verdad para el flip-flop tipo D

Operación	Entradas			Salidas		
	Preset	Clear	Reloj (CLK)	D	Q	Q
Preset (preposicionado)	0	1	X	X	1	0
Clear (borrado)	1	0	X	X	0	1
Prohibido	0	0	X	X	1*	1*
Set (poner)	1	1	↑	1	1	0
Reset (reponer)	1	1	↑	0	0	1
Hold (mantener)	1	1	0	X	Qo	Qo

Fuente. http://www.unicrom.com/dig_FF_D.asp

Figura 38.-Diagrama temporal



Fuente. http://www.unicrom.com/dig_FF_D.asp

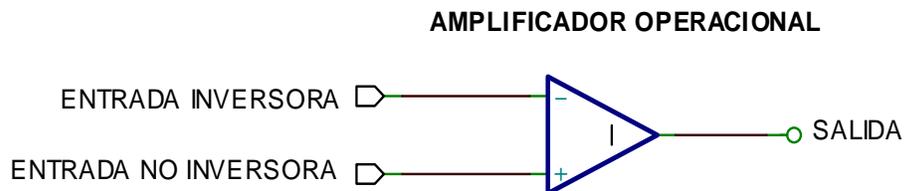
2.2.16 Amplificadores operacionales

2.2.16.1 Descripción

Un amplificador operacional, es un amplificador diferencial con una ganancia muy alta, con una elevada impedancia de entrada y una impedancia de salida baja. Los usos más típicos del amplificador operacional son proporcionar cambios de amplitud de voltaje (amplitud y polaridad), osciladores, circuitos de filtros y muchos otros tipos de circuitos de instrumentación. Un amplificador operacional contiene varias etapas de amplificador diferencial para lograr una ganancia de voltaje muy alta.

La figura muestra un amplificador operacional básico con dos entradas y una salida, como podría resultar con el uso de una etapa de entrada diferencial. Cada entrada da como resultado una salida de la misma polaridad (o fase) o de la opuesta, dependiendo de si la señal se aplica en la entrada no inversora con el signo de más (+) o a la inversora del signo de menos (-).

Figura 39.-Amplificador operacional



Fuente: http://www.ifent.org/temas/amplificadores_operacionales.asp

2.2.16.2 Configuraciones básicas del amplificador operacional

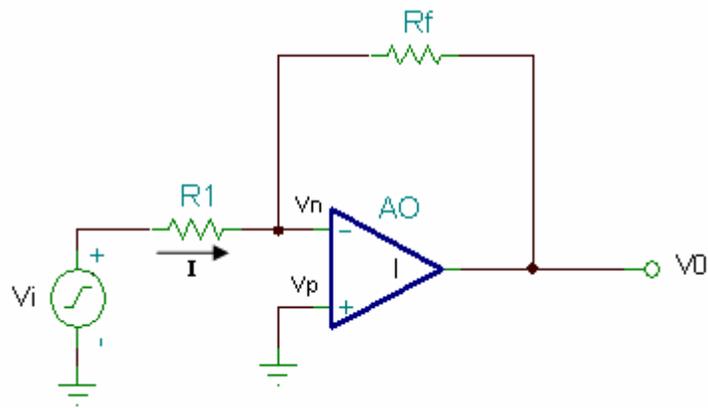
Los amplificadores operacionales se pueden conectar según dos circuitos amplificadores básicos: la configuración inversora y la *no inversora*. Casi todos los demás circuitos con amplificadores operacionales están basados, de alguna forma, en estas dos configuraciones

básicas. Además, existen variaciones estrechamente relacionadas de estos dos circuitos, más otro circuito básico que es una combinación de los dos primeros: el amplificador diferencial.

2.2.16.3 Amplificador inversor

La figura 40 ilustra la primera configuración básica del AO. El amplificador inversor. En este circuito, la no inversora entrada (+) está a tierra, y la señal se aplica a la entrada inversora (-) a través de R1, con realimentación desde la salida a través de R2.

Figura 40.-Amplificador operacional inversor



Fuente: http://www.ifent.org/temas/amplificadores_operacionales.asp

Toda la corriente I que circula por R₁ pasará por R₂, puesto que no se derivará ninguna corriente hacia la entrada del operacional (Impedancia infinita), así pues el producto de I por R₂ será igual a - V₀. Se tiene que:

$$I = -\frac{V_0}{R_f}$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_0}{R_2}$$

Entonces:

$$V_0 = -\frac{R_f}{R_1} V_i$$

Luego la ganancia es:

$$\frac{V_0}{V_i} = -\frac{R_f}{R_1} = A$$

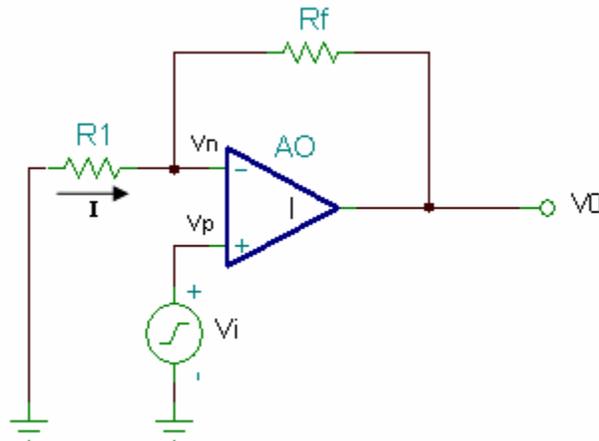
Ecuación 15. Amplificador operacional inversor

Se debe observar otras propiedades adicionales del amplificador inversor ideal. La ganancia se puede variar ajustando bien R_1 , o bien R_f . Si R_f varía desde cero hasta infinito, la ganancia variará también desde cero hasta infinito, puesto que es directamente proporcional a R_f . La impedancia de entrada es igual a R_1 , y V_i y R_1 únicamente determinan la corriente I , por lo que la corriente que circula por R_f es siempre I , para cualquier valor de dicha R_f .

2.2.16.4 El amplificador no inversor

La segunda configuración básica del AO ideal es el amplificador no inversor, mostrado en la figura 41.

Figura 41.-Amplificador operacional no inversor



Fuente: http://www.ifent.org/temas/amplificadores_operacionales.asp

En este circuito, la tensión V_i se aplica a la entrada (+), y una fracción de la señal de salida, V_o , se aplica a la entrada (-) a través del divisor de tensión $R_1 - R_f$. Puesto que, no fluye corriente de entrada en ningún terminal de entrada, y ya que $V_d = 0$, la tensión en R_1 será igual a V_i . Se tiene que:

$$V_i = IR_1$$

Entonces:

$$V_0 = I(R_1 + R_2)$$

Se tiene que:

$$V_0 = \frac{V_1}{R_1}(R_1 + R_f)$$

Luego la ganancia es:

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} = A$$

Ecuación 16. Amplificador operacional no inversor

En el amplificador inversor, la corriente a través de R_1 siempre determina la corriente a través de R_f , independientemente del valor de R_f , esto también es cierto en el amplificador no inversor. Luego R_f puede utilizarse como un control de ganancia lineal, capaz de incrementar la ganancia desde el mínimo unidad hasta un máximo de infinito. La impedancia de entrada es infinita, puesto que se trata de un amplificador ideal.

2.2.17 Controlador y microcontrolador

Recibe el nombre de controlador el dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos.

Aunque el concepto de controlador ha permanecido invariable a través del tiempo, su implementación física ha variado frecuentemente. Hace tres décadas, los controladores se construían exclusivamente con componentes de lógica discreta, posteriormente se emplearon los microprocesadores, que se rodeaban con chips de memoria y E/S sobre una tarjeta de circuito impreso. En la actualidad, todos los elementos del controlador se han podido incluir en un chip, el cual recibe el nombre de microcontrolador. Realmente consiste en un sencillo pero completo computador contenido en el corazón (chip) de un circuito integrado.

Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.

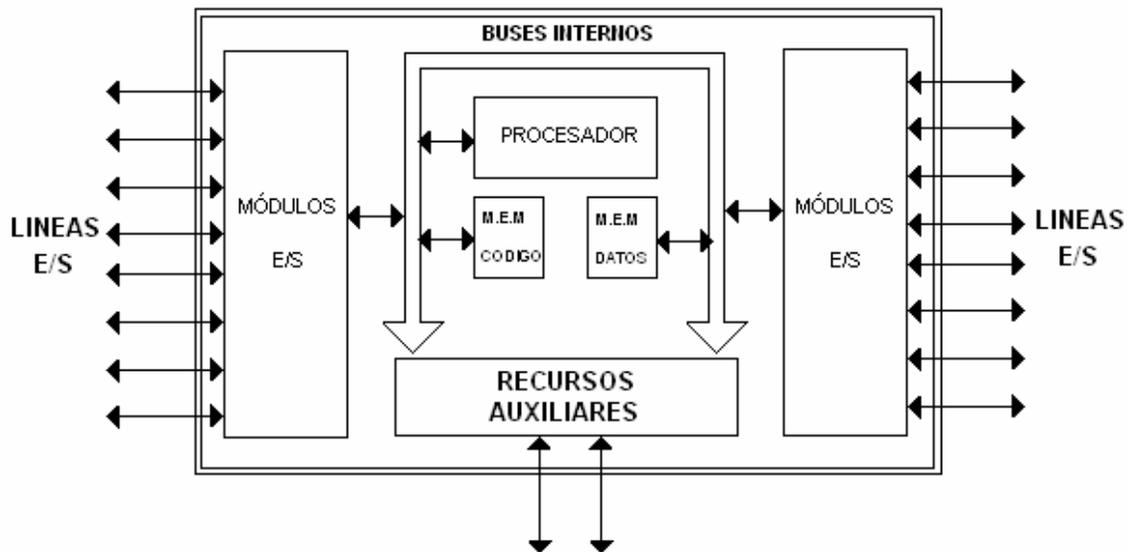
Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para Contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.

- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

Un microcontrolador es un "sistema cerrado" que contiene todos los elementos de un computador interconectados entre si y que se comunica con el exterior mediante las patitas que sirven para adaptarse a los periféricos a controlar figura 42.

Figura 42.-Estructura interna de un microcontrolador.



3. METODOLOGIA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación para el desarrollo del proyecto esta dado por los conocimientos adquiridos por la experiencia y análisis, este tipo de investigación se denomina Empírico-Analítico

Las fuentes que se consultan para extraer la información son: las Tesis de grado de Ingeniería electrónica, Ingeniería mecánica e Ingeniería mecatrónica, libros especializados de robótica, textos científicos, revistas tecnológicas, Internet, los cuales serán consultados en la biblioteca interna de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá D.C. y externas como la biblioteca Luís Ángel Arango y La biblioteca de ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia. Entre otras.

Se consulto con personas expertas en las diferentes áreas de investigación como lo son los profesores de la Universidad de San Buenaventura y profesores de otras universidades. Asesores y técnicos hábiles en mecánica y electrónica.

Una vez definido el tema (Robótica), se da inicio a la creación del anteproyecto en el que por medio de cada ítem se va especificando el tipo de trabajo que se va ha realizar, definiendo los antecedentes, el problema, los objetivos, la delimitación, la justificación entre otros; los cuales van hacer constantemente revisados por un asesor. Una vez definida esta parte se inicio con una investigación más puntualizada referente al diseño, separándolo adecuadamente por fases.

La primera fase del diseño es el mecánico, empezando con un modelamiento geométrico y luego un diseño en 3D. Después que el diseño estuvo corregido se inicio con la construcción del robot utilizando maquinas herramientas como el torno y la fresadora; se

realizo una serie de pruebas y contrapruebas para obtener las piezas que en los planos se encuentran, para que así sean ensambladas y alcanzar el diseño mecánico deseado.

La segunda fase del diseño es el electrónico, que esta compuesto de los sistemas de potencia, de dirección y de detección los cuales lograran que el vehículo se desplace mediante una serie de instrucciones programadas, esta etapa esta dada por un proceso de investigación, selección, construcción y adaptación.

En la fase final se hacen las últimas correcciones, modificaciones y mejoras, incluyendo accesorios para el prototipo.

Finalizando a su vez con un texto guía donde se hará todo el desarrollo ingenieril, un soporte teórico y las respectivas conclusiones. Para ser presentado y sustentado a los jurados asignados.

3.2 LINEA DE INVESTIGACION DE USB / SUB-LINEA DE FACULTAD / CAMPO TEMATICO DEL PROGRAMA

Línea de investigación

Tecnologías actuales y sociedad

Sublínea de investigación

Sistemas de Información, Comunicación y Robótica

Campo temático

Robótica.

4. DISEÑO INGENIERIL MECANICO

4.1 DISEÑO GEOMETRICO

El tamaño del robot móvil es una de las primeras características que hay que definir para iniciar con el diseño. Por esta razón se empezó seleccionando un tamaño pequeño que fuera cómodo para la construcción y que se acercara al presupuesto establecido.

El diseño geométrico define las dimensiones de las diferentes partes que componen el robot móvil, como lo son:

- Las seis ruedas que actúan de apoyo y permiten el desplazamiento
- La estructura capaz de soportar las fuerzas, cargas y acciones a las que va a estar sometido, la cual esta conformada por dos partes, el Rocker (parte fija) y el Bogie (parte móvil).
- El chasis que es el encargado de guardar y proteger la carga útil
- La suspensión posterior la cual ayuda a la estabilidad del vehiculo.

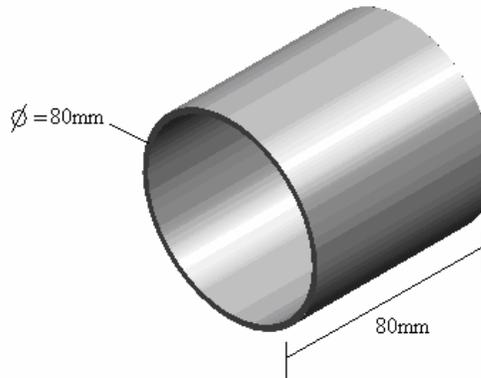
4.1.1 Ruedas

Para el diseño del robot móvil se inicia considerando las partes que lo conforman de abajo hacia arriba, es decir partiendo de los apoyos.

El diámetro de las ruedas define en gran parte el tamaño del robot móvil ya que a través de la información obtenida de los Rover se encontró que son vehículos de exploración que se distinguen por sus seis grandes llantas pero que a su vez son proporcionales a su tamaño.

Después de consultar tipos de ruedas con diferentes formas y diámetros se selecciono construir las con un aro cilíndrico de diámetros de 8 cm y un largo igual de 8cm cada una.

Figura 43.-Aro cilíndrico



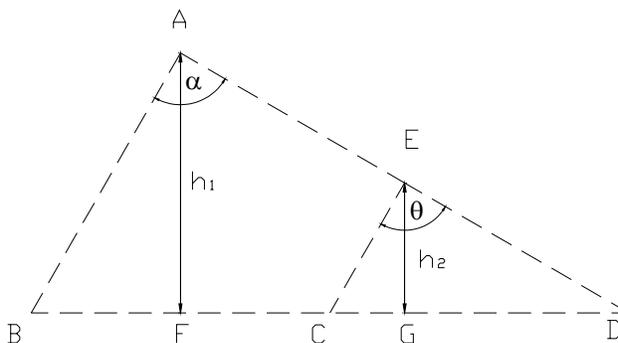
4.1.2 La estructura

Otro paso importante en el diseño geométrico es considerar las estructuras como un sistema geométrico basado en triángulos, relacionados por el criterio de triángulos semejantes

Los lados correspondiente a cada triángulo serán identificadas como las líneas invisibles para que sirvan de base en la construcción de la estructura las cuales permite establecer la configuración física del robot.

En la figura 44 se observa el conjunto de triángulos.

Figura 44.- Sistema geométrico de la estructura



Las letras que identifica cada punto se describen de la siguiente manera:

- B, C y D son los puntos centrales de cada rueda.
- A es el punto fijo que conecta la estructura al chasis.
- E el punto móvil de la estructura.

Para definir los segmentos del triangulo se deben suponer la altura y los ángulos α y θ , estos datos son determinados según el tamaño deseado para el robot móvil.

$$h = 125\text{mm}$$

$$\alpha = \theta = 90^\circ$$

A partir de estos datos se toma el $\triangle ABD$ donde se puede identificar dos triángulos rectángulos $\triangle ABF$ y $\triangle ADF$, para hallar los segmentos que lo conforman se aplica el teorema de Pitágoras y se obtiene las siguientes dimensiones.

$$\overline{AB} = 165\text{mm}$$

$$\overline{BF} = 71\text{mm}$$

$$\overline{AD} = 284\text{mm}$$

$$\overline{DF} = 247\text{mm}$$

El $\triangle CDE$ esta conformado de igual manera por dos triángulos rectángulos $\triangle EDG$ y $\triangle ECG$ es así como se obtiene por medio del teorema de Pitágoras y algunos análisis trigonométricos los siguientes segmentos.

$$\overline{ED} = \frac{\overline{AD}}{2} = 142\text{mm}$$

$$h_2 = \text{Cos}60 \times \overline{ED} = 71$$

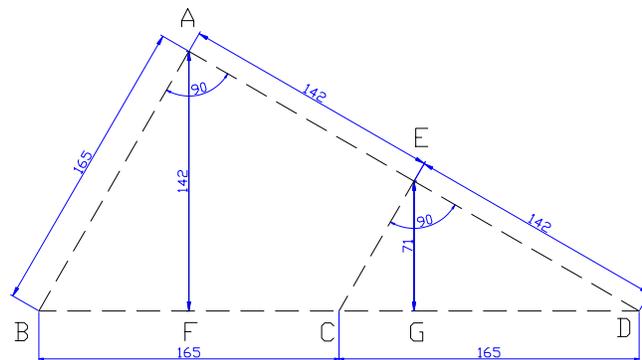
$$\overline{DG} = 123\text{mm}$$

$$\overline{EC} = \frac{h_2}{\text{Cos}30} = 82$$

$$\overline{CG} = 41\text{mm}$$

Una vez definidos las dimensiones de los segmentos, se verifica por medio de la herramienta de diseño Autocad como se muestra en la figura 45.

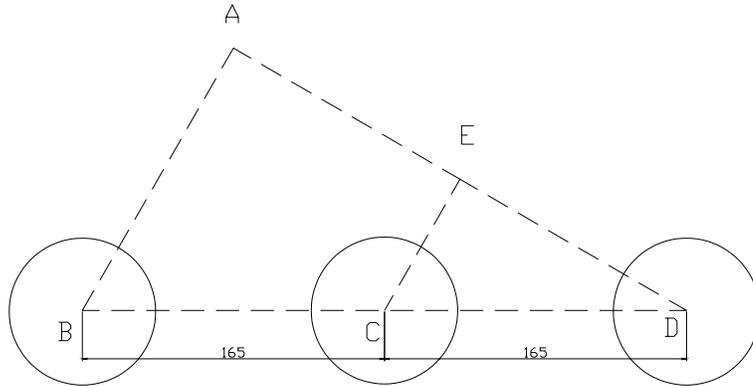
Figura 45.- Sistema geométrico con las respectivas distancias



Se puede observar que los resultados corresponde satisfactoriamente a los calculados anteriormente.

Por otra parte los segmentos \overline{BC} y $\overline{CD} = 165\text{mm}$ corresponden al valor de la distancia entre centros para las ruedas ubicadas como se observa en la figura 46.

Figura 46.- Distancia entre centros para las ruedas

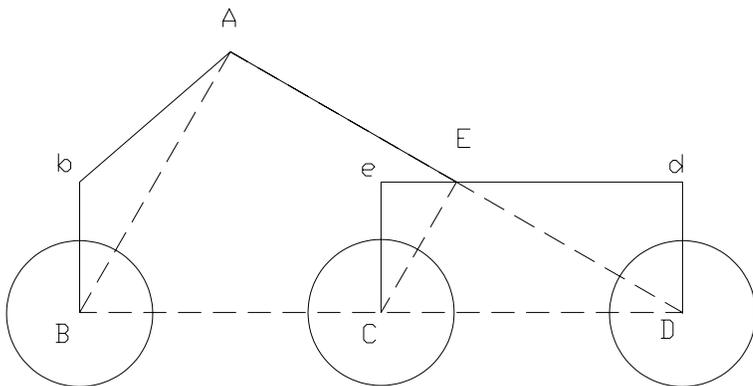


Se puede observar que el diámetro de 80mm es apropiado y proporcional para el tamaño de la estructura.

Una vez encontrados los segmentos base se procede a definir la estructura que finalmente permite sostener a todos los elementos que contenga el robot móvil.

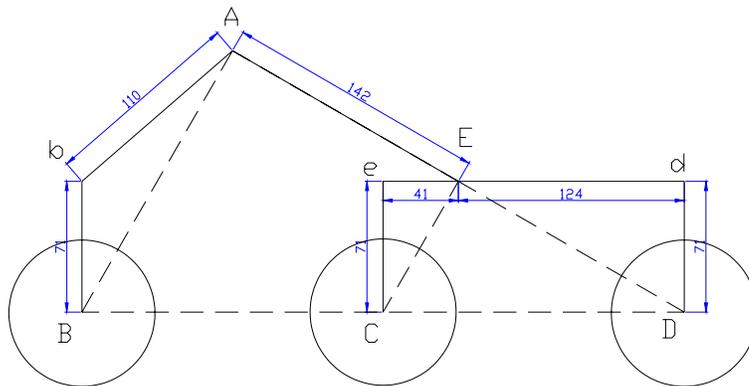
Los cambios que se realizan se ajustan trigonometricamente a las líneas de construcción, como se puede observar en la figura 47.

Figura 47.- Eslabones de la estructura



Las dimensiones de los segmentos de la estructura se determinaron a partir de la herramienta de diseño Autocad como se muestra en la siguiente figura.

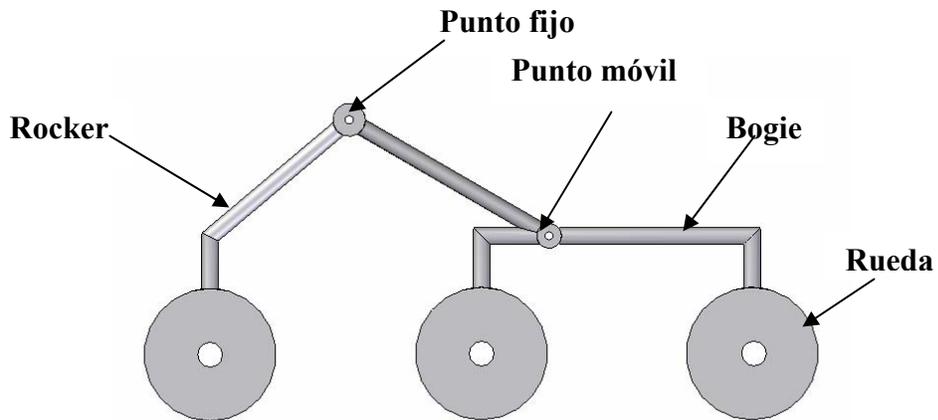
Figura 48.- Dimensiones de los eslabones de la estructura



Es así como el robot móvil cuenta con las dimensiones necesarias para continuar con el diseño. Cabe aclarar que el robot móvil cuenta con dos de las estructuras mostradas en la figura 48.

La estructura definida es llamada configuración Rocker-Bogie, en la figura 49 se puede apreciar los puntos de unión, como lo es, el punto fijo que le permite a la estructura ser ensamblada al chasis y el punto móvil le permite al bogie balancearse.

Figura 49.- Configuración Rocker-Bogie.



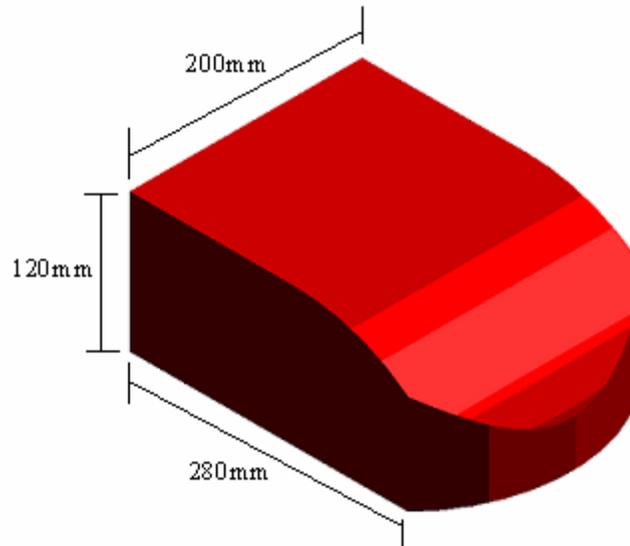
4.1.3 Chasis

Para definir las dimensiones de la caja es fundamental tener en cuenta lo siguiente:

- El ancho del robot móvil, depende directamente del tamaño de la caja que se desea diseñar, se deben tener en cuenta los elementos electrónicos que contiene y las baterías.
- La altura de la caja se define según las dimensiones del elemento mas grande, en este caso lo es la batería.

La figura 50 muestra el chasis seleccionado con las siguientes dimensiones:

Figura 50.- Dimensiones principales del chasis.



La construcción del chasis se hace por medio de un material de alta densidad pero poco espesor, lo cual permite que el robot móvil no soporte mucho peso.

Material = Acero galvanizado que cuenta con una densidad aprox. de 7.8 Kg./m^3 .

Espesor = calibre 18.

Con estas características se obtiene un chasis de masa = 1.57kg , pero es importante incluir el peso de la batería la cual es de 1.5kg aprox.

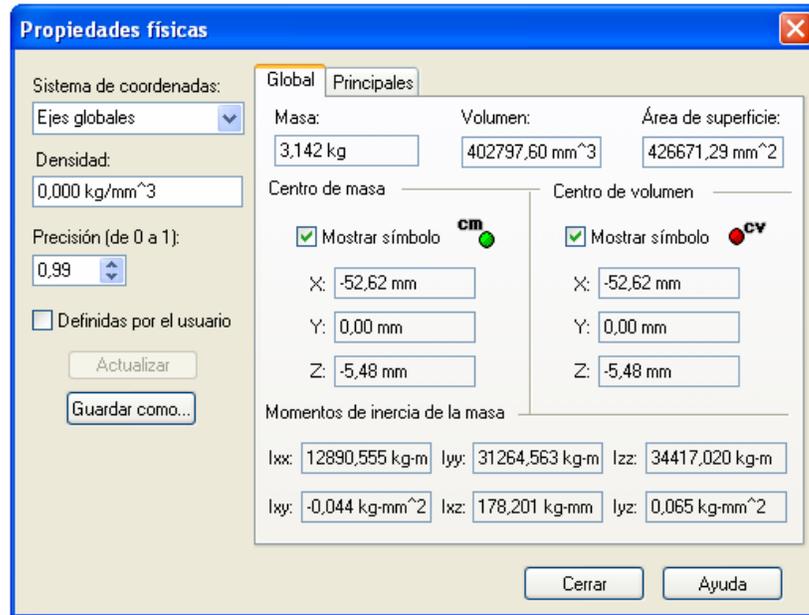
Así que la masa total del chasis es:

- Masa total del chasis = Masa del chasis + Masa de la batería.

Una vez conocidas estos datos se pueden obtener algunas propiedades físicas del chasis.

En el siguiente cuadro se puede observar los resultados en Solid Edge

Figura. 51.-Propiedades físicas.del chasis

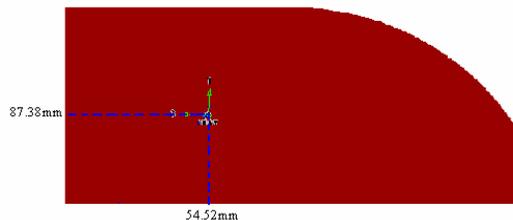


Fuente. Solid Edge.

El centro de masa y el centro de volumen indican el punto donde debe ir colocado el punto central fijo del rocker.

Teniendo en cuenta las coordenadas se obtiene lo siguiente:

Figura 52.- Centro de masa del chasis.



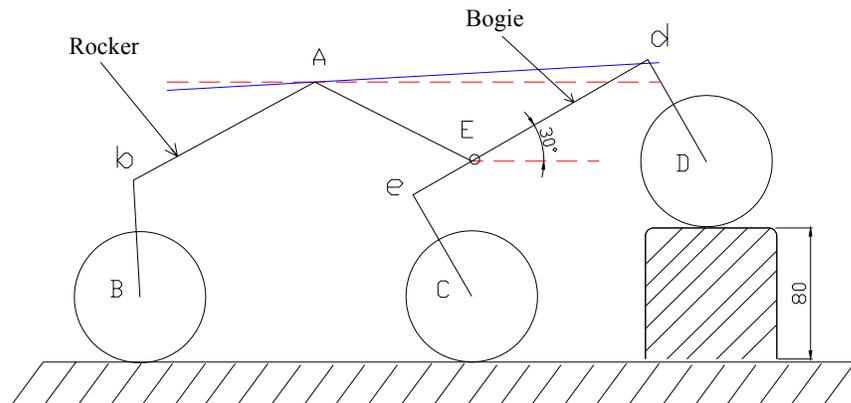
4.1.4 Límites de la estructura del Rocker-Bogie

➤ **Máximo ángulo de inclinación del Bogie.**

Para caracterizar los obstáculos es necesario conocer los límites de la configuración diseñada, para esto se observó hasta donde la estructura es estable, sin colisionar con alguna de sus partes, utilizando un prototipo en balsa se observa que el Bogie puede moverse libremente dentro de un rango de 0° a 30° como se muestra en la figura.

Cuando el Bogie sobrepasa los 30° el vehículo comienza a perder estabilidad y corre el riesgo de colisionar.

Figura 53.-Movimiento del Bogie a 30° .

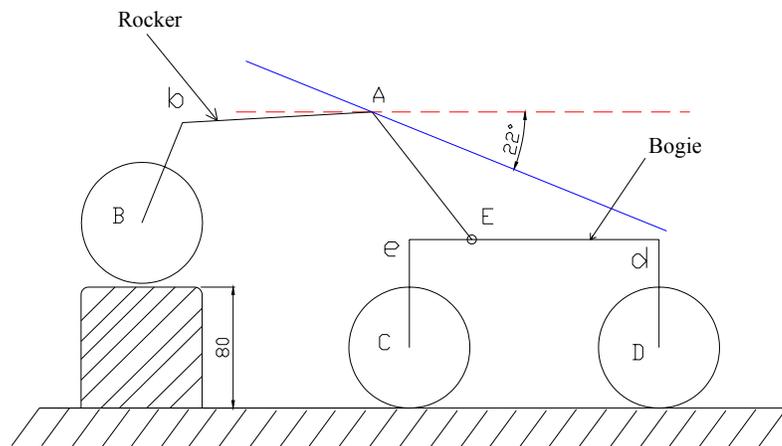


La línea roja hace referencia con la horizontalidad de la estructura, es así como la rueda delantera puede elevarse 80mm con respecto al suelo, la línea azul indica el movimiento que haría el chasis en esta posición, como se puede observar el movimiento del chasis es mínimo.

➤ **Máximo ángulo de inclinación del Rocker.**

Por otra parte el Rocker necesita inclinarse, para que la rueda posterior pueda en ocasiones elevarse los mismos 80mm del suelo, es así como se obtiene un movimiento de hasta 22° como se muestra en la figura 54

Figura 54.-Movimiento del Rocker a 22° .



Pero como se puede observar en este caso el chasis representado con la línea azul se inclina los mismos 22° con respecto a su origen, esta es una posición algo crítica pero estable, por lo tanto se concluye que el vehículo tiene la capacidad de superar obstáculos no mayores a 80mm, este valor coincide con el valor del diámetro de las ruedas, *es decir que el diámetro de las ruedas esta directamente relacionado con la máxima altura de los obstáculos.*

Con esta información es posible definir las dimensiones de los obstáculos que puede superar.

➤ **Movimiento de la estructura según el obstáculo**

Los obstáculos son variables que van directamente relacionadas con el nivel de estabilidad del robot móvil por esta razón es necesario conocer los límites para evitar posibles colisiones.

El vehículo se va a enfrentar a diferentes tipos de obstáculos, para simplificar el análisis se selecciono tres de los obstáculos mas críticos a los que puede estar sometido, los cuales van hacer que la estructura cambie de posición.

- **Obstáculo tipo escalón**

El robot móvil en su trayecto se puede encontrar con obstáculos a los que deberá enfrentarse, como de tipo escalón, por ejemplo ladrillo, troncos, andenes, piedras, desniveles del terreno entre otros. En la figura 55, se puede observar el cambio de posición de la estructura al superar este tipo de obstáculos con una altura máxima altura de 80mm.

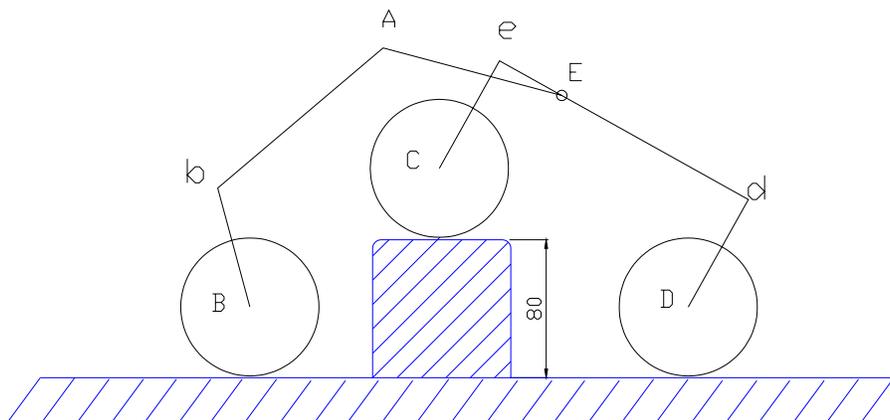


Figura 55.-Obstáculo tipo escalón.

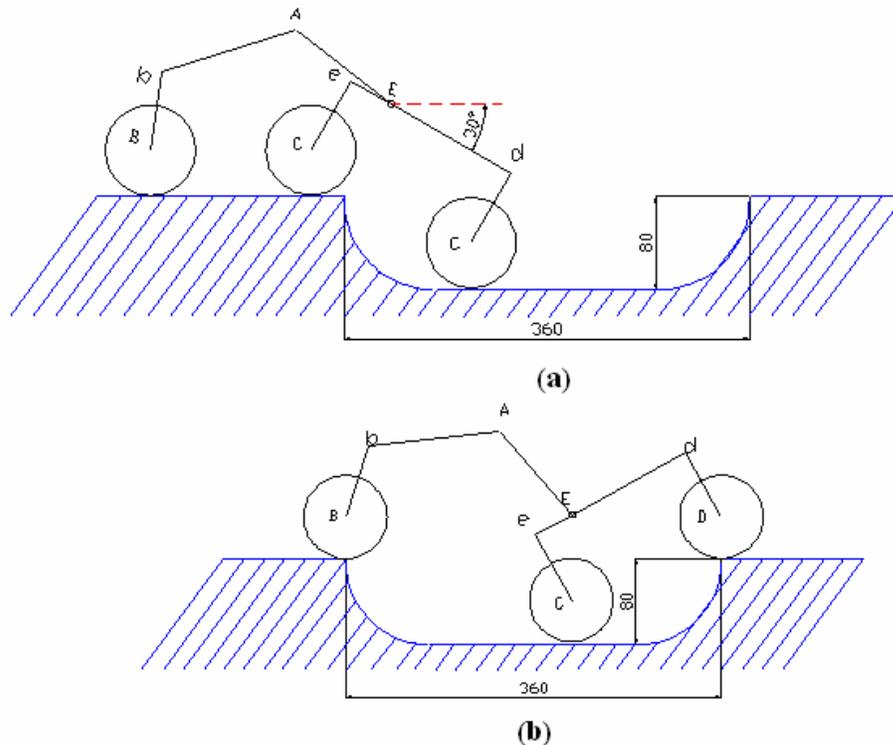
- **Obstáculo tipo Cráter:**

Este tipo de obstáculos se puede encontrar en terrenos vegetales, arenosos ó en el concreto como huecos pocos profundos. En la figura 56 se puede observar el cambio de posición de la estructura al superar un cráter.

En esta situación la profundidad máx. Sería de 80mm ya que observando la figura 56 (a) el Bogie puede inclinarse en un intervalo de menor a 30° para conservar la estabilidad.

En la figura 56 (b) se observa la posición mas critica al superar un cráter, puesto que la estructura cambia significativamente y por medio de la herramienta de diseño Autocad se observa que cuando la profundidad es de 80mm la longitud máx. es de 360mm, a partir de este análisis es conveniente que las dimensiones del obstáculo tengan una relación Profundidad/longitud = 4.5 para evitar las colisiones ó los estancamientos.

Figura 56.-Obstáculo tipo cráter.



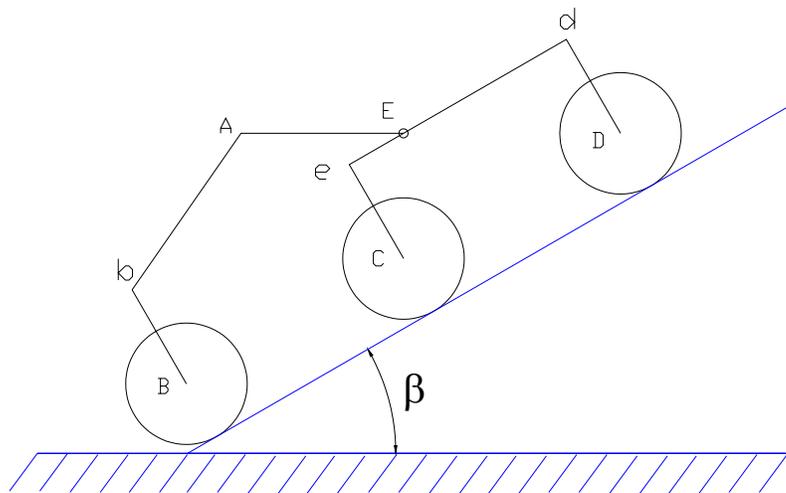
- **Obstáculo tipo pendiente**

El robot móvil se va a ver enfrentado frecuentemente a diferentes pendientes, es importante que la inclinación sea leve, de esta manera podrá desplazarse trayectos largos. Sin embargo la fricción en este tipo de obstáculos es una variable determinante para el ángulo de inclinación máx.

Ya que $\beta = \text{Tg}^{-1}\mu_s$ y según la tabla 1 muestra el coeficiente estático promedio; $\mu_s = 0.5$.

Se obtiene el ángulo de inclinación máx. $\beta = 26,56^\circ$.

Figura 57.-Obstáculo tipo pendiente.



Estas diferentes posiciones generan diferentes reacciones en los apoyos los cuales serán hallados aplicando el análisis estático.

4.2 ANALISIS ESTÁTICO

Conociendo las anteriores dimensiones se inicia considerando la figura 58, como una armadura, la cual consta de eslabones que se conectan en nudos, y es necesaria para soportar, el chasis y la carga útil que actúan en el robot móvil, esta armadura pueden ser tratadas como *una estructura bidimensional*, es importante tener en cuenta que todas las cargas deben estar soportadas en los nudos y no sobre los elementos.

4.2.1 El factor de seguridad

Aplicando el método de Pugsley η_s , explicado en el ítem 2.2.2.1 tendría las siguientes características para el diseño del robot móvil:

$$\eta_s = \eta_{sx} \eta_{sy}$$

$$\eta_{sx} = 1.45 \text{ y } \eta_{sy} = 1$$

$$\eta_s = 1.45 \approx 1.5$$

Si $\eta_s > 1$, el diseño es adecuado, entre mayor sea η_s , mas seguro será el diseño.

4.2.2 Cálculo de la fuerza puntual ejercida por el chasis y la carga útil.

Conociendo la masa del chasis = 1.57 kg., la masa de las baterías = 1.5kg y una carga útil aproximadamente de 1kg se aplica la ecuación 17 para conocer el peso total que generan.

$$\mathbf{p = mg}$$

Ecuación 17. Peso

El peso que ejerce el chasis = 15.4N

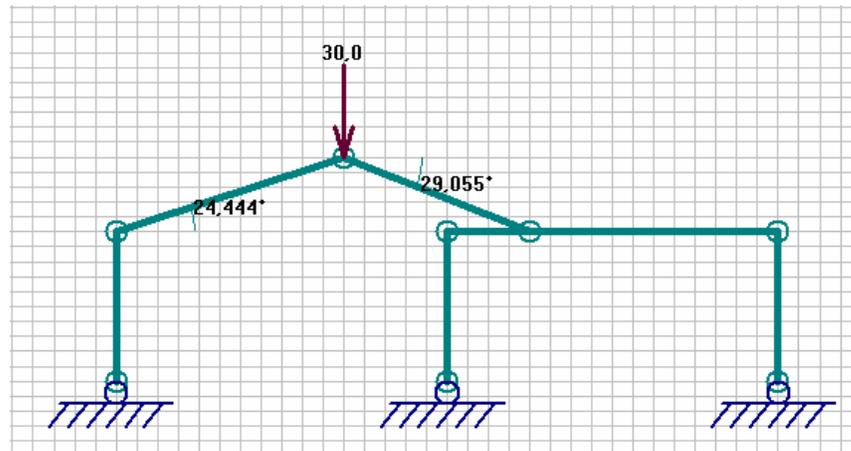
El peso que ejerce la batería = 14.7N

El peso de la carga útil = 9.81N

El peso total ejercido por el chasis: $40\text{N} \times 1.5 = 60\text{N}$

Esta fuerza es distribuida sobre sus dos sistemas Rocker-Bogie es decir los 60N son divididos en dos en el cual a cada punto central le corresponde 30N. Con este dato se inicia el análisis de las fuerzas que el robot ejerce sobre el suelo.

Figura 58.- Estructura Rocker-Bogie

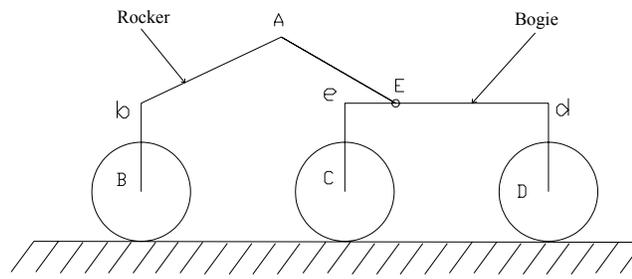


4.2.3 Calculo de las Reacciones

Es primordial conocer en que posición el robot móvil produce una mayor reacción, para que de esta manera se obtenga una de las características fundamentales en la selección de motores. Se tendrá en cuenta 6 de sus posiciones mas criticas para este cálculo.

- **Posición A.**

Figura 59.- Posición A de la estructura Rocker-Bogie



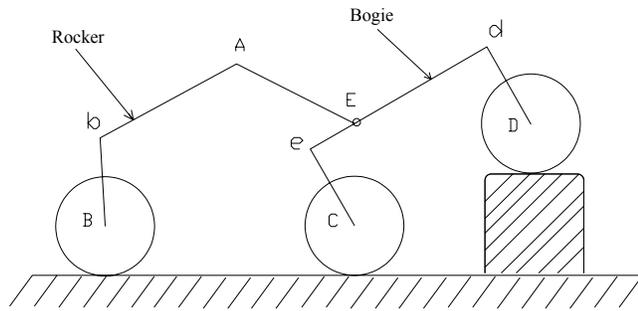
Como resultado se obtiene las siguientes reacciones que el suelo ejerce sobre el robot móvil.

Figura 60.- Posición A con sus respectivas reacciones



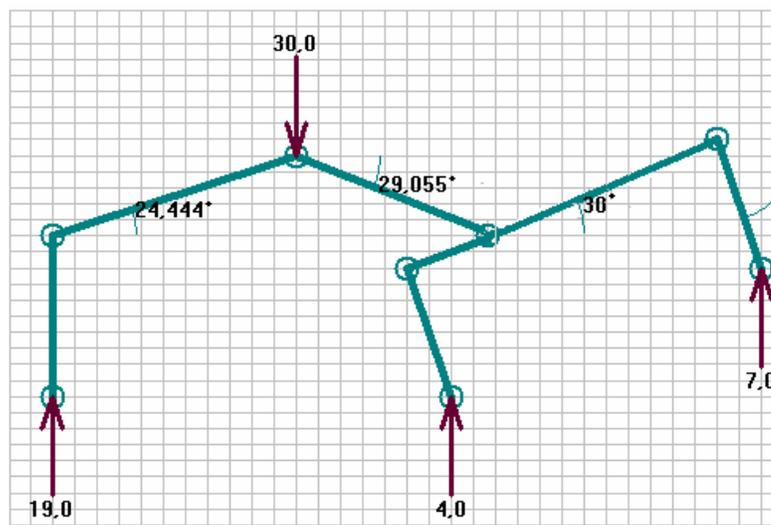
- **Posición B.**

Figura 61.- Posición B de la estructura Rocker-Bogie



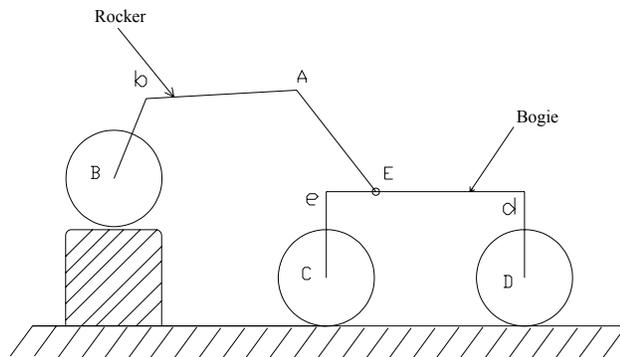
En esta posición el robot móvil tiene cuatro de las ruedas apoyadas sobre el suelo y las dos delanteras se encuentran superando un obstáculo, como resultado se obtiene las siguientes reacciones que el suelo ejerce sobre el robot móvil.

Figura 62.- Posición B con sus respectivas reacciones



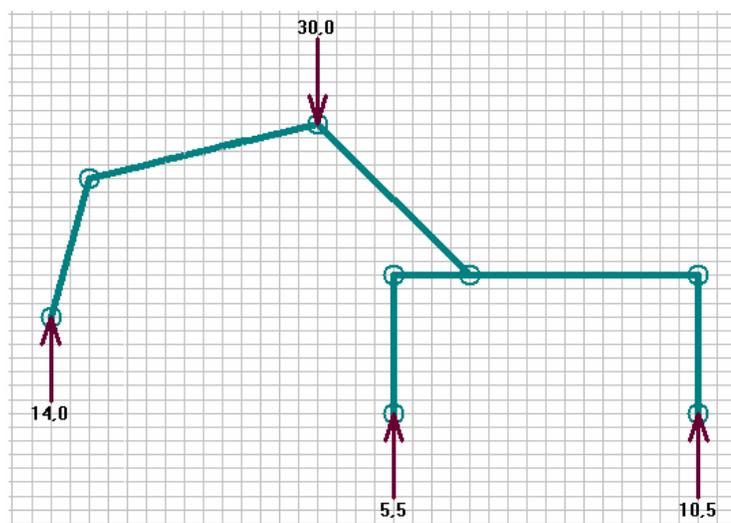
- **Posición C.**

Figura 63.- Posición C de la estructura Rocker-Bogie



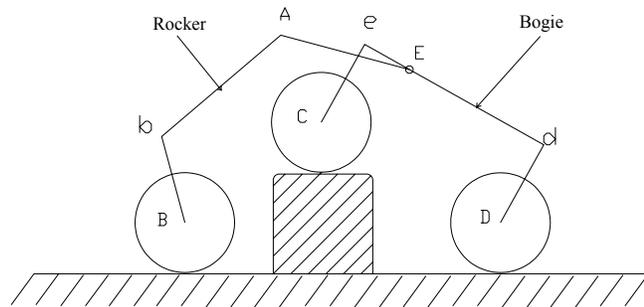
Las dos ruedas posteriores se encuentran superando un obstáculo.

Figura 64.- Posición C con sus respectivas reacciones



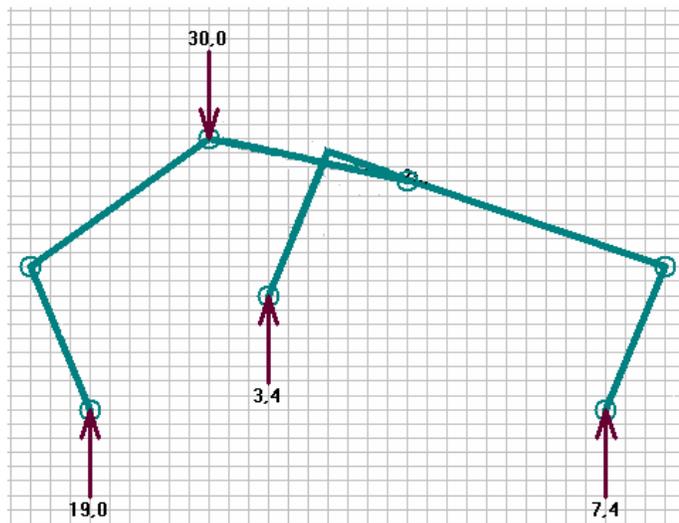
- **Posición D.**

Figura 65.- Posición D de la estructura Rocker-Bogie



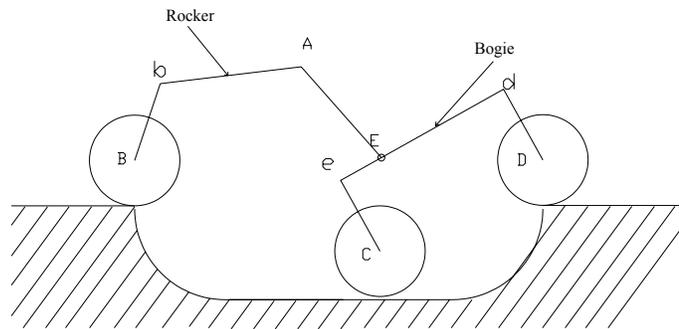
Las dos llantas delanteras y las dos posteriores están apoyadas sobre el suelo mientras que las dos del medio superan el obstáculo.

Figura 66.- Posición D con sus respectivas reacciones



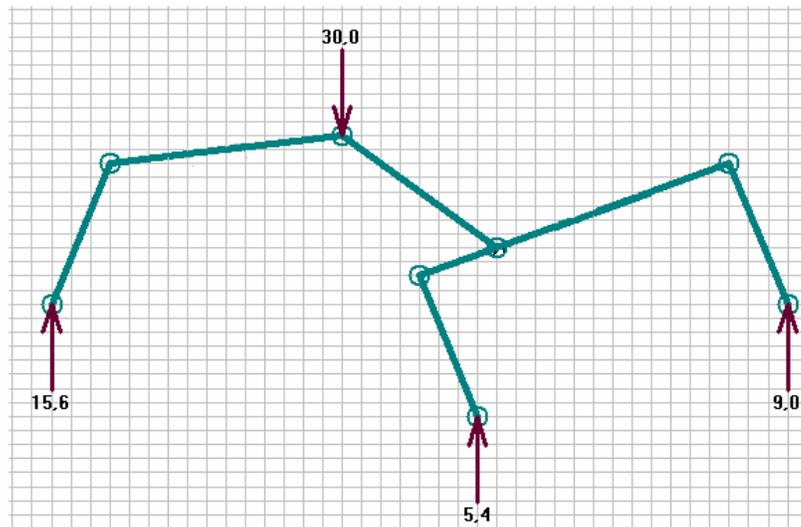
- **Posición E.**

Figura 67.- Posición E de la estructura Rocker-Bogie



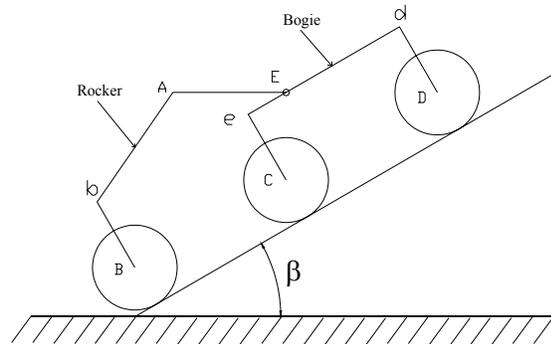
Las dos llantas delanteras y las dos posteriores están apoyadas sobre el suelo mientras que las dos del medio superan el obstáculo.

Figura 68.- Posición E con sus respectivas reacciones



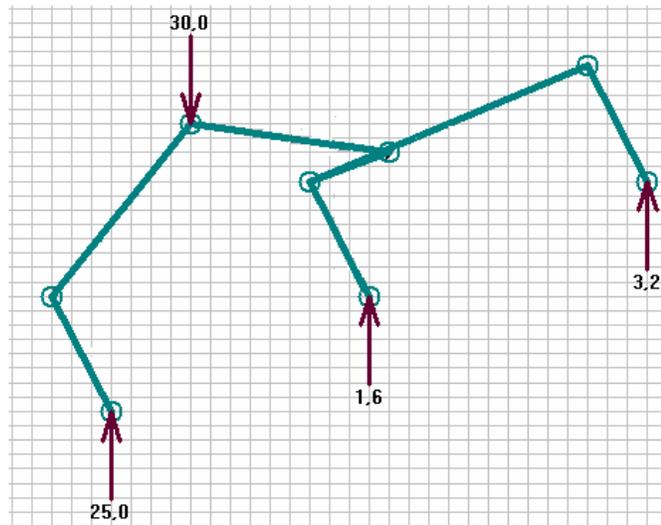
- **Posición F.**

Figura 69.- Posición F de la estructura Rocker-Bogie



Las dos llantas posteriores soportan la mayor parte del peso del vehiculo

Figura 70.- Posición F con sus respectivas reacciones



4.3 CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS

Dentro de la estructura mecánica se define el diseño de cada pieza que integra el robot móvil, aunque los resultados obtenidos anteriormente son importantes para el análisis de la estructura, no son suficientes ya que es necesario tener en cuenta si la carga puede ser soportada con seguridad.

Es conveniente tener claro el diseño del modelo al cual se desea llegar, asumiendo aspectos como los materiales, la estructura mecánica, el peso, la movilidad y la apariencia física, que distingue al rover como un robot móvil explorador. Después de las investigaciones realizadas sobre las partes que integran el robot móvil, se diseñaron teniendo en cuenta los esfuerzos en la estructura, los cuales demuestran si el diseño es o no realizable o deberán ser corregidas para mejores resultados.

Durante el diseño, los cálculos se realizan de forma paralela con los planos ya que al colocar las partes en el conjunto se mostrara si las modificaciones realizadas afectan o no el modelo deseado.

4.3.1 Material

En cuanto a los materiales existe gran variedad que pueden ser empleados en la construcción del robot móvil como los mencionados en el marco teórico ítem 2.2.2.1.

Se selecciono el aluminio ya que la característica principal del robot móvil es que fuera lo suficientemente liviano para mejor movilidad y la relación existente entre resistencia-peso y el costo, lo hace un material muy versátil para la construcción.

Las principales propiedades son:

La densidad del aluminio es aproximadamente de 2700kg/m^3 .

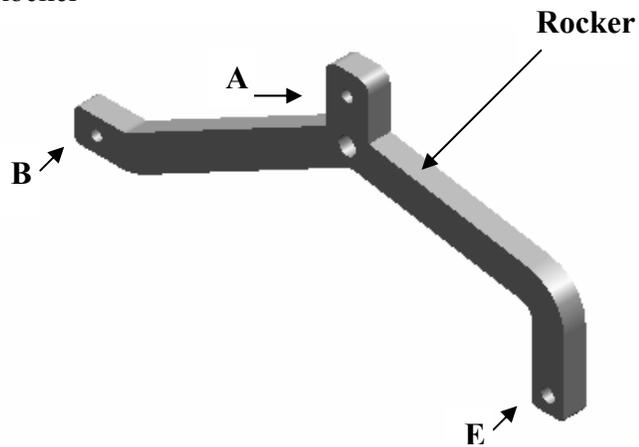
La resistencia a la fluencia de 17 Mpa.

El modulo de elasticidad de 69Gpa.

4.3.2 Cálculo de esfuerzos en el Rocker

A continuación se puede observar el modelo deseado del Rocker, diseñado a partir de dos eslabones para simplificación del análisis estático, los dos eslabones conforman una sola pieza la cual forma una estructura de tres fuerzas que van a ocasionar que el rocker pueda deformarse, para verificar que el material seleccionado soporte estas fuerzas se realiza el cálculo de esfuerzos para cada posición crítica.

Figura 71.- Pieza Rocker



Los eslabones están sujetos a un tipo de carga axial, aplicando la ecuación 2. se obtiene los esfuerzos a los que está sometido los elementos.

Tabla 9.-Esfuerzos de los eslabones en el Rocker.

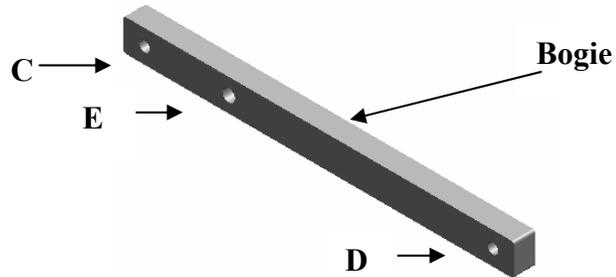
ESFUERZO POSICIÓN	ESLABON AB		ESLABON AE	
	σ	Sy	σ	Sy
POSICION A	50Kpa	75Kpa	42Kpa	63Kpa
POSICION B	54Kpa	80Kpa	64Kpa	97Kpa
POSICION C	38.7Kpa	58Kpa	84Kpa	126Kpa
POSICION D	37Kpa	52.5Kpa	17.5Kpa	26.5Kpa
POSICION E	36Kpa	53Kpa	98.7Kpa	148Kpa
POSICION F	61.2Kpa	91.8Kpa	24Kpa	36Kpa

Como se puede observar los valores mostrados demuestran que son menores al esfuerzo de fluencia del aluminio que es 17Mpa, por lo tanto el Rocker actuando como armadura o como estructura bidimensional puede soportar con seguridad la carga.

4.3.3 Cálculo de esfuerzos para el Bogie

El Bogie por ser una pieza móvil estará sujeta a tipos de carga flexionante ya que el momento flector M es tal que los esfuerzos normales en el elemento permanece por debajo del esfuerzo de fluencia por ello es preciso considerar otras ecuaciones, donde se describirá el Bogie como una viga rectangular sometida a dos reacciones causadas por el suelo y un punto de apoyo que sirve para sujetarse del Rocker.

Figura 72.- Pieza Bogie



Para hacer este análisis se divide la viga en dos eslabones, EC y ED y se realiza el respectivo análisis de esfuerzos aplicando la ecuación 4 para el esfuerzo de flexión y la ecuación 3 para el esfuerzo cortante. En la tabla 10, se muestran los resultados de los esfuerzos para determinar si el Bogie soporta con seguridad la carga.

Tabla 10.-Esfuerzos de los eslabones en el Bogie.

ESFUERZO POSICION	ESLABON EC	ESLABON ED
	σ'	σ'
POSICION A	693.2Kpa	5.5Mpa
POSICION B	587.4Kpa	4Mpa
POSICION C	921.4Kpa	5.21Mpa
POSICION D	671.7Kpa	3.17Mpa
POSICION E	787.8Kpa	5.21Mpa
POSICION F	55Kpa	199.5Kpa

Al igual que en el Rocker se ha obtenido resultados satisfactorios, los cuales demuestran que el diseño deseado es realizable.

4.4 MOTOREDUCTOR

4.4.1 Cálculo del torque mínimo para el motoreductor

Una vez conocidos las reacciones y los esfuerzos se busca la posición donde la fuerza es máxima, para que el robot móvil disponga de motores que proporcione un buen desplazamiento ante los distintos obstáculos.

Se desea un vehículo que tenga una velocidad ideal de 0.18m/s y ruedas de 40mm de radio estos datos son importantes para conocer el torque del motor.

Aplicando la ecuación 11, la velocidad angular que se requiere sería:

$$\omega = \frac{0.18\text{m/s}}{0.04\text{m}} = 4.5\text{rad/s} \times 60 \times \frac{1}{2\pi}$$

$$\omega = 43\text{RPM}$$

Como la mayor fuerza que requiere el motor se obtiene al superar una pendiente de 27° es

$$R_B = 21.7\text{N}$$

Es conveniente que el motor cuente con la potencia necesaria para entregar esta fuerza.

Cuando dos superficies están en contacto, siempre se van a presentar fuerzas tangenciales para impedir el movimiento de una superficie con respecto a otra, es así como interviene la fricción de Coulomb aplicada en la ecuación 13.

$$F_f = \mu \times N$$

Donde el valor del coeficiente de fricción entre el suelo y la rueda de caucho es $\mu=0.8$ y la mayor fuerza ejercida es de 21.7N.

Es así como se obtiene:

$$F_f = 0.8 \times 21,7\text{N}$$

$$F_f = 17.4\text{N}$$

Ya obtenida la fricción se emplea la siguiente ecuación para obtener el torque mínimo requerido.

$$\mathbf{T = (I\alpha) + (rF_f)}$$

Ecuación 18. Torque mínimo requerido.

Suponiendo que la rueda es semejante a un aro cilíndrico, I se obtiene por medio de la ecuación 14

$$I = MR^2$$

$$I = 0.161\text{Kg} \times (0.040\text{m})^2$$

$$I = 2.58 \times 10^{-4} \text{Kg m}^2$$

La aceleración angular esta dada por la razón de cambio en la velocidad angular con respecto del intervalo de tiempo.

$$\alpha = 4.5\text{rad/s}^2$$

Una vez reemplazados los valores, el torque necesario de los motores es:

$$T = 0.7\text{Nm}$$

La potencia que necesita ser entregada por los motores es:

$$P = T\omega$$

$$P = 3.15 \text{ W}$$

La corriente que consume un motoreductor es:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3.15\text{W}}{12\text{V}} = 263\text{mA}$$

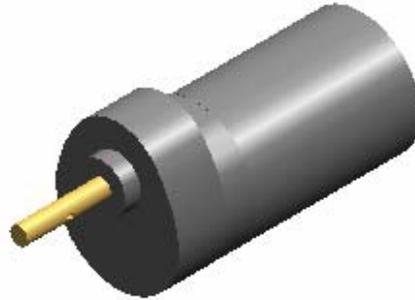
Las características de motor se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 11.-Características del motoreductor.

MOTOR BARBER COLMAN COMPANY	
REF: LYMX-63304-1	
Torque	1.23Nm
Tensión nominal	24v
Resistencia	20ohm
Velocidad de giro sin carga	90rpm
Peso	295g
Diámetro máx.	50.5mm
Largo del eje	29.08mm
Largo del motor	82.67mm

Una vez halladas las características del motoreductor para lograr desplazarse en una de las posiciones mas criticas se busco en el comercio el mas adecuado y se selecciono un **Barber Colman Company** modelado en Solid Edge como se aprecia en la figura 73, el cual permite entregar el torque que requiere el robot móvil para desplazarse correctamente en una superficie.

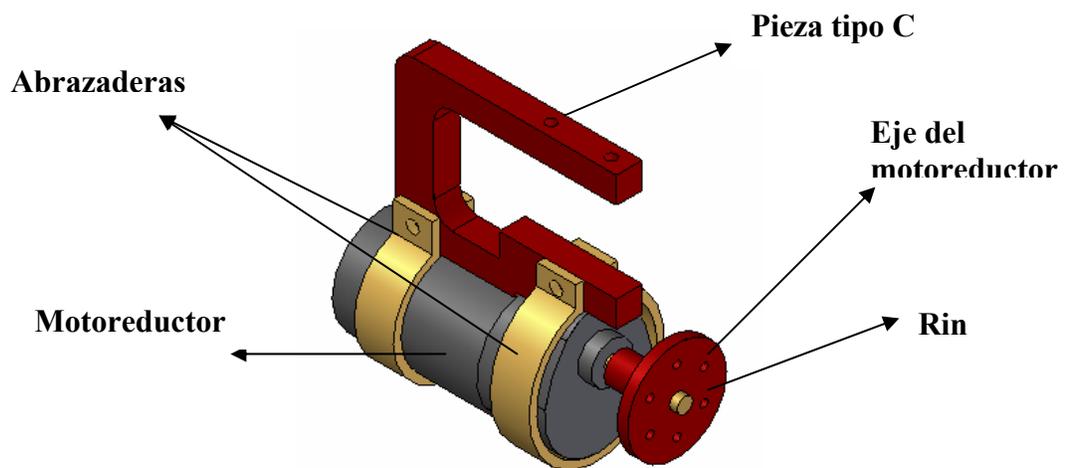
Figura 73.-Modelo del motoreductor



4.4.2 Cálculo de esfuerzos para el soporte del motoreductor

Los motores están soportados mediante una pieza tipo C, mostrada en la figura 74, este nombre es dado por la forma que lo representa, la cual proporciona que la pieza quede encajada con el motoreductor, para lograr este propósito se utiliza, de una a dos abrazaderas, capaces de unir ambos elementos y de esta manera el motoreductor este completamente fijo para que actúe como una carga distribuida.

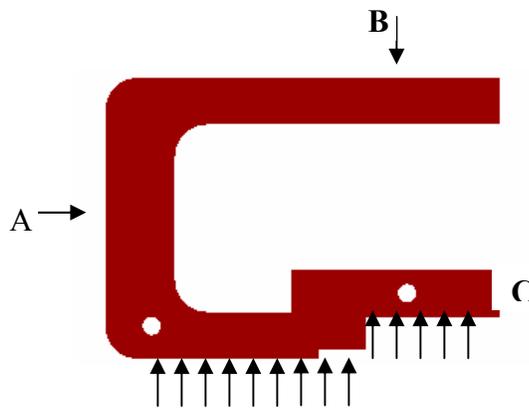
Figura 74.-Las principales piezas que acompañan al motoreductor



Para la pieza tipo C se selecciono en aluminio al igual que las otras piezas, ya que como se había dicho anteriormente es un material muy versátil y liviano.

Mediante los siguientes cálculos se verifica si la pieza puede soportar la carga sin flexionarse y sin cortarse si es el caso.

Figura 75.-Pieza tipo C



- En la sección A se tiene carga de flexión y carga axial.

$$\sigma_1 = \frac{6M}{bh^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{6 \times 1437.5 \text{ Nmm}}{2250 \text{ mm}^3} = 3.8 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_2 = \frac{25 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 167 \text{ Kpa}$$

$$\sigma_1 + \sigma_2 = 3.97 \text{ Mpa}$$

$$S_y = 5.95 \text{ Mpa} < 17 \text{ Mpa}$$

- En la sección B se tiene un esfuerzo de flexión y un esfuerzo cortante

$$\sigma_1 = \frac{6 \times 1250 \text{Nmm}}{1000 \text{mm}^3} = 7.5 \text{Mpa}$$

$$\tau_2 = \frac{Q \times V}{I \times t}$$

$$\tau_2 = \frac{500 \times 25}{833 \times 10} = 1.5 \text{Mpa}$$

$$\sigma_{\max} = 7.8 \text{Mpa}$$

$$S_y = 11.7 \text{Mpa}$$

- En la sección C tiene un esfuerzo de flexión y un esfuerzo cortante.

Se divide la sección en dos para hallar los momentos por medio de la ecuación 4.

$$\sigma_1 = \frac{6 \times 148.5}{1000} = 891 \text{Kpa}$$

$$S_y = 1.34 \text{Mpa}$$

$$\tau_1 = \frac{3 \times 10.24}{2 \times 100} = 154 \text{Kpa}$$

$$S_y = 462 \text{Kpa}$$

$$\sigma_{\max} = 1.09 \text{Mpa}$$

$$\sigma_2 = \frac{6 \times 357.6}{1000} = 2.15 \text{Mpa}$$

$$S_y = 3.2 \text{Mpa}$$

$$\tau_2 = \frac{3 \times 15.9}{2 \times 100} = 238.5 \text{Kpa}$$

$$S_y = 715.5 \text{Kpa}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 3.36 \text{Mpa}$$

$$\sigma_{\text{TOTAL}} = 4.45 \text{Mpa}$$

$$S_y = 4.45 \text{Mpa} < 17 \text{Mpa}$$

Como se puede observar los resultados obtenidos son satisfactorios para la pieza tipo C, ya que el material soporta la carga máxima aplicada.

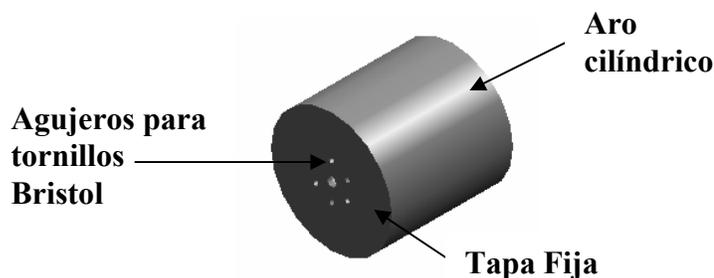
De esta manera la pieza tipo C es la adecuada para transmitir el cambio de dirección del servomotor a la rueda, la cual va sujeta al motoreductor por una pieza de unión llamada Rin.

4.5 RUEDAS

El diseño de robot móvil consta de seis ruedas cada una con tracción y dirección independiente de modo que la dirección del robot cambia, pero su chasis sigue apuntando en la misma dirección que tenía.

A continuación se describe el diseño empleado para obtener que las ruedas estén enclavadas de tal forma que siempre apunten en la misma dirección.

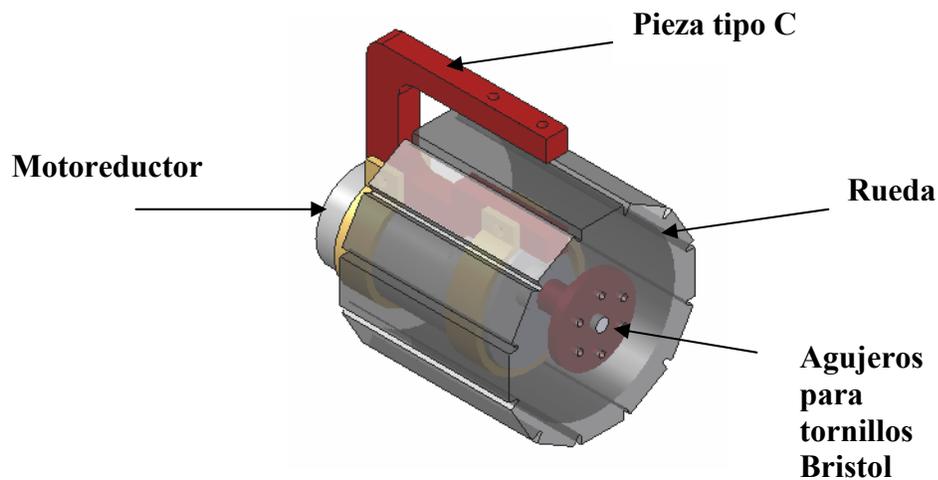
Figura 76.-La rueda.



Esta rueda consiste en un aro cilíndrico cubierto en un solo lado con una tapa que tiene seis agujeros para tornillos Bristol, para ser sujeta al Rin, el otro lado de la rueda queda libre para introducir el motoreductor por medio de ella, permitiendo una excentricidad entre el cilindro y el eje del motor.

El ensamble se puede observar en la figura 77. donde al ubicar el motoreductor de esta manera le permite al robot móvil estar siempre en contacto con el suelo dándole más estabilidad por el peso de cada llanta.

Figura 77.-Ensamble de la rueda



Hay que tener en cuenta que los vehículos siempre giran cuando están en movimiento, pero en este caso el robot móvil lo hará en estado de reposo, situación que resulta crítica y compleja a la hora de escoger los motores de posicionamiento.

4.6 SERVOMOTOR

Para lograr que la rueda cambie de posición se emplea un servomotor el cual transmite la posición deseada a un eje que va ajustado directamente a la C.

El motor de posición seleccionado es el servomotor ya que cuenta con ventajas como las siguientes:

La alta potencia comparada con su poco tamaño, el poco peso, la fiabilidad que proporciona para ubicarse en la posición dada, la precisión.

Para producir la posición deseada el servomotor compara el ancho de pulso de la entrada con el ancho de pulso generado por el temporizador interno, la lógica interna del servomotor indica al motor en que dirección debe girar para minimizar el error entre el pulso de entrada y la señal interna, este procedimiento lo realiza continuamente comprobando que la dirección del eje este en la posición de 0°, 45°, 90° y 180°..

4.6.1 Cálculo del torque mínimo para el servomotor

Para que el robot móvil disponga de servomotores que proporcione el mínimo torque para hacer girar la rueda de posición, se realiza el siguiente calculo.

$$T = F_f d$$

$$T = \mu N d$$

$$T = 0.8 \times 17.6N \times 0.040m$$

$$T = 0.57Nm$$

En la figura 78 se puede apreciar el servomotor seleccionado, modelado en Solid Edge

Figura 78.-Servomotor Futaba S3010

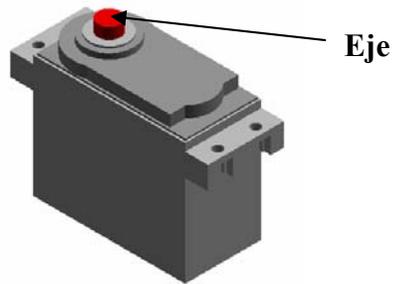


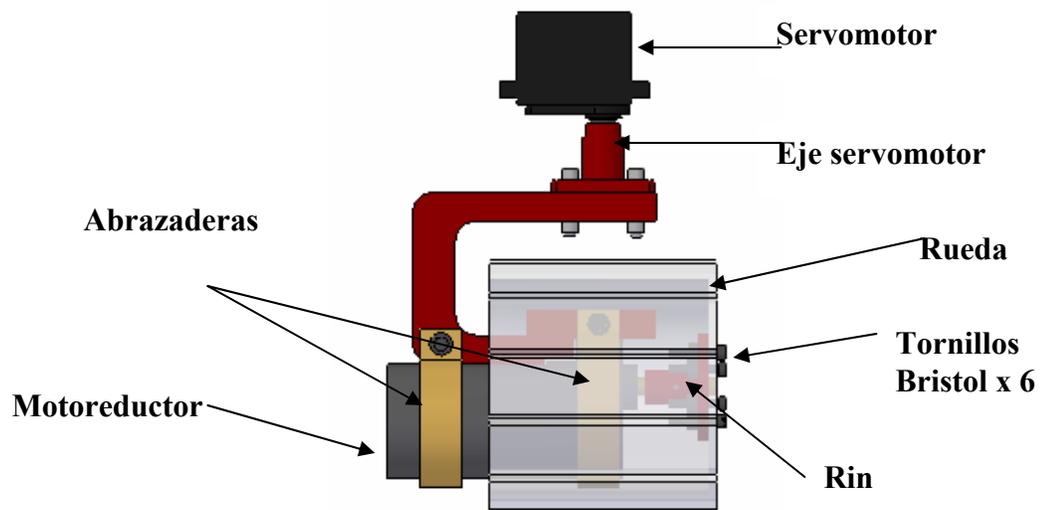
Tabla 12.-Características del Servomotor Futaba S3010

SERVOMOTOR FUTABA S3010 High Torque	
Torque	6.5kg-cm
Dimensiones	40mm x 20mm x 38mm
Velocidad de giro	0.16seg por vuelta
Voltaje	6v
Peso	41g
Recorrido	180°

Una vez conocido el torque necesario para cambiar la dirección de la rueda se busco en el comercio el mas adecuado y se encontró con el servomotor S3010 de alto torque, el cual entrega algo mas de 0.57Nm, esto permite que las ruedas cambien de dirección

Una vez definido el servomotor se diseña la forma para fijarlo y permitir que el eje quede libre para girar las ruedas a la posición deseada, en la figura 79 se puede observar el sistema final de dirección para cada una de las seis ruedas.

Figura 79.-Sistema de dirección de las ruedas.

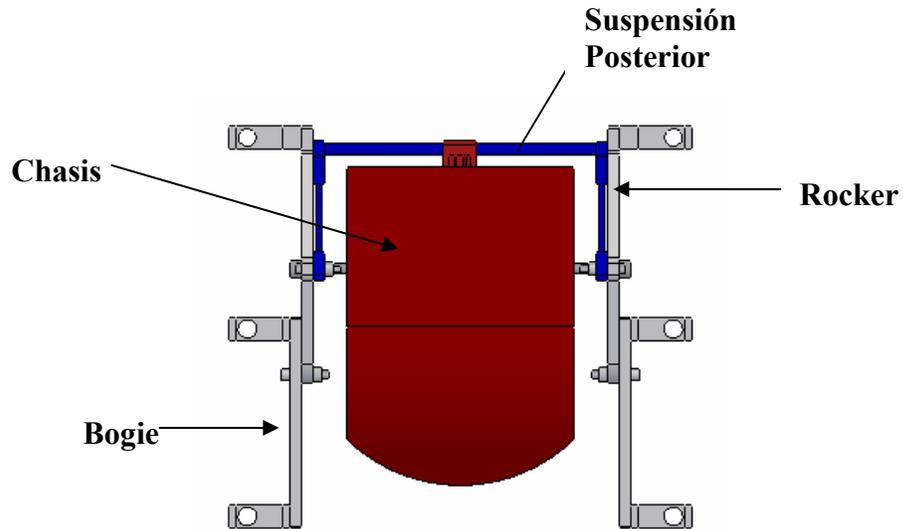


4.7 LA SUSPENSIÓN POSTERIOR

El robot móvil cuenta con un sistema de suspensión posterior que le permite mayor estabilidad al momento de subir obstáculos, consta de tres ejes ubicados en forma de U representado por el color azul como se muestra en la figura 80.

El eje de unión esta conectado a los otros dos, por medio de rotulas capaces de generar un movimiento angular en diferentes sentidos entre las piezas con las que están unidas, y así poder adaptarse a la posición en que se encuentre el robot móvil, absorbiendo cualquier tipo de inestabilidad.

Figura 80.-Ubicación de la suspensión posterior.



Los ejes de la suspensión posterior son afectados por cargas axiales que provienen de los puntos fijos a los que esta sujeto.

El procedimiento para obtener los diámetros de los ejes se hizo a partir de la selección de la rotula, ya que por el pequeño tamaño que exige el vehiculo para esta pieza, los valores eran prácticamente despreciables y no se encontraban en el catalogo, comercialmente se ubico la rotula **IKO LHSA** con una capacidad de carga de 170 kgf y unas dimensiones de macho y hembra de 6mm de diámetro, en la hembra de cada rotula se adaptaron dos ejes de 6mm de diámetro y en el macho un eje de 10mm que une las rotulas, a partir de aquí se determino si los esfuerzos a los que están sometidos los ejes son adecuados para soportar las cargas, cuando cambia del estado de reposo a una posición critica como es en el caso de la posición C, La posición D y la posición E.

Figura 81.- Rotula.



Tabla 13.-Resultados de los esfuerzos de los ejes de la suspensión posterior.

	Carga axial	Sy Eje de 6mm	Sy Eje de 10mm
Posición C	11.24N	150Kpa	53.7Kpa
Posición D	7.76N	103Kpa	37.1Kpa
Posición E	9.27N	123Kpa	44.3Kpa

Como se puede apreciar en la tabla 13 los valores obtenidos son menores al esfuerzo de fluencia del aluminio que es de 17 MPa, de esta manera se concluye que la rotula permitió adaptar los ejes que soportan carga axial según la posición por lo cual la suspensión posterior es la adecuado para suministrar la estabilidad necesaria para el robot móvil.

4.8 MODELO FINAL DEL ROBOT

A continuación se puede observar el modelo completo del robot móvil en isométrico figura 82. A partir de este modelo se adquiere los planos necesarios para la construcción de cada pieza, como se puede apreciar en los anexo.

Para conocer el peso total del robot móvil es necesario conocer el peso de cada elemento que lo compone como se muestra en La tabla 14.

Tabla 14.-Estimación de la masa de los elementos del robot móvil.

ELEMENTO	UNIDADES	MASA (Kg.)
CAJA	1	1.5
BATERIA	1	1.5
CARGA UTIL	1	1
ROCKER	2	0.170
BOGIE	2	0.160
LA C	6	0.063
RIN	6	0.019
SERVOEJE	6	0.012
ABRAZADERA	6	0.011
RUEDA	6	0.167
SUSPENSIÓN P.	1	0.092
SOPORTE	1	0.055
MOTOREDUCTOR	6	0.295
SERVOMOTOR	6	0.045
MASA TOTAL		8.56Kg

Las piezas son realizadas en el taller de mecánica de la universidad de San Buenaventura como se describe en el capítulo 6.

Figura 82.-Robot móvil tipo Rover en 3D

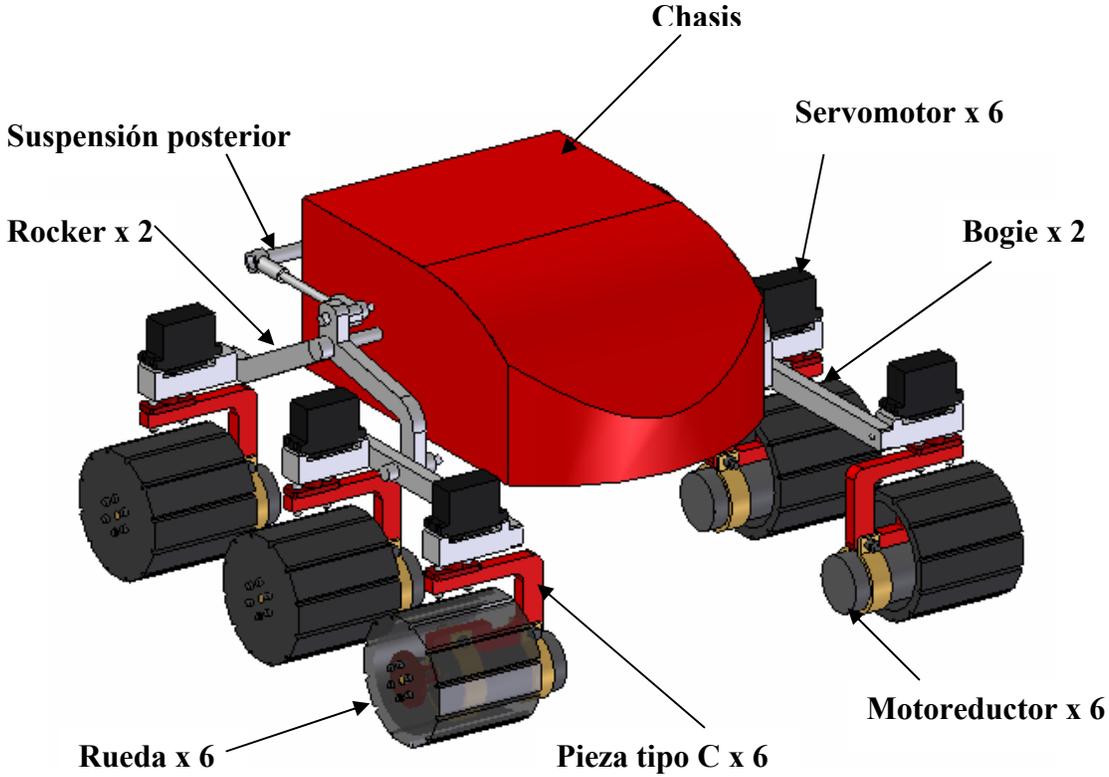
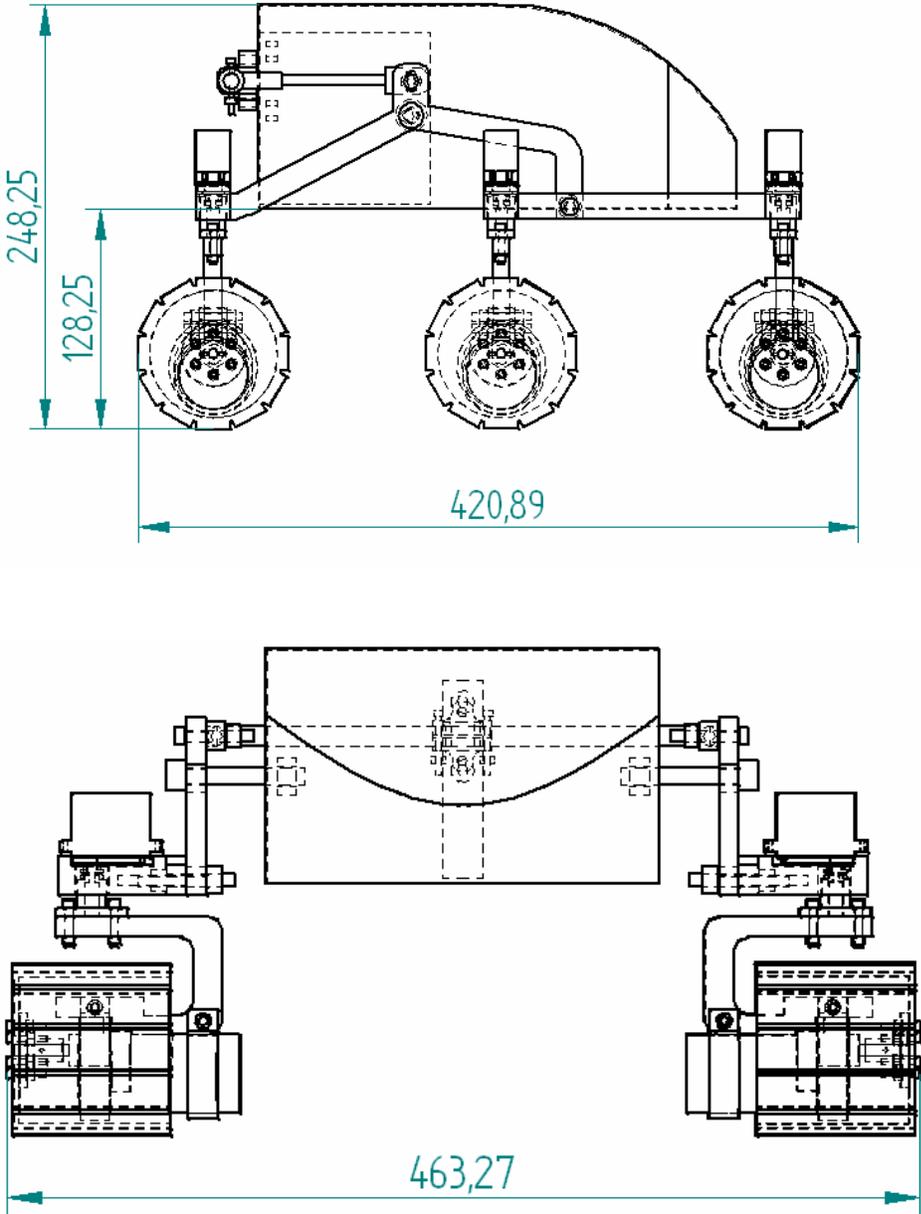


Figura 83.- Medidas principales del Robot móvil



5. DISEÑO INGENIERIL ELECTRONICO

5.1 ETAPA DE ALIMENTACIÓN

5.1.1 Baterías.

El sistema electrónico del robot requiere de una fuente de alimentación. Puesto que el robot es un vehículo explorador y se va a encontrar en terrenos en donde es imposible alimentarlo a través de la red, entonces su energía provendrá de baterías que estarán incluidas dentro de él.

Para escoger correctamente las baterías se necesita hacer un estudio previo del consumo del robot, ya que esta conformado por varios componentes electrónicos, que no siempre estarán en constante funcionamiento y determinar el valor de consumo en cada instante es imposible. Para ello se hará una aproximación suponiendo que todos los elementos están trabajando al 100%.

Tabla 15.-Consumo del robot móvil

ELEMENTO	CONSUMO	
MOTOREDUCTORES	3.0W A 12V x 6	1.5A
SERVOMOTORES	1.2W A 6V x 6	1.2A
ELECTRONICA	Aprox.	0.8A
TOTAL		3.5A

Se obtiene un resultado de 3.5A en una hora. Esto es el consumo máximo. Hay que tener en claro que tanto los motoredutores y servomotores nunca están funcionando al 100%. Por ello el consumo puede reducirse a la mitad.

El sistema de alimentación del robot esta conformado por una batería que proporciona 12V y una corriente de 2.6AH, encargada de alimentar a los motoredutores, servomotores y la mini cámara. Como se observo en la tabla anterior el consumo de estos elementos es 2.7A lo que indica que el robot podría estar funcionando aproximadamente durante 1H..

La etapa de alimentación consiste, además de dos baterías de 6V a 1.3AH. Las cuales son utilizadas para formar una fuente dual, ya que el diseño de la etapa de amplificación de los sensores de ultrasonido, esta conformada por cuatro amplificadores LF353 y estos requieren de $\pm 6V$.

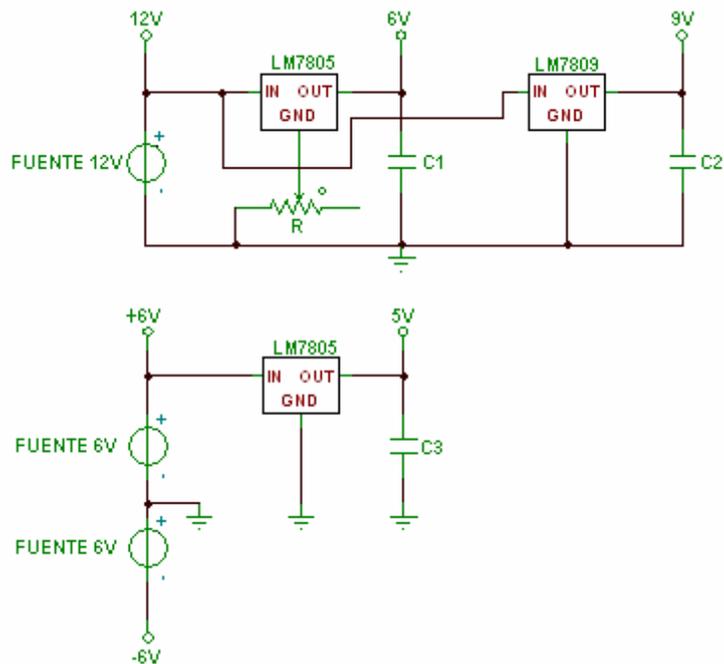
5.1.2 Circuito de alimentación del robot móvil.

Se dispone de un circuito que consta de dos entradas: una batería para la tensión de 12V y otra para la tensión que ofrece dos baterías en serie, que son los $\pm 6V$. Como salidas se obtiene los diversos voltajes que requiere el robot:

- Para la salida de 5V, se utiliza el regulador de voltaje LM7805, el cual suministra la tensión adecuada para el óptimo funcionamiento de los circuitos integrados TTL.
- Para la salida de 6V, se utiliza también el regulador de voltaje LM7805, el cual por medio de un trimmer de 10k Ω se obtiene la tensión de alimentación para los servomotores.
- Una salida de 12V, para la alimentación de los motoredutores.

- La salida de $\pm 6V$, para suministrar la tensión de trabajo de los amplificadores operacionales.
- Salida de 9V para la mini cámara.

Figura 84.-Circuito de alimentación.



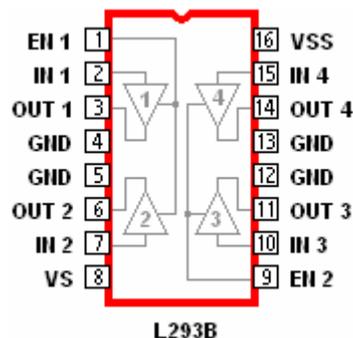
5.2 CIRCUITO DE POTENCIA DE LOS MOTOREDUCTORES

Se debe tener en cuenta, que para el control de motores de corriente continua con un microcontrolador, se requiere de un circuito con el que se puedan conectar directamente, ya que los motoredutores consumen una corriente que el microcontrolador no les puede suministrar.

Para controlar los motores del robot se selecciona el integrado L293B, el cual tiene la capacidad de:

- Cada canal es capaz de entregar hasta 1A de corriente.
- Posee una entrada de alimentación independiente que alimenta los 4 Drivers, es decir la que requieren los motores, en este caso 12V DC.
- El control de los Drivers es compatible con señales TTL es decir con 5 voltios (estamos hablando de señales lógicas).
- Cada uno de los 4 Drivers puede ser activado de forma independiente (por su terminal de entrada), o habilitado de dos en dos con un sólo terminal (Enable).

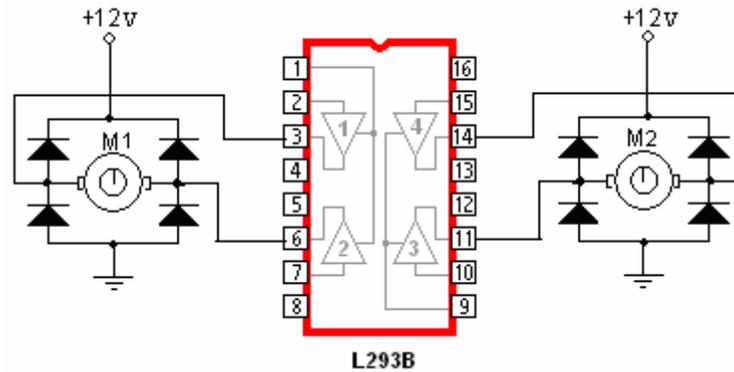
Figura 85.-Configuración del integrado L293B



La tarjeta de control de motoredutores esta conformada por tres integrados L293B, de los cuales cada uno en su interior consta de 4 Drivers como se observa en la figura 85, en total se están controlando 12 drivers. Estos integrados se alimentan con una tensión de 5V DC (Pin16), y cada uno de estos controla dos de los seis motoredutores que conforman el robot móvil.

Para tener el control de las dos direcciones (adelante y atrás) de los motoredutores, se usa dos de los drivers del L293B en donde sus salidas OUT1(Pin3) y OUT2(Pin6) que controlan el motoreductor 1 y las salidas OUT3(Pin11) y OUT4(Pin14) que controlan el motoreductor 2, se conectan directamente a los polos de los motoredutores.

Figura 86.-Circuito para controlar el giro de los motoredutores.

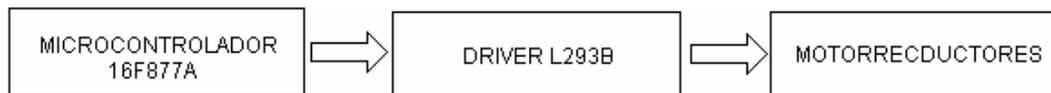


Como se observa en la figura 86, los motores están alimentados con una tensión de 12V DC, esta alimentación es independiente a la alimentación del integrado LM293B (5V DC).

Los cuatro diodos que se utilizan para cada uno de los motoredutores, se usan para proteger el circuito de los picos de arranque y parada de los motoredutores debido a las corrientes inversas inducidas por estos.

Para controlar el giro de los seis motoredutores, se utiliza el microcontrolador 16F877A (SLAVE), que es el encargado tanto del control de los motoredutores y servomotores de los que se hablara mas adelante.

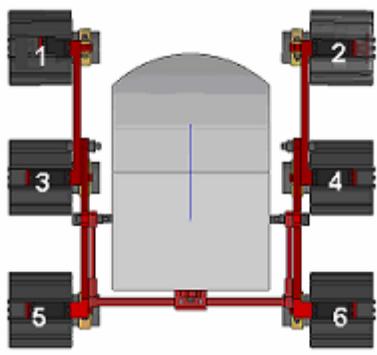
Figura 87.-Diagrama de bloques de para el control de los motoredutores.



El microcontrolador PIC 16F877A (SLAVE), cumple la función de enviar datos al los drivers y estos a su vez determinan el giro de los motoreductores.

El manejo de cada uno de los drivers se hizo a través del puerto A y del puerto B del microcontrolador PIC16F877A (SLAVE), cada uno de los motoreductores se puede controlar independientemente. En la tabla 16 se puede ver la distribución de los pines, que dependiendo de cada estado de nivel lógico 0-1, el robot se desplazara hacia delante, atrás o se detendrá.

Tabla 16.-Distribución de los pines del PIC16F877A (SLAVE) para los motoreductores.



RUEDA	ON-OFF	ADELANTE	ATRÁS
1	RA0	RA1	RA2
2	RA0	RA3	RA4
3	RA0	RA5	RB0
4	RA0	RB1	RB2
5	RA0	RB3	RB4
6	RA0	RB5	RB6

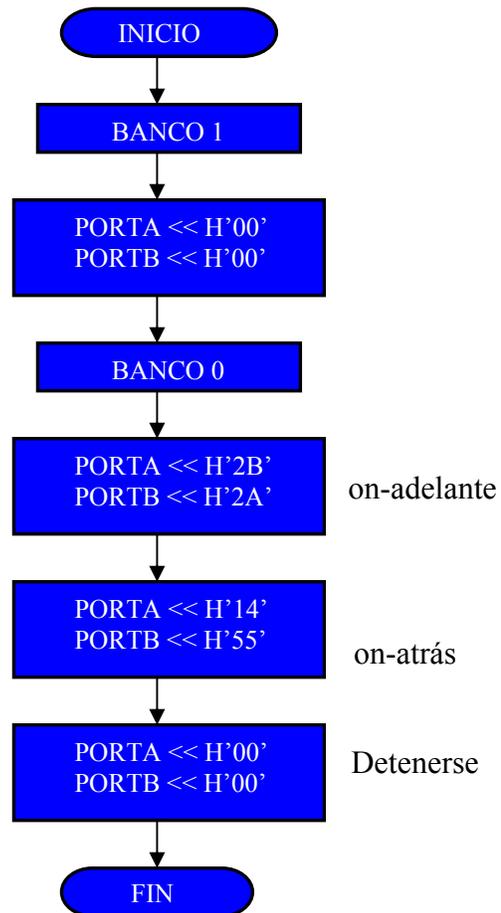
Como se puede observar en la tabla a cada una de las ruedas del robot le corresponde un pin del microcontrolador, estos pines son salidas digitales que van conectadas directamente a cada uno de los drivers, y así cada una de las ruedas del robot se puede manejar independientemente una de la otra. Estas salidas digitales están determinadas por medio de un código que controla los movimientos básicos del robot (adelante, atrás y detenerse).

Así por ejemplo, si queremos que el robot se desplacé hacia adelante, entonces por medio del programa se habilitan los diferentes pines que controlan esta instrucción, y al obtener un 1 lógico en los pines RA0, RA1, RA3, RA5, RB1, RB3 y RB5 del microcontrolador, y como estas salidas están conectadas directamente con los drivers por medio de los pines EN

e IN (ver figura 85), las seis ruedas tenderán a moverse hacia delante; y para las instrucciones de detenerse y atrás solo hay que referirse a la tabla 16.

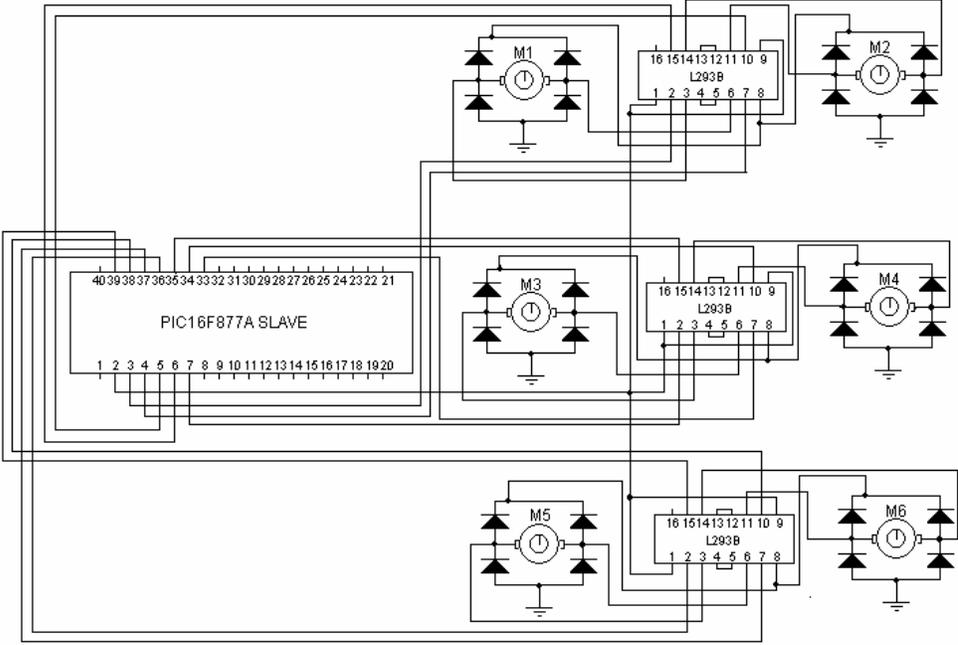
El siguiente diagrama de flujo muestra el manejo básico de los motoredutores:

Figura 88.-Diagrama de flujo para el control de motoredutores.



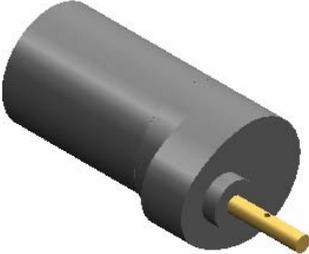
El circuito completo de la etapa de potencia de los motoredutores se observa en la figura 89, en donde se ve la conexión del microcontrolador 16F877A (SLAVE), con los tres integrados L293B y los seis motoredutores.

Figura 89.- Circuito de la etapa de potencia del robot móvil.



5.2.1 Potencia de los motoreductores.

Figura 90.- El motoreductor



Para determinar la potencia de cada motor se mide la corriente que consume cada uno de ellos con carga y se obtiene que:

$$P = VI$$

Donde V es la tensión de alimentación de los motoredutores e I la corriente medida, entonces se obtiene que:

$$V = 12\text{VDC}$$

$$I = 250\text{mA}$$

La potencia de cada motorreductor será:

$$P = 3\text{Watts}$$

5.3 SERVOMOTORES

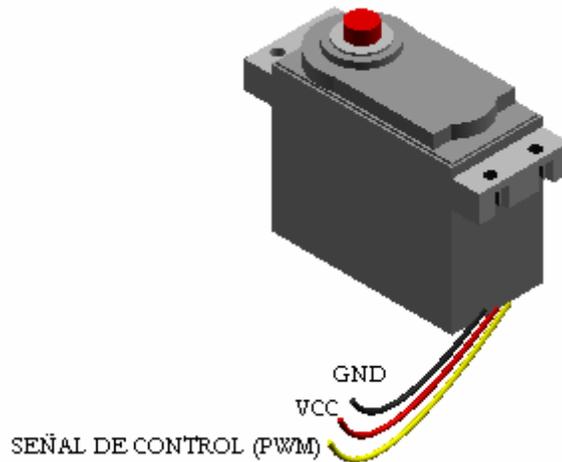
El servomotor es un dispositivo pequeño en forma de caja. Este esta conformado por un pequeño motor y por una serie de engranajes los cuales reducen su velocidad y multiplican su fuerza, también dispone de un circuito de control el cual gobierna todo el sistema.

5.3.1 Circuito de control de los servomotores

5.3.1.1 Conexión

La conexión de cada uno de los servomotores es muy sencilla, ya que cada uno de ellos dispone de un conector al que le llegan tres cables. El rojo que es el de la alimentación (6V DC), el negro que es tierra (GND) y el amarillo es el de la señal de control que va directamente al microcontrolador. En la figura 91 se observa uno de los servomotores Futaba S3010 utilizados en el robot.

Figura 91.- Conexión del servomotor Futaba S3010



5.3.1.2 Configuración de los pines del PIC16F877A(SLAVE) para los servomotores

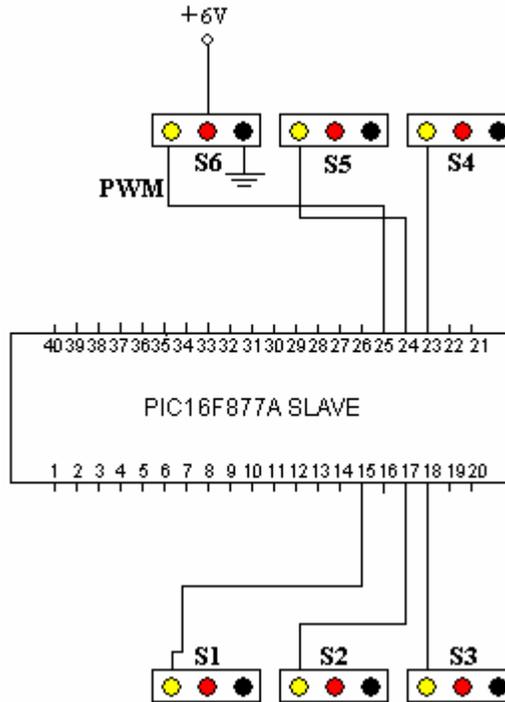
Para el manejo de los servomotores se utiliza también el microcontrolador 16F877A (SLAVE), ya que como se vio anteriormente, se encuentran habilitados el puerto A y el puerto B que son los encargados del control de los motoredutores; así que se utiliza el puerto C para poder controlar los seis servomotores que manejan la posición de cada una de las ruedas del robot. En la tabla 17 se observan los pines que controlan cada una de las ruedas.

Tabla 17.- Pines del 16F887A (SLAVE). Control de servomotores.

RUEDA	PINES	PUERTO C
1	15	RC0
2	17	RC1
3	18	RC3
4	23	RC4
5	24	RC5
6	25	RC6

Después de elegir que pines se van a utilizar, se hace la respectiva conexión entre el microcontrolador 16F877A (SLAVE) y los seis servomotores , para poder hacer las diferentes pruebas de cada uno de estos.

Figura 92.-Circuito de conexión de los servomotores al microcontrolador.



Para que el vehiculo se pueda desplazar en diferentes direcciones, necesita girar sus ruedas en diferentes ángulos.

5.3.1.3 Direcciones del Robot móvil.

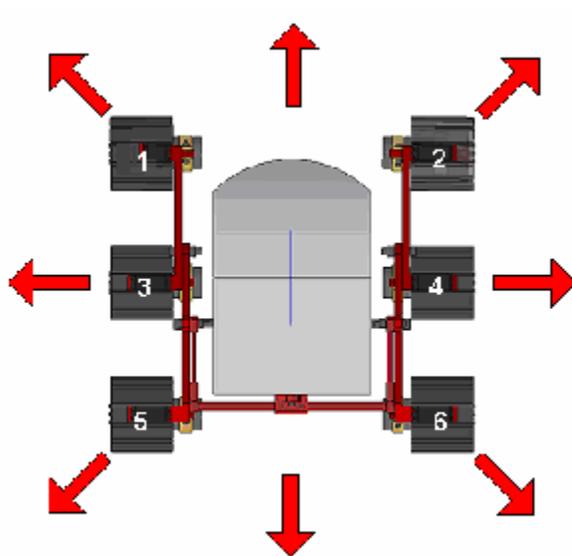
Se tomaron cinco ángulos importantes 0° , 45° , 90° , 135° y 180° , ya que con estos ángulos, el vehículo puede cubrir un número mayor de direcciones en el plano, y así colocando los servomotores en alguno de estos ángulos, el robot móvil podrá desplazarse en las diferentes direcciones.

Como se observa en la figura 93, las ruedas se puede posicionar en ángulos de 0° para las ruedas del lado derecho del vehículo y en 180° para las ruedas el lado izquierdo del vehículo, y así desplazarse hacia delante y hacia atrás.

El vehículo también puede girar las ruedas en ángulos de 90° , en esta posición el robot se desplazara de izquierda a derecha o viceversa (posición cangrejo).

Cuenta con ángulos de 45° y 135° , para así moverse de izquierda a derecha formando una trayectoria diagonal.

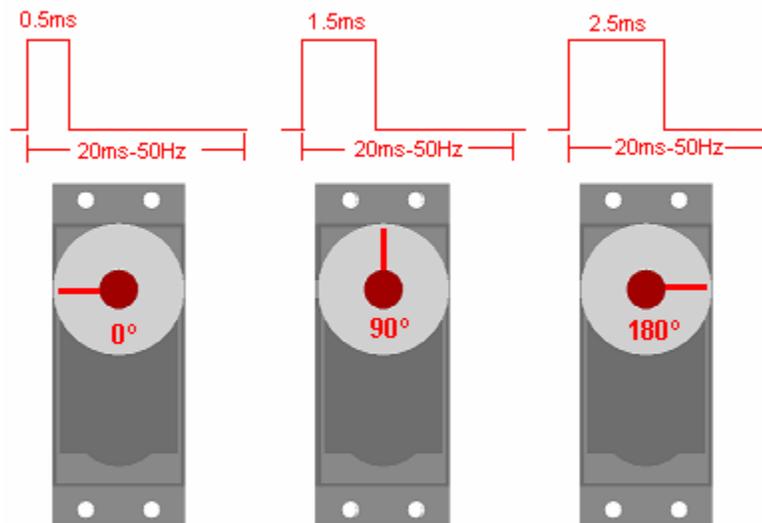
Figura 93.-Direcciones del Robot móvil.



5.3.2 Control de los servomotores por medio de PWM

Para el control de cada uno de los seis servomotores se utiliza la modulación por ancho de pulso (PWM), en donde por medio “órdenes”, que consisten en una serie de pulsos que son generados por el microcontrolador 16F877A(SLAVE). La duración de cada uno de estos pulsos indica el ángulo de posición de los servomotores. En la figura 94 se observan los ángulos principales con su respectivo ancho de pulso.

Figura 94.- Anchos de pulsos y ángulos principales del servomotor



Cada uno de estos anchos de pulso y periodos son generados por el microcontrolador, en donde por medio de retardos, se generan los diferentes tiempos para que cada servomotor se posicione en el ángulo deseado.

Los siguientes son los diagramas de flujo básicos para el posicionamiento de los servomotores mostrados en la figura 94.

Figura 95.-Diagrama de flujo para posicionar los servomotores en 0°.

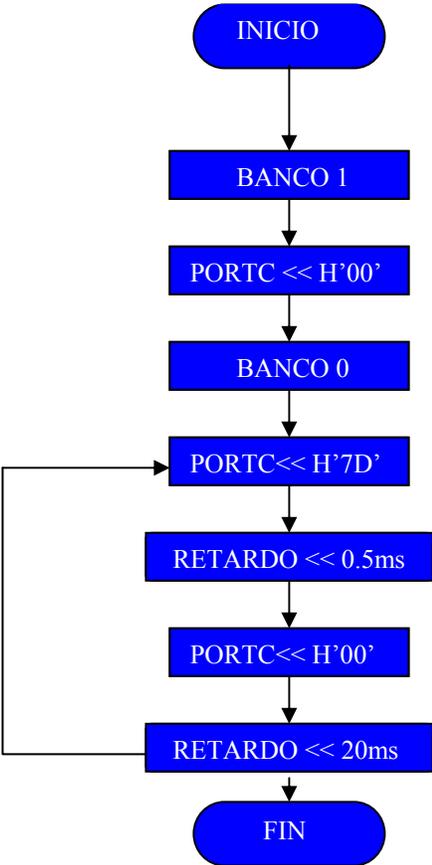


Figura 96.-Diagrama de flujo para posicionar los servomotores en 90°.

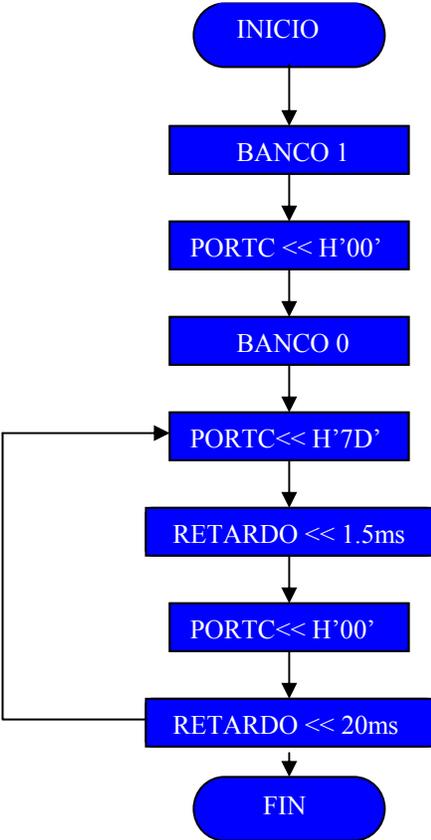
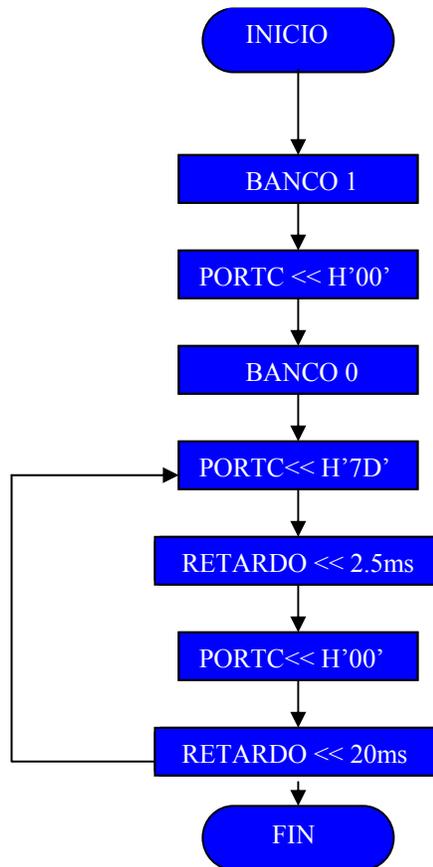


Figura 97.-Diagrama de flujo para posicionar los servomotores en 180°.



Como se observa en los diagramas de flujo, el ancho de cada uno de los pulsos esta definido por un retardo que es generado por el microcontrolador y que mantendrá en un nivel alto las salidas RCO, RC2, RC3, RC4, RC5 y RC6 durante la duración de tiempo de este retardo. Cuando estas salidas pasan a un nivel lógico bajo, se llama a otra rutina de retardo que es la encargada de generar el tiempo de los 20ms, para así obtener la frecuencia de trabajo de los servomotores (50Hz).

5.3.3 Potencia de los servomotores.

Cada uno de estos servomotores se alimenta con una tensión de 6V_{DC} y consumen una corriente de 1.5A (con carga) aproximadamente, cada vez que los servomotores giran en un ángulo determinado.

Con estos valores se puede calcular la potencia en cada uno de los servomotores.

Donde V es la tensión de alimentación e I la corriente medida cuando cada servomotor se posiciona en un ángulo determinado, entonces se obtiene que:

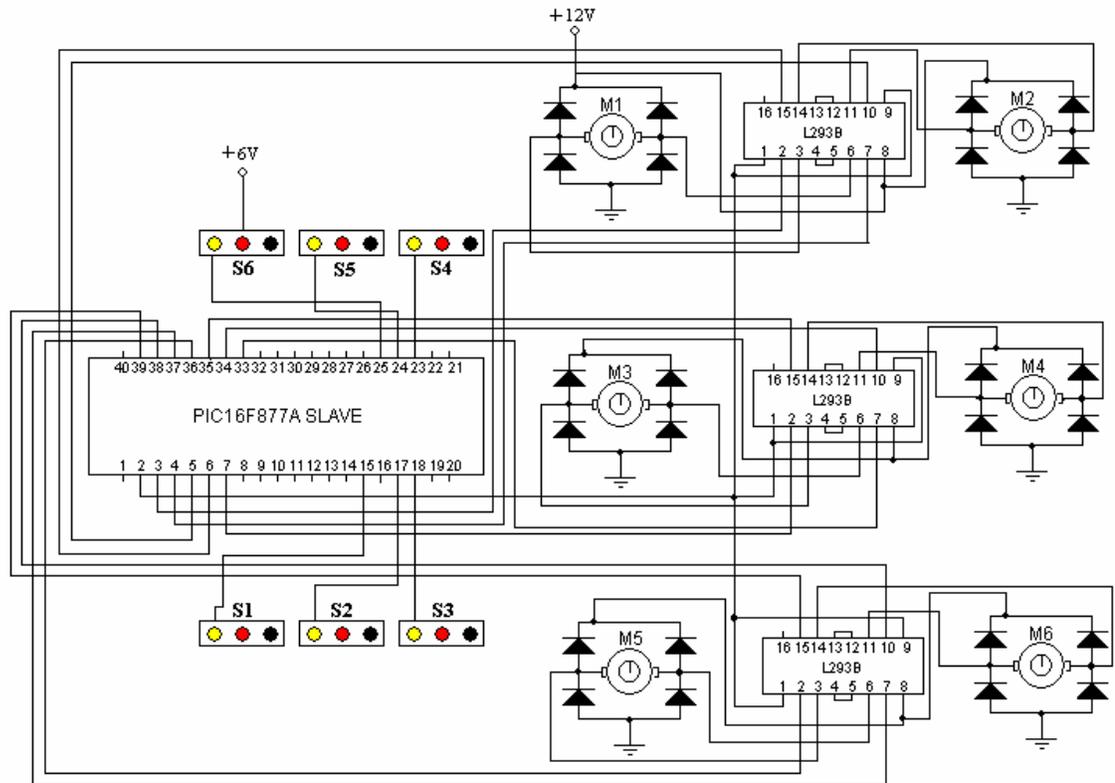
$$V = 6\text{VDC}$$

$$I = 250\text{mA}$$

La potencia de cada servomotor será:

$$P = 1.5\text{Watts}$$

Figura 98.-Circuito de control de los motoredutores y servomotores por medio del microcontrolador 16F877A(SLAVE).



5.4 SENSORES DE ULTRASONIDO (ULT) DEL ROBOT MÓVIL.

La pareja de sensores de ultrasonido tienen las siguientes características:

Transmisor-Receptor

- Referencia ZZ-5000
- Frecuencia: $40\text{kHz} \pm 1.0\text{ kHz}$
- Capacitancia: $2000\text{ p.F} \pm 30\%$
- Transmisor: Ancho de Banda, $4.0\text{kHz}/112\text{dB}$, nivel de la presión del sonido: $119\text{dB}/40 \pm 1\text{kHz}$.
- Receptor: Ancho de Banda: 3.5kHz a -71dB , sensibilidad mínima: $65\text{dB}/40 \pm 1\text{kHz}$, $R = 3.9\text{k}\Omega$
- Encapsulado de aluminio: $0.47''\text{H} \times 0,62''$ Diámetro.

Figura 99.-Sensores de ultrasonido.

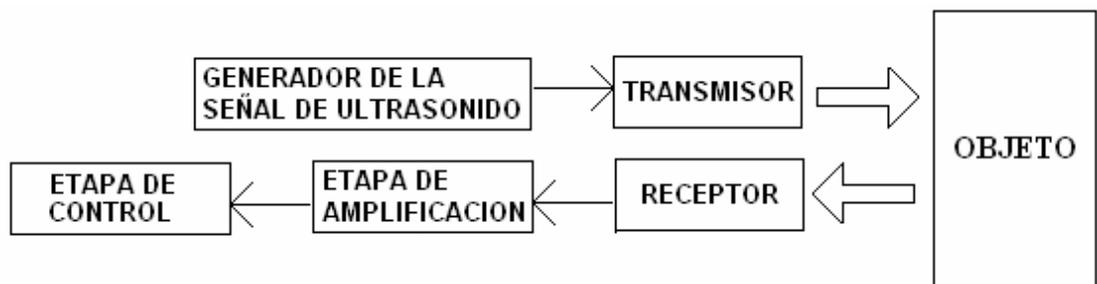


El Robot móvil debe tener la capacidad de moverse en el medio y evitar obstáculos, para esto se debe diseñar y construir el sistema de sensores de ultrasonido.

Este sistema esta compuesto por tres etapas:

- **Etapa transmisora:** Consiste en un circuito capaz de generar el tren de pulsos del transmisor del ultrasonido.
- **Etapa receptora:** es la encargada de percibir el eco que genera el ultrasonido cuando este rebota en algún objeto (obstáculo).
- **Etapa de control:** Se hace por medio del microcontrolador 16F877A (MASTER), el cual informa al sistema en que lado del vehiculo se encuentra algún obstáculo y axial caracterizar su entorno.

Figura 100.-Diagrama de bloques del sistema de los sensores de ultrasonido.



5.4.1 Etapa de transmisión.

Esta etapa esta conformada por un microcontrolador PIC 16F628, por dos flip-flop 74LS74A, por cuatro etapas de potencia tipo H, basada en transistores BD139 y BD138.

Por medio del microcontrolador PIC16F628, se genera un tren de pulsos con un periodo de 12.5us para una frecuencia de 80kHz y una magnitud que varia entre 0 y 5 voltios. Estos pulsos son enviados a través del pin 6 (RB0) del microcontrolador.

Figura 101.-Diagrama de flujo para generar 80khz.

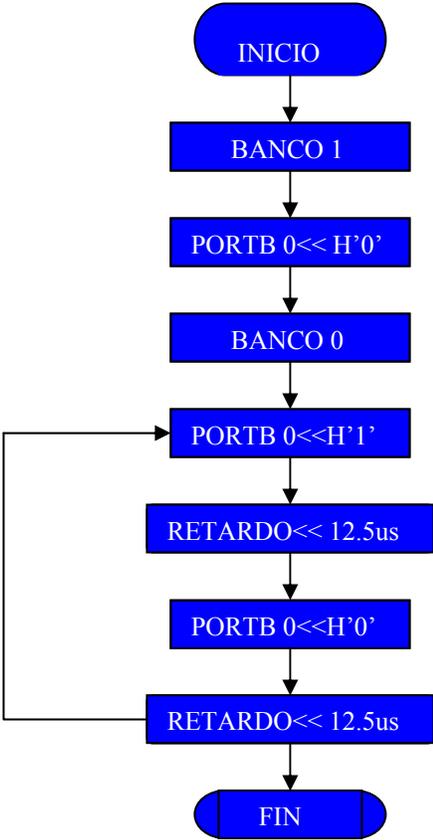
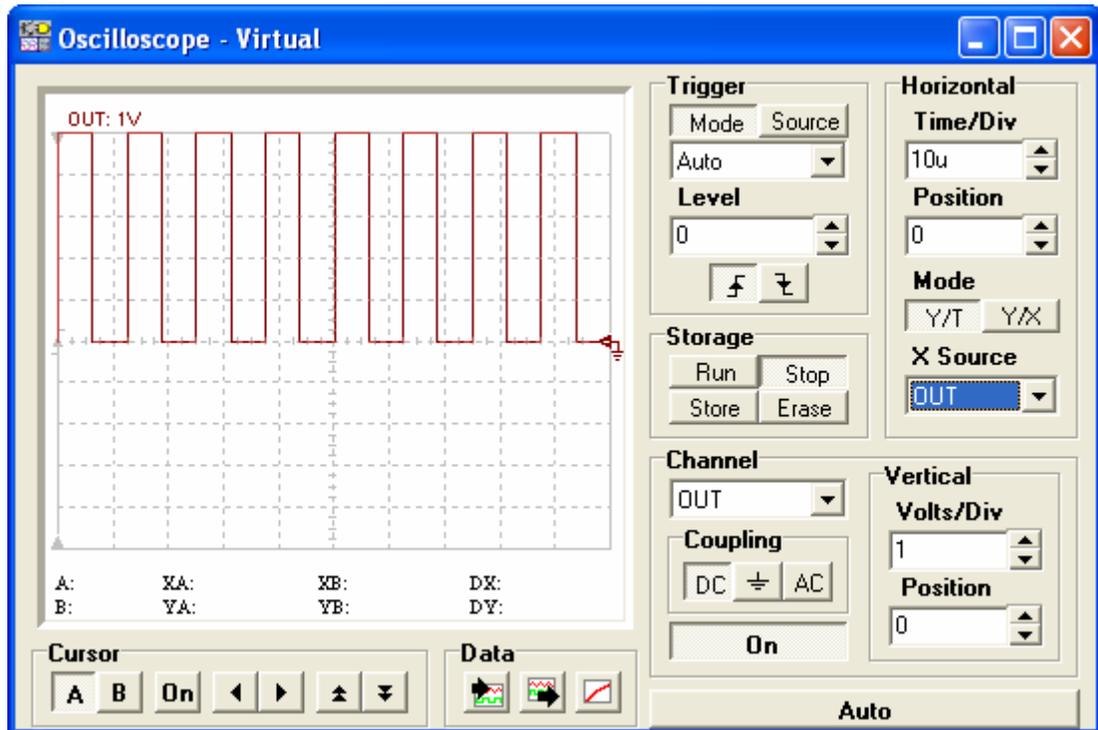


Figura 102.- Salida de tren de pulsos a una frecuencia de 80kHz



Esta señal de 80kHz enviada por el microcontrolador es recibida por los flip-flop 74LS74A a través del pin 3 (CLK). La salida del pin 6 (Q^-) está conectada a la entrada del pin 2 (D), entonces, cuando el nivel del reloj cambia de un estado de nivel bajo a un estado de nivel alto se lee la entrada del flip-flop (D), colocando en la salida del pin 5 (Q) el mismo dato. Entonces como el flip-flop es un divisor de frecuencia, se obtiene a las salidas de este, las dos frecuencias de resonancia de 40kHz que excitarán a los dos conectores del sensor de ultrasonido. En la figura 103 se observa la conexión del PIC16F628 con el flip-flop 74LS74A.

Figura 103.-Circuito de conexión entre el PIC16F628 con el flip-flop 74LS74A

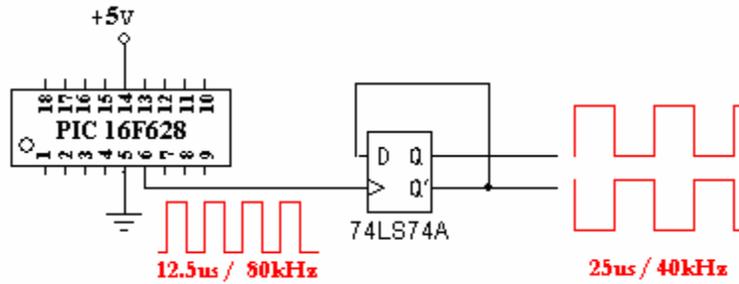
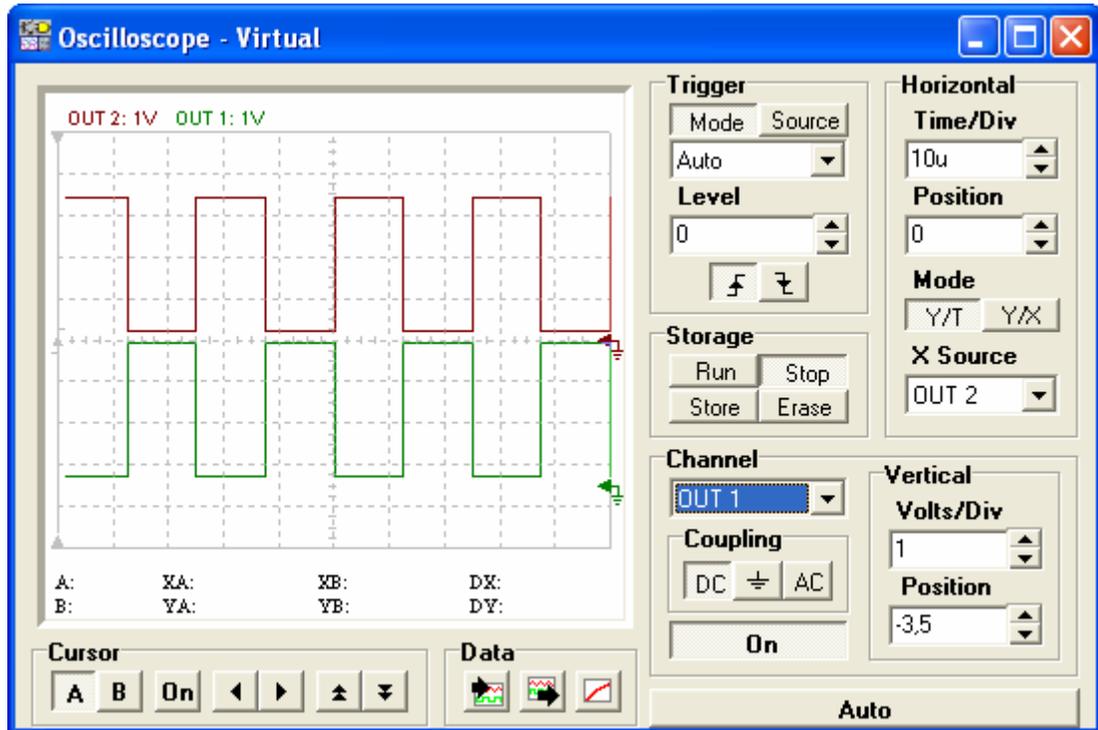


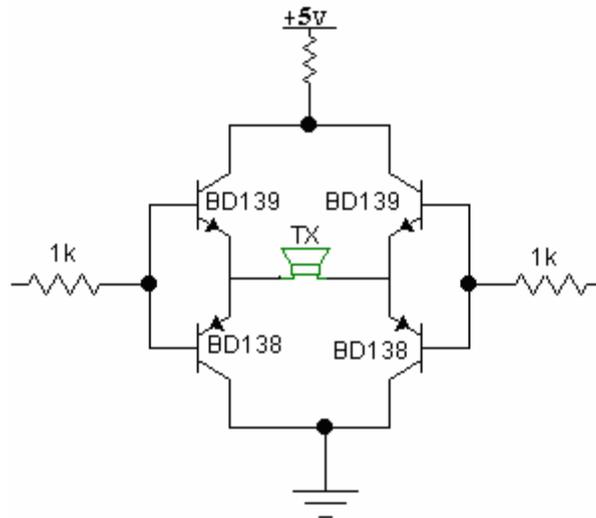
Figura 104.- Señal de salida de los 40kHz, obtenidas de Q Y Q⁻.



Para mejorar la corriente de estas dos señales que van a hacer entregadas a los sensores de ultrasonido, se pasan por un puente H con transistores que suplen las necesidades de corriente del ultrasonido (100mA). El puente H esta compuesto por cuatro transistores de

mediana potencia. Dos transistores BD1359 (NPN) y dos BD138 (PNP), como se ilustra en la figura 100.

Figura 105.-Puente H con los transistores BD139 y BD138



Estos transistores están diseñados para el cambio rápido de estado lo que es bueno ya que tienen que soportar las señales de 40kHz. La señal que llega a los terminales del sensor de ultrasonido se ilustra en la figura 106.

Figura 106.- Señal entregada al sensor de ultrasonido.

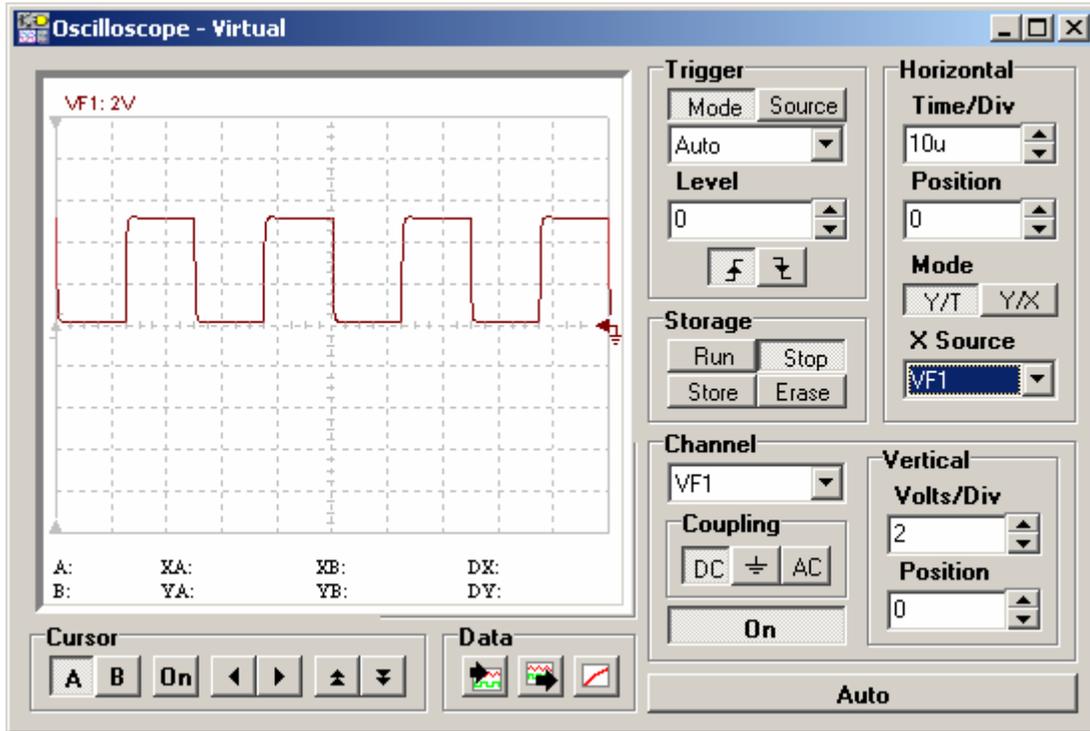
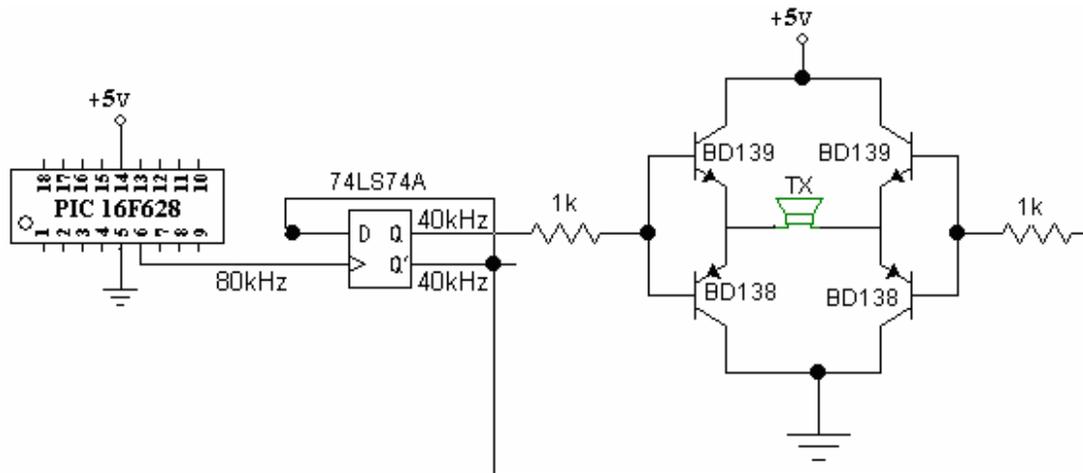


Figura 107.- Circuito de la etapa de transmisión para el sensor de ultrasonido.

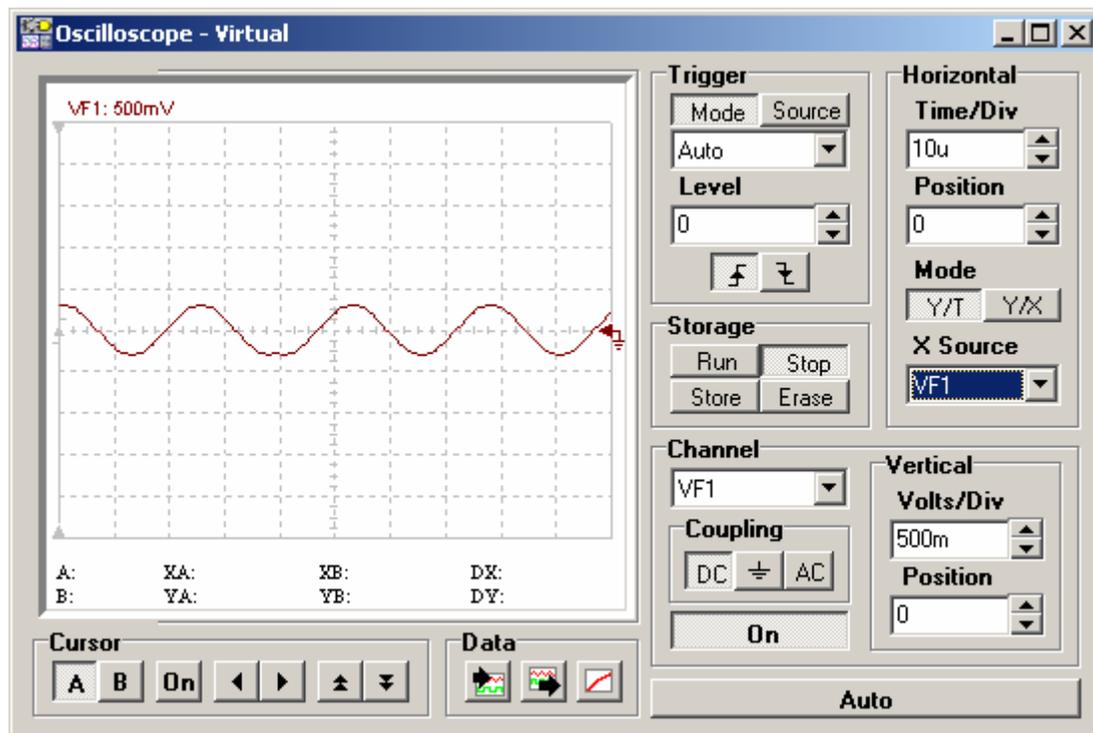


5.4.2 Etapa de recepción.

El receptor de ultrasonido recibe señales audibles a la misma frecuencia del transmisor o sea 40kHz, ofreciendo una gran ventaja en cuanto a la filtración y calidad de la señal recibida.

La señal recibida por el receptor es la siguiente:

Figura 108.- Señal recibida por el receptor de ultrasonido.



Como la señal que llega el receptor es tan débil aproximadamente 300mV, se toma la señal y se pasa por una primera etapa de amplificación que se realiza por uno de los amplificadores del LF353 configurado como ganancia.

Para hallar los valores de las resistencias y obtener una ganancia de 100 veces se tiene que:

$$A = -\frac{R_f}{R_1}$$

En donde $R_1 = 10K\Omega$

$$R_f = 100 \times 10K\Omega$$

$$R_f = 1M\Omega$$

Figura 109.-Circuito de la primera etapa de amplificación del receptor de ultrasonido.

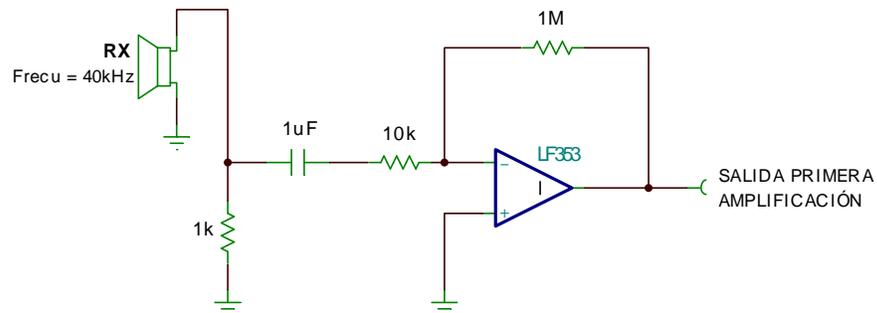
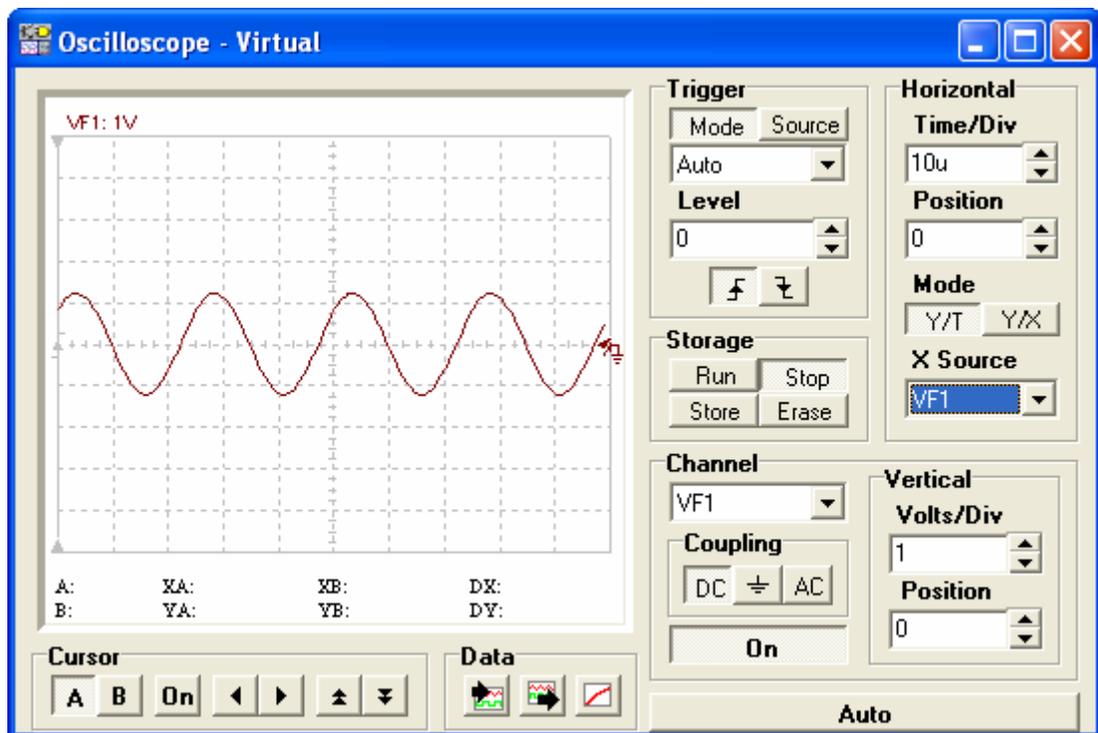


Figura 110.-Señal obtenida de la primera etapa de amplificación del receptor de ultrasonido.



Como se observa en la figura 110, ya se obtuvo un voltaje de 2V, para mejorar la señal y poderla entregar al microcontrolador 16F877A(MASTER), se pasa por una segunda etapa de amplificación con una ganancia de 5 veces y se tiene que:

$$A = -\frac{R_f}{R_1}$$

En donde $R_1 = 10K\Omega$

$$R_f = 5 \times 10K\Omega$$

$$R_f = 50K\Omega$$

Figura 111.- Circuito de la segunda etapa de amplificación del receptor de ultrasonido.

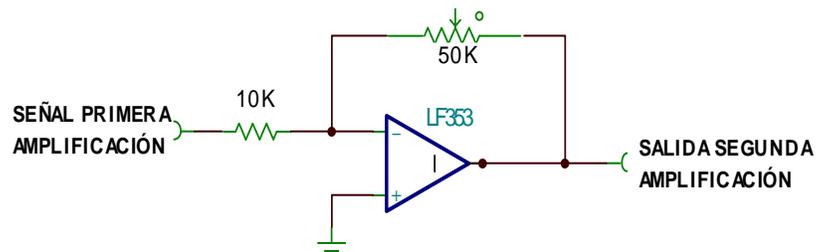
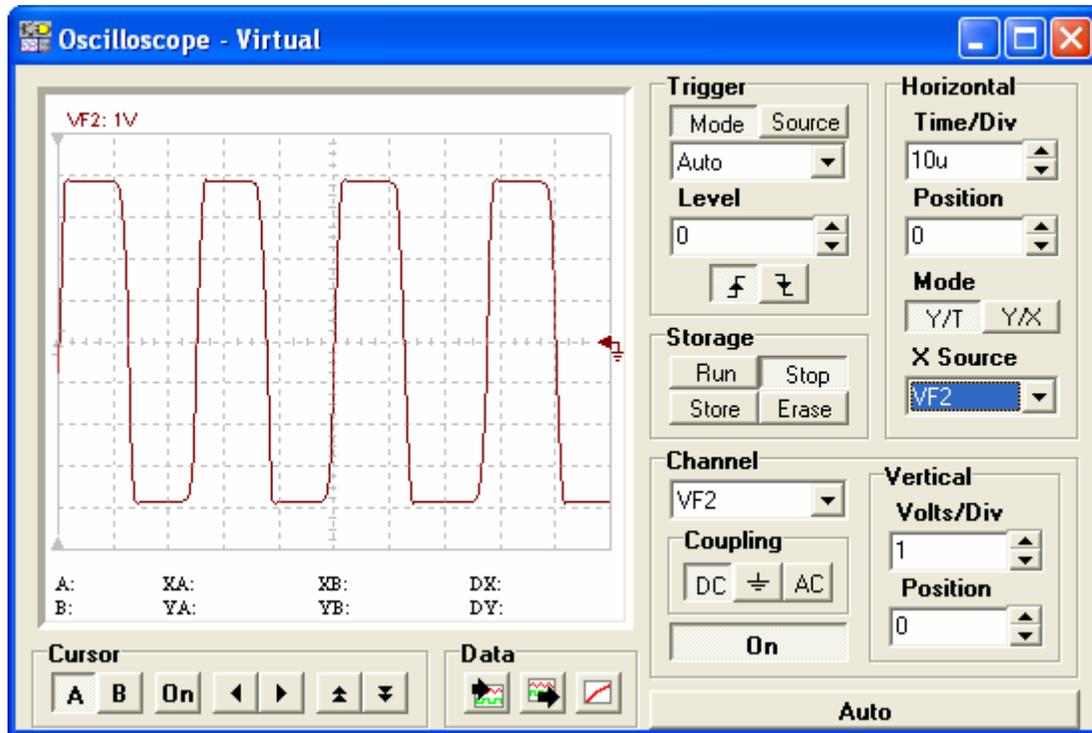


Figura 112.-Señal obtenida de la segunda etapa de amplificación del receptor de ultrasonido.



Como se observa en la grafica de la segunda amplificación ya se obtiene un voltaje de 5Vp DC, pero se necesita eliminar el ciclo negativo de la señal y así entregarla al microcontrolador.. Entonces por medio de unos diodos Schottky, en donde un diodo se coloca en directo para rectificar la onda y el otro diodo en inverso, para anular la parte negativa.

Figura 113.-Circuito para eliminar el ciclo negativo de la señal de ultrasonido.

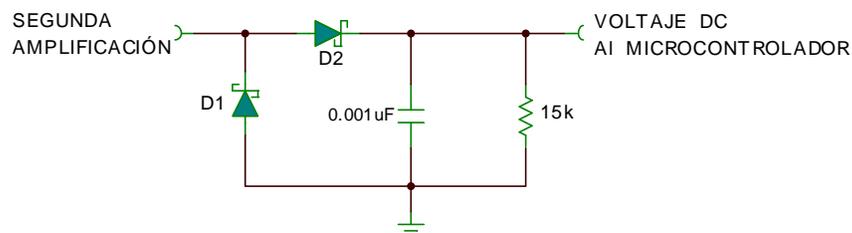
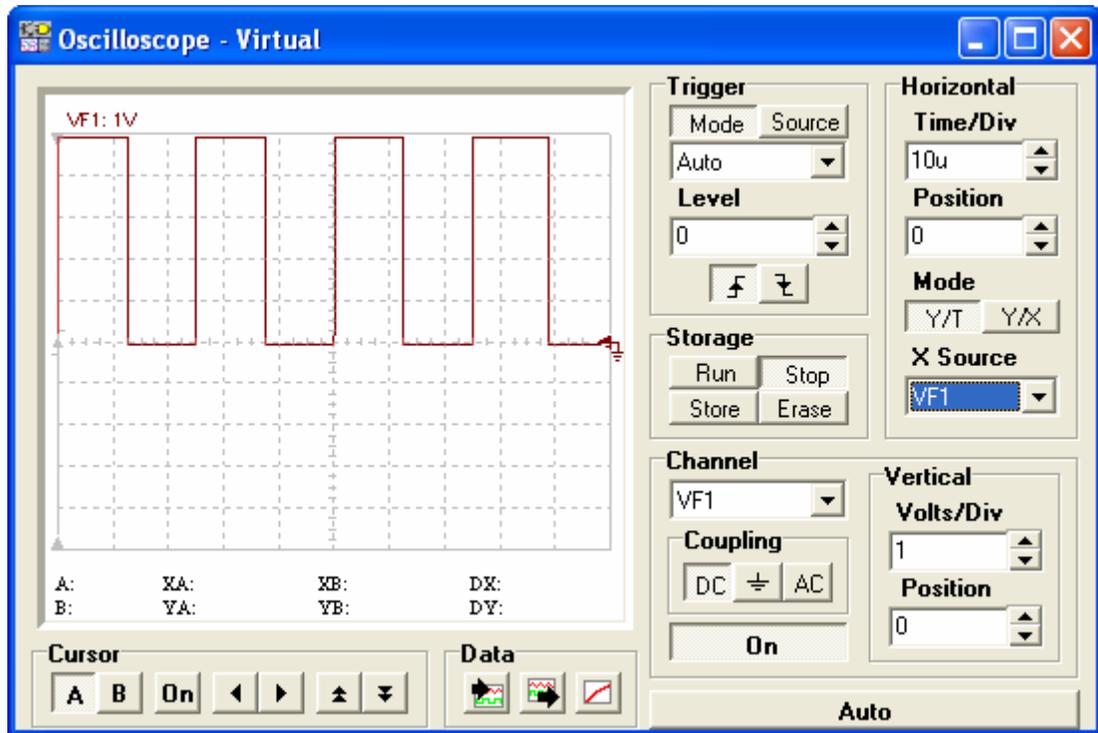
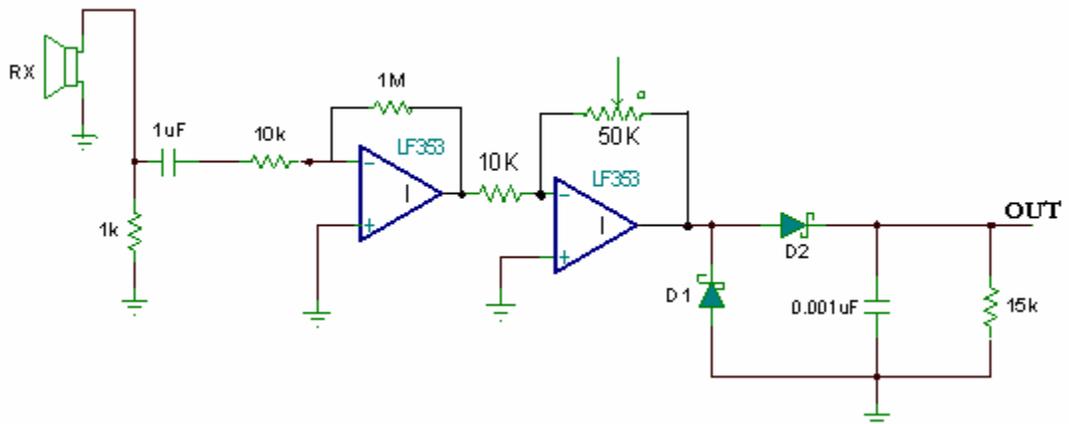


Figura 114.- Señal obtenida después de eliminar el semiciclo negativo de la señal de ultrasonido.



Esta es la señal que se entrega al microcontrolador PIC16F877(MASTER).

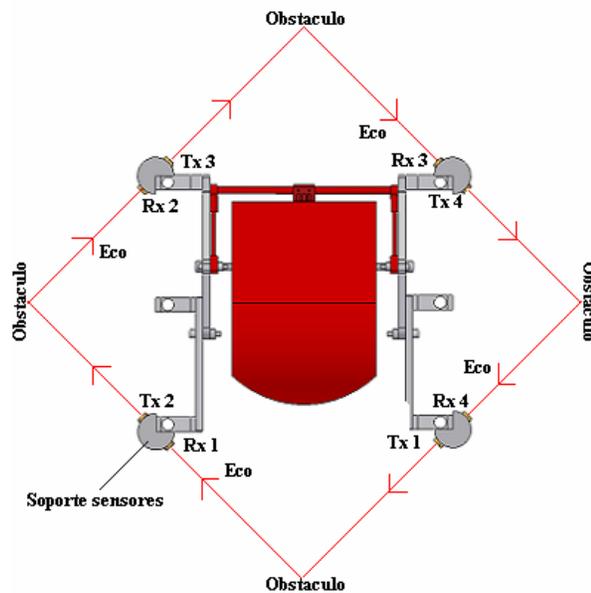
Figura 115.- Circuito completo de la etapa de recepción de la señal de ultrasonido.



5.4.3 Ubicación de los sensores de ultrasonido en el Robot.

Para evitar que el Robot colisione con algún obstáculo, se colocan los sensores de ultrasonido en lugares estratégicos, por lo cual se ubican cada pareja de sensores como se ilustra en la figura 116.

Figura 116.- Esquema de distribución de los sensores de ultrasonido en el Robot.



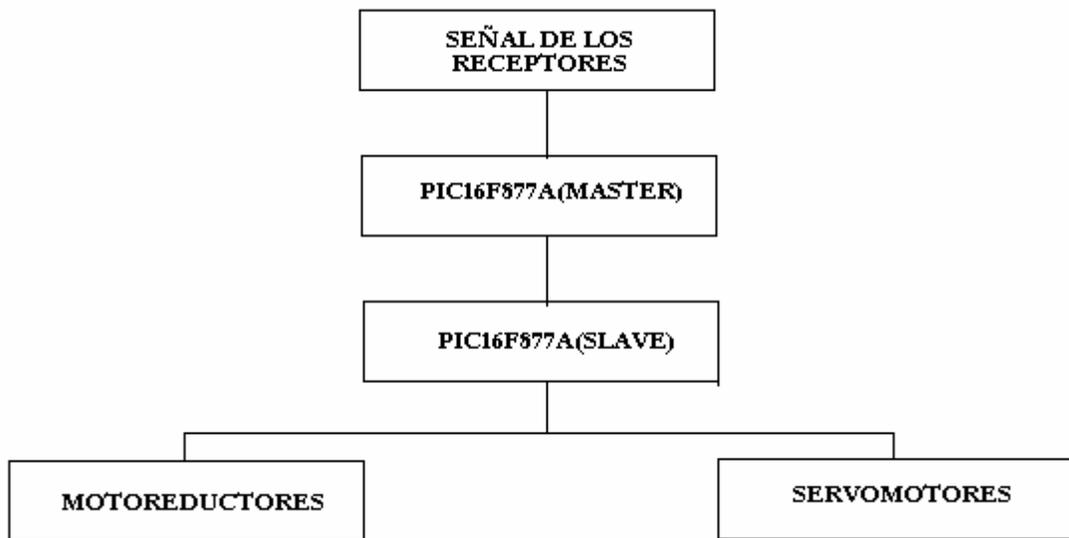
Cada transmisor y receptor está ubicado en el soporte de los servomotores con un ángulo de 45° , los cuales forman un arco, haciendo que cada lado del vehículo quede protegido de algún obstáculo que se encuentre en el trayecto.

5.4.4 Etapa de control de la señal de ultrasonido

Esta etapa es una de las más importantes del Robot móvil, ya que es la que define la trayectoria del vehículo, se hace a través del microcontrolador PIC16F877A(MASTER),

donde por medio de los pines 2(RA0), 3(RA1), 4(RA2), y 5(RA3) que son los encargados de recibir la señal procedente de cada uno de los receptores y después informar al microcontrolador PIC16F877A(SLAVE) a que lado del vehiculo se encuentra algún obstáculo y así controlar los motoredutores y los servomotores.

Figura 117.- Diagrama de bloques de la etapa de control de la señal de ultrasonido.

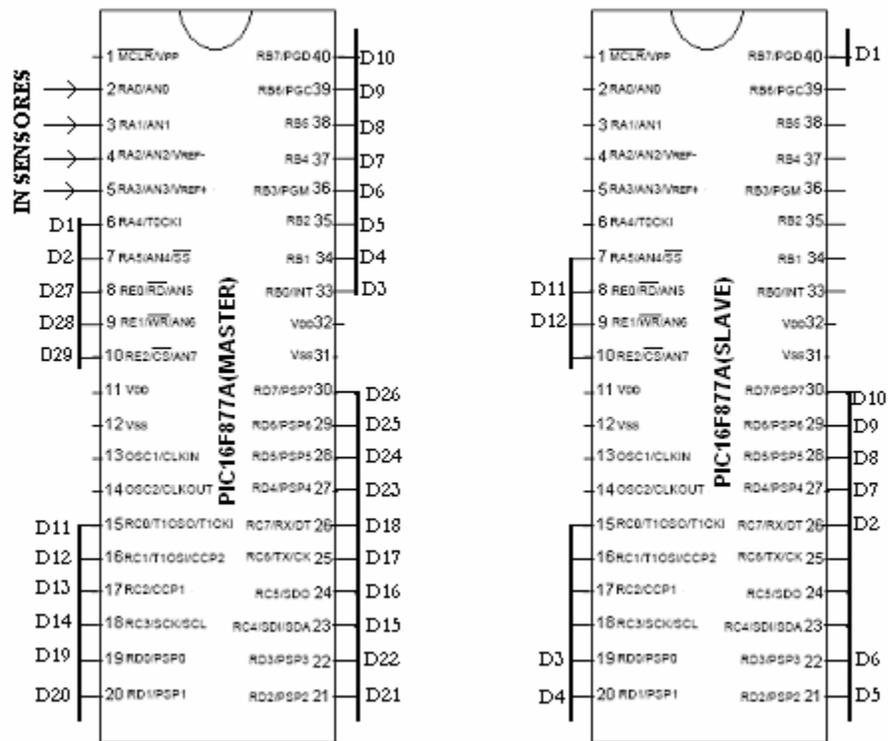


Estos pines se encuentran configurados dentro del programa de la siguiente manera:

- (RB0)---- SENSOR FRENTE
- (RB1)---- SENSOR LADO DERECHO
- (RB2)---- SENSOR LADO IZQUIERDO
- (RB3)---- SENSOR POSTERIOR

Cada uno de estos pines son señales de entrada al PIC16F877A(MASTER), los demás pines son salidas que están comunicados con el PIC16F877A(SLAVE) a través de un bus de datos. En la figura 118, se muestra la conexión.

Figura 118.- . Conexión PIC16F877A(MASTER) y el PIC16F877A(SLAVE).



Si el Robot se encuentra un obstáculo delante de el, entonces en el pin 2 (RA0--- SENSOR FRENTE) del PIC 16F877A(MASTER) habrá un 1 lógico, entonces por medio del programa sabrá que no puede continuar. Cuando esto sucede se envía un dato (D1) por medio del pin 6 (RA4) el cual esta comunicado con el PIC16F877A(SLAVE) mediante el pin 40(RB7) configurado como entrada, al detectarse este nivel lógico alto inmediatamente se envían las diferentes señales tanto a los motoredutores y servomotores, para así detener el vehiculo y posteriormente girar sus ruedas y poder evadir el obstáculo.

Figura 119.- Diagrama de flujo del PIC16F877A (MASTER).

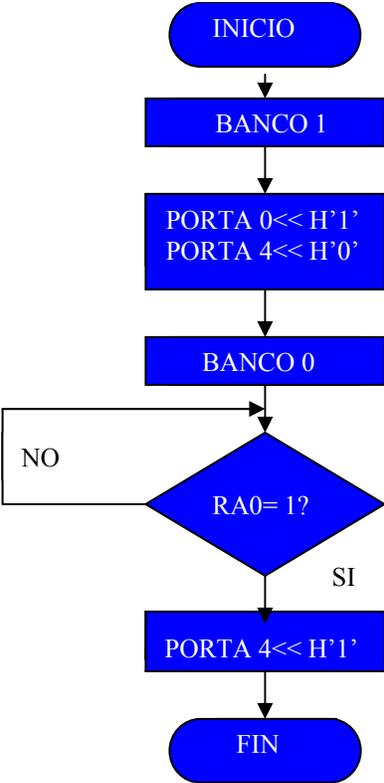
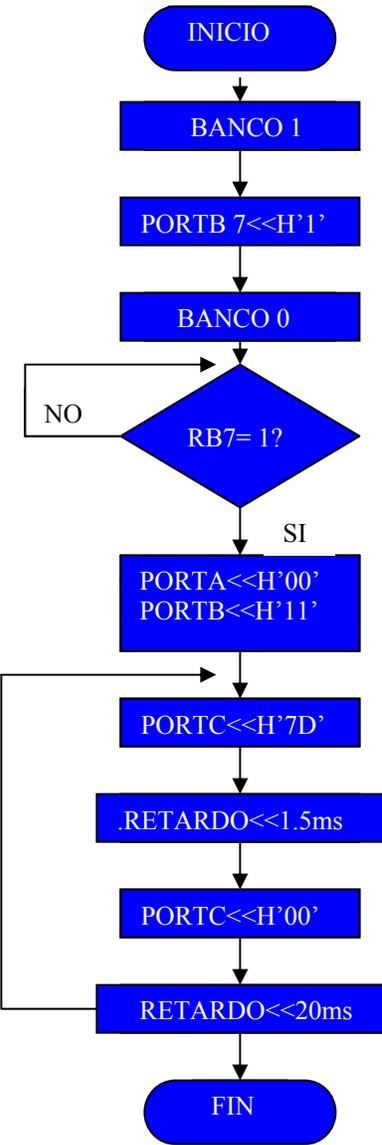


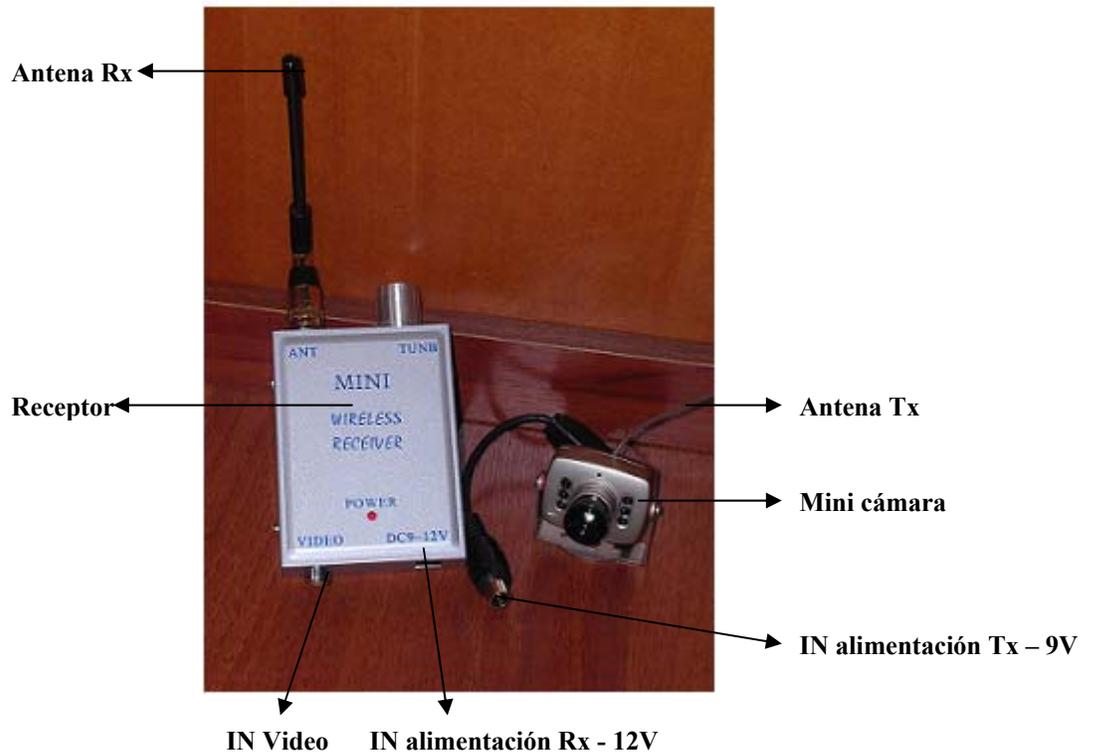
Figura 120.- Diagrama de flujo del PIC16F877A(SLAVE).



5.5 MINI CAMARA

El robot esta equipado con una mini cámara inalámbrica, la cual tiene un alcance de 60mts, la función de esta es la de visualizar el terreno en el cual se desplaza el vehiculo. En la figura 121 se muestra los componentes de la mini cámara.

Figura 121 .-Componentes de la mini cámara.



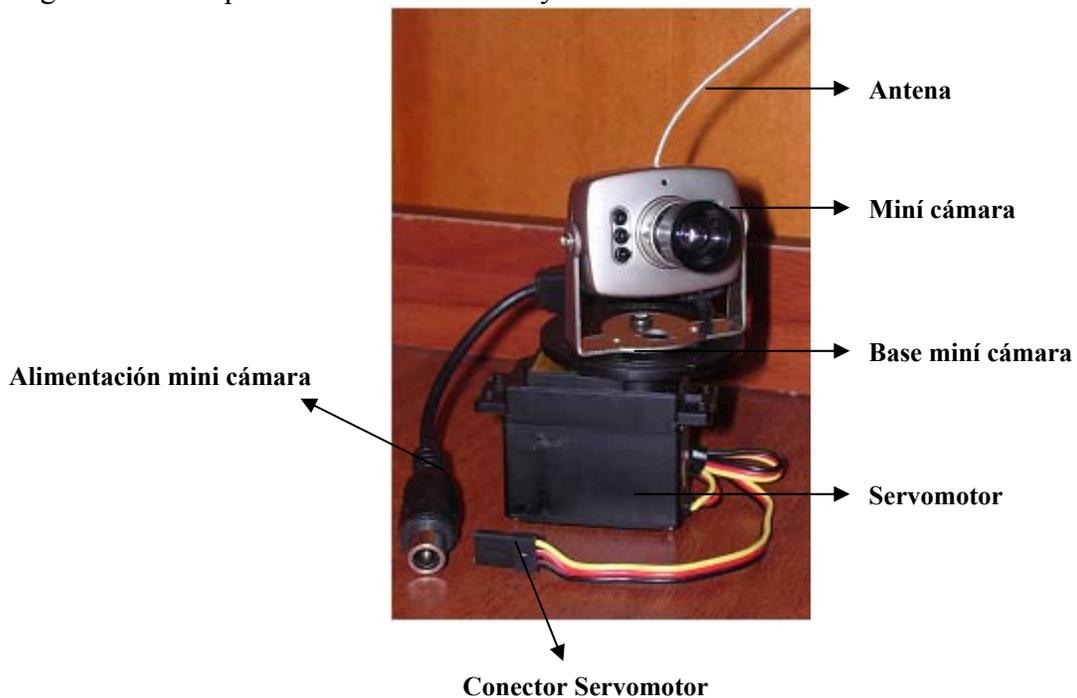
Especificaciones de la mini cámara

- Escaneado : 2:1 entre línea.
- Salida de video : Vpp (75ohm).
- S/N radio: > 46dB.
- Resolución: 420TV líneas.

- Dimensiones: 36 mm largo / 35,5 mm ancho / 28 mm alto (lente captadora basculante).
- Alimentación del receptor: 9V (200-500mA).
- Alimentación de la cámara: 9V(200-500mA).

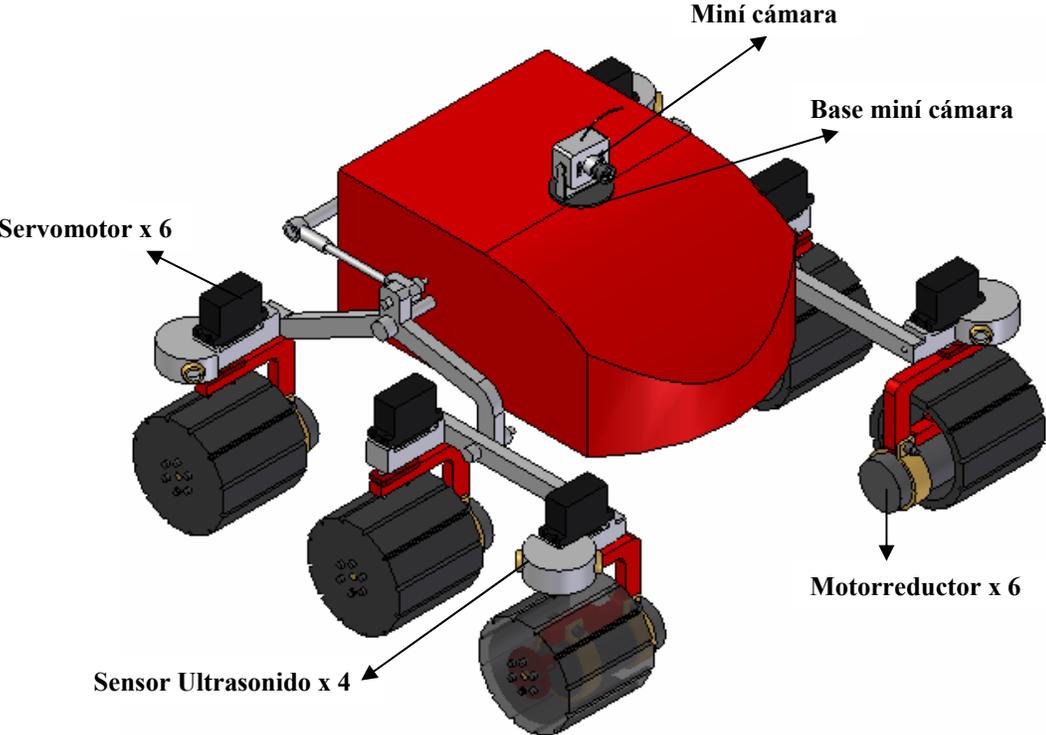
La mini cámara se encuentra instalada encima del Robot (chasis), puede girar 180° ya que esta situada en la base de un servomotor, el cual es controlado por medio de PWM.

Figura 122.-Acople entre la mini cámara y el servomotor



El servomotor se encuentra conectado al microcontrolador PIC 16F877A (SLAVE), a través del pin 16(RC1), encargado de enviarle los diferentes pulsos para la posición. La mini cámara se puede posicionar en los ángulos de 0°, 45°, 90° y 180° y así tener una cobertura de toda la parte delantera del Robot móvil. En la figura 123 se observa la ubicación de la mini cámara en el Robot.

Figura123.-Ubicación de la mini cámara en el Robot



6. CONSTRUCCION DEL ROBOT

6.1 RESULTADOS DEL DISEÑO MECANICO

En el diseño mecánico del robot se muestran los modelos diseñados en Solid Edge, a continuación se observan las imágenes de cómo a partir de los planos adquiridos de las diferentes piezas se a construido el prototipo real, elaborados en el laboratorio de mecánica de la universidad de San Buenaventura.

El chasis es una caja con tapa, caracterizado con un material con la que ha sido elaborada que permite al ser sellada actuar como una jaula de Faraday, de esta manera evitar que los campos magnéticos del exterior afecten el circuito de control que ésta contiene.

Figura 124.-Chasis tipo jaula de Faraday



En esta imagen se encuentra un primer plano de uno de los seis soportes del servomotor que son adaptados tanto en Rocker como en el bogie, consta de cinco agujeros, cuatro roscados para fijar el servomotor y uno pasante para permitir que el eje del mismo se mueva libremente.

Figura 125.-Soporte para el servomotor



Figura 126.-Soporte del sensor de ultrasonido



En la siguiente imagen se puede apreciar el Rocker en aluminio, el cual contiene el soporte del servomotor, y el soporte de los sensores.

Figura 127.-Rocker con la adaptación para el servomotor y para los sensores



Para mecanizar las piezas del robot móvil se ha utilizado maquinas como el torno y la fresa. En la figura 128 se puede apreciar un instante del modelamiento del Bogie en el torno.

Figura 128.-Modelamiento del Bogie



Como se mencionaba anteriormente el Bogie es la pieza móvil del robot, la cual comprende en sus extremos los soportes para los servomotores y los sensores.

Figura 129.-Bogie con la adaptación para el servomotor y el sensor



El motoreductor seleccionado le permite al vehículo la potencia necesaria para su desplazamiento, como se puede observar el eje del motor es descentralizado lo que complica el diseño, puesto que el eje del mismo debe coincidir con el eje de la rueda. En la siguiente figura se observa el servomotor con su respectivo Rin El cual está caracterizado por seis agujeros roscados los cuales permiten que la rueda sea ensamblada al sistema de dirección.

Figura 130.-Los seis motoreductores para el robot móvil.



La figura 131 muestra una pieza en forma de C, fabricada en aluminio, la cual cumple dos funciones importantes, permitir que el motoreductor coincida con el eje de la rueda y que a su vez la rueda reciba el movimiento transmitido por ella.

Figura 131.-Imagen de las seis piezas C.



Una de las piezas mas importantes del robot móvil son las ruedas, consta de un cilindro de 8 cm. de ancho con una tapa en la figura 132 se aprecia su diseño final y en la figura 133 las seis ruedas en aluminio.

Figura 132.-Ruedas cilíndricas fabricadas en aluminio.



Figura 133.-Imagen de las seis ruedas.



La suspensión posterior esta conectada en la parte posterior del chasis por medio de un soporte, el cual tiene un agujero en el centro por donde va a sostener el eje. En la figura 134 Se observa los detalles finales del soporte hechos en la fresadora.y en la figura 135 se observa el diferencial ensamblado con sus respectivos ejes

Figura 134.-Últimos detalles en la fabricación del soporte del diferencial

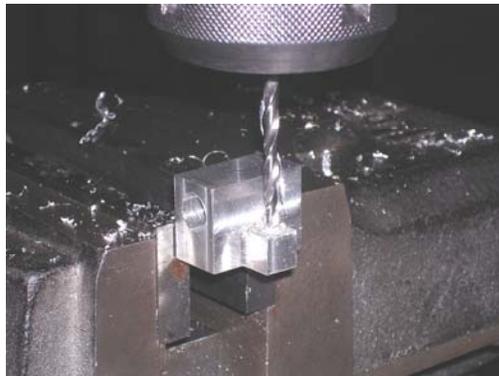


Figura 135-La suspensión posterior ensamblado.



Una vez ensambladas todas las piezas se obtiene el modelo final del robot como se observa en la figura 136

Figura 136-Imagen del robot terminado.



Figura 137-Imagen del robot superando un obstáculo



6.2 RESULTADOS DEL DISEÑO ELECTRONICO

6.2.1 Baterías del Robot

Para la alimentación del vehículo explorador se utilizaron dos clases de baterías de la marca PALMA. Una batería de 12V a 2.6 AH y dos baterías de 6V a 1.3 AH, Las cuales se utilizaron para hacer una fuente dual de +6V y -6V.

Dimensiones de la batería de 12V: 175mm x 60mm x 35mm.

Dimensiones de las baterías de 6V: 95mm x 50mm x 22mm.

Figura 138.- Baterías



6.2.12 Tarjeta de control de los servomotores y motoredutores.

Figura 139.-Foto de la tarjeta de control servomotores – motoredutores.

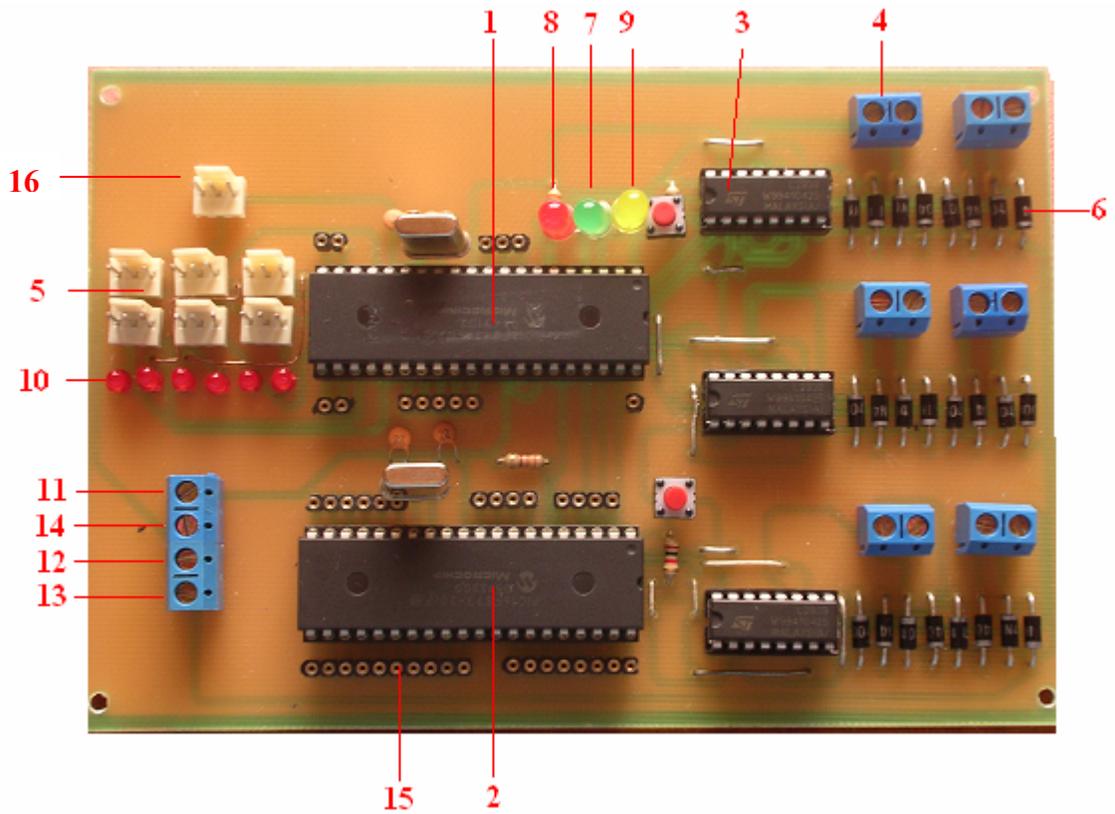


Tabla 18- Descripción tarjeta servomotores – motoreductores.

NUMERO	DESCRIPCIÓN
1	Microcontrolador PIC16F877A(SLAVE): encargado de enviar las señales de control a los motoreductores y servomotores.
2	Microcontrolador PIC16F877A(MASTER): recibe las señales obtenidas por los sensores de ultrasonido, y envía datos al microcontrolador PIC16F877A(SLAVE)
3	L293B x 3: control del giro (Driver), para los motoreductores.
4	Borneras Motoreductores x 6: potencia del Robot.
5	Jumper Servomotores x 6: motores de posición.
6	Diodos 4007 x 24: protección antirretorno.
7	Led verde: indica el encendido de los motoreductores.
8	Led rojo: avisa que el robot se desplaza hacia delante.
9	Led amarillo: avisa que el robot se desplaza hacia atrás.
10	Leds rojos x 6: indican que hay una señal de PWM, en los servomotores.
11	Entrada de 5V:
12	Entrada de 6V:
13	Entrada de 12V:
14	Bornera: GND
15	Conectores bus de datos
16	Jumper: servomotor donde se ubica la miní cámara

6.2.2 Tarjeta de control de transmisión y recepción de los sensores de ultrasonido.

Figura 140.-Foto de la tarjeta de sensores de ultrasonido.

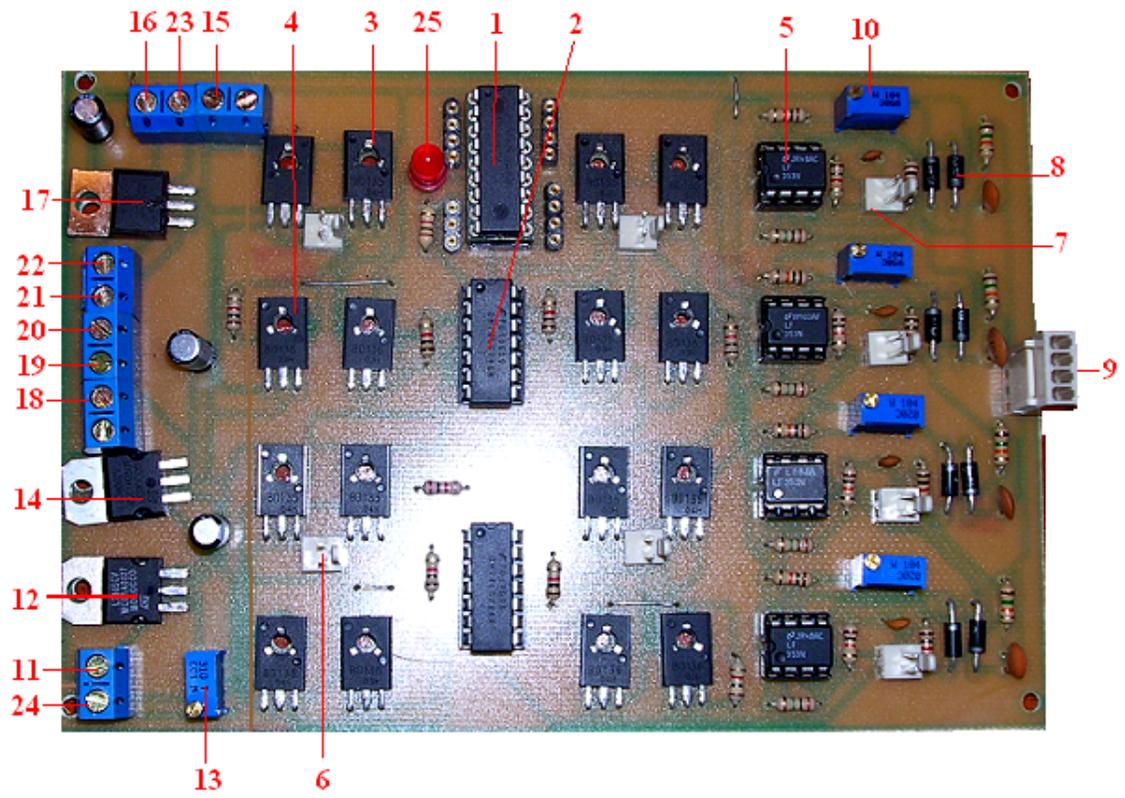


Tabla 19-Descripción de la tarjeta de sensores de ultrasonido

NUMERO	DESCRIPCION
1	Microcontrolador 16F628: generador de frecuencia 80kHz.
2	Flip-Flop 74LS74 x 2: divisor de frecuencia 40kHz.
3	Transistores BD139 (NPN) x 8: puente H
4	Transistores BD138 (PNP) x 8: puente H.
5	Amplificador LF353 x 4: amplifican la señal de ultrasonido.
6	Jumper x 4: transmisor de ultrasonido
7	Jumper x 4: receptor de ultrasonido
8	Diodos Shottky x 8: eliminación del semiciclo negativo
9	Bus de datos: Conexión con el PIC16F877A(MASTER).
10	Trimmer 100k Ω x 4: Variación de la ganancia

En esta misma tarjeta se encuentran las entradas y salidas de alimentación de todo el circuito.

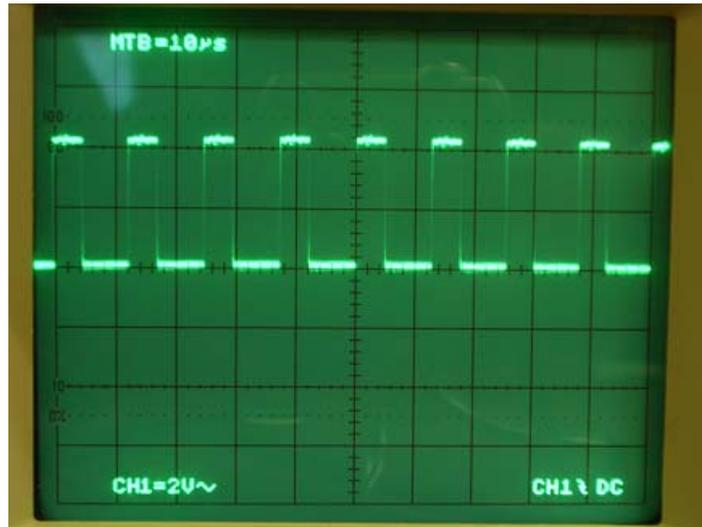
Tabla 20-Descripción de la tarjeta de Alimentación

NUMERO	DESCRIPCION
11	Bornera: Entrada de 12V
12	Regulador LM7805: Por medio del potenciómetro de 10k Ω se obtiene la salida de 6V.
13	Potenciómetro de 10k Ω
14	Regulador LM7809: 9V.
15	Bornera: Entrada de +6V
16	Bornera: Entrada de – 6V
17	Regulador LM7805: 5V
18	Bornera: Salida de 12V alimentación de los motorreductores
19	Bornera: Salida de 9V alimentación de la mini cámara
20	Bornera: Salida de 6V alimentación de los servomotores
21	Bornera: Salida de 5V alimentación de la electrónica en general
22, 23, 24	Borneras: GND
25	Led indicador de frecuencia 80kHz

A continuación se muestran las diferentes señales obtenidas de la etapa de transmisión y recepción del sensor de ultrasonido, tomadas del laboratorio de electrónica de la Universidad de San Buenaventura.

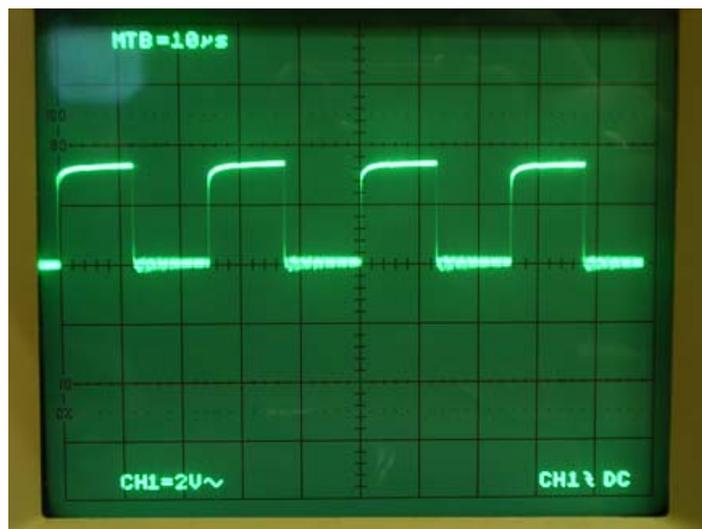
- **Señal de 80kHz:** Esta señal es generada por el microcontrolador PIC16F628.

Figura 141.-Foto de la señal de 80kHz.



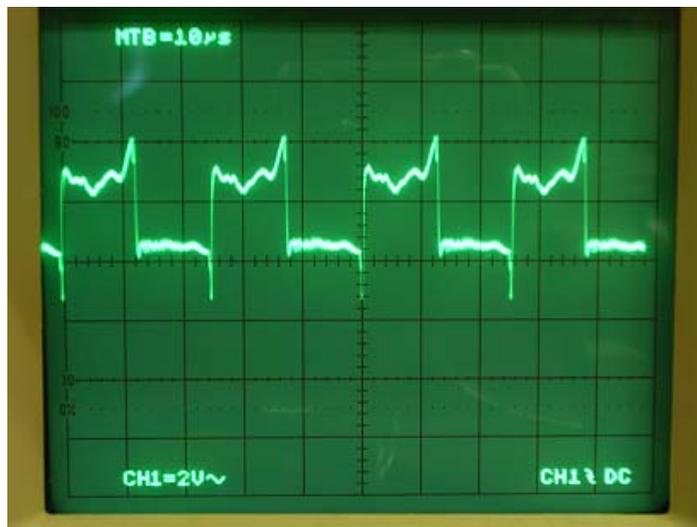
- **Señal de 40kHz:** Se obtiene a la salida de los flip-flop 74LS74.

Figura 142.-Foto de la señal de los 40kHz.



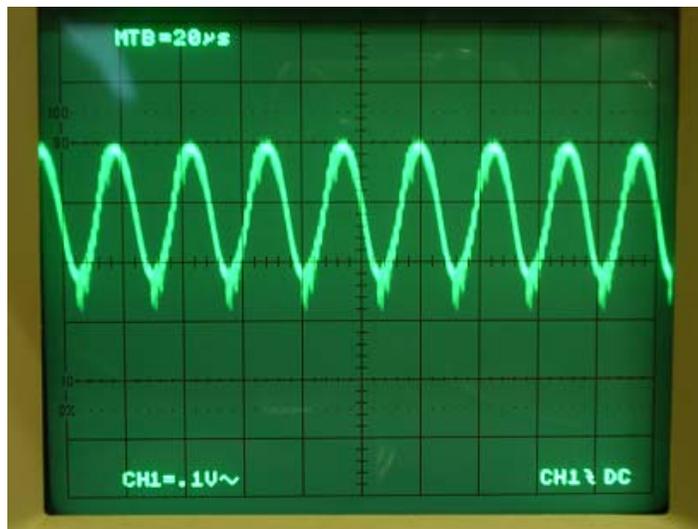
- Señal emitida por los transmisores de ultrasonido:

Figura 143.-Foto. señal transmitida.



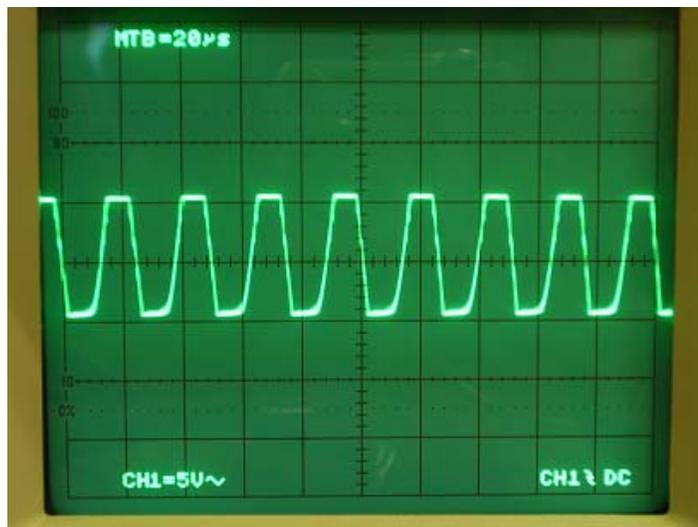
- Señal recibida por los receptores de ultrasonido:

Figura 144.-Foto. Señal recibida.



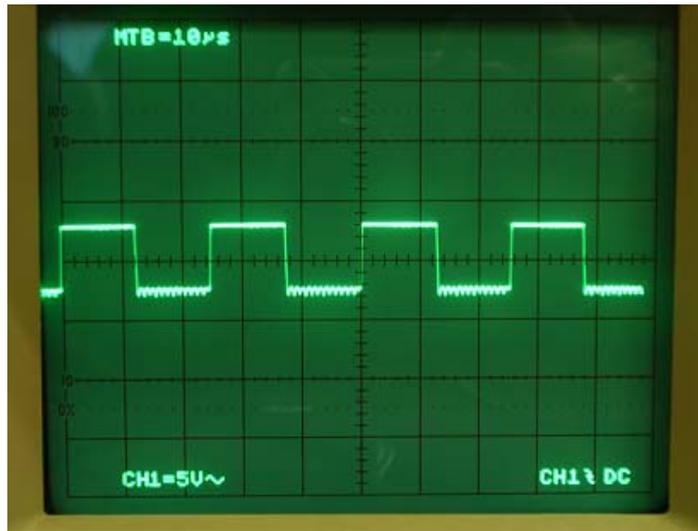
- Señal obtenida de la primera etapa de amplificación.

Figura 145.-Foto. Señal primera amplificación.



- Señal obtenida de la segunda etapa de amplificación.

Figura 146.-Foto. Señal segunda amplificación.



- Señal que se obtiene después de eliminar el semiciclo negativo.

Figura 147.-Foto. Eliminación del semiciclo negativo.



7 ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO

A continuación se evalúa el costo que se ha requerido para el desarrollo del proyecto.

➤ **Costo del material**

Se detalla todos los elementos que se emplean en cada etapa del robot.

- Costo de la etapa de control de motores DC.

ETAPA DE CONTROL DE MOTORES DC		
Descripción	Unidades	Costo total
PIC16F877A	2	40.000,00
Base PIC16F877A	4	8.000,00
L293B	3	27.000,00
Base L293B	3	3.000,00
Diodos 4007	24	2.000,00
Led	9	9.000,00
Borneras	8	4.000,00
Conector GP	7	3.000,00
Conectores bus de datos	5	5.000,00
Condensadores	5	3.000,00
Cristal 4Mhz	2	2.000,00
Pulsador	2	1.000,00
Resistencias	10	1.000,00
Cable	5	3.000,00
TOTAL		111.000,00

- Costo de la etapa de control de los sensores.

ETAPA DE CONTROL DE LOS SENSORES		
Descripción	Unidades	Costo total
PIC16F628	2	18.000,00
Base PIC16F628	2	2.000,00
Flip-Flop 74LS74	4	4.000,00
Base Flip-Flop 74LS74	2	2.000,00
Transistores BD135	8	8.000,00
Transistores BD136	8	8.000,00
LF353	4	4.000,00
Base LF353	4	2.000,00
Jumper	8	4.000,00
Diodos Shottky	8	3.000,00
Bus de datos	1	2.000,00
Trimmer 100k Ω	4	4.000,00
Condensador	3	3.000,00
Resistencias	10	1.000,00
Regleta	2	3.000,00
Cable	5	3.000,00
TOTAL		71.000,00

- Costo de la etapa de alimentación.

ETAPA DE ALIMENTACIÓN		
Descripción	Unidades	Costo total
Bornera:	8	4.000,00
LM7805	2	2.000,00
Trimmer de 10k	4	4.000,00
LM7809	1	1.000,00
Led	1	1.000,00
Cable	10	3.000,00
Interruptor	1	1.000,00
TOTAL		16.000,00

- Costo Herramientas electrónicas

HERRAMIENTAS ELECTRONICAS		
Descripción	Unidades	Costo total
Programador para PIC's	1	80.000,00
Cautín	1	15.000,00
TOTAL		95.000,00

- Costo de los elementos mecánicos

ELEMENTOS MECANICOS		
Descripción	Unidades	Costo total
1/4circulo Aluminio	3	14.000,00
Barra 3/4 Aluminio	1	6.000,00
Lamina de acero C18	1	20.000,00
Tornillo Bristol	80	60.000,00
Llave Bristol	10	10.000,00
Tubo d 80mm Aluminio		60.000,00
Barra redonda Aluminio	2	7.000,00
Barra cuadrada Aluminio	2	9.000,00
Platina 10mm Aluminio	2	50.000,00
Platina de 4mm Aluminio	1	10.000,00
Rotulas 6mm	2	40.000,00
Caucho	3	50.000,00
Abrazaderas	6	15.000,00
TOTAL		351.000,00

- Costo de los trabajos en talleres

TRABAJOS EN TALLERES		
Descripción	Unidades	Costo total
Acoplamiento de las ruedas	6	80.000,00
Corte por chorro de agua	7	320.000,00
Acabado superficial	32	130.000,00
Impresos	2	120.000,00
TOTAL		650.000,00

- Costos de otros elementos del robot

OTROS ELEMENTOS DEL ROBOT		
Descripción	Unidades	Costo total
Motoreductores	6	200.000,00
Servomotores	7	480.000,00
Baterías	4	80.000,00
Mini cámara	1	170.000,00
Sensores	4	160.000,00
TOTAL		1090.000,00

- Resumen del costo del robot

RESUMEN DE LOS COSTES	
Descripción	Costo total
Etapa de control de motores dc	111.000,00
Etapa de control de los sensores	71.000,00
Etapa de alimentación	16.000,00
Herramientas electronicas	95.000,00
Elementos mecanicos	351.000,00
Trabajos en talleres	650.000,00
Otros elementos del robot	1'090.000,00
TOTAL	2'384.000,00

➤ **Otros costes directos**

Se enumera los materiales que se emplearon en la realización del proyecto, pero que no aparecen físicamente en el robot como lo es:

El material de oficina: Papel de impresora, disquetes, fotocopias, bolígrafos.

El material de laboratorio: Estaño para soldar, pegamentos.

Documentación: encuadernación, Libros, Fotocopias.

- Otros costos directos

OTROS COSTOS DIRECTOS	
Descripción	Costo total
El material de oficina	50.000,00
El material de laboratorio	20.000,00
Documentación	30.000,00
TOTAL	100.000,00

Finalmente, se puede resumir en una tabla todos los costos directos del proyecto obteniendo un resultado total:

- Costo total

COSTO TOTAL	
Descripción	Coste total
Costos del material	2'384.000,00
Otros costes directos	100.000,00
TOTAL	2'484.000,00

8. CONCLUSIONES

El Diseño y la construcción de un vehículo autónomo tipo **Rover** permitió interactuar el diseño mecánico con el diseño electrónico, en la aplicación de un robot móvil, el cual logra integrar los conocimientos adquiridos e incentivar la búsqueda de investigaciones a un nivel más avanzado.

El vehículo tipo Rover cuenta con un diseño mecánico que se realizó teniendo en cuenta cada una de las características y cualidades deseadas para el robot, ya que el interés principal es que fuera resistente, liviano y con facilidad de acceso a elementos como baterías, tarjetas electrónicas, motores y sensores. La estructura mecánica Rocker-Bogie que se diseñó suple la necesidad de superar un mayor número de obstáculos, y permite que el vehículo cuente con características de flexibilidad, confortabilidad, movilidad y suspensión para acomodarse a los inconvenientes del terreno.

A pesar que los motoredutores entregan la potencia necesaria para su desplazamiento, tiene una desventaja en su tamaño ya que al no quedar protegido por la rueda puede colisionar y sufrir daños, es recomendable que en un futuro estos sean cambiados por unos de menor tamaño, e igual o mayor potencia.

El robot móvil tiene la facilidad de desplazarse en lugares arenosos escarpados y en prados, pero no es posible que un explorador se limite a lugares donde el grado de rugosidad de la superficie y la adherencia a ésta, le generen inestabilidad en el posicionamiento, es así que el usuario tiene la ventaja de reemplazar el servomotor por uno de mayor torque para elevar su nivel de exploración sin necesidad de cambiar la configuración física del robot.

Uno de los componentes principales en el vehículo es el sistema de detección de obstáculos. Es necesario que éste sistema posea la capacidad de explorar en todas las direcciones del vehículo debido a que la información obtenida se utiliza para evitar colisiones con los obstáculos del entorno. El uso del sensor de ultrasonido, hace que el robot supere este tipo de problemas.

Mediante pruebas realizadas con los sensores de ultrasonido se obtuvo que ubicando los sensores en las esquinas, en ángulos de 45°, el vehículo permanecía sensando confiablemente objetos ubicados dentro de su zona de detección, esto es una gran ventaja ya que disminuye el número de sensores a utilizar solo en cuatro.

Se dedujo que una de las soluciones para evitar las perturbaciones producidas por los campos eléctricos externos, era disponer de un chasis en lamina de acero galvanizado que actuara como Jaula de Faraday, la cual permite que las tarjetas de control no les afecte el ruido producido por los motoredutores.

El uso de los microcontroladores es una herramienta muy útil ya que por su bajo costo y su versatilidad permite manejar fácilmente un sistema que controle los motores y sensores que presenta el robot móvil y por medio de una lógica sencilla responder rápida y adecuadamente a cada eventualidad que se presente

A través de la minicámara inalámbrica, el robot móvil informa al usuario del terreno al que se va enfrentar aportando a las investigaciones en lugares nocivos para los humanos, o en lugares a los que no se tiene un libre acceso, en los cuales el robot móvil podría monitorear y detectar fallas.

Se puede decir que un proyecto de esta naturaleza es de suma importancia para el desarrollo tecnológico del país. El robot poco a poco se irá mejorando, innovando, e implementando diferentes ramas de la ciencia y la ingeniería que ayuden a resolver los nuevos retos y problemas que se puedan ir planteando. El proyecto demuestra que es posible lograr en un futuro que el robot sea totalmente autónomo y que logre realizar tareas definidas en un espacio real. También que tenga la posibilidad de montarle accesorios diversos que permitan ampliar la versatilidad del robot cuando éste realice diferentes y más complicadas tareas.

La realización de este proyecto cautivo nuestra sed de investigadores en las nuevas fuentes de la tecnología, aportando desde nuestras aulas de estudio un grano de arena al desarrollo de nuestro país.

BIBLIOGRAFIA

ANGULO, José M^a. Microrobótica. Madrid, Editorial Thomson.1999.

ANGULO, José M^a. Microcontroladores Diseño Practico y aplicaciones. México. Mc Graw Hill. 2da. Edición. 2000.

ANGULO, José M^a. Microcontroladores PIC 16F87x Diseño Practico y aplicaciones. Segunda Parte. México. Mc Graw Hill. 2000.

BARNETT, Raymond A. Algebra y Geometría 2. México. Mc Graw Hill.1984.

BEER, Ferdinand. Dinámica. Mecánica Vectorial para Ingenieros. . México. Mc Graw Hill. 6ta Edición. 1997.

BEER, Ferdinand. Estática. Mecánica Vectorial para Ingenieros. . México. Mc Graw

BEER, Ferdinand. Mecánica de materiales. México. Mc Graw Hill. 2da Edición. 1998.

BOLIVAR, Guarín Zulma Natalia. Diseño de un Sistema de Navegación Aplicado a un Robot Móvil. Bogotá D.C. 2005.130 p. Trabajo de grado (Ingeniería Mecatrónica). Universidad De San Buenaventura. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Mecatrónica.

BOYLESTAD, Louis. Electrónica: Teoría de circuitos, Prentice Hall, 1997.

COUGHLIN, Robert F. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados lineales. Madrid. Prentice Hall. 1996.

DEVIDAS Pai,. Space-Sugar Coating for the Mechanics Pill. Departament of Mechanical Engineering. North Carolina A&T State University, Greensboro, USA.

GARCÍA, García Francisco. Robótica. Aplicación de ultrasonido para determinar entornos no estructurados. Mundo Electrónico (Barcelona). Págs.30-33. 1999.

GIAMARCHI, Frédéric. Robots Móviles Estudio y Construcción. Madrid. Paraninfo, S.A. 2001.

HAMROCK, Bernard J. Elementos de maquinas. México. Mc Graw Hill. 1999.
Hill. 6ta Edición. 1996.

HERVÉ Hacot. Analisis and simulation of a rocker-bogie Exploration Rover. Departament of Mechanical Engineering. Massachusetts Institute of Technology. USA.

ICONTEC. Compendio. Presentación de tesis, Trabajos de grado, y otros trabajos de investigación. Bogotá D.C. 2002.

MILLER, David P., Tze-Liang Lee. Hig-spped traversal of rough terrain using a rocker-bogie mobility system. USA.

OILERO, Aníbal. Robótica manipuladores y robots móviles. Editorial Alfaomega, 2001.

PATIÑO, Christian A. Modulo de Sensorica e Interfaz Hombre-Maquina Para la Asistencia en la conducción de una silla de ruedas semiautomática. Universidad de la salle. 2005.

PITZER, Robert. Gross Hund. All-terrain Autonomous Robot. Intelligent Machine Desing Laboratory. Spring 1997.

SERWAY, Raymond A. Física. Tomo I.Editorial McGraw-Hill. 4ta Edicion (1997).

SHIGLEY, Joseph E. Diseño en Ingeniería Mecánica. México. Mc Graw Hill. 6ta Edición. 2003.

T, Hans. Regulación Digital Electrónica. Madrid. Editorial Paraninfo, 2da. Edición. 1994.

TORRES Fernando. Robot y Sistemas Sensoriales. Madrid. Prentice Hall. 2002.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

Amplificadores operacionales [en línea]. <URL: [http://www.ifent.org/temas/amplificadores operacionales.asp](http://www.ifent.org/temas/amplificadores_operacionales.asp)>. (2005).

ANGEL, Franco García. Curso interactivo de física en Internet. El rozamiento por deslizamiento [en línea]. <URL: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento.htm#Fuerza%20de%20rozamiento%20estático>> (2005).

ANGEL, Franco García. Curso interactivo de física en Internet. Cálculo de momentos de inercia [en línea]. <URL: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/inercia/inercia.htm#Momento%20de%20inercia%20de%20un%20cilindro>. (2005).

DANIEL, C. Martín. X-robotics. Mecánica [en línea]. <URL: <http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>>. (2001).

DOMINGUEZ, Fernando. Microrobótica y Mecatrónica. Microrobótica [en línea] <URL: http://autric.com/Microbotica%20y%20Mecatronica/n_reaccion_con_up.htm>. (2004).

Escuela De Ingeniería De Antioquia. Estructuras. Análisis de estructuras [en línea]. <URL: <http://estructuras.eia.edu.co/estructurasII/indestII.html>>. (2005).

ING. CISNEROS, Luís Carlos. CDM (Control de movimiento). Información técnica [en línea]. <URL: <http://www.controldemovimiento.com/index.ewp?section=obra>>. (2005).

JIMMY Wales, LARRY Sanger. Wikipedia [en línea]. <URL: <http://es.wikipedia.org>> (2001).

NACIONAL INSTRUMENT [en línea]. <URL: <http://www.ni.com/>>. (2005).

MICROCHIP [en línea]. <URL: <http://www.microchip.com>>. (2005).

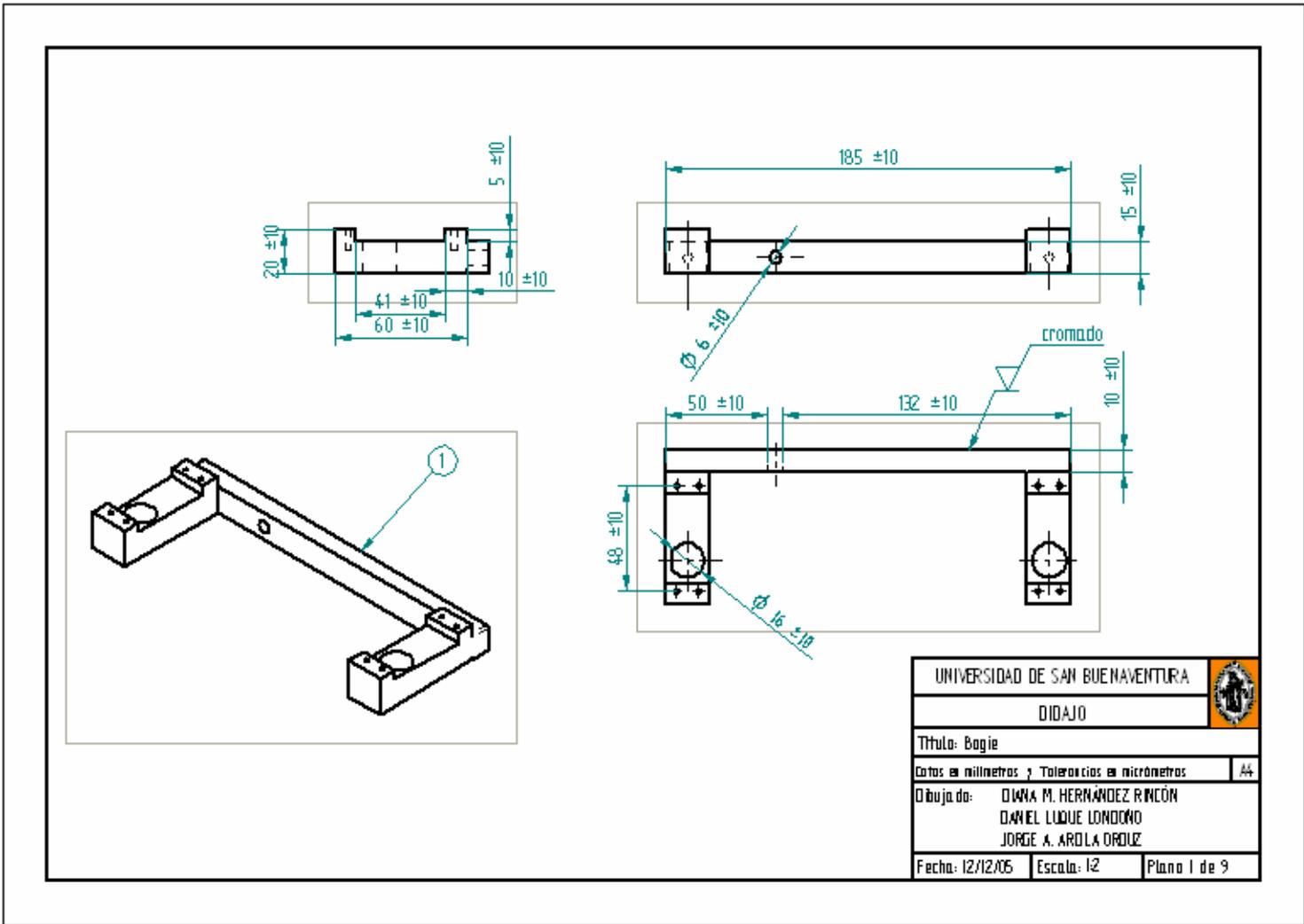
Robótica en Mendoza [en línea]. <URL: <http://www.roboticajoven.mendoza.edu.htm>>. (2005).

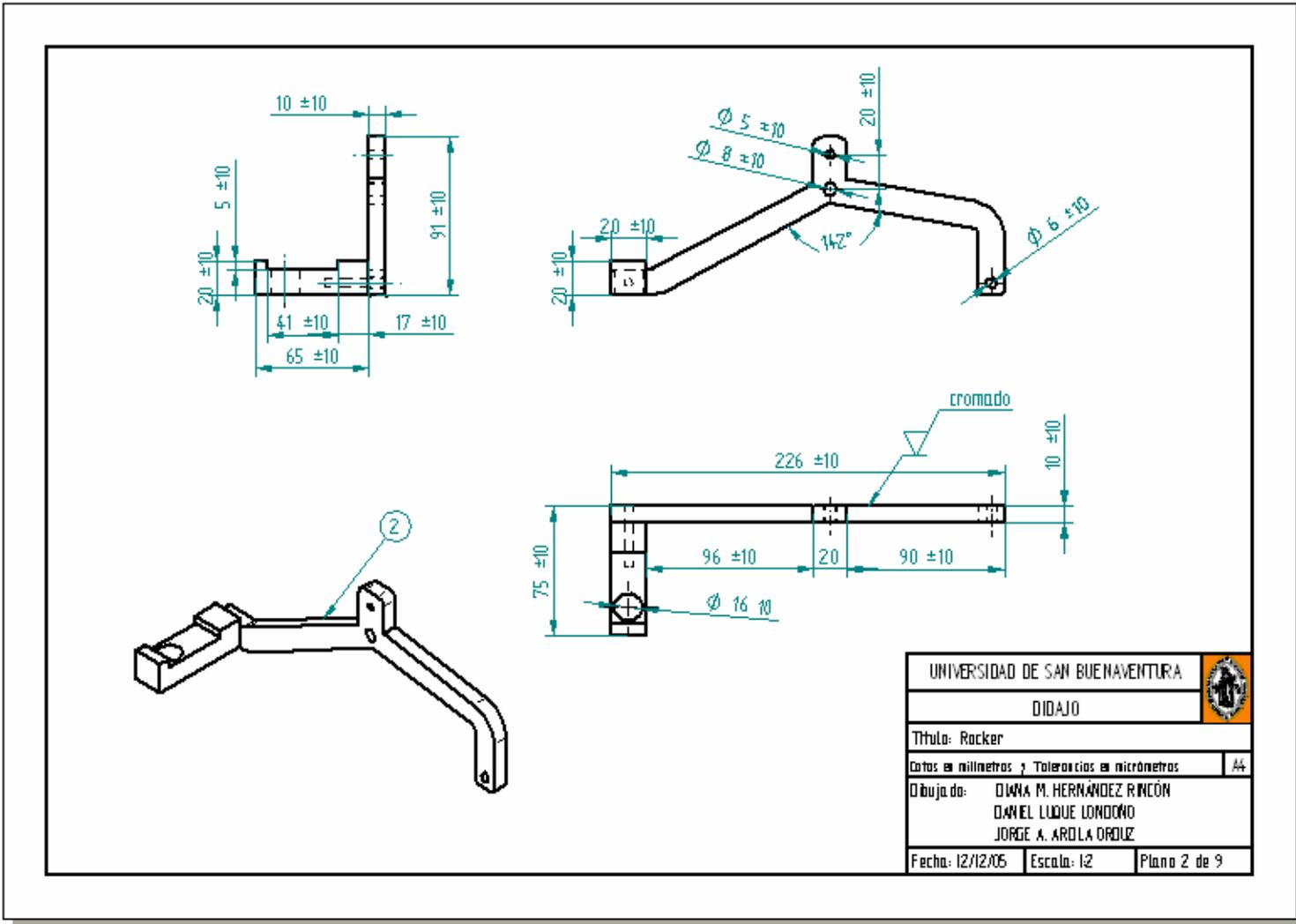
Universidad Nacional de Colombia [en línea]. <URL: <http://www.virtual.unal.edu.co/>>. (2005).

ZAMORA, Carlos. Creaturoides. Servomotores [en línea]. <URL: <http://www.creaturoides.com/anterior/srvesp.htm> >. (1999).

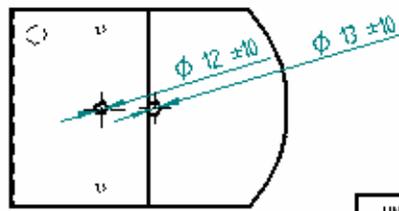
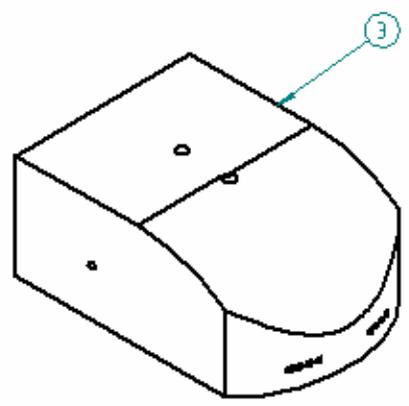
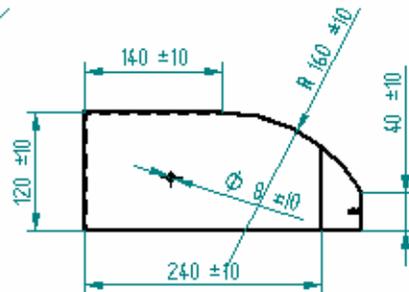
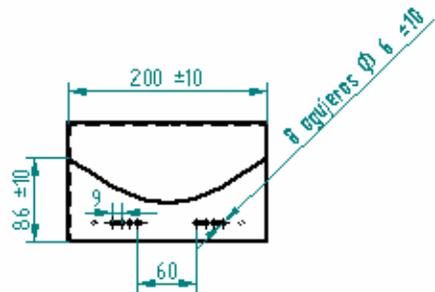
ANEXO A

PLANOS

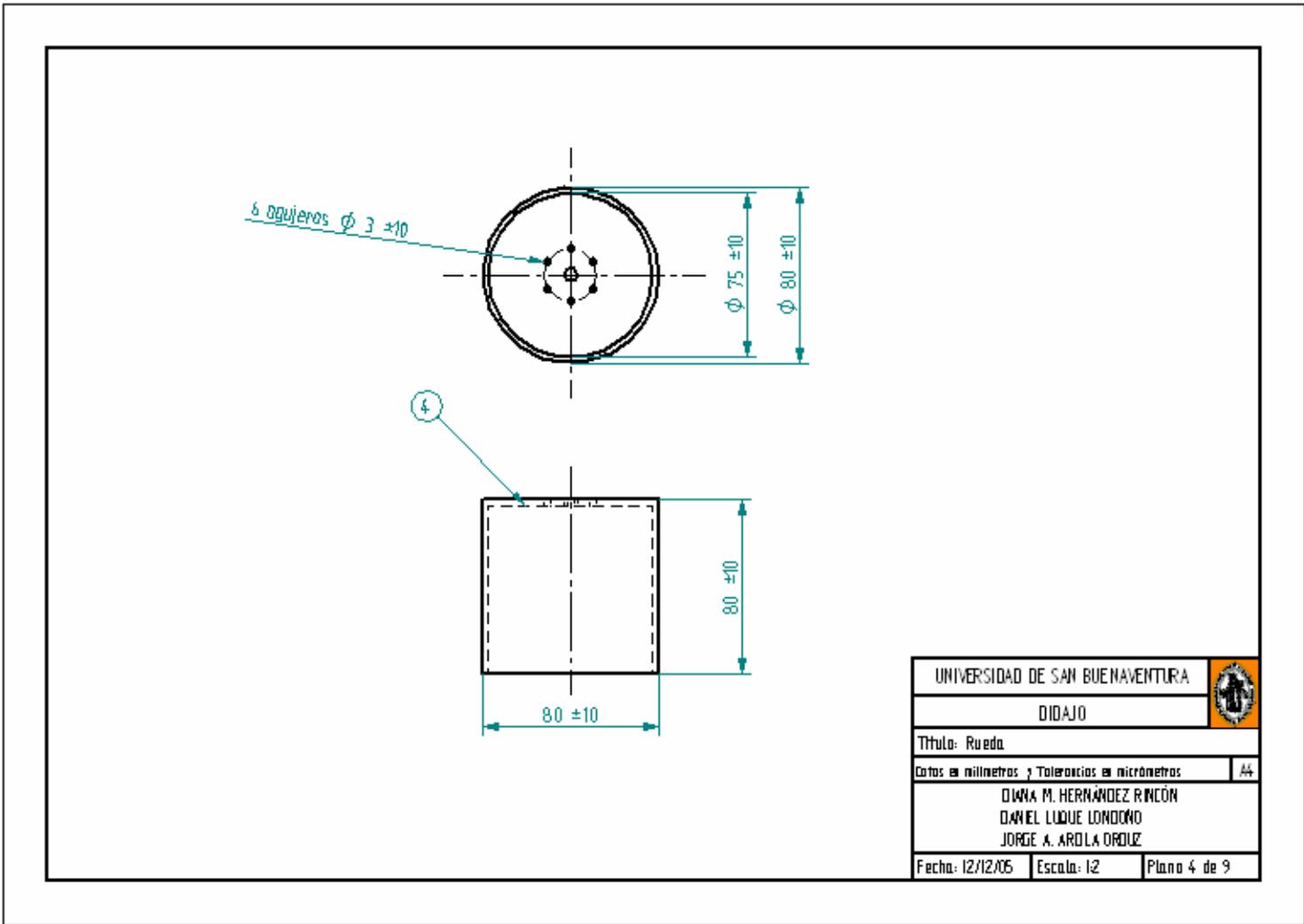


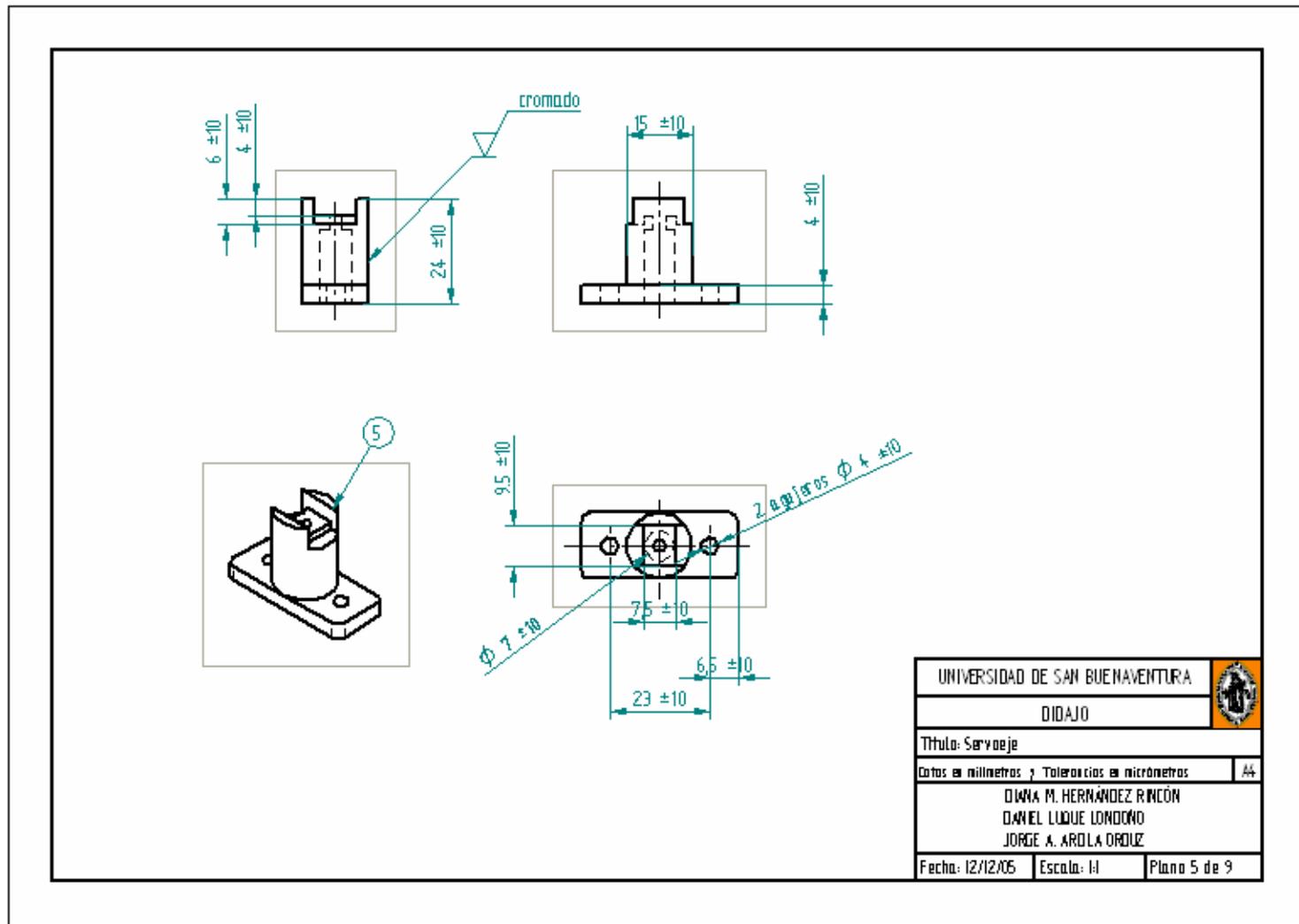


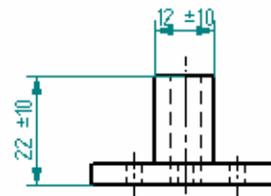
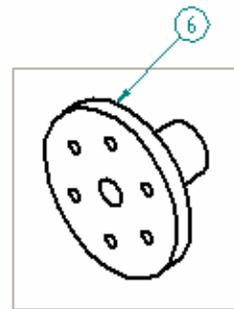
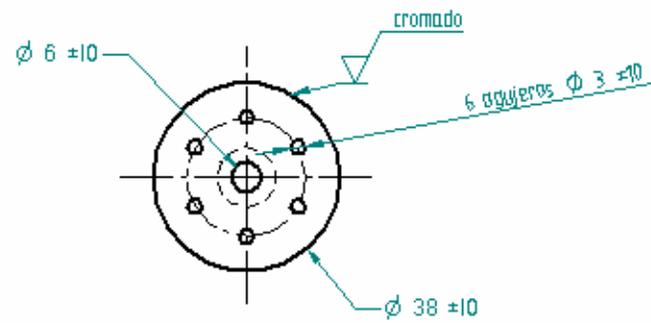
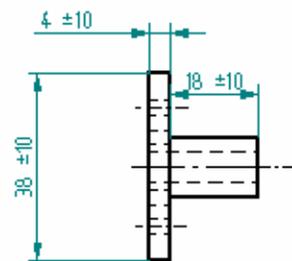
UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA		
DIDAJO		
Titulo: Racker		
Cotas en milímetros y Tolerancias en micrómetros		A4
Dibujado: DIANA M. HERNÁNDEZ RINCÓN DANIEL LUQUE LONDONO JORGE A. ARDILA ORDOZ		
Fecha: 12/12/05	Escala: 1:2	Plano 2 de 9



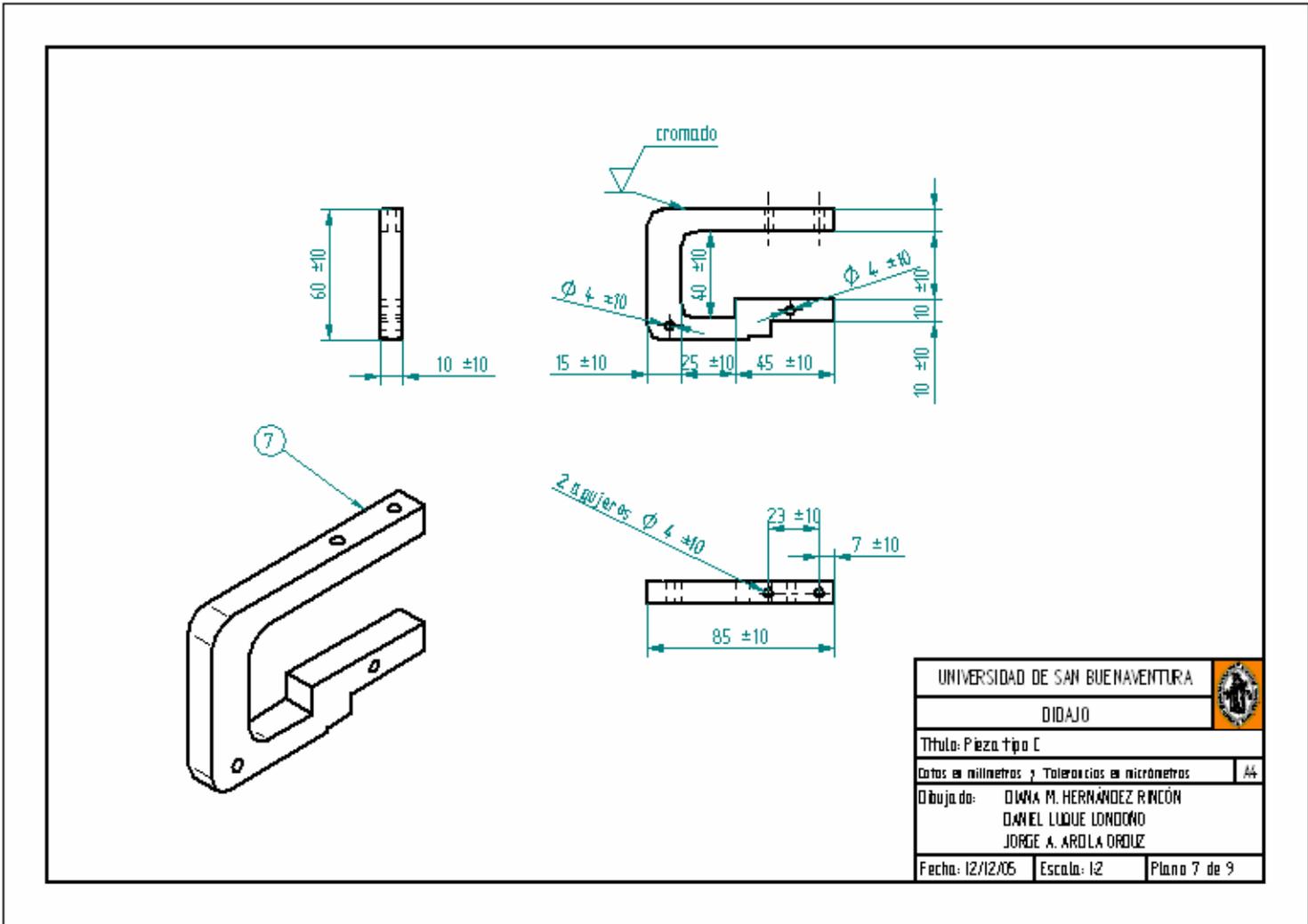
UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA		
DIDAJO		
Título: Chasis		
Cotas en milímetros y Tolerancias en micrómetros		A4
Dibujado: DIANA M. HERNÁNDEZ RINCÓN DANIEL LUQUE LONDONO JORGE A. AROLA ORDUEZ		
Fecha: 12/12/05	Escala: 1:5	Plano 3 de 9

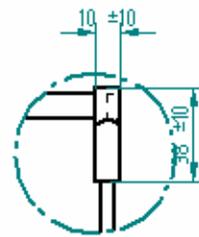
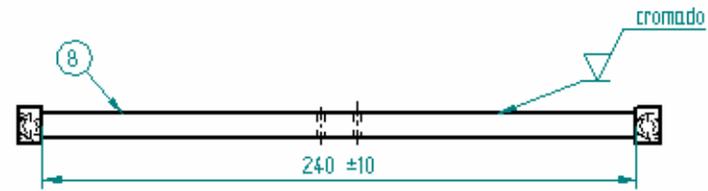
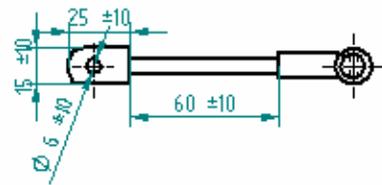




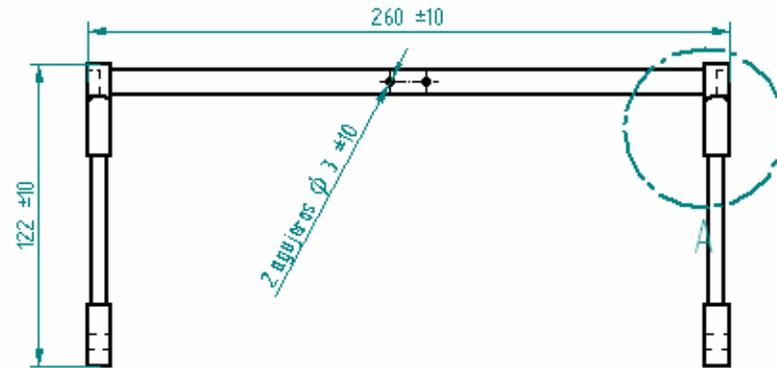


UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA		
DIDAJO		
Título: Rin		
Cotas en milímetros y Tolerancias en micrómetros		A4
Dibujado: DIANA M. HERNÁNDEZ RINCÓN DANIEL LUDUE LONDÑO JORGE A. ARDILA ORDUEZ		
Fecha: 12/12/05	Escala: 1:1	Plano 6 de 9

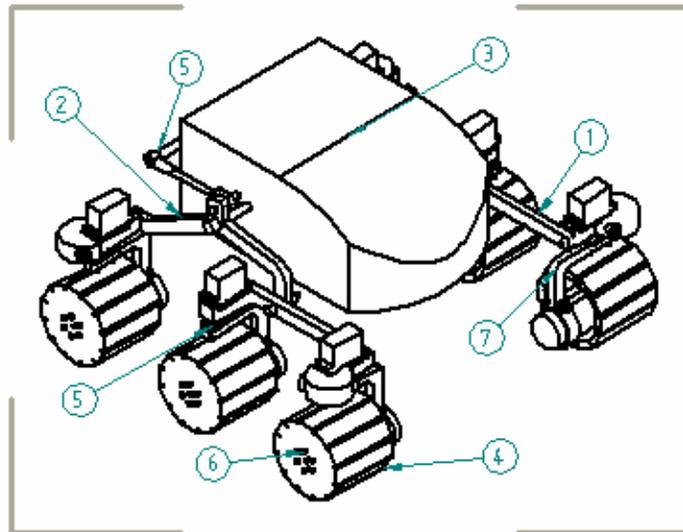




DETALLE A

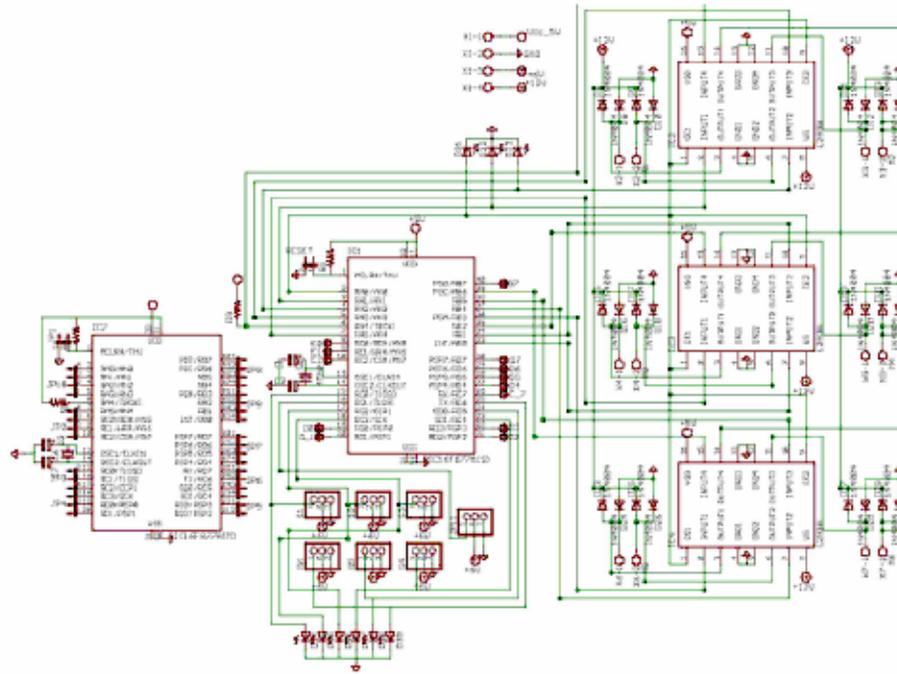


UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA		
DIDAJO		
Titulo: Suspencion posterior		
Cotas en milímetros y Tolerancias en micrómetros		A4
DIANA M. HERNÁNDEZ RINCÓN DANIEL LUDUE LONDÑO JORGE A. ARDILA ORDUEZ		
Fecha: 12/12/05	Escala: 1:2	Plano 8 de 9

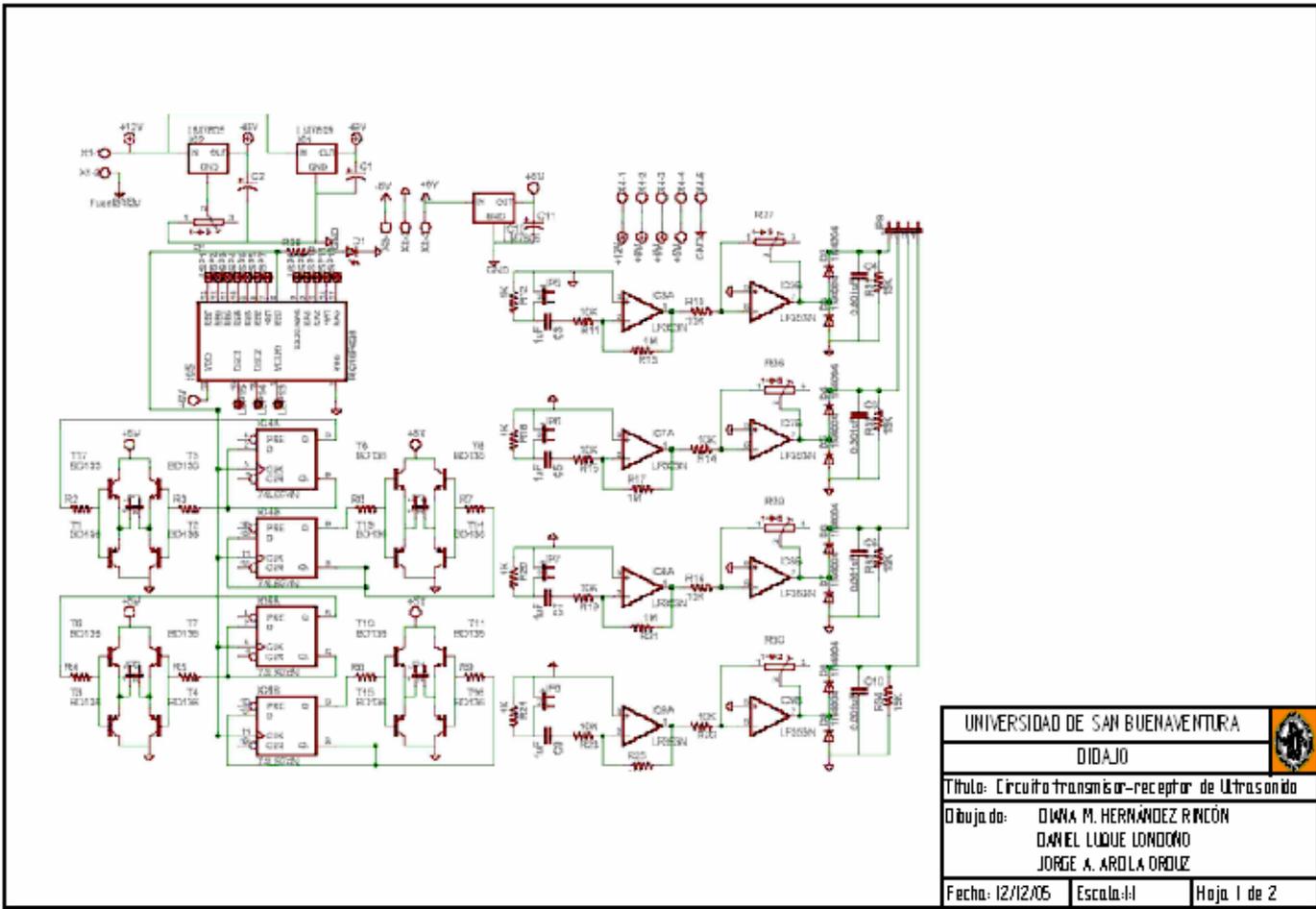


8	Suspensión Post.	Aluminio	1
7	Pieza tipo C	Aluminio	6
6	Rin	Aluminio	6
5	Servoeje	Aluminio	6
4	Rueda	Aluminio	6
3	Chasis	Aceero 6	1
2	Rocker	Aluminio	2
1	Bagie	Aluminio	2
No.	Nombre de la pieza	Materia	Cantidad

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA		
DIDAJO		
Titulo: Modelo en 3D		
Cotas en milímetros y Tolerancias en micrómetros		A4
DIANA M. HERNÁNDEZ RINCÓN DANIEL LUDUE LONDÑO JORGE A. ARDILA ORDUEZ		
Fecha: 12/12/05	Escala: 1:5	Plano 9 de 9



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA		
DIDAJO		
Título: Circuito Control de Motores DE		
Dibuja de: DIANA M. HERNÁNDEZ RINCÓN DANIEL LUDUE LONDÑO JORGE A. AROLA ORDUEZ		
Fecha: 12/12/05	Escala: 1:1	Hoja: 2 de 2



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA		
DIDAJO		
Título: Circuito transmisor-receptor de Ultrasonido		
Dibujado: DIANA M. HERNÁNDEZ RINCÓN DANIEL LUQUE LONDONO JORGE A. ARDILA ORDOZ		
Fecha: 12/12/05	Escala: 1:1	Hoja: 1 de 2

ANEXO B

DATA-SHETT



PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

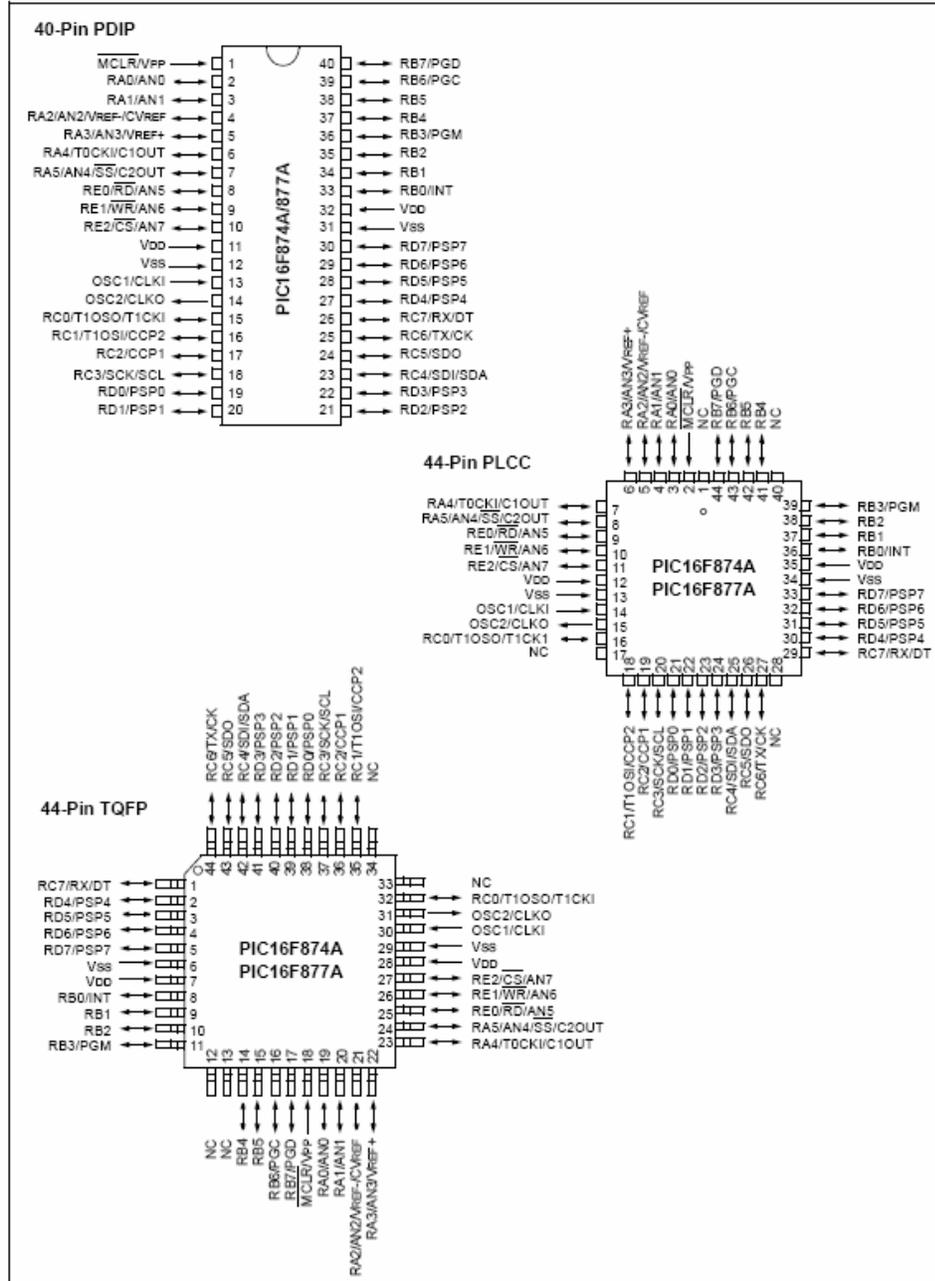
CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I ² C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

PIC16F87XA

Pin Diagrams (Continued)





PIC16F62X

FLASH-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers

Devices included in this data sheet:

- PIC16F627
- PIC16F628

Referred to collectively as PIC16F62X.

High Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn
- All single-cycle instructions (200 ns), except for program branches which are two-cycle
- Operating speed:
 - DC - 20 MHz clock input
 - DC - 200 ns instruction cycle

Device	Memory		
	FLASH Program	RAM Data	EEPROM Data
PIC16F627	1024 x 14	224 x 8	128 x 8
PIC16F628	2048 x 14	224 x 8	128 x 8

- Interrupt capability
- 16 special function hardware registers
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative addressing modes

Peripheral Features:

- 15 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with external crystal/clock capability
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM (CCP) module
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter USART/SCI
- 16 Bytes of common RAM

Special Microcontroller Features:

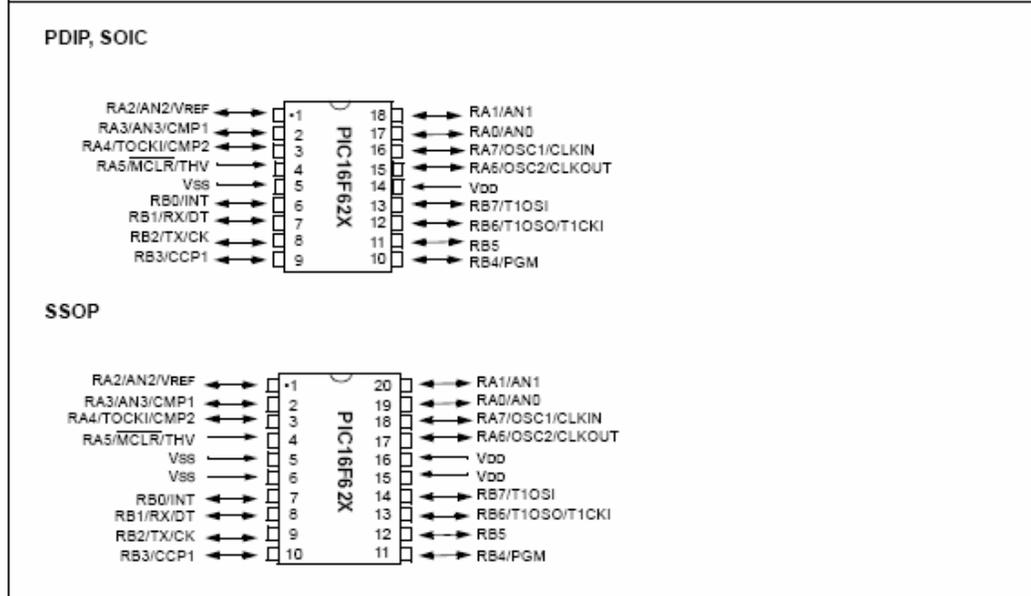
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Detect (BOD)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Multiplexed $\overline{\text{MCLR}}$ -pin
- Programmable weak pull-ups on PORTB
- Programmable code protection
- Low voltage programming
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
 - FLASH configuration bits for oscillator options
 - ER (External Resistor) oscillator
 - Reduced part count
 - Dual speed INTRC
 - Lower current consumption
 - EC External Clock input
 - XT oscillator mode
 - HS oscillator mode
 - LP oscillator mode
- Serial in-circuit programming (via two pins)
- Four user programmable ID locations

CMOS Technology:

- Low-power, high-speed CMOS FLASH technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range
 - PIC16F627 - 3.0V to 5.5V
 - PIC16F628 - 3.0V to 5.5V
 - PIC16LF627 - 2.0V to 5.5V
 - PIC16LF628 - 2.0V to 5.5V
- Commercial, industrial and extended temperature range
- Low power consumption
 - < 2.0 mA @ 5.0V, 4.0 MHz
 - 15 μA typical @ 3.0V, 32 kHz
 - < 1.0 μA typical standby current @ 3.0V

PIC16F62X

Pin Diagrams



Device Differences

Device	Voltage Range	Oscillator	Process Technology (Microns)
PIC16F627	3.0 - 5.5	See Note 1	0.7
PIC16F628	3.0 - 5.5	See Note 1	0.7
PIC16LF627	2.0 - 5.5	See Note 1	0.7
PIC16LF628	2.0 - 5.5	See Note 1	0.7

Note 1: If you change from this device to another device, please verify oscillator characteristics in your application.

PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVERS

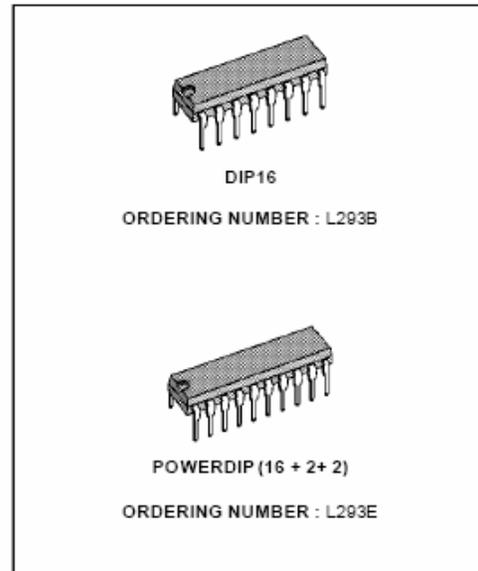
- OUTPUT CURRENT 1A PER CHANNEL
- PEAK OUTPUT CURRENT 2A PER CHANNEL (non repetitive)
- INHIBIT FACILITY
- HIGH NOISE IMMUNITY
- SEPARATE LOGIC SUPPLY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION

DESCRIPTION

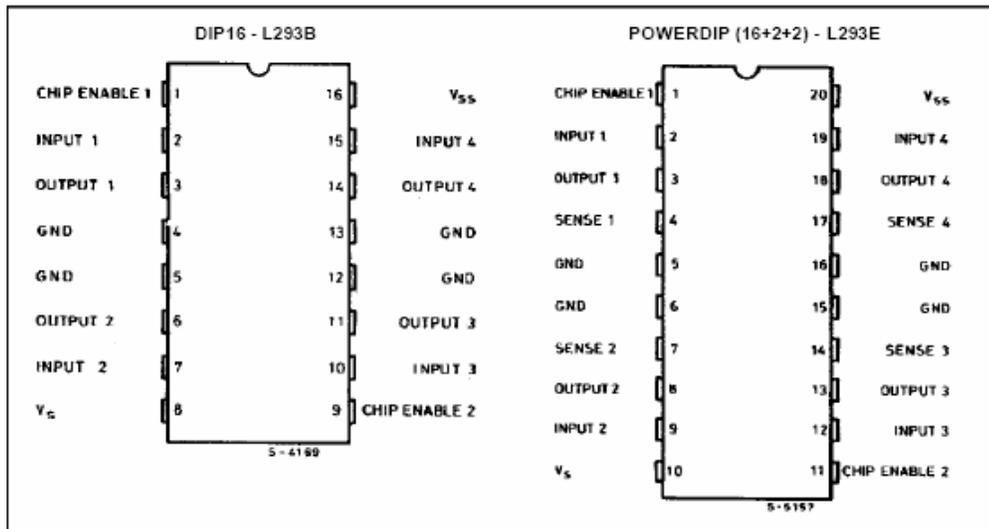
The L293B and L293E are quad push-pull drivers capable of delivering output currents to 1A per channel. Each channel is controlled by a TTL-compatible logic input and each pair of drivers (a full bridge) is equipped with an inhibit input which turns off all four transistors. A separate supply input is provided for the logic so that it may be run off a lower voltage to reduce dissipation.

Additionally, the L293E has external connection of sensing resistors, for switchmode control.

The L293B and L293E are package in 16 and 20-pin plastic DIPs respectively ; both use the four center pins to conduct heat to the printed circuit board.



PIN CONNECTIONS



LF353

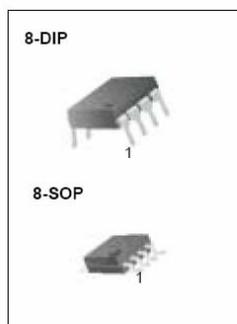
Dual Operational Amplifier (JFET)

Features

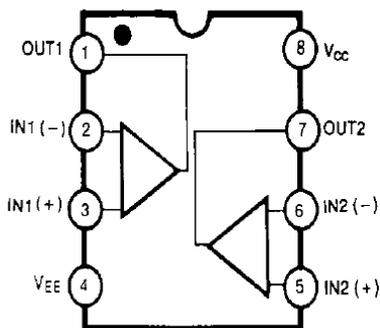
- Internally trimmed offset voltage: 10mV
- Low input bias current: 50pA
- Wide gain bandwidth: 4MHz
- High slew rate: 13V/ μ s
- High Input impedance: $10^{12}\Omega$

Description

The LF353 is a JFET input operational amplifier with an internally compensated input offset voltage. The JFET input device provides wide bandwidth, low input bias currents and offset currents.



Internal Block Diagram



54LS74/DM54LS74A/DM74LS74A Dual Positive-Edge-Triggered D Flip-Flops with Preset, Clear and Complementary Outputs

General Description

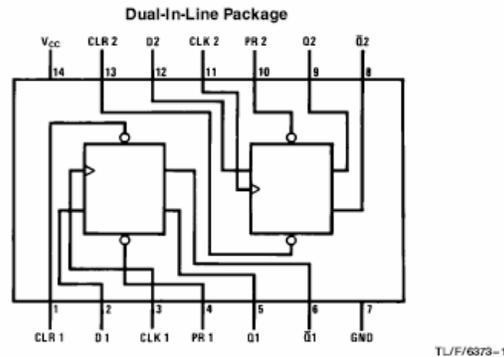
This device contains two independent positive-edge-triggered D flip-flops with complementary outputs. The information on the D input is accepted by the flip-flops on the positive going edge of the clock pulse. The triggering occurs at a voltage level and is not directly related to the transition time of the rising edge of the clock. The data on the D input may be changed while the clock is low or high without affecting the outputs as long as the data setup and hold times are not

violated. A low logic level on the preset or clear inputs will set or reset the outputs regardless of the logic levels of the other inputs.

Features

- Alternate military/aerospace device (54LS74) is available. Contact a National Semiconductor Sales Office/Distributor for specifications.

Connection Diagram



Order Number 54LS74DMQB, 54LS74FMQB, 54LS74LMQB,
DM54LS74AJ, DM54LS74AW, DM74LS74AM or DM74LS74AN
See NS Package Number E20A, J14A, M14A, N14A or W14B

Function Table

Inputs				Outputs	
PR	CLR	CLK	D	Q	\bar{Q}
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H*	H*
H	H	↑	H	H	L
H	H	↑	L	L	H
H	H	L	X	Q ₀	\bar{Q} ₀

H = High Logic Level

X = Either Low or High Logic Level

L = Low Logic Level

↑ = Positive-going Transition

* = This configuration is nonstable; that is, it will not persist when either the preset and/or clear inputs return to their inactive (high) level.

Q₀ = The output logic level of Q before the indicated input conditions were established.

54LS74/DM54LS74A/DM74LS74A Dual Positive-Edge-Triggered D Flip-Flops with Preset, Clear and Complementary Outputs

PNP power transistors

BD136; BD138; BD140

FEATURES

- High current (max. 1.5 A)
- Low voltage (max. 80 V).

APPLICATIONS

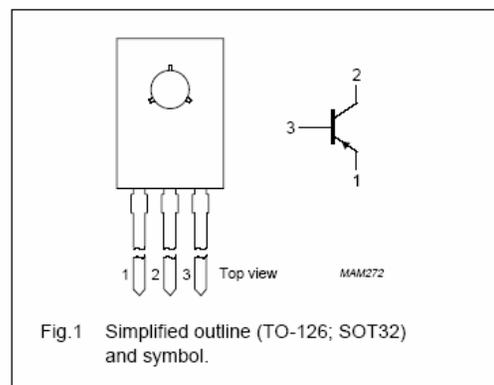
- General purpose power applications, e.g. driver stages in hi-fi amplifiers and television circuits.

DESCRIPTION

PNP power transistor in a TO-126; SOT32 plastic package. NPN complements: BD135, BD137 and BD139.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	collector, connected to metal part of mounting surface
3	base



LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	BD136		–	–45	V
	BD138		–	–60	V
	BD140		–	–100	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	BD136		–	–45	V
	BD138		–	–60	V
	BD140		–	–80	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	–5	V
I_C	collector current (DC)		–	–1.5	A
I_{CM}	peak collector current		–	–2	A
I_{BM}	peak base current		–	–1	A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{mb} \leq 70\text{ }^\circ\text{C}$	–	8	W
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		–	150	$^\circ\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		–65	+150	$^\circ\text{C}$

BD135/137/139

Medium Power Linear and Switching Applications

- Complement to BD136, BD138 and BD140 respectively



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : BD135	45	V
	: BD137	60	V
	: BD139	80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BD135	45	V
	: BD137	60	V
	: BD139	80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	1.5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	3.0	A
I_B	Base Current	0.5	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	12.5	W
P_C	Collector Dissipation ($T_J=25^\circ\text{C}$)	1.25	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units		
$V_{CEO(SUS)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage : BD135	$I_C = 30\text{mA}, I_B = 0$	45			V		
	: BD137		60			V		
	: BD139		80			V		
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 30\text{V}, I_E = 0$			0.1	μA		
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5\text{V}, I_C = 0$			10	μA		
h_{FE1}	DC Current Gain : ALL DEVICE	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 5\text{mA}$	25					
h_{FE2}			$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$	25				
h_{FE3}				$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 150\text{mA}$	40		250	
					40		160	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 500\text{mA}, I_B = 50\text{mA}$			0.5	V		
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$			1	V		

h_{FE} Classification

Classification	6	10	16
h_{FE3}	40 ~ 100	63 ~ 160	100 ~ 250

ANEXO C

CARACTERISTICAS DEL SENSOR DE ULTRASONIDO

G.M. ELECTRONICA S.A.

componentes electronicos

Av. Rivadavia 2458 - (C1034ACQ) Buenos Aires , Argentina

Tel.: 54-11-4953-0417 Fax: 54-11-4953-2971

email: info@gmelectronica.com.ar

web site: <http://www.gmelectronica.com.ar/>

SENSORES DE ULTRASONIDO

CODIGO	TIPO	FRECUENCIA	DIMENSIONES (mm)		MARCA
			DIAMETRO	ALTURA	
MA40S 2R	RECEPTOR	40 KHz	9.8	6.8	MURATA
MA40S 2S	TRANSMISOR				
MA40A 3R MA40A 5R	RECEPTOR		16	12	MURATA
MA40A 3S MA40A 5S	TRANSMISOR				
SQ40R	RECEPTOR		SSQC		
SQ40T	TRANSMISOR				



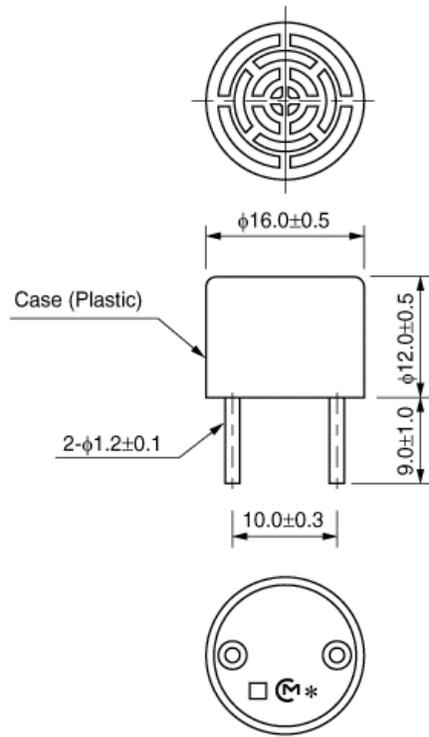
1. Reducidas dimensiones y livianos.

2. Alta sensibilidad y presión sonora.

3. Bajo consumo.

Aplicaciones:

Alarmas, medición de distancias, puertas automáticas, controles remotos.



in mm

*: EIAJ Code
 □ R or S